

Л. Мухин

Планеты и жизнь

Мухин Л. Планеты и жизнь. – Москва: Молодая гвардия, 1980 – 191 с.

Об интересных гипотезах и научных предположениях о возникновении жизни на Земле и на других планетах рассказывает доктор физико-математических наук Л. Мухин.

- Вместо введения
- Принцип Реди и большой взрыв
- Где и из чего зарождается жизнь?
- Рождение планет
- Начались синтезы
- Вулканы-разрушители, вулканы-созидатели
- Молекулы жизни
- Клетки работают
- Великая загадка кода
- Правое и левое
- Боги и «викинги»
- Внеземной разум

Вместо введения

Жаркой сентябрьской осенью 1971 года в уютном конференц-зале Бюраканской обсерватории под Ереваном открылась первая международная конференция по проблеме СЕТИ.

Неискушенному человеку эти четыре буквы не говорят ровным счетом ни о чем. Стоит, однако, заметить, что, если бы подобная конференция была созвана во времена инквизиции, все участники дискуссии после первого же дня угодили на костер. Доказательства их вины очевидны, так как СЕТИ - аббревиатура английского выражения Communication with Extraterrestrial Intelligence (связь с внеземным разумом).

Среди участников конференции были ученые с мировым именем, обогатившие науку величайшими достижениями, - один из основоположников современной молекулярной биологии Ф. Крик и Ч. Таунс - один из создателей лазера, известные астрофизики В. Амбарцумян, И. Шкловский, Н. Кардашев, крупнейшие физики-теоретики В. Гинзбург и Ф. Дайсон.

Какие же вопросы обсуждались на этом форуме? Ведь мы хорошо знаем, что никакой связи с внеземными цивилизациями у человечества пока нет, а периодически появляющиеся в журналах сообщения о так называемых неопознанных летающих объектах (НЛО) лишь отражают колоссальный интерес людей к возможности контактов с другими мирами. Кстати, вопрос о НЛО был исключен из обсуждения в Бюракане. Что же стало предметом научных споров? Попробуем кратко сформулировать основные задачи этой конференции.

К 1971 году накопилось огромное количество новой информации в различных отраслях науки. В биологии открыли структуру ДНК и механизм матричного копирования белков. Астрофизика познакомилась с квазарами, нейтронными звездами, «черными дырами». Автоматические межпланетные станции достигли поверхности Луны, Венеры, Марса.

Не преувеличивая можно сказать, что XX век перевернул наши представления об окружающем мире.

Логическим следствием научно-технической революции XX века стало широкое обсуждение кардинальных вопросов философии и естествознания: о месте человека во Вселенной, о множественности обитаемых миров, о происхождении живой материи и, наконец, о контактах с внеземным разумом.

В какой-то мере придется сразу же огорчить читателя. Ни на один из этих вопросов наука не может сегодня дать окончательный ответ. Более того, мы далеки от их решения. Но, видимо, в этом и состоит притягательная сила науки. Человек не должен бояться исследования и обсуждения задач, которые

сегодня кажутся трудноразрешимыми.

А. Эйнштейн отдал 30 лет своей жизни на построение общей теории поля. Что из того, что единая теория поля сегодня не существует? Перед нашими глазами пример грандиозной игры человеческого гения с природой. Сегодня верх взяла природа.

Точно так же обстоит дело с созданием стройной концепции, которая способна соединить в себе человека и Вселенную. Сейчас такой единой картины нет, но есть отдельные ее эскизы.

Мне хотелось бы в этой книге изложить как прежние, так и новые идеи возникновения живой материи в Космосе (в частности, на Земле). Лишь в меру необходимости я коснусь вопросов, связанных с жизнью на других мирах, уделив основное внимание возникновению и эволюции живого из неживого. И если мы с вами хотим проследить именно такой путь развития материи, необходимо как следует посмотреть с самого начала на то, что происходит в неживой природе. Для этого нам нужно познакомиться со многими аспектами планетной космогонии и потом перейти к молекулярной биологии.

Конечно, придется давать субъективную авторскую оценку различным фактам и явлениям, многие из которых сегодня не находят объяснения. Однако во всех случаях я оставляю место для сомнений - и для читателя, и для себя самого. Ведь в науке всего опаснее оказаться в плену какой-либо догмы, пусть даже весьма привлекательной. И если нам удастся сконцентрировать внимание на «горячих точках» проблемы, показать основные трудности, продемонстрировать возможные пути решения спорных вопросов, то цель этой книги будет достигнута.

Принцип Реди и большой взрыв

Вопросы, о которых только что говорилось, не новы. Окружающий нас мир очень стар, а человечество молодо, и со свойственной молодости любознательностью на протяжении всей истории эти вопросы в том или ином ракурсе обсуждались учеными и мыслителями. Уже в IV веке до нашей эры философ античной Греции Демокрит заложил основы атомистической теории и выдвинул идею множественности миров. Через 350 лет Лукреций Кар великолепно изложил эти мысли в своей бессмертной поэме «О природе вещей»:

Видим мы прежде всего, что повсюду, во всех
направленьях
С той и с другой стороны, и вверху и внизу
у Вселенной
Нет предела, как я доказал, как сама очевидность Громко гласит и
как ясно из самой природы
пространства.
А потому уж никак невозможно считать вероятным, Чтоб, когда всюду
кругом бесконечно пространство
зияет
И когда всячески тут семена в этой бездне несутся
В неисчислимом числе, гонимые вечным движеньем,
Чтоб лишь наша земля создалась и одно наше небо,
И чтобы столько материи тел оставалось без дела,
Если к тому же этот мир природою создан, и если
Сами собою вещей семена в столкновеньях
случайных, Всячески втуне, вотще, понапрасну сходяся друг
с другом,
Слились затем, наконец, в сочетанья такие, что сразу
Всяких великих вещей постоянно рождают зачатки:
Моря, земли и небес, и племени тварей живущих...
Если к тому же семян количество столь
изобильно, Что и всей жизни никак не хватило б для их
исчисленья,
Если вещей семена неизменно способна природа
Вместе повсюду сбивать, собирая их тем же
порядком,
Как они сплочены здесь, - остается признать
неизбежно,
Что во Вселенной еще и другие имеются земли,
Да и людей племена и также различные звери.
Надо добавить еще, что нет ни одной во
Вселенной Вещи, какая б могла возникать и расти одиноко
И не являлась одной из многих вещей однородных
Той же природы. Взгляни, например, на созданья
живые,
И ты увидишь, что так нарождаются горные звери,
Так поколенья людей возникают и так же немое

Племя чешуйчатых рыб и все особи птиц
окрыленных.
Следственно, надо признать, что подобным же
образом небо,
Солнце, луна и земля, и моря, и все прочие вещи
Не одиноки, но их даже больше, чем можно
исчислить.



Принцип Реди и большой взрыв

Из этой цитаты видно, что уже два тысячелетия назад проблема происхождения Вселенной и жизни интересовала человечество не меньше, чем сегодня.

За 600 лет до нашей эры Анаксимандр из Милета высказал мысль о возникновении жизни из морского ила и о последующей ее эволюции. Его можно считать родоначальником идеи самозарождения жизни. Заметим, что такие великие ученые, как И. Ньютон и В. Гарвей, поддерживали эту мысль (хотя Гарвей и провозгласил принцип *Omne animal ex ovo* - всякое животное происходит из яйца).



Принцип Реди и большой взрыв-2

В XVI веке придворный врач семейства Медичи флорентиец Ф. Реди нанес первый удар по теории самозарождения жизни. Будучи не только членом Флорентийской ученой академии (Academia del Cimento), но и членом литературной академии (Academia del la Crusca), Реди писал научные статьи на итальянском языке. Потом его работы переводились на латынь - язык ученых. Всесторонне образованный человек, философ-эпикурец, поэт, воспевший тосканские вина, он был серьезным естествоиспытателем и блестящим экспериментатором.

Реди, по-видимому, впервые сделал то, что сегодня в химии и биологии называется контрольным опытом. Положив два куска мяса в различные сосуды, один он закрыл марлей, другой оставил открытым.

Сторонники самозарождения жизни утверждали, что личинки и черви появляются как бы из ничего. Реди ясно показал, что «черви» появились только в сосуде, который был открыт для контакта с флорентийскими мухами.

Так был установлен знаменитый принцип Реди - *Omne vivum e vivo* - все живое из живого. Но тогда живое вечно, поскольку вечен окружающий нас мир. И жизнь не имеет ни начала, ни конца.

Окончательный удар по теории самозарождения жизни нанесли эксперименты аббата Спалланцани показавшего, что в стерилизованном питательном бульоне бактерии не развиваются. Таким, образом уже в XVIII веке в естествознании сформировались два течения - сторонники принципа Реди и сторонники так называемого абиогенеза.

Абиогенез - естественный путь химического превращения простых органических соединений в сложные с последующим возникновением из этих сложных молекул живых клеток. Сторонники абиогенеза утверждают, например, что жизнь и сейчас может возникать на Земле. Существующая форма жизни (например, микрофлора) сразу же уничтожает новую жизнь.

Длительная борьба идей, накопление новых научных данных и радикальное изменение во взглядах на многие казавшиеся ранее очевидными явления окружающего нас мира предстали перед человечеством в совершенно ином свете.

Интерес к происхождению жизни вспыхнул с новой силой в конце XIX - начале XX века. Принцип Реди был возрожден знаменитым шведским физикохимиком С. Аррениусом. В основе его работ лежало представление о вечном и повсеместном распространении зародышей жизни во Вселенной, которые могут время от времени попадать на небесные тела (планеты), где природные условия благоприятны для дальнейшей эволюции.

Аррениус назвал такой путь возникновения и развития жизни на планетах панспермией.

Но в этой гипотезе нет ответа на вопрос о генезисе самих зародышей. И в самом деле, мы собираемся разобраться в том, как может возникнуть живое из неживого. Вместо этого гипотеза Аррениуса уводит нас в сторону чистой биологии, предлагая решать вопрос, как из вируса или микроорганизма получился человек.

Без преувеличения можно сказать, что настоящий переворот во взглядах на происхождение живой материи произошел после появления работы А. Опарина.

В чем же заключалась новизна идей, выдвинутых в 1924 году молодым биохимиком? Небольшая книга, вышедшая в издании «Московского рабочего» и оказавшая столь сильное влияние на развитие современной науки, состоит из пяти частей.

Первые две части посвящены истории проблемы происхождения жизни.

В третьей главе «Мир живого и неживого» Опарин впервые высказывает мысль о том, что жизнь тесно связана и, более того, схожа с коллоидным и студнеобразным состоянием вещества. Именно это положение нашло затем дальнейшее развитие в изучении знаменитых коацерватных капель.

Здесь же Опарин вводит несколько критериев, отличающих живое от неживого: обмен веществ, воспроизведение себе подобных и раздражимость. В конце главы автор делает нетривиальный для его времени вывод, состоящий в том, что «жизнь характеризуется не какими-либо определенными свойствами, а особенной специфической комбинацией этих свойств».

Но основной вклад Опарина в науку о происхождении жизни сделан в двух последних разделах книги: «От разрозненных элементов к органическим соединениям» и «От органического вещества к живому существу». Именно в этих главах впервые была сделана попытка объяснить возникновение органических соединений на изначально «стерильной», безжизненной Земле естественным путем, например, при взаимодействии карбидов металлов с водой при высокой температуре поверхности ранней Земли.

Ясно, что эта конкретная схема Опарина претерпела за последующие десятилетия значительные изменения. Но сама идея непрерывного усложнения органических соединений, приведшего в конце концов к возникновению жизни, послужила основой современной науки о происхождении жизни. Эта идея получила название принципа непрерывности.

В последней главе Опарин предлагает считать первыми живыми организмами (с некоторыми оговорками) маленькие обособленные кусочки органического геля. Здесь также важна мысль о структурной и пространственной обособленности первых живых систем.

Проблемы передачи наследственной информации в работах Опарина затронуты не были.

Рассматривая первые работы, посвященные проблеме происхождения жизни, нельзя не упомянуть о знаменитом английском биохимике Д. Холдейне. Человек поразительного ума и широчайшего кругозора, блистательный полемист в 1929 году опубликовал коротенькую статью «Возникновение жизни». В этой статье, кстати говоря совершенно не понятой современниками (знаменитый английский кристаллофизик и философ Д. Бернал говорил о том, что ее читали, да и то в очень узких кругах, лишь благодаря обаянию личности Холдейна и красоте и ясности стиля изложения), ученый обрисовал все важнейшие аспекты проблемы происхождения жизни.

Холдейн впервые подчеркнул важность задачи переноса генетической информации при рассмотрении вопроса о происхождении жизни. Впервые также он указал на ультрафиолетовое излучение Солнца как источник образования органических соединений из атмосферных газов. С работой Опарина Холдейн не был знаком, и поэтому его также с полным основанием можно считать «крестным отцом» принципа непрерывности.

Десятки лет спустя после появления работ Опарина и Холдейна Бернал возродил идею Анаксимандра о роли ила, заметив, что на поверхности глин могут быстро идти процессы усложнения органических молекул. Новое - хорошо забытое старое, и сторонники абиогенеза получили в свои руки новую теорию, которая за 50 с лишним лет сильно расширила наши представления о возникновении жизни. Идею Опарина проверил опытным путем ученик известного американского ученого Г. Юри - С. Миллер. Он

пропустил электрическую искру через смесь аммиака, метана, водорода и паров воды и получил аминокислоты - основные строительные «блоки», из которых состоит белок.

Результаты Миллера были сенсационны. Десятки экспериментаторов лихорадочно начали варить опаринский бульон. Были получены органические кислоты, все 20 природных аминокислот, основания нуклеиновых кислот, наконец, коацерватные капли Опарина и протеиноидные микросферы - предшественники первых клеток. Казалось, еще один шаг, и в пробирке возникнет жизнь. Но этот шаг не был сделан. Более того, по нашему глубокому убеждению, он будет сделан не скоро.

В чем же дело? Ведь получены аминокислоты - строите белок. Есть нуклеиновые основания, фосфаты, сахара - делайте ДНК- Коацерваты и микросферы есть. Монтируйте все вместе и получайте жизнь. Дело оказалось гораздо более сложным.

27 лет назад Д. Уотсон и Ф. Крик открыли структуру ДНК. Затем Ф. Крик, М. Ниренберг и С. Очоа объяснили, как устроен генетический код. А потом выяснилась поразительная вещь: генетический код одинаков и у бактерии, и у дерева, и у человека. Универсальность кода означает, что в течение 3,5 миллиарда лет существования жизни на Земле основы генетического механизма, управляющего воспроизведением всех живых систем, остались неизменны.

Другими словами, 3,5 миллиарда лет назад на нашей планете уже существовали клетки, которые умели делать две вещи: во-первых, строить по заложенной в них генетической программе любую необходимую для них молекулу с заданными свойствами. Например, клетке нужно построить белковую молекулу, в которой жестко задана последовательность 100 аминокислот. Так вот, клетка, имея механизм кодового считывания, почти никогда не ошибается при создании этой молекулы. Если из этих аминокислот такую же белковую молекулу начнет делать химик-органик, порядок аминокислот в этой молекуле будет самый разный. Чтобы синтезировать один-единственный нужный вариант белка, химику не хватит времени существования Вселенной. Во-вторых, клетка способна размножаться, создавая свои точные копии.

Сегодня ученые, занимающиеся проблемой происхождения жизни, далеки от того, чтобы получить в пробирке (*in vitro*) из смеси простых молекул (например, аминокислот) биологический полимер с заранее заданными свойствами (белок). О том, чтобы создать искусственным путем клетку, содержащую генетический аппарат, пока приходится только мечтать. Более того, сейчас мы не в состоянии объяснить, каким образом произошел генетический код. Трудности на этом пути столь велики, что Ф. Крик и Л. Оргел вновь предложили ученым обратиться к теории панспермии. Они назвали свою гипотезу гипотезой «направленной панспермии», утверждая,

что все живое на Земле возникло от одного клона микроорганизмов, сознательно занесенного на нашу Землю высокоразвитой цивилизацией. Ясно, что эта гипотеза - развитие идей Аррениуса и принципа Реди.

Однако принцип Реди противоречит нынешним взглядам на происхождение Вселенной. Вспомним, что принцип Реди «живое из живого» неявно утверждает, что жизнь вечна. Теория абиогенеза постулирует, что живое происходит из неживого. Вот почему мне придется все время в этой книге идти «параллельными курсами»: следить за развитием неорганического мира и мира живого.

Жизнь не могла существовать на ранних стадиях развития мира. Поэтому вопрос о начале жизни на Земле, поставленный еще на рубеже XVIII и XIX веков, остается в силе и сейчас. А чтобы утверждение о несправедливости принципа Реди не выглядело слишком легковесным, вернемся к эволюции неорганического мира и посмотрим, как развивались наши представления о неживой природе.

Только в XVIII веке исследования строения Вселенной встали на экспериментальную основу. Это случилось вскоре после того, как девятнадцатилетний немецкий органист В. Гершель в 1757 году в поисках удачи переселился из Ганновера в Англию. Все свое свободное время, а он был «штатным» органистом Октагональной капеллы города Бат, Гершель отдал изучению астрономии и изготовлению телескопов. 13 марта 1781 года Гершель увидел в телескопе объект и подумал, что это «или любопытная туманная звезда, или комета». Позднее выяснилось, что это планета Уран.

Король Георг III пожаловал Гершелю звание придворного астронома и 200 фунтов стерлингов в год, что дало ему возможность оставить музыку и открыть впоследствии около 2500 туманностей и звездных скоплений. «Я проник в пространство глубже, чем какое-либо человеческое существо до меня; я наблюдал звезды, свет от которых, как можно доказать, идет два миллиона лет, прежде чем он достигнет Земли», - говорил Гершель. На надгробном памятнике отца современной астрономии высечена надпись: «Caelorum perrupit clausura» - «Он проник сквозь преграды небес».

Сегодня, спустя почти 200 лет после великого открытия Гершеля, мы знаем, что число звезд в нашей Галактике оценивается величиной, или сто миллиардов. Астрономы классифицируют звезды по температуре: горячие, голубые, называются звездами класса О, В, А менее горячие, желтые, звезды - F, G, красные звезды - K, M. Это так называемая Гарвардская классификация.

Английские студенты, чтобы особенно не напрягаться при запоминании порядка букв, обозначающих различные классы звезд, придумали мнемоническое правило: O, be a fine girl, kiss me. (Будь хорошей девочкой, поцелуй меня.)

Нетрудно видеть, что первые буквы слов в этой фразе (которую, по всей

видимости, каждый студент может произнести достаточно уверенно) соответствуют Гарвардской классификации.

Я завел разговор о звездах - этих огромных газовых шарах, раскаленных до миллионов градусов, потому что среди тысячи миллиардов звезд нашей Галактики в одном из ее спиральных рукавов есть желтая звезда класса G2 - Солнце. Ни по температуре, ни по размерам она не отличается от сотен тысяч других звезд этого класса. Солнце имеет несколько спутников, обращающихся вокруг него по эллиптическим орбитам. Эти спутники называются планетами.

Можно ли считать, что планетная система - большая редкость во Вселенной? Вряд ли. Исследования моделей образования планет, проведенные на электронно-вычислительных машинах в США, в Принстоне, и в СССР, в Институте прикладной математики, показали, что планетные системы должны быть обычным явлением в жизни Галактики.



Принцип Реди и большой взрыв-3

Современные астрономические средства наблюдения не позволяют увидеть планеты даже у самых близких к Солнцу звезд. Почему же мы акцентируем внимание читателя на планетных системах? Дело в том, что солнечная планетная система имеет одну удивительную особенность. На третьей от Солнца планете - Земле есть разумная жизнь, есть технологически развитая цивилизация.

Сегодня человечество не знает, одиноко ли оно во Вселенной, или, быть может, в эту минуту на расстоянии тысяч световых лет где-нибудь в глубинах

Космоса стартуют с неизвестной планеты звездолеты другой цивилизации. «Мы не одиноки во Вселенной», - говорит член-

корреспондент Академии наук СССР Н. Кардашев. «Жизнь - уникальное явление, мы одиноки», - утверждает его учитель член-корреспондент Академии наук СССР И. Шкловский.

Такие полярные точки зрения в науке не уникальны. Известно немало примеров ожесточенных споров между выдающимися умами человечества. Так, А. Эйнштейн не признавал многие положения квантовой механики и полемизировал по этому поводу с родоначальником нового направления в физике Н. Бором.

Великий Эйнштейн заблуждался. Квантовая теория - мощный инструмент современной физики, подкрепленный большим числом экспериментальных фактов. Но дискуссия с Бором стимулировала развитие теоретической физики.

А как же быть в нашем случае?

Ведь, прежде чем говорить об уникальности земной жизни или, наоборот, о внеземном разуме, необходимо попытаться понять, что такое жизнь, случайно или закономерно возникла она в нашей солнечной системе. Наконец, как она возникла?

В свое время известный астроном Х. Шепли, упоминая об ограниченности наших знаний, о Вселенной, сформулировал три основных вопроса, на которые человечеству предстоит дать ответ:

Что такое Вселенная?

Как она устроена?

Почему она существует?

Шепли говорил, что первый вопрос представляется самым простым и на него можно дать «бойкий», хотя и неполный, ответ. Относительно второго вопроса также можно кое-что сказать. А вот в ответ на третий «...мы можем лишь воскликнуть: один бог знает!».

Поставим те же вопросы применительно к жизни и сразу же увидим, что не можем дать полного ответа ни на один из них.

Что такое жизнь?

Как она устроена?

Почему она существует (как она возникла)?

Интерес к проблеме жизни в целом настолько велик, что он привлекал и привлекает внимание самых выдающихся мыслителей. Напомним, что в той или иной мере этой проблемой были увлечены Аристотель и Платон, Эйнштейн и Бор, Крик и Бернал и многие другие выдающиеся ученые. По

всей видимости, для человечества не существует более значительной проблемы, чем проблема возникновения и функционирования живой материи.

Но прежде чем перейти к подробному анализу идей и гипотез о происхождении жизни, необходимо ознакомиться хотя бы вкратце с современными представлениями об эволюции звезд и планет. Ведь бессмысленно строить схемы возникновения жизни в отрыве от конкретных физических условий. Кроме того, как мы видели, даже сейчас высказываются мысли о вечном существовании жизни во Вселенной. Подобная платформа вообще снимает проблему происхождения жизни с повестки дня, переводя ее в сферу теологии. Поэтому полезно совершить короткую экскурсию всего на 15 миллиардов лет назад и взглянуть на рождение нашего мира, или, как его назвал знаменитый английский астроном Д. Джинс, Великой Вселенной.

Итак, 15 миллиардов лет назад произошел Большой Взрыв - родилась Вселенная.

Общепринята сегодня теория горячей Вселенной. Эта теория утверждает, что на самом раннем этапе была космическая протокапля, состоявшая из фотонов, протонов, электронов и нейтрино. Она была сжата до чудовищных плотностей. Некоторые ученые считают, что плотность первичной капли достигала величины 10^9 граммов в кубическом сантиметре. Тогда радиус Вселенной в начальный момент был всего... 1 см. Но ведь известно, что приблизительно таков радиус электрона!

При подобных плотностях и линейных размерах обычные понятия и законы физики, в том числе и общая теория относительности, полностью неприменимы. Естественно, что ни о какой жизни не может идти речи. Понятие «время» также лишено смысла.

Если вести отсчеты от момента Взрыва, то уже через 0,01 секунды температура капли составляла приблизительно тысячу миллиардов градусов. Ни на Земле, ни на Солнце мы не можем даже представить себе подобных температур. Через 30 секунд температура снизилась «всего» до нескольких миллиардов градусов, и началось образование гелия. Конечно, говорить о какой-либо жизни при подобных температурах бессмысленно, да и где она могла существовать? Ведь тогда не было даже звезд (не говоря уже о планетах), а из элементов существовали только водород и гелий.

Поэтому забудем пока о Большом Взрыве и посмотрим на наш молодой мир, когда после Взрыва прошел приблизительно миллиард лет. Если считать по человеческим меркам, Вселенная была годовалого возраста. За этот промежуток времени от чудовищной протокапли не осталось и следа. Горячий мир стал остывать. Появились пылевые облака. Часть этих облаков сжималась, начали вспыхивать звезды. В них происходили сложные процессы синтеза элементов.

Но где же в Космосе те места, те объекты, на которых могла возникнуть

жизнь? Мы знаем, что есть звезды, есть газопылевые облака, планеты, метеориты, кометы.' Кому же из них отдать предпочтение?

Где и из чего зарождается жизнь?

За последние несколько лет при исследовании радиоастрономическими методами газопылевых облаков в Галактике в них было обнаружено несколько типов органических соединений. Особенно отметим синильную кислоту, формальдегид, метиламин, спирты. (Все эти простые молекулы - ключевые исходные продукты для синтеза более сложных соединений, абсолютно необходимых для жизни, например, аминокислот - строительных блоков белка.) Такое открытие тем более удивительно, что раньше в газопылевых облаках предполагалось лишь присутствие водорода и некоторого числа двухатомных соединений. Поскольку эти облака (или их фрагменты) отождествляются как районы зарождения звезд и планетных систем, то подобные результаты наблюдений представляют исключительный интерес.

После открытия органических молекул в газопылевых облаках межзвездные пылинки, на которых могут концентрироваться эти молекулы, стали называть семенами жизни. Совсем недавно знаменитый английский астрофизик Ф. Хойл выдвинул идею о том, что в глубинах Космоса жизнь может зарождаться именно на межзвездных пылинках. Более того, Ф. Хойл и его соавтор Н. Викрамсингх связывают эпидемии гриппа на Земле с внесением возбудителей этой инфекции из Космоса. Правда, Хойл деликатно обходит вопрос о том, как возникает жизнь на межзвездных пылинках.

Еще раньше высказывались мысли о том, что жизнь способна развиваться на кометах и астероидах. Но посмотрим, может ли действительно возникнуть жизнь в результате химических процессов в холодных газопылевых облаках?

Сравнительно простые молекулы, такие, как формальдегид и синильная кислота, там есть. Они возникают из льдов простых газов, таких, как пары воды, метан, аммиак, на поверхности пылинок. Что же потом?

Реакции образования более сложных полимеров идут при низких температурах очень медленно. Кроме того, из-за очень низкой температуры на пылинках нет жидкой воды, которая необходима для всего живого. Да и межзвездные пылинки очень малы, меньше микрона, даже нормальная бактериальная клетка больше. Нет, для жизни нужен комфорт, а здесь и холодно и «тесно».



Где и из чего зарождается жизнь

В метеоритах находят уже более сложные соединения углерода - аминокислоты. Казалось бы, всего один шаг до живого. Но нет. Метеориты тоже своего рода эволюционный тупик, поскольку у них нет ни гидросферы (хотя немного воды в химически связанном виде все-таки есть), ни атмосферы. Что же тогда остается? Только планеты?

Только планеты.

Попробуем разобраться почему. Для этого нам придется посмотреть, какие природные факторы критична для жизни. Естественно, сначала мы будем пока говорить о том, что ближе: о нашей, земной, жизни.

Хорошо известно, что так называемые термофильные, (теплолюбивые) формы микроорганизмов существуют в горячих вулканических источниках, температура которых достигает в некоторых случаях 95-98 градусов Цельсия. Механизмы, которые устраняют повреждения в клетках и повышают их устойчивость к высокой температуре, до конца непонятны, да у нас с вами нет необходимости вдаваться в детальный анализ биохимии термофилов. Ясно, что эволюция выработала защитные механизмы. Однако верхний температурный предел жизнедеятельности организмов, безусловно, есть, и мы не допустим серьезной ошибки, если установим его около 100 градусов Цельсия.

В том случае, если жизнь уже существует, нижняя температурная граница не столь критична. Однако мы акцентируем свое внимание на проблеме зарождения жизни, и нам необходимо учитывать скорости химических реакций. Поскольку большинство реакций проходит в жидкой фазе, то для

нормальной жизнедеятельности автоматически получается и нижняя температурная граница около 0 градусов по шкале Цельсия.

Итак, для зарождения жизни мы получаем довольно узкий температурный интервал, всего около 100 градусов. Причем важно, что стабильность температур должна сохраняться очень долгое время без заметных перепадов.

Где же могут быть такие условия? Только на планетах, имеющих атмосферу. Именно атмосфера - фактор планетарного масштаба, исключающий резкие температурные перепады. Например, на Луне, лишенной воздуха, перепады температуры ночью и днем велики: от + 110 до -120, более двухсот градусов, а на Венере и Земле они незначительны.

Поскольку именно в атмосфере, гидросфере и на поверхности раздела фаз происходит синтез органических молекул, то вполне понятно, что для прохождения реакций синтеза на планетах должны быть какие-нибудь источники энергии.

Итак, планеты, да еще планеты с атмосферами. Кстати, атмосфера выполняет еще одну очень важную функцию: она защищает хрупкие органические молекулы от разрушительного действия ультрафиолетового излучения родительской звезды. Например, у нас на Земле жизнь вряд ли была бы возможна, если бы в атмосфере не было озонового экрана. Именно этот экран задерживает наиболее опасную часть излучения Солнца.

Условимся называть планеты, где жизнь типа земной в принципе может существовать, «зелеными планетами». На таких планетах должна быть атмосфера, гидросфера и довольно комфортная мягкая погода. Но как долго все это должно существовать? Тысячу, миллион, миллиард лет?

Возраст Земли - около 4,5 миллиарда лет, и палеонтологи утверждают, что 3,5 миллиарда лет тому назад на Земле уже была жизнь. А сколько живут звезды? Ведь известно, что некоторые из них взрываются. Это так называемые новые и сверхновые звезды. Ясно, что, если звезда взорвется, около нее не останется ничего живого. Существует общее правило в астрофизике: чем звезда горячее, тем меньше срок ее жизни. Поэтому «зеленые планеты» могут быть только около долгоживущих не очень горячих звезд, и тогда в сфере нашего рассмотрения останутся лишь звезды с временем жизни не менее миллиарда лет, то есть звезды спектральных классов F, G, K, M.

Здесь, однако, существенным фактором является тепловой поток, достигающий поверхности планеты, поскольку все мы не любим, когда слишком холодно. Например, энергия излучения М-карлика составляет лишь около 5 процентов энергии звезды типа Солнца. Но если планета в системе М-карлика находится недалеко от звезды, там будут вполне комфортные условия для жизни.

Эволюция органических соединений может достигать высокого уровня лишь на планетах. Действительно, в газопылевых образованиях концентрации

вещества слишком низки, около 1 атома в кубическом сантиметре, чтобы с эффективностью шли реакции образования биополимеров. Нельзя, правда, исключить возможность синтеза простых аминокислот и в газопылевых облаках, и в атмосферах инфракрасных звезд. Что касается комет, то в лабораторных условиях, воспроизводящих «кометную» обстановку, ученые продемонстрировали возможность образования достаточно сложных органических молекул,

а в метеоритах аминокислоты содержатся в заметных количествах. Тем не менее для всех процессов усложне-1Я необходимы достаточно высокие концентрации материала, и именно поэтому все перечисленные объекты являются своего рода эволюционными туниками. Итак все-таки планеты.



Где и из чего зарождается жизнь-2

Сколько же «зеленых планет» в нашей Галактике?

Если считать, что системы типа нашей солнечной¹ не исключение, тогда только в нашей Галактике планет, пригодных для жизни, может быть более миллиона.

А могут ли быть планеты без звезд? В принципе да. На таких планетах за счет их внутреннего тепла тоже могла бы существовать жизнь, аналогичная простейшим формам нашей земной жизни, например, бактерии.

«Но почему автор все время толкует нам только о земной жизни? - спросит наиболее нетерпеливый читатель. - Что за антропоцентризм, что за узость

подхода? Это же самый настоящий водно-углеродный шовинизм».

Да. Именно так. Нам необходимо тщательно разобраться с этим непростым вопросом, поскольку от его решения зависит слишком многое.

Лет десять назад астрофизик Ф. Хойл опубликовал научно-фантастический роман «Черное облако» о контакте жителей Земли с высшим космическим разумом. Но задача нашей книги другая. Мы не будем строить спекулятивные схемы экзотических форм жизни, начиная от космического сверхорганизма Хойла и кончая излюбленной в научно-фантастической литературе кремниевой жизнью; мы будем стоять на несколько другой позиции и строить гипотезы, основанные на научных фактах.

Так почему же все-таки углерод и вода составляют основу жизни?

Еще в 1913 году биохимик из Гарвардского университета, Л. Гендерсон, издал книгу «Пригодность окружающей среды». Автор пришел к выводу, что все живое должно состоять из воды и углерода, поскольку сам Л. Гендерсон состоит из воды и углерода. Аргумент, конечно, сильный, но попробуем посмотреть на эту задачу более серьезно.

Все известные на Земле живые организмы, а также ископаемые формы жизни в определенном смысле химически одинаковы: белки, нуклеиновые кислоты, жиры, сахара и ряд других биологически важных молекул, построенных из ограниченного круга элементов. Это так называемые абсолютные органогены, среди которых Центральное место занимает углерод. В число абсолютных органогенов входят также кислород, азот, фосфор, водород, сера, калий, кальций и магний.

Все химические реакции в клетках идут в водном растворе, причем именно в воде реализуются тысячи биохимических процессов, поддерживающих жизнедеятельность организма.

Но почему же именно углерод и вода играют столь уникальную роль в химии живого? Быть может, на Земле существовали другие формы жизни, построенные на иной химической основе, которые впоследствии были уничтожены углеродной жизнью? Возможны ли в принципе «другие химии» жизни? Эти вопросы имеют философское и научное значение.

Модели живых систем, основанных не на водно-углеродной основе, разрабатывались в последнее время довольно широко. В первую очередь здесь нужно отметить жизнь на основе аммиака, кремния и галогенов. Мы сначала изложим основные принципы этих псевдожизней, а затем проанализируем соотношения между гипотетическими живыми системами и углеродными формами жизни.

Обычно в качестве возможного заменителя углерода рассматривается кремний. Действительно, между этими двумя элементами очень много общего. В периодической системе элементов они находятся в одной группе,

обладают одинаковой валентностью. Поэтому «кремниевая жизнь» обсуждается весьма часто не только в научно-фантастической литературе, но и на страницах научной печати.

По поводу возможности существования жизни, основанной на кремнии, существуют полярные точки зрения. Так, например, английский астроном-любитель В. Фирсов в своей книге «Жизнь вне Земли» утверждает, что кремниевая жизнь может быть широко представлена во Вселенной.

Тем не менее сходство кремния и углерода не дает достаточных оснований для построения гипотетических живых систем, содержащих в качестве основного звена кремний. Против кремниевой жизни можно выдвинуть ряд серьезных аргументов.

Американский химик Д. Уолд в своей превосходной работе «Почему живое вещество базируется на элементах второго и третьего периодов периодической системы» обращает внимание на то, что связь между атомами кремния (мы будем их называть в дальнейшем кремний, кремниевые связи) неустойчива в присутствии воды, аммиака или кислорода. Это очень сильное возражение против кремниевой жизни.

Кларк, или относительная распространенность кремния в земной коре, почти на два порядка выше кларка углерода. Тем не менее кремний не играет практически никакой роли в биохимии живого. Казалось, для природы было бы гораздо легче сконструировать жизнь на основе более доступного элемента. Однако в этом случае природа не пошла по принципу экономии, и у нее были веские причины. Кремний обладает рядом характерных химических свойств, которые делают его совершенно непригодным для построения сложных биологических молекул, работающих в клетке.

Так, все соединения кремния с водородом неустойчивы при нормальных температурах, и, наоборот, соединения, построенные на основе связей кремний - кислород (это просто хорошо всем известный песок), весьма устойчивы в термическом отношении до очень высоких температур.

Заметим также, что в настоящее время неизвестны кремнийорганические соединения, являющиеся аналогами молекул, содержащих углерод, кислород и водород: альдегидов, кетонов, карбоновых кислот, сложных эфиров и аминов. Это обусловлено неспособностью кремния образовывать двойные и тройные связи, столь характерные для органической химии; поэтому кремний образует жесткие полимеры с кремний-кислородными связями.

Вышеперечисленные свойства кремния {а также аргументы, приведенные Уолдом) делают весьма маловероятным использование такого элемента в качестве основы для построения жизни. Правда, американский химик из Беркли, Г. Пиментел, считает, что при низких температурах кремниевая «псевдожизнь» может развиваться более успешно, чем углеродная. Однако требуются неводные растворители, а это обстоятельство снова уводит нас в

сферу спекуляций. Фирсов предлагает в качестве возможных замен воды как универсального растворителя на сульфиды фосфора и такое абсолютно неизученное соединение, как H_3PS_4 -серный аналог ортофосфорной кислоты, получающийся из фосфористого водорода и H_2S . Мне кажется, что это все маловероятно в силу некоторых общих соображений астрофизического плана. Ведь вода - одно из самых распространенных соединений в Космосе.

Рассмотрим теперь модель так называемой «жидко-аммиачной жизни», которая также довольно часто предлагается как возможная форма существования внеземных живых систем.

Гипотетическая аммиачная биохимия, или, как ее еще называют, химия Франклина, получается простой заменой кислорода в органической молекуле на имино-группу ($=NH$). Сера в соединении остается или также замещается на азот, а вместо воды в качестве универсального растворителя используется аммиак.



Где и из чего зарождается жизнь-3

Рассмотрим некоторые свойства аммиака подробнее.

При нормальном давлении аммиак существует как жидкость в очень узком интервале температур от $-77,7$ до $-33,4$ градуса Цельсия. Критической температуре $+132,4$ градуса, то есть температуре, выше которой нельзя получить аммиак в виде жидкости, соответствует давление 120 атмосфер. Скрытые теплоты у аммиака равны 332 калориям на грамм для парообразования и 84 калориям на грамм для плавления. По этим параметрам

аммиак похож на воду.

Авторы моделей «аммиачной жизни» утверждают, что в полностью безводных условиях аммиачные формы белков будут действовать как ферменты-катализаторы столь же хорошо, как и в обычных водных средах. Это предположение выглядит сомнительно, так как скорее всего в жидком аммиаке белки-ферменты из-за изменения их структуры не смогут «работать». Кроме того, если исходить из требования нормальных скоростей химических реакций, необходимо сильно повысить точку кипения аммиака (скажем, до 100 градусов), что соответствует более высоким давлениям около 60 атмосфер.

Очень трудно представить себе, что при выбранных значениях давления и температуры могут где-либо существовать полностью безводные условия. Но как только мы переходим к водным растворам аммиака, аммиачные аналоги белков оказываются в сильно щелочной среде и перестают работать как ферменты.

Для регулировки деятельности клеточных мембран в аммиачной химии предлагаются такие экзотические соединения, как хлористый цезий или хлористый рубидий. Из-за малой космической распространенности цезия и рубидия подобная схема может представлять интерес только для умозрительных построений.

Таким образом, «аммиачная жизнь» с точки зрения общих физико-химических соображений кажется весьма маловероятной.

Еще более экзотичные варианты связаны с использованием галогенов вместо водорода (галоген-углеродная форма). В этом случае используется хлор или фтор, так как атомы брома и йода имеют слишком большие размеры.

Каковы же должны быть условия на планете, богатой галогенами? Атмосфера на такой планете должна содержать большие количества фтора и хлора, а гидросфера может состоять из соляной или плавиковой кислоты. Не говоря уже о том, что все минералы неустойчивы в присутствии плавиковой кислоты, возникновение подобных систем исключено в силу одного простого соображения. Жизнь существует на Земле на поверхности очень тонкого (по сравнению с радиусом Земли) слоя - земной коры. Казалось бы, химический состав живых систем должен быть хоть в какой-то степени похож на химический состав экологической ниши обитания - коры. Но нет. По своему химическому составу живое вещество гораздо ближе ко Вселенной, чем к земной коре. Это обстоятельство служит косвенным доказательством принципа универсальности построения живых систем в различных участках Вселенной.

По всей видимости, именно абсолютные органогены способны в процессе эволюции образовывать живые системы. Концентрации хлора и фтора во Вселенной исключительно малы по отношению к водороду (одна

десятиллионная и одна стомиллионная доля соответственно) . Вот почему подобные модели выглядят весьма неубедительно. Непонятно, зачем и где будет происходить замена водорода на галогены?

Хорошо известно, что именно водород является основным элементом Вселенной. И поэтому, рассматривая нормальные содержания элементов во Вселенной, мы приходим к идее водно-углеродного шовинизма.

Следует подчеркнуть, что формальные замены углерода на кремний, водорода на галогены и так далее малопродуктивны в плане построения некой новой химии жизни. Мы, по-видимому, никогда не сумеем подобрать элемента, способного лучше углерода образовывать макромолекулы, и растворителя более универсального, чем вода. Кроме того, абсолютные органические элементы являются наиболее «доступными» элементами в Космосе.

Бесспорно, нельзя полностью исключить химические флуктуации во Вселенной, и теория подсказывает нам такие возможности. Однако наблюдательные данные астрономии (я имею в виду органические молекулы в Космосе) служат серьезной поддержкой того положения, что если где-либо еще, кроме Земли, во Вселенной и существует жизнь, то в основе ее должна лежать химия углерода.

А это значит, что жизнь-то во Вселенной должна быть похожей в целом на нашу. Это очень серьезный вывод, и сделан он в достаточно категоричной форме, хотя в предыдущей фразе я не употреблял слов «обязательно» и «только». Но ведь он сделан после довольно тщательного анализа, с использованием арсенала современной физики и химии. И этот вывод не накладывает никаких ограничений на возможность существования форм жизни, внешне отличающихся от земной.

Ведь даже с чисто философских позиций трудно считать, что наша форма жизни уникальна. Во Вселенной нет уникальных явлений и объектов. Об этом говорилось на Бюраканской конференции. Еще раньше эту мысль высказывали древние философы.

Ну а как же знаменитые киборги - синтез машины и разума - или уже упоминавшееся плазменное облако Ф. Хойла?

К сожалению, законы физики исключают возможность стабильного существования таких плазменных образований.

Но не будем все-таки слишком категоричны, оставим хоть немного места для фантазии и чуть-чуть помечтаем... Ведь человечество молодо, и то, о чем мы сейчас говорим, отражает лишь сегодняшний уровень знания. А разве возьмется кто-либо утверждать, что все познано человеком?

Поэтому «...превращение (людей. - Л. М.) в кибернетические существа сулит ряд преимуществ. Человек сентиментально привязан к своей биологической оболочке, и большинство культурно-консервативных людей не захотят

расстаться со своим телом, имеющим ряд различных, хорошо известных преимуществ. Но будут и другие, которых привлечет возможность некоторых усовершенствований, например, бессмертие, колоссальный разум...».

Что это - отрывок из научно-фантастического романа? Очень похоже на А. Азимова, не правда ли?!

Но нет. Это высказывание его близкого друга, крупнейшего математика М. Минского, который считает, что создание искусственного разума, а следом за ним и киборгов - дело вполне реальное уже для XX столетия. Один из аспирантов Минского построил машину, которая стоит никак не ниже уровня развития ребенка. Она (машина) умеет общаться с людьми, причем весьма своеобразно. В программу этой машины заложены понятия маленького механического мира: идея, что одно твердое тело может опираться на другое, нечто может находиться в ящике справа, слева, есть шары, кубы и т. д. Машина обсуждает с человеком этот мир.

Человек через печатающее устройство спрашивает:

- Что находится в этом ящике?

Машина, живущая в мире игрушек, отвечает:

- Синяя пирамида и синий куб.

- Сколько кирпичиков недостает в ящике?

- Четырех, - говорит машина.

- А есть ли среди них хотя бы один, более узкий, чем тот, который я просил тебя подобрать?

- Да, красный куб.

Подслушав этот разговор, любой человек сказал бы, что беседует отец с ребенком.

- Есть ли в ящике шпиль? - продолжает спрашивать машину человек.

- Но я не знаю, что это такое, - отвечает машина. Человек объясняет ей, и после этого просит машину

построить шпиль, и машина своими механическими руками строит его.

Все это произошло в 1970 году в Массачусетском технологическом институте.

А что может случиться через 50-100 лет?

Вполне возможно путешествие во времени. Для этого всего-навсего нужно найти электрически заряженную «черную дыру». Условия полета могут оказаться приемлемыми. За короткое время расширения «белой дыры» наблюдатель на космическом корабле увидит все прошлое нашей Вселенной и все будущее во время погружения в глубь «черной дыры».

«Опять фантастика», - скажет читатель. Да нет же. Это серьезнейшая работа блестящего советского астрофизика Н. Кардашева, который твердо уверен, что жизнь существует в загадочных квазарах в центре нашей Галактики.

Но неужели и там вода и углерод?

Очень может быть. Температура некоторых участков этого объекта близка к нашим комнатным, и углеродная жизнь в принципе могла бы там существовать, если бы не чудовищные потоки жесткого рентгеновского излучения.

А что, если жизнь приспособится когда-нибудь к такому излучению?

Все может быть... Может быть, когда-нибудь, когда Солнце станет слишком горячим, мы с вами будем вынуждены переселиться на квазары или другие планетные системы. Быть может, мы полетим в будущее или установим связь с таинственными фридмопами - замкнутыми мирами, имеющими для внешнего наблюдателя массу и заряд элементарных частиц. Пусть это фантастика, но это не лженаука.

Ясно одно: для того чтобы все это осуществить, необходимо настойчиво и кропотливо вести диалог с окружающей нас природой.

Конечно, из всех вариантов, предложенных мною, переселение на другие планетные системы выглядит наиболее простым делом (по сравнению, к примеру, с путешествием в будущее). Но даже для обсуждения подобной возможности мы должны быть уверены, что другие планетные системы существуют. Чуть выше говорилось о планетных системах около различных звезд почти как о доказанном факте. Но это не так. Наблюдательные данные, как говорят астрономы, о других планетных системах отсутствуют, и, поскольку наша книга называется «Планеты и жизнь», нам надо очень внимательно разобраться как возникают планеты, как на некоторых из них образуется тонкая газовая оболочка, называемая атмосферой, как получают океаны и что же, наконец, происходило на Земле 4 миллиарда лет назад, когда она была безжизненной.

Рождение планет

В древности были известны пять планет: Меркурий, Венера, Марс, Юпитер и Сатурн. Платон полагал, что все светила находятся на сферах, расположенных вокруг Земли. На ближайшей сфере - Луна, далее Солнце, еще дальше остальные планеты и потом звезды. Уже в те далекие времена многие философы считали, что Луна светит отраженным светом Солнца, в то время как Солнце являет собой «чистейший огонь». Заметим, что современник царя Ксеркса греческий философ Анаксагор был уверен, что на Луне есть дома, холмы, долины. По крайней мере, в отношении холмов и долин Анаксагор не ошибся.

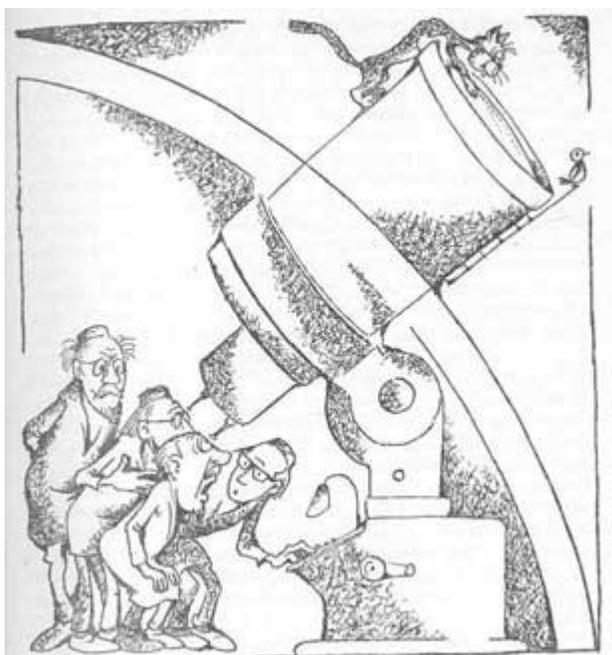
В течение последних двухсот лет были открыты еще три наиболее удаленные от Земли планеты - Уран (1781 год), Нептун (1846 год) и Плутон (1930 год). Плутон настолько далек от Земли, что луч света или радиосигнал идет до него около пяти часов.

Таким образом, солнечное семейство планет состоит из родительского светила и девяти потомков - планет. Возникает естественный вопрос. Как образовалась эта стройная система небесных тел? Когда она возникла? Что будет с ней в дальнейшем? Есть ли еще в нашей Галактике подобные системы?

Следует подчеркнуть, что в солнечной системе слишком много закономерных процессов, чтобы она могла возникнуть чисто случайным образом. Каковы же эти закономерности?

Прежде всего планеты, включая астероиды, обращаются вокруг Солнца в одном и том же направлении, а их орбиты лежат почти в одной плоскости, которая называется плоскостью эклиптики. Форма орбит близка к круговой. Более того, плоскости планетных орбит почти полностью совпадают с плоскостью экватора Солнца, которое, в свою очередь, вращается вокруг своей оси в том же направлении, что и планеты.

Это несколько упрощенная, но в целом верная картина солнечной планетной системы. Наука, которая занимается объяснением ее закономерностей, называется планетной космогонией, а вопрос, как могла возникнуть система, подобная солнечной, составляет главную, самую трудную и вдобавок к этому нерешенную проблему космогонии.



Рождение планет

По-видимому, одна из самых старых гипотез о возникновении солнечной системы была выдвинута шведским ученым и богословом Э. Сведенборгом и развита знаменитым немецким философом И. Кантом в его очерке «Общая естественная история неба или теория устройства мироздания», который был опубликован в 1755 году.

Следуя идеям Сведенборга, Кант предположил, что До образования планет и Солнца существовала огромная рассеянная туманность (у астрономов принято говорить диффузная туманность). Эта туманность обязательно должна была вращаться, чтобы из нее могло возникнуть центральное тело - Солнце и планеты. Конечно, прав был «сторонник» движения Диоген и ошибался Платон, утверждавший, что движения нет.

Кант не сумел правильно объяснить причину вращения первичной туманности. Он предполагал, что сначала туманность была неподвижной, а движение ее возникло на местных «локальных» вращениях. Но если по какой-то причине и появлялись местные вращения, то половина их должна была быть направлена в одну сторону, например, по часовой стрелке, а половина - в другую. Поэтому местные вращения никогда не могли послужить причиной возникновения общего вращения туманности.

Через 40 лет после выхода в свет очерка Канта великий французский математик П. Лаплас в дополнении к «Изложению системы мира» ввел принципиальное предположение о том, что первичная туманность с самого начала медленно вращалась. Знаменитая книга Лапласа вышла в 1796 году.

Лаплас считал, что туманность была изначально горячей. По мере

охлаждения она сжималась, а скорости ее вращения росла. С увеличением скорости вращения возрастали центробежные силы на экваторе туманности, что в конце концов привело к расслоению на кольца. Из колец впоследствии образовались планеты и спутники.

Такова в самых общих чертах гипотеза Канта - Лапласа. Эта схема хорошо объясняла, почему все планеты движутся в одном направлении и в одной плоскости. Вот поэтому в течение долгого времени теория Канта - Лапласа было общепринятой.

Однако эта стройная теория имела свои слабые стороны, которые отчетливо проявились к середине XIX века. В 1859 году Максвелл математически доказал, что превращение кольца в планету невозможно. Дополнительно к этому оказалось, что Солнце и планеты по схеме Канта - Лапласа должны вращаться совсем не так как это происходит в действительности.

Здесь речь идет о так называемом угловом момента вращающегося тела, который определяет полное количество вращательного движения. Оказалось, что Солнце обладает лишь 2 процентами от общего углового момента солнечной системы, а около 98 процентов приходится на долю планет-гигантов.

Почему львиная доля углового момента приходится именно на планеты, хотя их общая масса составляет около 0,001 массы Солнца? С этой задачей теория Канта - Лапласа справиться не могла.

Естественно, что ученые стали искать другие возможные пути возникновения нашей солнечной системы. Появились идеи о так называемом катастрофическом образовании солнечной системы (здесь намеренно дается достаточно подробный исторический материал, чтобы читателю яснее стала грандиозная сложность проблемы образования солнечной системы).

Итак, гипотезы, связанные с катастрофой. Предположим, что миллиарды лет назад какая-то массивная звезда прошла сравнительно недалеко от молодого Солнца. Что же могло произойти во время такого сближения?

Подобно океанским приливам, происходящим в системе Земля - Луна, приближение массивной звезды вызывало грандиозные приливы в огненной атмосфере Солнца. Высота этих приливов достигала многих тысяч километров. И, наконец, в точке максимального сближения произошла великая космическая катастрофа. Огромный поток вещества вырвался из Солнца и образовал сигарообразную нить раскаленного газа, которая впоследствии распалась на капли, подобно тому как облако пара, остывая, образует отдельные капли воды. Конечно, некоторая часть потока могла быть захвачена проходящей звездой, но часть вещества осталась в сфере гравитационного воздействия Солнца, и именно из этой части и образовались планеты.

Теорию катастроф обычно связывают с именем знаменитого английского

астронома Д. Джинса, однако еще раньше профессор Т. Чемберлин выдвинул планетезимальную гипотезу, согласно которой крупные сгустки вещества выбрасывались во время извержений с поверхности Солнца, усиливающихся при сближении с другой звездой.

Выброшенное из Солнца вещество быстро остывало. Из него возникало большое число отдельных тел, планетезималей, двигающихся независимо друг от друга по самостоятельным орбитам вокруг Солнца. Затем при столкновениях этих тел возникали зародыши планет, еще более крупные тела, которые притягивали к себе другие планетезимали, и в конце концов образовались планеты.

Таковы в двух словах основные идеи, заложенные в теорию катастроф.

Но и здесь ученым пришлось столкнуться с фатальными препятствиями. Объяснить существующее в солнечной системе распределение углового момента можно, лишь предположив, что Солнце и звезда не прошли рядом, на расстоянии двух-трех миллионов километре друг от друга, а столкнулись! Возможно ли это?

В принципе да. Но вероятность такого события ничтожна. И тогда, если мы будем стоять на позиции теории катастроф, наша солнечная система представляет редчайшее исключение во Вселенной.

Сэр Д. Джинс вычислил вероятность столкновения одной звезды с другой и нашел, что каждая звезда «имеет право» на столкновение один раз за $6 \cdot 10^{17}$ лет, а возраст Вселенной «всего» около 10^{10} лет.

Эти цифры, конечно, сильный, но не решающий аргумент против теории катастроф. Вряд ли позиция, согласно которой маловероятное явление исключается из сферы рассмотрения, логична. Либо мы должны найти более приемлемое и правдоподобное объяснение какому-либо событию, либо любая, даже крайне невероятная гипотеза имеет право на существование и должна играть роль рабочей модели.

К счастью, появились более реалистичные гипотезы образования солнечной системы, чем теория извержений. Это обстоятельство вселяет в нас надежду, что планетные системы не столь редкое, как это следовало из теории катастроф, явление во Вселенной.

Начало новому направлению в планетной космогонии было положено исследованиями советских ученых и в особенности работами школы академика О. Шмидта. Значительный вклад в новую теорию был внесен также известным шведским физиком Г. Альвеном и английским астрофизиком Ф. Хойлом, о котором говорилось выше связи с гипотезой о космических эпидемиях.

В известной мере новые теории явились возвращением к схеме Канта - Лапласа. Но если теория Канта - Лапласа основывалась главным образом на

законах механики, то новые теории впитали в себя все современные достижения астрофизики и электродинамики, что в конечном результате дало возможность устранить классический парадокс, связанный с распределением углового момента в солнечной системе.



Рождение планет-2

Но мне в очередной раз придется огорчить читателя. Даже сегодня существует как минимум пять более или менее «равноправных» теорий (заметим, именно теорий) происхождения солнечной системы.

Поэтому будет полезным в ущерб строгости попытаться дать некоторую общую «синтетическую» картину образования Солнца и планет. Конечно, такой подход допускает определенный произвол (что, впрочем, в известной мере отражает состояние- проблемы). Однако для нас важно иметь общую картину развития неорганического и органического мира. Поэтому мы перейдем к основным этапам истории Солнца и планет, как сегодня представляет себе этот процесс большинство ученых.

Мы вернемся на пять миллиардов лет назад и смотрим, что же происходило с вращающейся шаровой туманностью. Правда, в отличие от горячей туманности Канта и Лапласа, наша туманность холодная.

При вращении туманность постепенно сплющивалась и превращалась в диск с шарообразным утолщением центра.

В начальную эпоху и температура и плотность вещества в туманности были очень низки, но с течением времени плотность ее центральной части увеличивалась пока в середине диска не зажглось молодое Солнце - протосолнце. Размер первичной туманности был порядка нескольких световых лет.

Необходимо обратить внимание на одно очень важное обстоятельство: по всей видимости, молодое Солнце имело собственное магнитное поле. Если силовые линии этого поля проходили через диск, то обязательно должна была существовать электромагнитная связь между протосолнцем и диском.

Именно в результате этой связи движение протозвезды будет тормозиться, а диск начнет медленно удаляться от ее поверхности. Именно таким образом вещество диска, которое впоследствии превратится в планеты, и уносится от Солнца львиную долю вращательного момента.

Так новая теория (ее разработал Хойл) успешно разрешила казавшуюся несколько десятилетий назад непреодолимой трудностью старых гипотез.

Предполагается, что весь этот процесс начался 4,5-5 миллиардов лет назад. Молодое Солнце было тогда гораздо больше, чем сейчас. Оно постепенно сжималось под действием собственного гравитационного поля, и, когда радиус протосолнца стал равным приблизительно 10 сегодняшним, внутренняя температура повысилась настолько, что начались ядерные реакции сгорания дейтерия.

Несколько раньше, еще до ядерных реакций, на начальных стадиях сжатия наступает резкое увеличение температуры и светимости Солнца. Температура наружных слоев протозвезды достигает 50 тысяч градусов, светимость увеличивается, в 400 раз.

Все эти процессы описываются изящными уравнениями, но интереснее то обстоятельство, что они находят свое подтверждение и в наблюдательных астрономических фактах. Сейчас в окрестностях туманности Ориона видно резкое увеличение светимости протозвезды. Звезды находящиеся в такой стадии развития, принято называть звездами типа Т Тельца.

После стадии Т Тельца светимость протосолнца уменьшилась, и Солнце, как говорят астрофизики, вступило на главную последовательность, то есть стало стабильной звездой, а вернее, почти стабильной. Светимость Солнца в это время составляла около 60 процентов от современной. За счет выгорания ядерного топлива и почти незаметного сжатия светимость Солнца все время увеличивалась.

Все эти факты имеют очень большое значение для правильного понимания проблемы происхождения жизни на Земле.

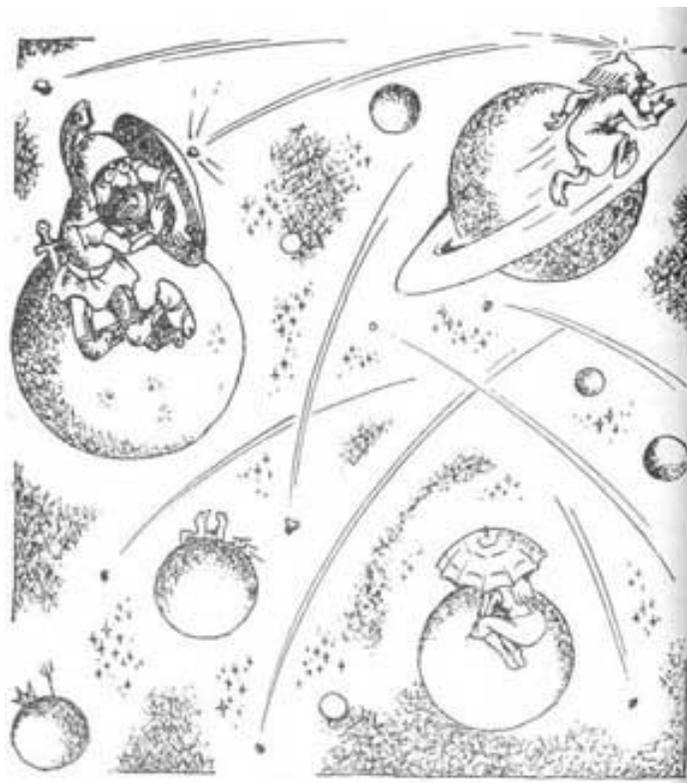
Посмотрим на дальнейшую эволюцию той части первичной туманности, из которой образовались планеты.

Эта часть представляла собой газопылевой слой, вращающийся вокруг протосолнца. Под воздействием различных причин он должен был разделиться на большое число отдельных сгущений, которые двигались по близким орбитам и поэтому очень быстро росли за счет столкновений друг с другом.

Сначала сгущения представляли собой смесь чрезвычайно разреженного газа и пыли. В результате соударений, а также процессов объединения и слипания плотность их увеличивалась. За сравнительно непродолжительный промежуток времени центральные части сгущений превратились в сплошные тела. Так, на расстоянии орбиты Земли этот интервал времени составил всего 10 тысяч лет, а на расстоянии от Юпитера до Солнца - миллион. Таким образом, первичные сгущения в туманности положили начало образованию роя сплошных тел, который впоследствии и привел к возникновению планет.

На определенной стадии появился «зародыш» нашей планеты, который стал «вычерпывать» вещество роя в своем районе. Зародыш Земли по своим размерам превышал Луну.

Твердые тела в допланетном рое достигли линейных размеров порядка десятков километров. Можно представить, что происходило при столкновении десятикилометрового тела (каменя!) с зародышем Земли при скорости удара порядка 10 километров в секунду! Масштабы подобных катаклизмов мы видим на примере лунных и марсианских кратеров.



Рождение планет-3

Большая часть падающего тела просто испарялась при ударе, но масса зародыша была достаточно большой, и вещество не могло улететь в космическое пространство. Зародыш увеличивался, постепенно наращивая свою массу. Кстати говоря, впервые именно Шмидт высказал мысль о том, что ударные процессы могли положить начало образованию атмосферы и океана еще до того, как закончилось формирование Земли.

Сколько же времени мог занять процесс образования Земли? Здесь мнения ученых расходятся: одни называют промежуток времени около 100 миллионов лет, другие приводят цифру тысяча лет. Важно ли это?

Чрезвычайно важно, поскольку если планеты (я говорю сейчас о планетах земной группы) сформировались за 100 миллионов лет, их поверхность была сравнительно холодной. По крайней мере средняя температура поверхности была меньше 100 градусов Цельсия. А если время образования планеты было около тысячи или даже 10 тысяч лет, то тепло от ударов падающих тел не успевало рассеиваться и поверхность Земли должна была быть расплавленной.

«Ну и что? - спросит читатель. - Ведь она потом могла остыть».

Все дело в том, что остыть поверхности Земли было бы чрезвычайно трудно. Давайте представим себе, что океаны Земли испарились, а для этого не нужно расплавлять ее поверхность. Достаточно, чтобы температура была больше 100 градусов Цельсия. Мы имели бы очень мощную атмосферу с давлением у поверхности Земли в несколько сот килограммов на квадратный сантиметр. Атмосфера эта состояла бы из паров воды и углекислого газа. И вот тогда возник бы так называемый необратимый парниковый эффект, который никогда не дал бы поверхности Земли остыть. Какая уж тут жизнь?!

Мне кажется более разумным разбирать эволюцию нашей планеты, исходя из предположения о том, что средняя температура ее поверхности никогда не была слишком высокой. Могли быть, конечно, так называемые горячие пятна. Например вулканы, температура которых при извержении достигает тысячи с лишним градусов. Но ведь жизнь никак не может существовать при подобной температуре, а чтобы средняя температура поверхности не была высокой, нужна достаточно продолжительная шкала времени образования планет (около ста миллионов лет).

Нарисованная выше схема образования планет приводит нас к нескольким замечательным выводам.

Во-первых, поскольку облака межзвездного газа существуют, они должны эволюционировать и образовывать протозвезды с планетными системами.

Во-вторых, астрономические наблюдения подтверждают существование звезд на стадии Т Тельца, что также является косвенным доказательством нашего

построения.

В-третьих, теоретические расчеты подтверждают так называемый закон Бодде - правило, которому подчиняется расстояние планетных орбит от Солнца. Это скорее даже эмпирическое правило, состоящее в том, что отношение больших полуосей орбит соседних планет почти постоянно и равно $1,75 \pm 0,20$.

Короче говоря, есть немалая надежда на то, что наша солнечная система не уникальна в Галактике.

Очень важное подтверждение этому положению находим мы в работах известного американского астронома Ван де Кампа, который в течение многих лет наблюдал знаменитую «летающую звезду Барнарда» в созвездии Змееносца. Эта звезда отличается самым большим собственным движением среди всех остальных звезд ночного неба. За 180 лет она перемещается по небу на величину лунного диаметра. Это объясняется прежде всего тем, что после звезды «Центавра» это самая близкая к нам звезда. Ее радиус в 6 раз меньше радиуса Солнца, а масса почти в 10 раз меньше солнечной.

Ван де Камп в течение 25 лет наблюдал движение этой звезды по небосклону. Ему удалось установить удивительную особенность ее движения. Ван де Камп доказал, что «траектория» летящей звезды Барнарда волнообразная. Это могло быть только в случае, если у звезды есть спутник или спутники, то есть вокруг нее вращается одна или несколько планет (точнее, они вместе вращаются вокруг общего центра тяжести).

Предварительные вычисления показали, что масса спутника «летающей звезды» в 1,5 раза больше массы Юпитера. Последующие, более точные измерения позволили установить, что у этой звезды три спутника. Их массы равны соответственно 1,26; 0,63 и 0,89 массы Юпитера, а расстояние от звезды 4,5; 2,9 и 1,8 астрономической единицы (1 астрономическая единица равна расстоянию от Солнца до Земли).

Таким образом, после блистательного открытия Ван де Кампа множественность планетных систем во Вселенной вряд ли можно поставить под сомнение.

Начались синтезы

Что же происходило с органическими молекулами в период образования планет и как светимость протосолнца влияла на процессы образования органических соединений?

Начнем опять с первичной туманности, из которой родились Солнце и планеты. Она состояла из смеси газа и пыли; частичек силикатов, графита, льдов. Органические молекулы с самого начала, еще до разогрева туманности, присутствовали в ней и в газовой фазе, и на поверхности пылинок. Что это за молекулы и как они образовались?

Сейчас известно около 40 типов простых органических молекул, обнаруженных в газопылевых облаках. Для нас наибольший интерес представляют два соединения: сильнейший яд синильная кислота (цианистый водород) и формальдегид, простая молекула, состоящая из атома углерода, атома кислорода и двух атомов водорода.

Все дело в том, что это, как говорят химики, «ключевые» молекулы для синтеза более сложных соединений. Например, в химии хорошо известен так называемый синтез Штрекера, когда в водно-аммиачном растворе синильной кислоты и формальдегида просто при легком подогреве смеси образуются аминокислоты. Аминокислоты - основные блоки для создания белковой молекулы. Если подогреть водно-аммиачный раствор синильной кислоты, получается аденин - молекула, без которой невозможно построить ДНК - знаменитую двойную спираль Уотсона - Крика. Американский химик испанского происхождения Х. Оро, которому впервые удалось получить аденин из цианистого водорода, показал, что занятия предбиологической химией могут дать хороший промышленный выход. Сейчас метод Оро очень широко применяется для промышленного производства аденина, молекулы, состоящей из 5 молекул синильной кислоты.

Формальдегид очень важен для образования простых Сахаров, без которых, в свою очередь, невозможно получить нуклеиновые кислоты.

Реакции усложнения и превращения формальдегида и синильной кислоты идут не только в растворах. Они могли проходить и в нашей туманности, главным образом на поверхности кристаллов льда. Конечно, скорости этих реакций были в сотни тысяч раз меньше, чем при комнатных температурах. Да и концентрации исходных веществ (формальдегида и синильной кислоты) очень малы. Поэтому появления особенно сложных молекул в туманности вряд ли можно ожидать.

Ну а как же образовались «ключевые» соединения (их еще называют предшественниками)?

Дело в том, что туманность не изолирована от воздействия различных

космических факторов. Предположим, что на расстоянии многих световых лет от туманности вспыхнула сверхновая звезда. И мощный поток ультрафиолетовых, рентгеновских и гамма-квантов устремился к туманности. Этот поток и стал тем стимулирующим фактором, который помог образоваться нашим предшественникам из смеси простых газов.

В самой туманности мы не вправе ожидать появления сложных молекул. Максимум, на что можно было бы рассчитывать, - на присутствие простейших аминокислот или же, например, аденина. Но, к сожалению, ни то, ни другое в газопылевых облаках не обнаружено.

Посмотрим теперь, что происходило на последующих этапах истории туманности. Мы помним, что при сжатии туманность прошла высокотемпературную стадию, причем в центральных частях диска температуры были очень высоки. На расстоянии от Земли до Солнца они достигали 2 тысяч градусов. Совершенно ясно, что никаким органическим молекулам не выдержать такой температуры. Но впоследствии, когда образовалось и стабилизировалось Солнце, туманность начала остывать. По времени это совпало с началом образования планет.

Основным газом в туманности был водород. Присутствовали также окись и двуокись углерода, азот и некоторое количество метана. Под воздействием ультрафиолетового излучения молодого Солнца снова начали образовываться предшественники - формальдегид и синильная кислота - и более сложные соединения: аминокислоты, основания нуклеиновых кислот.

«Отпечатки» этих процессов мы находим сегодня в древнейших метеоритах - углистых хондритах, возраст которых составляет 4,5-4,6 миллиарда лет, что как раз равно возрасту солнечной системы. Но нужно обязательно подчеркнуть, что и в углистых хондритах нет сложных, абсолютно необходимых для жизни соединений: белков, нуклеиновых кислот, жирных кислот. Есть только их составные части. Вдобавок эти составные части, например аминокислоты, намертво «запечатаны» в неорганическую матрицу метеорита.



Начались синтезы

Напомним, что на заключительных стадиях образования Земли на зародыш падали крупные тела с линейными размерами в несколько километров. Скорости соударения были порядка десяти километров в секунду. Следы таких ударов сохранились не только на Луне и Марсе, но и на поверхности нашей Земли. Знаменитый

Аризонский кратер в Америке, кольцевые структуры на Украине - это следы чудовищных ударов, по сравнению с которыми взрыв атомной бомбы - сущий пустяк. При таких ударах почти все вещество метеорита превращалось в плазму. При остывании этой плазмы могли образовываться органические молекулы.

Выходит, синтез и распад органических молекул происходил на всех этапах развития прототуманности. И когда сформировались планеты, природе нужно было заново строить соединения углерода уже на поверхности молодой Земли. 4,5 миллиарда лет назад на нашей планете началась эра добиологической эволюции.

Посмотрим, что представляла собой молодая Земля, жизни на Земле в то время не существовало. Это основное наше предположение. А что же было? Была твердая поверхность Земли - кора, была атмосфера, гидросфера и, самое главное, было Солнце с его мощным ультрафиолетовым излучением. Солнце - генератор энергии, которая стимулировала большинство химических реакций в атмосфере Земли.

Очевидность этого обстоятельства дала толчок для проведения огромного

количества экспериментов по синтезам органических молекул под воздействием ультрафиолетового излучения в газовых смесях, предположительно моделирующих по своему составу первичную атмосферу Земли. Многие ученые считают, что 4,5 миллиарда лет назад она (атмосфера) состояла из водорода, метана и аммиака. Кислород появился позже за счет процессов фотосинтеза, то есть когда на Земле возникла жизнь.

Вот это и стало находкой для химиков-органиков. Советские биохимики А. Пасынский и Т. Павловская, американские ученые С. Фокс, Х. Оро, С. Поннамперума, К. Саган, М. Кальвин и многие другие проделали классические эксперименты по синтезу аминокислот, оснований нуклеиновых кислот, Сахаров и многих других биологически важных молекул. Все авторы использовали в качестве исходных соединений водород, метан, аммиак, пары воды.

Здесь стоит сказать о том, что результаты этих экспериментов на многие годы загипнотизировали геохимиков и планетологов. Именно в результатах, полученных специалистами по предбиологической химии, геохимии и планетологии видели доказательство тому, что на ранних не происходят. Если, например, в реакционную смесь, содержащую водород и другие компоненты, необходимые для получения углеродсодержащих молекул (метан), добавить кислород и подвести необходимую энергию, то вместо того, чтобы занять свое «законное» место в органической молекуле, водород сразу же вступит с кислородом в реакцию образования воды.

Логика планетологов была такова. Раз жизнь на Земле возникла, атмосфера должна была содержать водород, метан и аммиак. Был океан, значит, были в атмосфере и пары воды.

Ну а дальше специалисты по предбиологической химии как будто бы все объяснили. Было ультрафиолетовое излучение Солнца, были грозы, а значит, и электрические разряды, было тепло от вулканов. Короче говоря в источниках энергии недостатка не ощущалось. И в системе «атмосфера - океан» варился знаменитый питательный бульон, из которого впоследствии произошли первые живые организмы. Еще в 1964 году американский астрофизик К. Саган произвел несложный расчет; в результате которого получил ошеломляющую цифру, На каждом квадратном сантиметре поверхности Земли за миллиард лет могло накопиться за счет химических реакций до сотен килограммов amino- и органических кислот. Что и говорить, для возникновения жизни условия более чем благоприятные.

Но дело обстоит совсем не так просто, как это представлял себе Саган. За последние годы опубликованы новые работы об эволюции атмосфер планет земной группы, и эти исследования показывают, что ранняя атмосфера Земли, как минимум, не была восстановительной (водородсодержащей). Более того, атмосфера ранней Земли без всякого участия живых систем, за счет чисто фотохимических процессов очень быстро стала окислительной, то есть в ней

появился свободный кислород. А в подобной атмосфере образование органических соединений невозможно.

Что же тогда получается? Заколдованный круг? Но ведь жизнь-то па Земле возникла. А еще раньше появились молекулы, необходимые для построения живых систем. Кстати говоря, слабость оценок Сагана заключается не только в том, что он в качестве исходной посылки брал восстановительную атмосферу.



Начались синтезы-2

Вопросы, которые мы сейчас хотим обсудить, очень важны. Давайте по порядку.

Возьмем кусок древнего базальта или гранита. Истолчем его в ступке, нагреем и с помощью какого-нибудь чувствительного прибора будем анализировать выделяющиеся газы. Мы увидим, что главный компонент газовой фазы - пары воды, углекислота и азот. Водород и метан находятся в следовых количествах. Аммиака нет вообще. Кстати говоря, он отсутствует и в метеоритах. В какой-то мере состав газовой фазы, которую мы исследовали, отражает состав древней атмосферы.

Специалисты по предбиологической химии долгое время забывали об одной простой вещи, хорошо известной астрофизикам. Водород очень легкий газ, он просто улетает с Земли, не задерживаясь в ее атмосфере. Специалисты по планетным атмосферам имеют в своем распоряжении надежные оценки, свидетельствующие о том, что «время жизни» водорода в атмосфере Земли всего 10 лет. Сравните это время с геологическим, когда и миллион лет

весьма непродолжительный промежуток.

Итак, водорода практически не было, метана - следы. Что же остается? Остается океан, углекислота и азот. Можно ли получить что-нибудь важное для предбиологической химии в подобной атмосфере? Вряд ли. И вот почему. Светимость Солнца 4,5 миллиарда лет назад была ниже, чем сегодня. На сколько? Разные авторы дают различные оценки - от 20 до 60 процентов. Но даже если взять минимальную цифру - 20 процентов, это приводит к поразительным результатам. Земля получала так мало солнечного тепла, что на ее поверхности должны были царить отрицательные температуры. Правда, тепло шло от горячих пятен - вулканических районов. Но этот тепловой поток был слаб и не мог подогреть всю поверхность планеты.

Палеогеологические данные неопровержимо свидетельствуют, что жизнь на Земле 3,5 миллиарда лет назад уже была. Но жизнь во льду, а точнее, без жидкой воды зародиться не может.

По-видимому, первыми это серьезное противоречие заметили американцы К. Саган и Д. Муллен. Они же предложили объяснение: будто бы очень небольшие примеси аммиака в атмосфере могли дать так называемый парниковый эффект, который поддерживал температуру поверхности нашей планеты выше точки таяния льда.

Итак, мы снова встретились с этим термином, и теперь нам нужно разобраться, что же это такое.

Парник в обычном понимании этого слова знаком каждому. Так вот, аналог парника, но уже в планетарном масштабе, мы имеем и на Земле и на Венере. Что он собой представляет?

На поверхность планеты падает излучение Солнца, причем большая часть энергии приходится на ту область Длины волн, которая соответствует температуре внешней части нашего Солнца - около 6 тысяч градусов Цельсия. Другими словами, львиную долю солнечной энергии Земля получает в ультрафиолетовой и видимой части спектра. Отдает же, переизлучает энергию в пространство наша планета в инфракрасной области спектра, тая как температура Земли гораздо ниже температуры Солнца. Но если атмосфера задерживает очень незначительную часть падающего прямого солнечного излучения, та излучение, уходящее от планеты в космическое пространство, задерживается гораздо сильнее, особенно если в атмосфере есть пары воды, углекислота, аммиак. Поэтому температура атмосферы и соответственно поверхности повышается: получается парник.

Парник может стать необратимым. Представим себе, что мы немного повысим температуру планеты. Сразу же возрастет содержание водяного пара. Увеличение концентрации паров воды в атмосфере приведет к дальнейшему повышению температуры за счет парникового эффекта и так далее. По-видимому, такой случай мы имеем на Венере.

Сразу же возникает вопрос, почему это не происходит сейчас на Земле? Да потому, что когда возрастает содержание водяного пара в атмосфере и повышается температура, то увеличивается площадь облачного покрова, и в Космос отражается больше солнечного излучения.

Но все-таки что же было на древней Земле?

Мы уже знаем, что аргументированных доводов о присутствии аммиака в древнейшей атмосфере Земли нет. К тому же время жизни аммиака (даже в количествах, эквивалентных атмосферному азоту) очень мало, примерно 10 тысяч лет, из-за неизбежного разложения аммиака под действием света (фотодиссоциация). Более того, согласно расчетам советского геофизика Э. Бютнер одновременно с образованием зеркала воды из-за фотодиссоциации водяного пара в атмосфере Земли могло накопиться изрядное количество кислорода: всего за 30 миллионов лет его содержание в атмосфере могло достичь 20 процентов сегодняшнего. А в присутствии свободного кислорода постоянная концентрация аммиака неминуемо будет исчезать: он легко окисляется.

Значит, аммиак ни при чем. Надо искать новый путь для решения противоречия, указанного Саганом и Мулленом. То есть нужно объяснить, почему на поверхности Земли были плюсовые температуры, хотя Солнце грело заметно слабее, чем сейчас.



Начались синтезы-3

Принято думать, что атмосфера и гидросфера Земли обязаны своим рождением выделению летучих компонентов из мантии. Странники модели катастрофической дегазации полагают, что основная масса атмосферы выплеснулась из недр Земли за сравнительно небольшое время - около 500 миллионов лет. По модели равномерной Дегазации, наоборот, отделение летучих компонентов мантии с незначительными колебаниями идет в течение всей истории Земли. Для наших дальнейших рассуждений нет принципиальной разницы между этими двумя моделями, и поэтому будем рассматривать модель равномерной дегазации.

Сначала обратим внимание на тот примечательный факт, что при дегазации из недр Земли на поверхность прежде всего выделяются вода и углекислый газ. Об этом свидетельствует множество анализов состава вулканических газов и газов, содержащихся в магматических породах - базальтах. По оценкам разных авторов отношение массы воды к выделившемуся из мантии углекислому газу - от 4:1 до 10:1. То есть углекислоты поступает достаточно много. Именно углекислый газ, интенсивно поглощающий тепловые инфракрасные: лучи, мог создать парниковый эффект, благодаря которому на планете появился океан, хотя Солнце грело плохо.

Чтобы не быть голословным в дальнейших рассуждениях, нужно рассчитать температуру поверхности Земли 4,5 миллиарда лет назад. Атмосфера тогда была разреженной, а ее давление в сто или тысячу раз меньше, чем нынче. Если это так, то среднюю температуру поверхности Земли нетрудно вычислить как функцию ее альбеда (отражательной способности).

Альbedo Земли, почти лишенной атмосферы, по аналогии с Луной или Меркурием можно принять за 0,1. И тогда мы получаем, что, если светимость Солнца была на 40 процентов ниже сегодняшней, температура поверхности Земли составляла 33 градуса ниже нуля по Цельсию.

Постепенно атмосфера становилась массивнее. По мере выделения летучих компонентов из магмы наружу пары воды, замерзая, окутывали планету мощным слоем сверкающего льда и снега. Альbedo росло, и поэтому температура поверхности снижалась. Но нет худа без добра - основным компонентом земной атмосферы становился углекислый газ. И он своим парниковым эффектом начал подогреть. С ростом концентрации CO_2 в атмосфере поверхность Земли потихоньку разогрелась, а льды начали таять.

Можно подсчитать, сколько CO_2 должно было накопиться в атмосфере, чтобы подогреть поверхность до 0 градусов Цельсия. Расчет гипотетического парникового эффекта был сделан профессором В. Морозом. Такой расчет непрост, точной цифры не получишь. Потому в конце концов был найден верхний и нижний пределы критического давления углекислого газа, давления, при котором начинается таяние льдов.

Мороз предположил, что альbedo Земли из-за того, что ее окутало снежное

одеяло, изменилось от начального 0,1 до 0,45. Конечно, и эта цифра условна, потому что из-за неровностей рельефа и меняющейся облачности истинную величину альbedo почти невозможно определить. Но нам важно понять общее направление процесса. Итог таков. Наименьшее давление углекислоты, при котором наступит таяние льда и снега, равно 0,3 атмосферы.

Что же происходит дальше? Вот что. При выделении из мантии 1013 граммов углекислоты в год (полагают, что именно так и было) такое значение давления будет достигнуто через 440 миллионов лет. Затем начинается таяние и альbedo быстро уменьшается, потому что отражательная способность воды меньше, чем у льда и снега. Становится немного теплее. Но, увы, углекислый газ начинает покидать атмосферу: растворение в воде, выщелачивание базальтов, образование карбонатов...

Потеря газа не может длиться долго, потому что с уменьшением количества углекислоты в атмосфере поверхность Земли остывает до нуля. Планету снова окутывает снег и лед. Вот мы и пришли к великим циклическим оледенениям, не раз сковывавшим поверхность Земли.

Идет время, становится теплее, оледенения повторяются, уменьшая амплитуду и длительность, пока все ярче разгорающееся Солнце не подогреет Землю и не уменьшит количества углекислого газа в атмосфере до уровня, близкого к современному: углекислоту поглотит океан...

Правда, мы не учли весьма важное обстоятельство: жизнь, возникшая на Земле 3,5 миллиарда лет назад, могла внести свои поправки и в баланс углекислого газа в атмосфере, и в углеродные циклы оледенения.

Нижняя возможная граница атмосферного содержания CO_2 в цикле оценена нами в 1,5-1021 грамма. Самое неопределенное в уравнении этого баланса - время жизни молекулы CO_2 в океане (от момента попадания в воду до перехода в молекулу известняка). Но миллиона лет на это явно хватит. И свои расчеты мы строили на этом щедром допущении.

Отсюда и вывод: характерное время циклических оледенений на примитивной Земле было около миллиона лет.

Важным геохимическим следствием гипотезы должен быть резко отличный от нынешнего процесс образований карбонатов. При высоком содержании CO_2 в атмосфере и соответственно более низких значений pH воды главной формой карбонатных осадков должен быть доломит - карбонат магния, потому что он гораздо хуже кальцита растворяется в воде, насыщенной углекислым газом. Но все-таки растворимость карбонатов в таких условиях на порядок выше, чем при нынешнем pH парциальном давлении двуокиси углерода. Возможно именно этим объясняется скромное количество карбонатных осадков в докембрии.

И вот главное следствие. Плотная атмосфера из углекислого газа на

примитивной Земле не могла созданы условия для предбиологической эволюции, для накопления в океане заметных количеств органических молекул, ведь для синтезов органики необходим водород, метанаммиак. К тому же увеличение содержания кислорода в атмосфере, начавшееся вместе с образованием зеркала воды, подавляло синтезы органических соединений, поскольку, как мы уже говорили, они (синтезы) не идут в окислительной среде. Очевидно, что в подобных условиях трудно, а скорее всего и невозможно ожидать накопления на поверхности Земли столь больших количеств органики, о которых писал Саган.

Но есть еще одно дополнительное обстоятельство, на которое ученые обратили внимание сравнительно недавно! Даже если бы под воздействием различных источников энергии в атмосфере Земли и могли образовываться сложные биомолекулы, они с большой эффективностью разрушались бы ультрафиолетовым излучением Солнца. Единственное спасительное убежище для синтезированных молекул - глубины океана. Но проведенные многими учеными, и в том числе автором этой книги, строгие расчеты показали, что ничтожная часть органических молекул достигнет поверхности океана. Как метко сказал крупнейший американский геохимик Ф. Абельсон питательный бульон должен был быть очень «тощим». А если бульон «тощий», то и дальнейшие реакции усложнения, образования больших молекул должны происходить медленно и с невысокой вероятностью.

Чисто интуитивно многие исследователи понимали, что трудно получить значительные концентрации предшественников биомолекул во всей массе Мирового океана. Знаменитый английский физик и философ Д. Бернал давно указывал на так называемые субвитальные территории, где во время приливов и отливов, во время высыхания озер и больших луж могло происходить накопление предшественников органических соединений. Но Бернал предполагал так же, как многие другие, что атмосфера была восстановительной, а мы с вами убедились, что это отнюдь не очевидный факт.

Таким образом, налицо противоречие между основными предпосылками предбиологической химии и реальными данными современной эволюционной планетологии.

Но главное, что жизнь на Земле существует 3,5 миллиарда лет, а значит, вопреки всему вышесказанному обязательно шло образование и накопление органических молекул. Разрешить возникшие противоречия и попытаться около 10 лет назад автор этой книги.

Вулканы-разрушители, вулканы-созидатели

Все началось с того, что в 1971 году в холле Института космических исследований ко мне подошел Н. Кардашев и сказал:

«В следующем году в Армении будет очень интересная международная конференция по связи с внеземными цивилизациями. Хочешь поехать?»

«Конечно, хочу», - ответил я, не сомневаясь ни секунды и не задумываясь о том, какое отношение имена к внеземным цивилизациям.

«Ну тогда поговори с «доктором». Нужны новые идеи», - добавил Кардашев многозначительно.

Я в то время занимался программой поисков жизни на Марсе и очень интересовался, в порядке хобби, проблемой происхождения жизни и добиологической химией. Уже тогда мне было ясно, что проблема безумно сложная, с новыми идеями туго, но к «доктору» все-таки пошел (уж очень хотелось поехать в Армению). Нужно сказать, что «доктор», замечательный астрофизик, член-корреспондент Академии наук СССР И. Шкловский, один из организаторов конференции, с нескрываемым пренебрежением относился к проблеме происхождения жизни.

«Вот что, - сказал он мне, - нужно что-нибудь новенькое, что-нибудь эдакое. - И рука «доктора» описала в пространстве сложную директивную фигуру. - Если будет, поедете», - поощрительно сообщил он.

Получив столь определенные указания, я засел за литературу и через два месяца явился к «доктору» с новой идеей.

«Пойдет», - заявил он с присущей ему категоричностью и вручил мне список участников и программу! Взглянув на эти бумаги, я обомлел: в Армению ехала элита мировой науки.

По счастью, мое короткое сообщение в Бюракане было принято весьма благосклонно, и именно после этой конференции я начал самым серьезным образом работать в области предбиологической эволюции.

В чем же заключалась идея, давшая мне возможность обсуждать проблему происхождения жизни с Ф. Криком и Л. Оргелом?

В большинстве прежних экспериментов исследовались процессы, происходящие в атмосфере, - грозы, взаимодействие с газами ультрафиолетового излучения, ударные волны и т. д. В таблице источников энергии, которая обязательно присутствует в любой книге по происхождению жизни, тепловая энергия Земли стоит на последнем месте. Действительно,

каждый год один квадратный сантиметр поверхности Земли получает от Солнца энергию в количестве 260 тысяч калорий, а вулканы всего 0,1 калории на квадратный сантиметр. Именно поэтому вулканическому теплу придавалось небольшое значение в экспериментах по предбиологической эволюции.

Но ведь электрические разряды и тем более ультрафиолетовое излучение Солнца - явления, распределенные по всей поверхности Земли и всей массе ее атмосферы. Вулканы же - явление строго локальное, и здесь заключалась первая неточность, которую мне удалось обнаружить.

Американский биохимик С. Фокс провел около 20 лет назад любопытные эксперименты по воздействию вулканического тепла на метано-аммиачную атмосферу. В результате своих опытов он получил широкий набор природных аминокислот. Однако можно с уверенностью сказать, что реакционная смесь газов, которую использовал Фокс в своих лабораторных установках, ни в коей мере не соответствовала атмосферным условиям на ранней, или, как еще принято говорить, примитивной Земле.

Необходимо обратить внимание на еще один важный факт. Фокс использовал вулканы только как источник тепловой энергии для синтеза аминокислот. Но ведь вулканы генерируют колоссальное количество газа и твердого материала.

А если рассмотреть подводное извержение? Может быть, там условия для образования биомолекул еще выгоднее. Ведь вокруг вода, и синтезированные молекулы, перенесенные в зону пониженной температуры, будут сохраняться, «закаливаться», как говорят металлурги.

Вулканов много, «живут» они долго, проявления вулканической деятельности весьма разнообразны. А самое главное, в составе вулканических газов встречаются все необходимые для синтеза органических соединений компоненты: метан, аммиак, водород, окись углерода, вода, фосфор, сера и т. д.

Вкратце в этом и состояла новая идея, которая впоследствии была подкреплена обширным экспериментальным материалом.

Тут, конечно, сразу же возникает очень много вопросов, и первый из них состоит в следующем. Чуть раньше говорилось, что в атмосфере Земли не было ни аммиака, ни водорода, ни метана, сейчас же утверждается, что вулканы при извержении выбрасывают в атмосферу вся эти газы. Кроме того, все равно надо решать вопрос, сможет ли вулкан «наработать» достаточное количество органики. Чтобы ответить на эти вопросы, придется поближе познакомиться с вулканами и вулканизмом.

«Ничто в природе не вызывает такого интереса и не возбуждает такого ужаса, как крупные вулканические извержения. И нет ничего, что вызывало бы такое суеверное уважение или такое эстетическое наслаждение, как вулканы», - пишет известный американский геолог, в свое время он был президентом

Международной ассоциации по вулканизму и химии недр Земли, Г. Макдональд.

Что же такое вулкан? Это место на поверхности Земли, где раскаленные газы и породы поступают из земных недр наружу. Как правило, это холм или гора, образованные изверженными породами.

Еще в глубокой древности извержения вулканов повергали человека в ужас. Легенды различных народов донесли до нашего времени сведения о минувших вулканических извержениях.

Индейцы штата Орегон рассказывают о столкновении доброго бога снега со злым богом огня, обитавшим на высокой горе Мезама. В результате борьбы, окончившейся победой добра, верхушка горы была разрушена, и на ее месте образовалось озеро, которое сейчас называется озером Крейге. Что несет в себе эта аллегория? Описание извержения? По всей видимости, да.

Среди полинезийцев очень популярна была богиня вулканов Пеле, способная появляться перед людьми в различных обликах. Однажды молодой вождь спускался с холма на санях с костяными полозьями (полинезийцы не знали колеса). Старая женщина, встретившаяся на его пути, попросила одолжить ей сани и получила грубый отказ. Вождь был бы, наверное, более осмотрителен, если бы знал, что встретился с богиней вулканов.

Пеле в ярости топнула ногой. Немедленно Земля разверзлась, и раскаленные камни полетели вверх. Вождь, спасая свою жизнь, бросился к морю, а Пеле кидала ему вслед обломки горячей лавы. Даже в наши дни можно получить «подтверждение» этой истории, так как на побережье острова Гавайи действительно есть холм, на склоне которого виден длинный ряд небольших конусов, сложенных из камней, которые разъяренная Пеле бросала вслед невоспитанному вождю.

Древние греки связывали деятельность вулканов с работой бога - кузнеца Гефеста, кузница которого располагалась под одним из вулканов острова Санторие.

В первом веке до нашей эры римский поэт Вергилий приписал причину извержения Этны телодвижениям титана Энцелада, который был ввергнут в недра горы Юпитером.

По-видимому, первым предложил наиболее правдоподобное объяснение вулканизма Платон, связав это явление с полостями и каналами внутри Земли. Под поверхностью Земли, утверждал он, есть огромная огненная река Пирифлегетон, из которой наружу через вулканические каналы изливаются огненные струи.

Греческий географ и путешественник Страбон, живший во II веке до нашей эры, описал извержение вулкана в Средиземном море. В результате этого извержения возник новый остров. Страбон высказал очень интересную мысль

о том, что вулканы - своего рода клапаны, через которые выделяются подземные газы, и чем чаще мелкие извержения, тем меньше вероятность крупных. Это положение остается в силе и сегодня.

В I веке нашей эры Сенека выдвинул положение о том, что извержения связаны с подземными резервуарами, содержащими расплавленное вещество, - точка зрения, абсолютно совпадающая с положениями современной вулканологии. Современник Сенеки, Плиний Старший оставил потомству уникальные описания извержений. Сам он погиб в 79 году нашей эры во время катастрофического извержения Везувия, названного впоследствии в его честь плининским. Все исторические справки об этом знаменитом извержении составлены племянником Плиния Старшего Плинием Младшим в письмах к Тациту.



Вулканы-разрушители, вулканы-созидатели

Средние века можно считать шагом назад в познании вулканических процессов, так как в соответствии с наиболее распространенной точкой зрения вулканы были воротами в ад, а звуки, которые издавал вулкан, - стонами грешников.

Первое по-настоящему научное описание вулканической деятельности было составлено английским послом при дворе Наполеона сэром У. Гамильтоном. Его письма президенту Королевского общества в Лондоне, в которых рассказывается о Везувии и его извержении, были опубликованы с богатыми иллюстрациями в 1774 году.

Вулканические извержения различаются по характеру и по масштабу. Наиболее опасными считаются взрывные извержения, сопровождающиеся

так называемой палящей тучей, хотя, конечно, и другие приносят зачастую немало бед.

Трудно вообразить, какие чудовищные силы вырываются наружу при крупных извержениях. История знает немало трагических событий, связанных с вулканами.

В 1902 году в городе Сен-Пьер, расположенном на острове Мартиника (Малые Антильские острова), жители готовились к выборам. Сен-Пьер, маленький портовый город с населением немногим более 30 тысяч человек, находился у подножия вулкана Мон-Пеле, и всего около шести километров отделяло побережье от кратера. Последний раз вулкан проявил активность в 1851 году. Прошло столетия, и город забыл об этом. Тем более что предыдущие извержения не причинили большого ущерба. Жители нередко поднимались к вершине Мон-Пеле и любовались видом океана и их родного острова.

В середине апреля 1902 года над вершиной вулкана появилось темное облако дыма. Глухие подземные раскаты слышались все чаще. Интенсивность их усиливалась. Моряки, заходившие в порт, рассказывали о появлении в районе острова глубинных волн. Вулкан начал извергать пепел. Первыми, как обычно, стали проявлять беспокойство животные, но население острова не придавало значения грозным симптомам.

Пятого мая с вершины вулкана, из озера, находившегося в кратере, ринулся поток горячей грязи, уничтоживший сахарный завод вместе с 30 рабочими. Необходимо было предпринимать экстренные меры по эвакуации населения города. Вместо этого губернатор острова с женой прибыл в Сен-Пьер, чтобы успокоить жителей и заверить их, что для паники нет никаких оснований. В течение двух последующих дней интенсивность выбросов пепла из кратера увеличивалась и достигла нескольких тысяч кубических метров в секунду. Затем наступило относительное затишье.

Однако в ночь с 7 на 8 мая вулкан заработал с новой силой. Люди в страхе бежали к причалам, и с наступлением зари почти все 30-тысячное население города оказалось на берегу океана. В 7 часов 50 минут раздался чудовищной силы взрыв. Огромная черная туча поднялась на многие километры вверх, а раскаленная лавина, состоящая из горячих газов, пепла, кусков лавы, устремилась на город. Скорость ее превышала скорость современных курьерских поездов.

Не прошло и двух минут, как туча ворвалась в город. Трехтонная статуя была на 12 метров отброшена с постамента. Деревья вырваны с корнем, шестидюймовые пушки сдвинуты с лафетов. Каменные стены толщиной более метра рухнули под натиском чудовищной лавины, обломки стен были разбросаны на десятки метров. Из 20 судов, стоявших на рейде, уцелело только два корабля - «Роддам» и «Рораима». Остальные были перевернуты

страшной тучей и сгорели.

А что же люди? В течение нескольких секунд перестал существовать не только город Сен-Пьер. Его жители погибли в палящем облаке, которое, двигаясь по направлению к океану, сначала сожгло людей, а затем сбросило в воду их обугленные трупы. Различные источники по-разному свидетельствуют о числе людей, оставшихся в живых в Сен-Пьере. Согласно наиболее популярной версии уцелел лишь старый негр, находившийся во время катастрофы в глубоком тюремном подвале.

Трагедия Сен-Пьера всегда будет служить людям печальным примером пренебрежения грозными силами природы.

Нередко в кратерах вулканов в период их «спячки» скапливается дождевая вода и снег и образуются так называемые кратерные озера. Когда вулкан пробуждается, он «выплескивает» озеро наружу, и это также приводит к катастрофе. В 1919 году вулкан Келуд на Яве выплеснул кратерное озеро, огромный грязевой поток унес пять тысяч человеческих жизней и уничтожил 130 квадратных километров сельскохозяйственных плантаций.

Иногда самые сильные извержения не приносят людям вреда лишь потому, что происходят вдалеке от населенных мест. Примером служит грандиозное извержение вулкана Безымянный на Камчатке в 1956 году.

Вулкан Безымянный долгое время считался потухшим. Однако с конца сентября 1955 года сейсмостанция в поселке Ключи, в 50 километрах от вулкана, зарегистрировала подземные толчки, число которых все нарастало и к 21 октября достигло 1285 в день. 22 октября началось извержение, сопровождавшееся взрывами.

30 марта 1956 года чудовищный пароксизмальный взрыв уничтожил вершину вулкана. Диаметр воронки взрыва составил полтора километра. Огромная туча поднялась вверх на высоту более 40 километров. Вулкан стал на 180 метров ниже. Объем снесенной вершины вместе с выброшенным материалом - около двух кубических километров! Город размером с Париж мог бы покрыться более чем десятиметровым слоем вулканических продуктов, находишься он рядом с вулканом Безымянный. На расстоянии 25 километров деревья были опалены, и на расстоянии 13 километров почву покрыл слой пепла в полметра толщиной.



Вулканы-разрушители, вулканы-созидатели-2

Нельзя, конечно, не рассказать и о знаменитом извержении Везувия в 79 году нашей эры.

Геологические данные говорят о том, что извержения Везувия были еще около десяти тысяч лет назад. Сформировавшийся после этого древний конус покрылся растительностью, и за столетие до извержения кратер даже послужил убежищем для гладиаторов Спартака.

Сильное землетрясение, сопутствующее пробуждению вулкана, произошло, по свидетельству Светония, во время первого концерта Нерона в Неаполе, в 63 году нашей эры. Менее сильные землетрясения продолжались до 79 года. Сейчас вулканологи смогли бы предупредить население о том, что частые землетрясения в вулканическом районе - неизбежные предвестники извержения. 1900 лет назад вулканологии как науки не существовало и римляне были спокойны.

Извержение, начавшееся 24 августа 79 года, застало их врасплох. Это извержение было характерно выпадением огромного количества пепла и пемзы. Три цветущих города, Стабия, Помпеи и Геркуланум, были погребены под продуктами извержения Везувия, причем Геркуланум был разрушен грязевыми потоками. Раскопки под казали, что большинство жителей Помпеи и Стабии успели покинуть свои жилища и спастись. Плиний Старший умер в районе Стабии в первый день извержения, как полагают, от сердечного приступа.

(Мне довелось видеть на юге Камчатки, в районе вулкана Желтовского,

отложения пемзы толщиной около ста метров. Эта цифра поможет нам осмыслить масштабы катастрофы, происшедшей 1900 лет назад па побережье Неаполитанского залива.)

Одно из самых сильных извержений, известных человечеству, связано с вулканом Кракатау, расположенным в Зондском проливе между островами Ява и Суматра. Извержение началось 20 мая 1883 года взрывами средней силы. Около двух месяцев не происходило ничего особенного, но 27 августа раздался взрыв, который впоследствии был назван «стоном Земли». Пепел был выброшен на высоту более 80 километров, а отголоски взрыва дошли до Центральной Австралии и островов западной части Индийского океана, на расстояние более 5 тысяч километров от Кракатау! Если бы эти события не были документально зафиксированы, они казались бы невероятными.

Следы извержения остались на площади в 3,8 миллиона квадратных километров. Сумерки на Суматре стояли в течение 60 часов. Пепел несколько раз обогнул земной шар. Общий объем выбросов составил 16 кубических километров. Цунами, вызванные взрывом, перебросили из моря в глубь острова военный корабль на расстояние более полутора километров. Гигантские волны разрушили все прибрежные деревни. В результате циклопического взрыва две трети острова Кракатау было уничтожено, погибло 36 тысяч человек.

Мне посчастливилось быть свидетелем одного из самых сильных и интересных извержений нашего века. Извержения, сопровождавшегося мгновенным (по геологическим масштабам) рождением нескольких вулканических конусов. Речь пойдет о знаменитом Толбачике - вулкане Ключевской группы, расположенном неподалеку от одного из самых высоких наземных вулканов в мире - Ключевской сопки.

В 1975 году наша экспедиция на юге Камчатки получила известие о начале извержения. Через три дня мы вылетели из Петропавловска-Камчатского в Ключи. Когда наш Як-40 подлетал к Ключам, в иллюминатор самолета стал виден чудовищный столб черного дыма с грибовидным утолщением наверху. Я спросил командира экипажа, какова высота столба.

«Не менее 11 километров», - ответил он.

Через несколько часов вертолет доставил нас к месту извержения. Маленький лагерь вулканологов был разбит на черном безлюдном плато.

Многокилометровая чудовищная струя раскаленного пепла, обломков камней и газа вырывалась из усеченного конуса высотой около 200-300 метров, находившегося приблизительно в полутора километрах от лагеря. Ни с чем несравнимый монотонный низкий рев стоял вокруг. Даже днем в центре струи были заметны языки пламени в сотни метров высотой. Это означало, что температура продуктов извержения достигала 1000 градусов Цельсия. Выше этих языков струя газа и пепла образовывала, как говорят вулканологи, форму

цветной капусты, то есть непрерывно переходящие друг в друга черные вихри, в которых иногда сверкали молнии.

Мне и раньше приходилось наблюдать извержения с борта специального исследовательского самолета, но впечатление от действующего вулкана, находящегося практически рядом, ни с чем не сравнимое зрелище.

Лагерь вулканологов расположился на «границе безопасности». Насколько условной была эта граница, пришлось убедиться буквально через несколько дней.

Дело в том, что крупные камни при взрывах падали в нескольких сотнях метров от палаток, а ветер относил пепловую тучу в сторону. Но стоило ветру чуть изменить направление, как горячий пепел и мелкие куски лавы стали падать на лагерь. Началась эвакуация людей оборудования в более безопасное место. Интенсивность пеплопада была столь велика, что часть вещей пришлось оставить, и они были погребены под толстым слоем чер ного пепла Толбачика (как здесь не вспомнить Помпею)

Конус вулкана увеличивался с каждым днем. Скорость выбросов газа и пепла превышала скорость звука Дни и ночи ревел молодой вулкан, и это продолжалось десятки дней. А затем началось излияние раскаленных лавовых рек. Но и этого разбушевавшейся природе показалось недостаточно. Не успел успокоиться один вулкан как началось рождение следующего.

Я вернулся в эти места через год. Черный пепел, черные потоки застывших лавовых рек, пейзаж, скорее напоминающий Луну, а не Землю. И при взгляде из иллюминатора вертолета на эту совершенно нереальную, фантастическую картину невольно думалось о буквально неисчерпаемых запасах энергии, таящейся в глубинах нашей Земли.

Энергия эта проявляется не только в форме вулканических извержений.

Когда я впервые попал на Камчатку, мне посчастливилось проникнуть в кратер Мутновского вулкана, по моему мнению, самого красивого вулкана Камчатки. Есть на этом удивительном полуострове снежные сопки правильной формы, которые так и просятся на рекламную открытку. Таков Кроноцкий вулкан, вулкан Опала, знаменитая Авачинская сопка. Мутновский вулкан не похож ни на один из вулканов Камчатки.

Представьте себе гору трехкилометровой высоты, резанную пополам почти до середины. Через эту громад ную щель можно подняться наверх к двум кратерам раз мерой с Центральный стадион в Лужниках. В одном из этих кратеров под ослепительно голубым ледником и площади около 20 тысяч квадратных метров вырываются из отверстий в земле струи пара. Это и есть маролы.

Ни с чем не сравнимая по красоте картина таит опасность для новичков, впервые увидевших знаменитые фумарольные поля Мутновки. Горячие газы

(их температура достигает 200 градусов) подтачивают ледник, и огромные глыбы льда нет-нет да и сваливаются с грохотом и треском на фумарольное поле. Впрочем, рев от вырывающихся из земли газов стоит такой, что приходится кричать, чтобы услышать друг друга, и шум от Ударов ледяных глыб «маскируется» этим ревом.



Вулканы-разрушители, вулканы-созидатели-3

На Камчатке и Курильских островах много фумарол. Есть они на вулкане Менделеев на Кунашире, есть и в Жерле Авачинского вулкана. Фумаролы размещаются как внутри кратера, так и на наружных склонах конуса или же в полосе, окружающей основание конуса. «Живут» фумаролы очень долго - от десяти до ста тысяч лет.

Нам очень важно запомнить, что вместе с водой углекислотой, составляющими основную часть фумарольных газов, из отверстий в земле выделяются оксид углерода, метан, аммиак, сернистый карбонил, тиоциановая кислота (это особенно важно), водород. Есть в фумарольных газах и галогены - хлор, фтор. Поэтому около фумарол нередко можно наблюдать сверкающие ярко-красные кристаллы хлорида железа и белые кристаллические скопления хлоридов аммония и алюминия.

Около отверстий в земле часто вырастают «сери цветы» - желто-зеленые, игольчатой формы кристаллы ки серы. Они образуются, когда сероводород, также деляющийся из фумарол, окисляется на воздухе до самородной серы. В кратере Мутновского вулкана несколько лет назад рядом с мощной фумаролой выросло целое архитектурное сооружение из кристаллической серы, напоминающее шалаш. К сожалению, туристы, с трудом добирающиеся до этих мест, разобрали «шалаш» на сувениры. Масштабы выноса серы бывают

столь значительными, что иногда используются для промышленной добычи. Так, например, было в Италии в кратере Булькано и в Мексике в кратере Попокатепель.

Углекислого газа больше всего выделяют холодные фумаролы с температурой 100-200 градусов. Если топография местности такова, что углекислота может накапливаться, например в низинах и ложбинках (углекислота тяжелее воздуха), это приводит к трагическим последствиям. Животные, попадая в такое место, погибают от удушья. Хорошо известно в Америке Мертвое ущелье, оно расположено около Йеллоустонского парка. Когда это ущелье было впервые обнаружено людьми, они нашли там несколько мертвых медведей. На Камчатке неподалеку от Долины гейзеров также есть Долина Смерти, где можно увидеть мертвых птиц и животных. При извержении Геклы в Исландии углекислота скопилась во впадине около подножия вулкана, и погибло стадо овец. Пастухи при этом остались живы и не испытали никаких признаков удушья: головы людей находились выше слоя углекислоты.

Наряду с фумаролами в районах активного вулканизма встречаются также и гейзеры. Из известных человеку гейзеров самым крупным был Ваймангу в Новой Зеландии. Он просуществовал всего пять лет: с 1899 по 1904 год. В расцвете своих сил при каждом извержении этот великан выбрасывал 800 тонн воды. Камни и обломки породы вылетали вместе со струей воды на высоту до 460 метров.



Вулканы-разрушители, вулканы-созидатели-4

Главные районы распространения гейзеров на Земле: Камчатка, Исландия,

Новая Зеландия, Северная Америка (Йеллоустонский парк). Гейзеры хоть и очень краевое, но по сравнению с фумаролами и вулканами недолговечное явление. Нередко гейзеры перестают «работать» после землетрясений или изменения структуры подводющего канала из-за отложения там различных минералов.

Каковы же причины, вызывающие вулканические процессы? Когда начались эти процессы на Земле?

И, наконец, как удалось доказать, что вулканы не только разрушают все во время извержения, но и имеют прямое отношение к проблемам предбиологической химии а значит, и к проблеме происхождения жизни. Постараемся ответить на эти вопросы. Радиус нашей планеты равен приблизительно 6400 километрам. Земля состоит из трех главных частей ядра радиусом примерно 3500 километров, мантии, толщина которой составляет около 2900 километров, и тон кой коры, ее толщина изменяется от 55 километров континентах до 3 километров на некоторых участках океанического дна. Этот слой состоит главным образом из вулканических продуктов и продуктов глубинной магматической деятельности. Масштабы проявления вулканизма, его роль в образовании коры огромны. Так, в Южной Бразилии в меловом периоде излились базальтовые лавы объемом в полмиллиона кубических километров.

Строение Земли - предмет исследования многих ученых, и мы не имеем возможности подробно рассмотреть здесь этот вопрос. Для наших целей важно одни вулканы выбрасывают огромное количество газов, жидкого и твердого материала, и нам хотелось бы понять причины этого явления.

Оговоримся сразу, что на сегодняшний день понять эти причины можно лишь в первом приближении. Как сказал Г. Макдоналд, не все оставшиеся пробелы в нашем познании относятся к Космосу. Причины и процессы образования магм (жидких расплавов мантии) раскрыты еще не до конца.

В самом общем виде можно представить себе следующую картину.

По-видимому, каждый вулкан связан с очагом магмы, находящимся на глубине порядка 60 километров. Вообще говоря, мы должны считать мантию Земли твердой, нерасплавленной. Но верхняя мантия находится на самой границе температурной устойчивости. Если температура в верхней мантии повышается до точки плавления, развивается питающий очаг магмы. Это приводит вулканическому извержению, если магма может излиться на поверхность Земли.

Повышение температуры отнюдь не единственная причина для плавления мантии. Локальное уменьшение давления также способно в принципе привести к появлению расплава. Видимо, не случайно некоторые вулканы располагаются в одну линию, что отражает их приуроченность к глубинным разломам. А эти разломы и есть Зоны пониженного давления.

При любом извержении вулкан выбрасывает огромное количество газов. Каков же химический состав газовой фазы вулкана?

Основная составляющая - пары воды. На втором месте углекислота. Именно это обстоятельство привело ученых к мысли, что вулканы породили атмосферу и океан.

Действительно, средняя годовая производительность вулканов по воде - 100 миллионов тонн. Если мы умножим эту величину на время жизни Земли, то как раз получим массу всех океанов Земли.

Но здесь есть одно очень деликатное обстоятельство. Геологи не знают, какая вода извергается вулканами. Вода мантии Земли, и тогда эта идея правильна, или же вода самих океанов, которая в принципе может «подпитывать» очаги вулканов.

Поэтому, если говорить строго, сегодня мы не можем считать вулканизм единственным источником атмосферы в гидросферы. Тем не менее одно ясно. Вклад вулканов в образование атмосферы и Мирового океана велик.

Кроме воды и углекислоты, при извержении вулкан выбрасывает окись углерода, водород, метан, аммиак, азот, соляную и фтористоводородную кислоты, соединения серы и фосфора, металлы. Это обстоятельство и дает возможность предполагать, что вулканы являются огромными природными химическими реакторами.

Действительно, в жерле вулкана температура достигает тысячи - полутора тысяч градусов. И именно в этой высокотемпературной зоне проходят сотни химических реакций, многие из которых приводят к образованию предшественников органических молекул.

А если вулкан при этом находится под водой? Мало того, что число подводных вулканов существенно превышает число вулканов на суше (где их более 500), только под водой создаются наиболее благоприятные условия для синтеза и дальнейшего сохранения образовавшихся органических молекул.

Ведь в огне мало что может сохраниться. Необходимо как можно быстрее вывести продукты реакции из Горячей зоны. В случае наземного извержения мощная струя газа рассеивает образовавшиеся органические молекулы на огромные пространства.

А под водой? Мощный слой воды толщиной нередко в несколько километров «поджимает» струю у жерла. Концентрации продуктов резко увеличиваются. Сама струя становится меньше, а органические молекулы выносятся в «комфортные» условия, в воду, где и могут происходить дальнейшие реакции с их участием.

Если же вулканы в древности располагались в небольших внутренних морях или озерах, то совершенно ясно, что они могли их насытить органическими молекулами. И когда число этих молекул достигло некоторой критической

концентрации, могли образовываться все более сложные молекулы, давшие наконец толчок для появления первых живых систем.

Не нужно забывать еще об одном проявлении вулканической деятельности. Речь идет о работе уже упоминавшихся гидротермальных систем: фумарол-гейзеров. Их деятельность сравнима по производительности с деятельностью вулканов. Например, фумаролы Мутновского вулкана выбрасывают 200 килограммов водяного пара в секунду, а работают они непрерывно уже в течение тысяч лет. Фумаролы, как мы уже говорили, извергают газы, необходимые для синтезов органических соединений: аммиак, метан, водород и ряд других.

Между Петропавловском-Камчатским и поселком Ключи есть вулкан Ссмячек. В кратере этого вулкана находится удивительно красивое, бирюзового цвета озеро. На дне озера расположены фумаролы. Посмотрим, что могло бы дать такое озеро 4 миллиарда лет назад, если бы на его дне в течение десяти тысяч лет «работали» фумаролы и выделяли бы именно те газы, о которых мы уже упоминали.

Пусть объем озера - миллион кубических метров, а производительность фумарол такая же, как производительность фумарольных полей Мутновского вулкана. (Я специально беру абсолютно реальные, ненадуманые цифры.) Простые расчеты показывают, что «всего» за десятки тысяч лет жизни такого озера в нем могли бы накопиться сотни тысяч тонн органических соединений. Вот где мог вариться первичный бульон: в вулканических озерах и внутренних морях.

Палеогеологические данные неопровержимо говорят нам о том, что миллиарды лет назад вулканические процессы на поверхности Земли были выражены гораздо сильнее, чем сегодня. Почему? В частности, потому, что Луна тогда была гораздо ближе к Земле, чем сейчас. Расчеты показывают, что Луна удаляется от Земли приблизительно на один сантиметр в год. Тогда, миллиарды лет назад, Луна, находясь вблизи Земли, вызывала огромные напряжения в ее коре за счет так называемых приливных сил.



Вулканы-разрушители, вулканы-созидатели-5

С обычными приливами в океанах, также вызываемыми движением Луны, мы хорошо знакомы. Однако чем ближе планета и ее спутник, тем сильнее их взаимодействие. Вполне возможно, что в те далекие даже по геологическим масштабам времена в земной коре могли образовываться большие трещины, которые способствовали еще более мощному проявлению вулканической деятельности.

То обстоятельство, что в ранние геологические эпохи 3 вулканизм был сильнее, подтверждается наблюдениями в Западной Сибири и Южной Бразилии. В Западной Сибири огромные пространства покрыты лавами, как их называют геологи, траппами. Эти породы датируются временем в миллионы лет назад. Ничего подобного в наши дни наблюдать не удастся. Некоторые геологи считают, что вообще вся земная кора - продукт деятельности вулканов.

Но как все-таки удалось экспериментально подтвердить предположение о том, что вулканы могут «генерировать» органику?

Здесь были сделаны две вещи.

Во-первых, мы «смоделировали» в лаборатории вулкан. Причем не просто вулкан, а целых два вулкана - наземный и подводный. Конечно, все полностью воссоздать не удалось. Но мы сделали самое главное: смоделировали состав газовой смеси и жерло вулкана с лавой. В качестве жерла нам служила толстостенная кварцевая трубка, заполненная вулканической лавой и помещенная в печку, которая нагревала эту трубку до

тысячи с лишним градусов. А через трубку пропускали воду, метан и аммиак.

В случае нашего наземного лабораторного вулкана мы сразу анализировали продукты, выходящие из трубки, а в случае подводного направляли «извержение» в колбу с водой и потом уже анализировали эту воду. Для анализа использовалась очень чувствительная аппаратура, которая могла обнаружить 0,00 000 000 001 грамма органических соединений. Такие приборы называются газовыми хроматографами и хроматомасс-спектрометрами.

В результате этих работ нам удалось доказать, что при вулканических извержениях должны образовываться и синильная кислота, и альдегиды, и аминокислоты. Из синильной кислоты и альдегидов (вообще говоря, даже только из синильной кислоты) можно получить наиболее важные для биологии молекулы.

Но одно дело провести лабораторные опыты, а иное - попытаться обнаружить эти молекулы в районах действующего вулканизма. Именно для этой цели вместе со своим товарищем, заведующим лабораторией вулканохимии Института вуканологии В. Пономаревым я отправился на остров Атласова, самый северный остров Курильской гряды.

Остров этот необитаемый. Когда подплываешь к нему на корабле и еще не видишь берегов, кажется, что прямо из Охотского моря вырастает огромный ослепительно белый снежный конус. Это вулкан Алаид. В 1972 году он взорвался боковым извержением, у подножия вулкана вырос новый конус, и огромный поток лавы, напоминающий издали доисторическое чудовище, сполз в море. Спустя год из трещин на вершине конуса еще шел горячий газ. Именно этот газ мы и хотели проанализировать на месте.

Не проще ли было отобрать пробы, привезти их в Москву и исследовать на хорошем лабораторном оборудовании? Но дело в том, что хотелось найти именно синильную кислоту, тот самый цианистый водород, который может давать начало многим биологически важным соединениям, в то же время убивая все живое. И, хотя молекула цианистого водорода устойчива по отношению к теплу, она слишком охотно вступает в химические реакции (особенно с водой). Именно поэтому ее нужно ловить «на месте», потом уже будет поздно.

Есть реактив, который реагирует только на цианистый водород. Если этот реактив поместить в небольшую стеклянную трубочку и пропустить через нее газ, в котором есть хотя бы следы цианистого водорода, трубочка с реактивом покраснеет (вернее, покраснеет реактив). Вот на эту «застенчивость» реактива мы очень надеялись, когда высадились с корабля на остров Атласова.

Для начала нужно было выбрать наиболее подходящую для экспериментов трещину, из которой выходят вулканические газы. Вообще-то вулканических

трещин на Алаиде превеликое множество, но вся беда в том, что большинство из них низкотемпературные. Понятие «низкотемпературная» имеет здесь, конечно, весьма относительный смысл, поскольку даже у самых низкотемпературных трещин она около 300-400 градусов. Но это нам не подходило, потому что при таких температурах синильная кислота быстро реагирует с водой. Пришлось искать более горячие трещины. Две мы нашли на самой вершине молодого вулкана. Они представляли собой глубокие разрывы в лавовой корке. Внутри трещин лава меняла цвет от ярко-красного до ослепительно бело-розового. Это нам и было нужно.

Из обеих трещин вырывался раскаленный газ. Мы взяли титановые трубки длиной около двух метров, погрузили их в трещину и стали прокачивать газ через трубочку с реактивом. Они мгновенно покраснели. Сейчас, много лет спустя, уже трудно вспомнить, какую радость мне довелось пережить. Ведь за два года до эксперимента на Алаиде я теоретически предсказал наличие синильной кислоты в вулканических газах.

Мы провели на конусе вулкана несколько дней, и каждый раз результаты наших опытов были положительными. Белее того, в следующем году я снова попал на Алаид. Трещины еще «работали», и мы опять стали проверять наш реактив. Он покраснел. Все было в порядке. Вулканы действительно могут генерировать органические соединения.

Позже мы исследовали также на органические молекулы выходы парогазовых струй, связанных обычно с магматическим очагом. Здесь эксперименты были сложнее, так как все выходы обычно загрязнены микроорганизмами и существует опасность открыть органику чисто поверхностного, микробного происхождения. Эта тонкость не всегда учитывается геологами в их работах.

Поэтому мы проводили тщательное микробиологическое исследование проб, взятых из парогазовых струй. В одной из скважин в районе Кошелевского вулкана в стерильной пробе была обнаружена простейшая аминокислота - глицин. Теперь окончательно стало ясно, что вулканизм был одним из решающих факторов, который на ранних стадиях развития Земли играл главную роль в процессах химической эволюции.

Теперь остается ответить на вопрос: почему, если вулканы выделяют метан и аммиак в течение долгого времени, мы не видим этих газов в атмосфере? Почему же сейчас не накапливается органика в районах активного вулканизма?

Ответ прост. Сейчас на Земле есть жизнь, и она очень быстро уничтожает органические молекулы, которые являются хорошей пищей, например, для микроорганизмов. Более того, в Петропавловске-Камчатском в филиале Тихоокеанского института рыбного хозяйства мне говорили, что экспедиции института заметили в южных морях интересное явление. Там, где на дне моря есть подводные вулканы, рыб и водорослей всегда больше. Это, конечно,

весьма косвенное, но все-таки доказательство.

Теперь по поводу атмосферы. В ней могут накапливаться только малоактивные с точки зрения химии газы. Поэтому аммиак и другие реакционноспособные газы очень быстро исчезают из атмосферы. Вот почему образование органики интенсивнее идет в локальных вулканических районах, где эти самые газы не успевают рассеяться в атмосфере.

Итак, из смеси простых газов можно получить и аминокислоты, и аденин, и даже более сложные молекулы. Означает ли это, что мы вплотную подошли к решению задачи о создании первого живого организма *in vitro*, в пробирке?

Чтобы ответить на этот вопрос, нам надо посмотреть, как построена живая клетка и как она работает.

Молекулы жизни

Человек сравнительно недавно познакомился с клеткой, когда научился изготавливать линзы, дающие достаточно сильное увеличение. Однако только через два столетия он понял, что клетка - основа всего живого на Земле.

Если попросить любого ученого назвать десять величайших открытий за всю историю человечества, то в числе их наверняка будет назван микроскоп. Если создание телескопа дало людям новый метод исследования структуры макромира, то микроскоп открыл путь изучения микромира. Символично, что объектив телескопа направлен всегда вверх, к звездам, микроскопа - вниз.

Рождение новой науки - бактериологии тесно связано с именем голландского натуралиста А. ван Левенгука. Будучи по профессии торговцем сукном, он пользовался значительным авторитетом среди сограждан своего родного города Дельфта. Левенгук был по-настоящему одаренный человек. Один из крупнейших специалистов по молекулярной генетике, американский ученый, член Американской академии искусств Г. Стент, говорил, что в науке добиваются наибольших успехов люди беспокойные, ищущие, любопытные, люди «фаустовского склада». Конечно, одних этих качеств недостаточно, нужен еще как абсолютно необходимое условие мощный интеллект. Когда все эти свойства объединяются, получается человек «фаустовского склада», истинный ученый.

Казалось, что нужно Левенгуку? Торговля сукном идет успешно, любой горожанин первым раскланивается с ним на улице, в доме полный достаток. Но Левенгук, не имея никакой специальной подготовки в науке, упорно занимается самообразованием. Он овладевает искусством изготовления стеклянных изделий и обработки металлов. Наибольшего мастерства достиг он в создании маленьких, но мощных линз, и ему удалось добиться огромного по тем временам увеличения в 150-200 раз.

Для Левенгука с его линзами открылся новый мир. Он часами рассматривал срезы пробки, листья растений, слюну, кровь, циркулирующую в хвосте саламандры, соскобы с собственных зубов... Именно тогда и удалось Левенгуку обнаружить живые существа, которые теперь ученые называют бактериями и простейшими. Он называл их «зверьками».

Левенгук обладал редкой изобретательностью и отточенным мастерством в шлифовке и оправке своих линз. Все это давалось огромным, тяжелым трудом и упорством. Свое искусство Левенгук хранил в тайне и, несмотря на просьбы других ученых, упорно отказывался открыть секреты мастерства.

Чтобы выяснить истинные размеры изучаемых объектов, Левенгук использовал метод сравнения, выбирая в качестве «эталонов» песчинку, зерно горчицы, глаз вши, а позднее волос и клетки крови. Поразительно, как еще в

XVII веке удалось установить, что размер песчинки более чем в миллион раз превышает размер некоторых «зверьков». Исследования Левенгука составили эпоху в микробиологии. Его уникальные отчеты о наблюдениях начиная с 1647 года, находятся в Лондонском королевском обществе. Торговец сукном из Голландии стал членом этого общества.

В 1667 году английский врач и ботаник Р. Гук, рассматривая в микроскоп срез пробки, с удивлением обнаружил, что ее внутренняя, не видимая невооруженным глазом структура напоминает пчелиные соты. Утверждение, что клетки представляют собой основные единицы, из которых построено все живое, может показаться сегодня очевидным (тривиальным), но впервые клеточная теория была сформулирована лишь в 1839 году ботаником М. Шлейденем и зоологом Т. Шваниом. Эти исследователи пришли к открытию новой теории независимо, изучая растительные и животные ткани.

Наконец, в 1859 году Р. Вирхов сформулировал знаменитый принцип *omne cellula e cellula* (каждая клетка из клетки).

В течение последующих ста с лишним лет ученые продолжали дело Левенгука и выяснили внутреннюю структуру единицы живого - клетки. Вместо старого представления о капле протоплазмы сформировалась новая точка зрения, согласно которой каждая клетка - это крохотная фантастически сложная и сбалансированная машина, даже скорее не машина, а целая «молекулярная фабрика» с отдельными цехами. Если бы настоящая фабрика и завод работали с такой же точностью и экономичностью, как неповрежденная клетка вопрос о невыполнении плана просто никогда бы не возникал.



Молекулы жизни

Отдельные «цехи» клетки биологи называют органеллами. Каждая органелла выполняет специальную функцию.

Что же представляет собой эта «молекулярная фабрика»?

Рассмотрим некий «синтетический» образ клетки так как в природе не существует клетки, которую можно было бы считать типичной. Итак, от внешней среды клетку отделяет очень тонкая оболочка толщиной каких-нибудь 100 ангстрем (ангстрем - десятиллионная часть миллиметра). Клетки, принадлежащие к одному и тому же типу и сходные друг с другом, могут объединяться, образуя ткань, в которую нет доступа клеткам других типов.

В этом взаимном притяжении и отталкивании клеток центральная роль принадлежит клеточной оболочке - мембране. Мембраны кровяных телец, эритроцитов, выполняют другую, не менее интересную работу. Они способны отличать ионы натрия от ионов калия. Ионы калия проникают в клетку, а ионы натрия мембрана «не пускает» внутрь. Иными словами, осуществляется активный перенос ионов. Кроме того, мембрана умеет механически втягивать в клетку большие молекулы и микроскопические частицы.

Внутри клетки, как мы уже говорили, находятся ор-ганеллы. Наиболее важные из них - хлоропласты клеток зеленых растений и митохондрии, встречающиеся как у животных, так и у растений. Эти органеллы - силовые станции всего живого на Земле. Именно в хлоропластах происходит связывание энергии солнечного света в процессе фотосинтеза. В митохондриях же извлекается энергия, заключенная в химических связях поступающих в клетку питательных веществ.

Для аккумуляции химической энергии в клетке природа выбрала только одно универсальное соединение с длинным и труднопроизносимым названием «аденозин-трифосфат», или, как его сокращенно принято называть, АТФ. Молекула АТФ - универсальное депо, распределяющее химическую энергию для самых различных нужд живой клетки.

Итак, митохондрии, хлоропласты, мембраны. Что еще есть внутри клетки? Органеллы, которые называются лизосомами. Как всякое живое существо, клетка должна питаться и переваривать поступающую в нее пищу. Роль желудка в клетке и выполняют лизосомы, а роль Желудочного сока специальные белки - ферменты, разрушающие большие молекулы - пищу клетки.

Интересно, что лизосома, в свою очередь, окружена тонкой мембраной. Для чего это нужно? Если бы не было мембраны, клетка быстро «съела» бы себя, поскольку Ферменты лизосом очень активны. Разрыв мембраны лизосом и освобождение ферментов приводит к лизису (растворению) клеток.

Заметим, что почти все реакции в клетке происходят в жидкой фазе. Жидкость, заполняющая внутреннее клетки, называется цитоплазмой.

В клетке существуют также небольшие гранулы, из которых происходит синтез белка. Они называются рибосомами.

И, наконец, клеточное ядро, хранилище генетической информации, генофонда, клеточной дезоксирибонуклеиновой кислоты (ДНК). Именно здесь и начинаются процессы деления клетки. Естественно, что ядро также имеет свою мембрану.

Создание современной картины строения клетки потребовало развития сложнейшей аппаратуры. Чтобы закончить описание анатомии клетки, нужно сказать несколько слов и о ее размерах. Такое простейшее, как скажем, амeba, имеет размер в одну сотую часть сантиметра, то есть представляет собой довольно крупную в поэтому очень удобную для изучения клетку. Амeba в десять раз крупнее клетки ткани млекопитающего и в сто раз больше бактерии. Размер обычной бактерии составляет несколько микрон. А самые маленькие живые существа? Не будем сейчас говорить о вирусах, так как самостоятельной жизни они вести не могут. Известно что только внутри клетки-хозяина вирусы проявляют свою активность. Поговорим о самых мелких живых системах - бактериях.

Еще в конце XIX века великий французский химик и микробиолог Л. Пастер, изучая плевропневмонию, воспаление легких крупного рогатого скота, пришел к выводу, что некие микроорганизмы являются возбудителями этой болезни. Но выделить их Пастеру не удалось. Только в 1931 году, когда в распоряжении бактериологов оказались фильтры, диаметры отверстий которых точно известны, было установлено, что возбудители плевропневмонии - крохотные бактерии, размером с вирус, а диаметр всего одна десятая микрона.

Шли долгие споры, бактерия это или вирус. Сравнительно недавно, в 1962 году, были получены доказательства того, что это бактерии. Исследования показали, что микоплазмы, так были названы эти мельчайшие организмы, растут на специальных питательных средах и порождают копии самих себя, а значит, это не вирус, а бактерия.

Микоплазма в миллиард раз легче амeбы. Для наглядности напомним, что амeba в миллиард раз легче небольшой крысы. Микоплазма даже меньше вируса коровьей оспы. И тем не менее микоплазма, этот самый маленький из известных на Земле живых организмов, умеет делать все, что делают более крупные клетки!

Существование таких крохотных и притом свободно функционирующих живых систем вызывает вполне естественный вопрос: а может быть, на Земле есть до сих пор не обнаруженные другие, еще более мелкие, чем микоплазмы, клетки? Это вопрос очень серьезный, потому что должны существовать какие-то теоретические ограничения на минимальный размер клеток. Точно так же, как звезды не могут быть меньше определенной величины, и клетка

должна иметь какой-то минимальный диаметр.

Подумаем, каким образом можно оценить этот диаметр. Клетка обязательно должна иметь мембрану, хотя бы для сохранения своей собственной целостности. Толщина известных сегодня мембран около 100 ангстрем (0,01 микрона). Именно поэтому «минимальная» клетка не может иметь диаметр менее 200-300 ангстрем, что составляет одну десятую часть диаметра микоплазмы.

Биохимики считают, что подобная механическая оценка неудовлетворительна, потому что такая клетка просто не сможет вместить всех молекул, необходимых для ее существования, и «требуют» 400 ангстрем. Биофизики «просят» 500 ангстрем, считая, что при меньшем диаметре тепловое движение молекул может разрушать клетку.

Согласимся с биофизиками и будем считать, что минимальная гипотетическая клетка, которая «все умеет делать», всего вдвое меньше микоплазмы. Если эту клетку высушить, то в ней останется полтора миллиона атомов. Эти полтора миллиона и создают то чудо, которое называется жизнью.

Сразу же возникает еще один серьезный вопрос: можно ли микоплазмы считать самыми простыми образцами, жизни или же, наоборот, эволюция за долгое время создала такие удивительные инструменты? К сожалению, сегодня этот вопрос остается нерешенным.

Итак, полтора миллиона атомов и совершенно новое свойство материи - жизнь. Обмен веществ, движение, Размножение, раздражимость, превращение солнечного света в химическую энергию и так далее.

Одним из наиболее удивительных свойств жизни является то, что природа очень экономно использует находящиеся в ее распоряжении полтора миллиона атомов.

Очень небольшое количество типов молекул «работает» в клетке. Клетка - хорошая иллюстрация к афоризму! Ньютона: «*Natura enim simplex est*» («Природа проста»)!



Молекулы жизни-2

Что же представляют собой эти молекулы?

В предыдущих главах часто использовались выражения «органические молекулы», «органические соединения» и так далее. Слово «органические» показывает, что эти молекулы связаны с жизнью, с организмами. Свойства органических молекул изучает специальная ветвь химии - органическая химия. На сегодняшний день известно около миллиона органических соединений, и людям понадобилось всего двести лет, чтобы изучить и описать свойства огромного числа соединений углерода.

Это стало возможным лишь после того, как в конце века проявилась очевидная бесплодность методов подходов алхимии. Тем не менее нужно сказать несколько слов об этом удивительно интересном направлении человеческой деятельности, потому что экспериментальная техника алхимиков послужила основой для химиков последующих поколений. Кроме того, в «актив» алхимии можно записать получение ряда чистых соединений и элементов.

В отличие от других наук древних времен побудительной причиной развития алхимии была не только человеческая любознательность. В течение многих сотен лет алхимики пытались создать философский камень - препарат, обладающий свойством превращать металлы в золото и являющийся одновременно эликсиром жизни. Этот препарат называли по-разному: красным львом, красной тинктурой, великим эликсиром. Ему приписывалась огромная сила. Раствор его (золотой напиток), принимаемый внутрь в небольших дозах, должен был исцелять все болезни и избавлять от старости.

Зародилась алхимия еще в Древнем Египте, где и был впервые получен

нашатярь. Римский император Диоклетиан нанес сильный удар по алхимии, издав указ о предании огню всех египетских рукописей с описанием рецептов превращения металлов в золото. Однако наивная вера в возможность подобного превращения была неистребима, и алхимия получила повсеместное распространение в развитых странах Запада и Востока.

Пик развития этой науки приходится на средние века. Поскольку в те времена каждый выдающийся ученый обладал всей суммой знаний своего времени, то история алхимии тесно связана с именами знаменитых философов и богословов. Так, известные философы XIII века Альберт Великий, он же граф фон Болштитедт, и Р. Бэкон серьезно занимались алхимией. Р. Бэкоии приписывают открытие пороха (в Европе), создание очков и телескопа. Не менее известный ученый Ф. Бэкон, барон, виконт и член палаты лордов, в XVI веке написал несколько научных трактатов, среди них «Введение в историю серы, ртути и соли».

В силу самой своей природы, своей основной цели, элхимия не могла не привлечь широкого внимания. Она соблазняла государственных деятелей, которым хотелось наиболее легким способом поправить шаткое финансовое положение, она же породила огромное число авантюристов и жуликов. Меценаты и владетельные князья чаще всего становились жертвами таких обманщиков. Например, в царствование Генриха VI Англия была повально наводнена фальшивым золотом и находилась на грани финансовой катастрофы. Резиденция императора Рудольфа II в Праге стала центром алхимической науки XVI-XVII веков. Такой же алхимический «бум» посетил и соседний саксонский двор, где курфюрст Август его супруга Анна Датская проводили в своих апартаментах «научные» исследования, пытаясь получить философский камень.

В истории поисков «красного льва» немало трагических событий. Владетельные князья не прощали обман и многие алхимики гибли под топором, на виселице иж в темнице. Так в 1709 году алхимик Каэтан, сын неадй литанского крестьянина, окончил свои дни в Берлине на виселице, украшенной золотой мишурой. Английски врач Р. Прайс объявил Лондонскому королевскому обществу, что им получен красный и белый порошок, с помощью которого ртуть по желанию может быть пот вращена в золото или серебро. Когда же от него потм бовали экспериментальных доказательств, чудодей отравился.

Однако не нужно забывать, что известный алхимии И. Беттхер, хотя и не добыл золото, но в 1704 году, находясь в тюрьме, получил коричневый яшмовый фарфоя а в 1709 году он же изобрел и белый фарфор. Гениальный И. Ньютон также был членом английского обществ алхимиков.

Смертельный удар по алхимии нанес великий врач Парацельс в XVI веке, который провозгласил, что главная задача алхимии не получение философского каамня, а облегчение страданий людей. «Химия - один из столпов, на который должна опираться врачебная наука. Задача химии вовсе

не в том, чтобы делать золото и серебро, а в том, чтобы готовить лекарства», - говорил Парацельс.

Он первый посмотрел на процессы, идущие в живом организме, как на химические процессы, хотя и был уверен в возможности создания гомункула в колбе. На его примере особенно ярко проявилась та смесь схоластического невежества с гениальным прозрением, которая была характерна для средних веков. Вскоре после Парацельса и началось систематическое изучение живых систем.

Теперь, после короткой исторической экскурсии, вернемся к основной теме нашей главы - к молекулам живой клетки.

Без преувеличения можно сказать, что главным «под-опытным животным» в биохимии и микробиологии служит микроорганизм, который называется палочкой *Escherichia coli* (Ешерихия коли). Для простоты ученые ее называют «еколи». Это известная кишечная палочка - один из самых распространенных и легко культивируемых микроорганизмов. За короткое время на очень простых питательных средах, таких, как мясной бульон, можно вырастить многие миллиарды «еколи». Поэтому-то очень легко изучать их химический состав.

Оказалось, что 70 процентов веса высушенной клетки «еколи» составляют белки, 15 процентов - нуклеиновые кислоты, 10 процентов - липиды и 5 - полисахариды. Главные труженики клетки - белки. Ни один процесс, происходящий в живой клетке, не обходится без участия белков. Голландский ученый Мюльдер первый предугадал их центральную роль в жизненных процессах и назвал эти соединения в 1838 году протеинами (от греческого слова «протос» - первичный). В течение последующих ста пятидесяти лет многие ученые проявляли большой интерес к исследованию белков, и поэтому к настоящему времени об их сложной структуре и функциях известно довольно много.

В каждой живой клетке ежесекундно протекают сот-ни химических реакций. Однако вряд ли хоть одна из них осуществилась, если бы в них не участвовали биологические катализаторы - вещества, которые увеличивают скорость реакций в сотни тысяч раз, а сами при этом остаются неизменными.

В неорганической химии катализаторы, обычно такие металлы, как железо, никель, платина, широко используются для получения промышленно важных соединений. Однако эффективность металлов как катализаторов не идет ни в какое сравнение с эффективностью биокатализаторов. Они называются ферментами, а все ферменты - белки.

Это отнюдь не означает обратного, что все белки - ферменты. Белки используются природой в качестве строительного материала тканей: кожи, сухожилий, мышц, нервных волокон. Волосы и ногти, например, почти полностью состоят из белковых материалов, длинных волокнистых структур.

Центральную роль в любом организме играют ферменты. Без них остановилась бы жизнь, все реакции в клетке настолько бы замедлились, что организм не сумел бы, например, своевременно удалять непрерывно накапливающиеся в нем ядовитые вещества.

Как построены белки?

Строительными блоками, кирпичиками для конструирования белковой молекулы служат аминокислоты. Их удается синтезировать *in vitro*, то есть вне организма, небиологическим путем. Двадцать природных аминокислот состоят из углерода, водорода, кислорода и азота. Правда, две аминокислоты из двадцати, участвующих в построении белков, содержат также серу. В чистом виде аминокислоты - белые порошки со слабым специфическим запахом.

В 1806 году из сока спаржи впервые было выделено соединение, которое оказалось аминокислотой и получило название аспарагина.

Какой химический смысл несет в себе слово «аминокислота»? Это значит, что молекула имеет одновременно в своей структуре и кислую и основную группы, которые прикреплены к одному и тому же атому углерода. Этот атом называется центральным. Роль кислой группы выполняет так называемая карбоксильная группа, состоящая из атома углерода, двух кислородов и одного водорода. Аминогруппа, в нее входят атом азота и два атома водорода, расположена на «другом конце» центрального атома углерода.

С 1806 по 1935 год химиками-органиками были получены все двадцать аминокислот. Интересно, что чистый препарат серосодержащей аминокислоты цистина получен в 1810 году из камней мочевого пузыря. Этот препарат сначала называли окислом мочевого пузыря. Из белкового материала аминокислота была впервые выделена в 1820 году. Она оказалась самой простой. Эта аминокислота получила название глицина.

Несмотря на то, что все аминокислоты выделялись химиками из органического материала, лишь в 1870 году русский химик Н. Любавин впервые высказал идею о том, что белковое вещество состоит из аминокислот. Эта мысль лет на двадцать опередила свое время, и лишь работы Э. Фишера установили, что белки состоят только из аминокислот.



Молекулы жизни-3

Химики-органики разработали приемы, используя которые можно заставить аминокислоты соединиться в цепочку. Такие полимеры аминокислот называются полипептидами. Полипептид можно получить искусственно. Белок вырабатывается только живой клеткой. В чем же разница между полимером, полученным в лаборатории, и полимером, построенным живой клеткой?

Вот здесь мы подошли к очень существенному и интересному вопросу. Известно, что аминокислоты можно синтезировать в пробирке. Можно сделать из них полимер. Будет ли этот полимер обладать теми свойствами белка, которые делают незаменимой эту молекулу в организме? Сразу и определенно можно сказать, что нет. И вот почему.

Обычно белковая молекула содержит сто-двести строительных блоков, их называют аминокислотными остатками. В «остатки» их записали потому, что, когда два молекулы аминокислоты связываются в дипептид, они «на пару» теряют одну молекулу воды. В пептидной цепи их структура уже несколько иная, чем в свободном виде. Если аминокислотных остатков сто, то очевидно, что из них (используя 20 различных сортов аминокислот) можно выстроить 20^{100} различных полипептидных цепей, отличающихся порядком расположения аминокислотных остатков. А сколько белков использует при работе клетка?

Вернемся к нашей микоплазме. Ей для нормальной жизни нужно приблизительно сто ферментов. Эти сто ферментов она строит из тех же двадцати аминокислот. Могла бы строить 20^{100} , а строит меньше, чем 20^2 . Все дело в специфичности белков-ферментов. Последовательность

аминокислот в белке полностью определяет его функцию и, в частности, каталитические, или ферментативные, свойства. Поэтому, если мы каким-либо образом поменяем порядок аминокислот в белке, он потеряет свои свойства, которые жизненно необходимы для клетки, для организма.

Но ведь получил американский биохимик С. Фокс так называемые протеиноиды? Получил. Их молекулярный вес порядка 30 тысяч, и, значит, они содержат около 300 аминокислотных остатков. Эти протеиноиды похожи на белки, но все-таки это не белки. Да и способ их получения уж слишком экзотичен.

Фокс брал полностью безводную смесь аминокислот, причем обязателен был избыток аспарагиновой и глютаминовой кислот. Затем нагревал смесь до 170 градусов Цельсия. Аминокислоты сплавлялись в белковоподобное вещество, которое, правда, обладало очень маленькой каталитической активностью. Кроме того, им без вреда могли лакомиться и крысы и бактерии.

Но полностью безводные условия на ранней Земле вряд ли могли существовать. Кроме того, если органика образовывалась, то синтезировались не только аминокислоты, а и другие молекулы тоже. Так что опыты Фокса не слишком правдоподобны с геологической точки зрения. Таким образом, на сегодняшний день наиболее существенный из компонентов живой материи - белок не удалось получить в экспериментах, связанных с предбиологическими исследованиями.

Другой важный класс макромолекул живых организмов - углеводы. Это соединения, в которых атомы углерода, водорода и кислорода находятся в соотношении 1:2:1. Будучи одним из основных компонентов нашей ежедневной пищи, углеводы поставляют значительную часть энергии, необходимой для живого организма. Типичные углеводы, с которыми каждый из нас сталкивается ежедневно, - крахмал и сахар. Поскольку это вещества растительного происхождения, а основную массу живого на Земле составляют растения, углеводы имеют «прочное большинство голосов» среди других органических соединений на нашей планете.

Многие углеводы, выделенные из живых организмов, так же как и белки, полимеры. Но структурной единицей углеводов является молекула сахара, например, хорошо известной всем глюкозы. Поэтому полимеры глюкозы называются полисахаридами. Глюкоза, содержащаяся в свободном виде в сладких фруктах, необходима для «энергетического» питания организма. Недаром после болезни, когда человек ослаблен, ему назначают уколы глюкозы.

Молекула глюкозы представляет собой замкнутое кольцо с шестью атомами углерода, химики называют ее шестиуглеродным сахаром. Существуют сахара с большим и меньшим числом атомов углерода. Например, очень важную роль в биохимии играют пятиуглеродные сахара - пентозы. Они

являются неотъемлемой частью нуклеиновых кислот.

Если мы будем последовательно присоединять одну молекулу глюкозы к другой, то в зависимости от способа присоединения получим крахмал или целлюлозу. Кстати говоря, целлюлозы в природе больше, чем какого-либо другого органического соединения. Целлюлоза - основной структурный элемент растительных тканей. Хлопок и лен содержат от 90 до 99 процентов чистой целлюлозы, древесина до 45 процентов. Длинные прямые пучки макромолекул целлюлозы образуют в организмах нити, прочность которых превышает прочность хорошей стальной проволоки такого же диаметра. Сахара и полисахариды без труда получают в процессе небиологических синтезов, что впервые показал великий русский химик А. Бутлеров. Поэтому молекулы Сахаров никогда не будут камнем преткновения при попытке создания живого из неживого.



Молекулы жизни-4

Важная составная часть организмов - макромолекулы, которые называются липидами. Более привычное название, употребляемое в обиходе, - жиры. Они тоже построены главным образом из углерода, водорода и кислорода, хотя иногда в их состав входит фосфор. Типичная молекула липида состоит из хорошо известного каждому глицерина (одной молекулы), который соединен с жирными кислотами.

Молекулы липидов обладают замечательным свойством. Они представляют собой цепочку, которая имеет «голову» и «хвост». «Голова молекулы» может раствориться в воде, а «хвост» нерастворим, гидрофобен. Поэтому молекулы липидов всегда ориентированы в клетке и являются одной из составных

частей клеточных мембран. Совсем недавно удалось небиологическим путем синтезировать молекулы этого типа и получить из них аналоги биологических мембран.

В начале короткого рассказа о молекулах, входящих в состав живого организма, говорилось о том, что белки - наиболее существенный компонент живого. Это так. Белки - главные труженики клетки, исполнители. Но есть еще один тип макромолекул, без которых жизнь в виде, известном на Земле, была бы невозможна. Это знаменитые нуклеиновые кислоты.

В 1868 году, через три года после того как Г. Мендель заложил основы генетики, швейцарский врач Ф. Мишер выделил из гноя больничных бинтов новое вещество, которое он назвал нуклеином. Мишер установил, что нуклеин состоит из углерода, водорода, кислорода, азота и фосфорной кислоты.

Нельзя не подчеркнуть, что, как только заходит речь о важнейших макромолекулах, составляющих живую клетку, мы вновь и вновь сталкиваемся с замечательным свойством живого: в основе всего живого лежит химия углерода.

В 1889 году вещество, выделенное Мишером, было предложено называть нуклеиновой кислотой. Следует заметить, что Мишер нашел это соединение, изучая клеточное ядро, и, помимо получения нуклеина, что само по себе является эпохальным открытием, Мишер предположил, что именно нуклеин является генетически активным материалом. К сожалению, это осталось в то время незамеченным.

После открытия Мишера началось интенсивное исследование химии нуклеиновых кислот, но только через восемьдесят лет всем стала очевидна центральная роль, которую нуклеиновые кислоты играют в управлении клеточными процессами. Это, бесспорно, некая ирония судьбы, поскольку Мишер обнаружил нуклеин именно при попытке раскрыть химическую природу клеточного ядра. В 1910 году было установлено, что нуклеиновые кислоты содержат в своем составе сахар, а вскоре после этого было высказано предположение, что сахар и азотистое основание (например, упоминавшийся выше аденин) объединены в общий комплекс. Этот комплекс, в свою очередь, соединен с фосфорнокислым остатком. Углевод вместе с азотистым основанием назвали нуклеозидом, а нуклеозид вместе с фосфатной группой - нуклеотидом.

Нуклеиновые кислоты являются полимерами нуклеотидов - полинуклеотидами. В нуклеиновых кислотах используется, как правило, пять оснований - аденин, гуанин, цитозин, тимин и урацил.

К 1930 году стало ясно, что существует два типа нуклеиновых кислот, отличающихся молекулой сахара и составом азотистых оснований. Впоследствии они получили название рибонуклеиновой кислоты (РНК) и

дезоксирибонуклеиновой кислоты (ДНК). В построении молекулы ДНК участвуют четыре азотистых основания - аденин, гуанин, тимин и цитозин. В РНК вместо тимина - урацил. Есть и отличие в пентозах: в состав РНК входит рибоза, а ДНК - дезоксирибоза. Ученым, занимающимся предбиологической химией, сто лет спустя после открытия Мишера удалось синтезировать нуклеозиды, нуклеотиды и их полимеры. Но полученное в лаборатории драматически отличалось от того, что делает живая клетка.

Структура клеточных нуклеиновых кислот идеальна. Это законченное молекулярное архитектурное сооружение. Нуклеиновые кислоты - полимеры нуклеотидов, и в клетке нуклеотиды соединяются между собой всегда по одному и тому же правилу. Мы помним, что пентозы - пятиуглеродные циклические сахара. Так вот, в нуклеиновых кислотах связь между нуклеотидами осуществляется через фосфатную группу, которая соединяет совершенно определенный атом углерода в пентозе одного нуклеотида с другим всегда одним и тем же (из пяти возможных) атомом углерода в пентозе другого нуклеотида. А в колбе получается хаос. Эта та же ситуация, которая случается с ребенком, когда он впервые открывает игрушку-конструктор. Чтобы построить что-нибудь стоящее, необходимо прикладывать одну деталь к другой определенным образом. Природа умеет это делать, а химики пока нет.

Кроме того, клетка способна создавать информацию. И это главное.

Клетки работают

Существует очень простой факт, хорошо известный биологам. Он заключается в следующем. Для создания, а точнее, для биологического синтеза своих компонентов клетка должна получить из окружающей среды не только строительный материал, но и энергию. Когда клетка питается, например, глюкозой, она окисляет ее до углекислого газа и воды. В результате распада глюкозы выделяется энергия, которую клетка использует для всех своих нужд, в частности, для построения самых различных молекул.

На примере процесса брожения посмотрим, как происходит распад глюкозы в живом организме. Этот процесс был известен еще во времена неолита, когда древние люди научились превращать виноградный сок в вино. Египтяне приписывали изобретение виноделия богу Озирису, а библейские сказания связывают это великое открытие с именем Ноя. Древние греки также видели здесь руку богов и прославляли Дионисия. Римляне - Вакха. Но природу брожения, так же как и природу многих физических явлений, удалось объяснить лишь в XIX веке. Сделал это французский физик Гей-Люссак. Он установил, что в процессе брожения из глюкозы получается этиловый спирт и углекислый газ. При этом высвобождается энергия, которую клетка запасает в фосфатных связях упоминавшихся уже молекул аденозинтрифосфорной кислоты (АТФ). Для полной реализации всего процесса необходимо около двух тысяч химических реакций, которые и происходят во время брожения, причем с невероятной точностью.

Люди, я имею в виду не организм, а общество, получают необходимую энергию главным образом за счет распада химических связей, заключенных в горючих материалах: угле, нефти, дереве и так далее. Хорошо известно, что из-за легкомысленного отношения к природным ресурсам и низкого коэффициента полезного действия процессов сжигания топлива человечеству грозит глобальный энергетический кризис. Клетка же получает более 50 процентов всей освободившейся при окислении энергии в форме энергии фосфатных связей АТФ. Для сравнения скажем, что в технике редко удается превратить в механическую или электрическую энергию более трети тепловой энергии, освобождающейся при сгорании.

Заметим, что клетке приходится добывать и использовать энергию в условиях практически постоянной и сравнительно низкой температуры. На протяжении миллиардов лет эволюции органического мира клетка приспособила свои удивительные молекулярные механизмы для эффективной работы в этих мягких условиях.

Биологи делят все живое на Земле в зависимости от способа питания на две основные группы.

Организмы, например, люди и животные, которые питаются сложными

органическими соединениями, называются гетеротрофами. Им необходим постоянный приток горючего сложного химического состава (углеводы, белки, жиры). Гетеротрофные организмы получают энергию, окисляя эти сложные вещества. Запасенная энергия используется практически для всех нужд организма. При этом, как установил еще Гей-Люссак, в атмосферу выделяется двуокись углерода.

Вторая группа организмов называется автотрофами. Их подавляющее большинство, так как все зеленые растения на суше и в океане - автотрофы.

Клетки автотрофных организмов умеют делать две вещи. Они, во-первых, аккумулируют (опять же в форме фосфатных связей АТФ) энергию солнечного света, используя ее для своих целей. А во-вторых, добывают углерод для построения глюкозы из углекислого газа, Из глюкозы они создают более сложные молекулы, и поэтому все живое на Земле в конечном счете получает энергию от Солнца, причем растительные клетки берут эту энергию непосредственно, а животные - косвенным, но простым путем, поедая растения или других животных.

Фотосинтез, а именно так называется процесс, характерный только для растительного царства, происходит в клеточных органеллах - хлоропластах. Эффективность этого миниатюрного цеха нашей молекулярной фабрики-клетки необычайна. В лабораторных условиях удалось превратить 75 процентов энергии солнечного света в энергию фосфатных связей АТФ. Энергетические установки клетки по своей эффективности оставляют далеко позади не только классическую энергетику, но и самые последние достижения атомной.

Сбалансированность всех химических и энергетических процессов в клетке не может не вызвать восхищения. Электроника достигла впечатляющих успехов в создании микросхем и миниатюрных ЭВМ. Но все это не идет ни в какое сравнение с миниатюризацией механизмов превращения энергии в органическом мире.

А сейчас, прежде чем перейти к обсуждению наиболее интригующих событий и процессов, происходящих в живой клетке, полезно будет подвести некоторые итоги экспериментов в области предбиологической химии.

За последние годы появилось много работ, в которых продемонстрирована возможность образования из различных полимеров обособленных структурных единиц, обладающих некоторыми свойствами живого. Эти маленькие сферические частицы можно в известном смысле рассматривать как предшественников бактериальных клеток.

Здесь в первую очередь нужно указать на исследования коацерватных капель школы А. Опарина и работы американского биохимика С. Фокса по протейноидным микросферам.

Отметим, что морфологические структуры, во многом похожие на

протеиноидные микросферы Фокса, были получены фотохимическим путем индийским ученым К. Бахадуром и С. Ранганаяки. Они использовали в качестве исходного материала формальдегид и минеральный водный раствор, содержащий различные соли, который освещался ультрафиолетом. Раствор предварительно стерилизовали и пропускали через бактериальные фильтры. Образовавшиеся микрочастицы имели размеры 0,5 микрона и в течение 48 часов увеличивались до 2,5 микрона, демонстрируя таким образом способность к росту.

Бахадур и Ранганаяки назвали эти частицы «Дживану», что в переводе с санскрита означает «частица жизни». Несомненно, что самым интересным свойством этих структур является ферментативноподобная активность. В частности, они обладали свойствами, присущими двум ферментам - каталазе и пероксидазе.

Действие фермента каталазы проявляется в разложении перекиси водорода - одного из вредных для организма соединений, которое образуется в процессах обмена веществ. Его нужно или удалять из клетки, или уничтожить химически. Природа выбрала второй путь, приспособив для этой цели один из внутриклеточных белков - каталазу, разлагающую перекись водорода. Фермент пероксидаза участвует в окислении аскорбиновой кислоты.

Наибольшего успеха в моделировании протоклеток добился американский биохимик Фокс. В его опытах для получения модели клетки использовались лишь полимеры аминокислот и вода. При взаимодействии полиаминокислот с водой и получались частицы сферической формы, похожие, но только внешне, по размеру, на бактериальные клетки. Фокс назвал их протеиноидными микросферами.

Они иногда образуют нечто вроде колоний стрептококков. Размер частиц колеблется от 0,7 до 7 микрон. Максимальная величина достигается при взаимодействии полиаминокислот с однопроцентным раствором поваренной соли. Из одного грамма полимера получается до миллиарда микросфер, которые очень стабильны и не разрушаются при центрифугировании. Заметим, что коацерватные капли Опарина, например, полученные из желатина, гораздо менее устойчивы.

В некоторых микросферах удастся обнаружить нечто вроде мембраны. Так же как и «Дживану», микросферы Фокса обладают слабой каталитической активностью. Кроме того, при изменении параметров среды они способны делиться, пополам, расти и почковаться. Одним словом, результаты получены весьма впечатляющие.

Отметим, что моделирование протоклеток было начато еще в начале XX века мексиканским химиком А. Эррерой, который назвал свои модели сульфобами. Он изучил 6 тысяч разновидностей сульфобов.

Результаты работ Эрреры, Опарина, Фокса и других ученых приводят нас к

выводу о том, что многие важные свойства (катализ, деление), играющие первостепенную роль в современных живых системах, могли возникнуть до появления самой жизни.

Однако можно ли микросферы Фокса или «Дживану» Бахадура считать живыми системами? Для этого прежде всего необходимо сформулировать основные признаки живого. Такие попытки предпринимались неоднократно. Достаточно полного, корректного и исчерпывающего определения не существует до сих пор.



Клетки работают

Вообще говоря, давать определения даже тем явлениям или вещам, которые кажутся очевидными, дело далеко не простое. Можно проиллюстрировать это легендой об одной из многочисленных дискуссий между Платоном и Диогеном.

Когда Платона попросили определить понятие «человек», он ответил: «Это животное на двух ногах и без перьев». Диоген не упустил возможности пошутить над своим знаменитым противником. Он немедленно раздобыл петуха, оципал его и, к вящему удовольствию окружающих, продемонстрировал бедную птицу Платону.

Задумавшись на некоторое время, Платон дал дополнение к своему определению, добавив, что у «человека большие ногти».

Мы находимся в еще более трудном положении, чем Платон. Интуитивно мы чувствуем, в чем отличие живого от неживого, однако не можем точно сказать, что такое жизнь. Это происходит в первую очередь потому, что на сегодняшнем уровне знаний невозможно адекватно описать очень сложные и

во многом неясные процессы, происходящие в клетке.

Не нужно думать, что подобная трудность относится только к биологическим проблемам. Даже в такой точной науке, как физика, где большинство понятий строго формализовано и поддается четким определениям, очень трудно дать корректное определение для времени или для силы.

Попробуем все-таки сделать очередную попытку. Остановимся лишь на наиболее существенных признаках, характеризующих свойства клетки как единицы живого. Быть может, тогда станет более понятной и главная задача: познание закономерностей возникновения принципиально нового свойства материи - жизни.

Было бы несправедливо не упомянуть здесь о том, что некоторые ученые, например лауреат Нобелевской премии физик Е. Бигнер, считают эту проблему необъяснимой в рамках современной физики и химии.

Мысль о том, что невозможно описать возникновение жизни как естественный эволюционный процесс, процесс, который должен быть в принципе познаваем, еще чаще высказывается некоторыми биологами. Возникновение подобных сомнений лишь подтверждает, с одной стороны, грандиозную сложность задачи, а с другой - отражает неполноту наших знаний о процессах, происходящих в клетке.

Проблема живого, по сути дела, сводится к вопросу, поставленному в свое время крупнейшим физиком Э. Шредингером: «Как можно объяснить с помощью физики и химии события, происходящие в пространстве и во времени в пределах живого организма?»

Поставим еще один вопрос: каков основной признак живой клетки? Ведь клетка умеет делать очень многое, мы уже в этом убедились. И все-таки основной признак жизни - размножение или воспроизведение. Мы будем трактовать термин «воспроизведение» в широком смысле, 100

считая, что он объединяет все процессы, происходящие в клетке до того момента, пока наконец образуется копия исходного организма. Именно здесь начинаются главные трудности.

Часто используемый термин «самовоспроизведение» представляется мне не очень удачным, поскольку в нем неявно содержится понятие автономии, и поэтому его употребление требует известной осторожности. В научно-популярной и даже в научной литературе часто встречается выражение типа «самовоспроизводящиеся молекулы», хотя, по-видимому, за все время существования Галактики ни одна из известных нам молекул не «самовоспроизводилась».

Если мы возьмем изолированную молекулу ДНК, изолированную клетку, изолированного человека, то ни о каком «самовоспроизведении» не может быть и речи. Поэтому гораздо целесообразней использовать менее

обязывающие формулировки, а именно: снятие копий, воспроизведение.

Таким образом, живые системы отличаются от любых неживых систем, устройств, машин и так далее наличием уникального регулирующего механизма, обеспечивающего в определенных условиях воспроизведение системы. Этим же механизмом обладает и дубликат, и дубликат дубликата, и все последующие поколения. При всей своей фантастической сложности механизм снятия копий обладает исключительной надежностью и практически идеальной координацией во времени и пространстве.

Неживая природа не знает ничего подобного. Лишь эволюция соединений углерода достигла вершины в создании молекулярных машин, производящих свои собственные копии. В основе этого поразительного процесса лежит механизм матричного синтеза белков.

Я намеренно стараюсь сосредоточить внимание читателя на вопросах, связанных с механизмом размножения и роста, так как именно они имеют самое непосредственное отношение к проблеме возникновения жизни. С другой стороны, они и только они резко отличают живое от неживого.

В соответствии с такой точкой зрения жизнь можно определить как состояние материи, характеризующееся потенциальной способностью осуществлять координированный во времени и пространстве непрерывный процесс образования копий со структурных единиц (клеток).



Клетки работают-2

Ясно, что есть много дополнительных свойств, присущих живой клетке. Мы уже говорили об обмене веществ, или метаболизме. Можно еще раз упомянуть, например, о каталитической активности белков. Хорошо известно;

также, что клеточные вещества обладают оптической активностью. Однако каждое из этих свойств, взятое в отдельности, не может однозначно характеризовать жизнь.

В качестве примера рассмотрим такое очень важное свойство клетки, как обмен веществ. Но ведь оно присуще и неживому миру. Действительно, взглянем на систему река - океан, грунт - атмосфера, транспорт материала при извержении вулканов. Река выносит в океан гигантское количество воды. При испарении воды с поверхности океана на суше выпадают дожди, которые вновь питают водой реки. Чем не обмен веществ?

По-видимому, только возникновение механизма воспроизведения (в широком смысле слова) и передачи информации можно отождествить с началом эволюции собственно живых систем.

В неживой природе есть такое явление, как рост кристаллов. Более того, кристаллы одного и того же вещества похожи друг на друга как две капли воды. Но механизм роста кристалла, во-первых, не имеет практически ничего общего с ростом клетки, а во-вторых, кристаллы не умеют производить потомство. Они не могут снять копию и «пустить ее в жизнь».

Чтобы нагляднее представить себе всю сложность процесса воспроизведения жизни, необходимо подробнее остановиться на ключевых аспектах воспроизведения генетического материала в клетке (редупликация ДНК), биологического кода и синтеза белка.

Современное представление об этих процессах сформировалось на основании фундаментальной гипотезы лауреатов Нобелевской премии Д. Уотсона и Ф. Крика о структуре ДНК и блестящих экспериментальных работах лауреатов Нобелевской премии Д. Корнберга, М. Ниренберга, С. Очоа, Ф. Крика, Х. Кораны и других исследователей. Тому, кто незнаком с драматической историей открытия структуры ДНК, обязательно следует прочитать замечательную книгу Уотсона «Двойная спираль».

Модель двухцепочечного строения дезоксирибонуклеиновой кислоты, предложенная Уотсоном и Криком, весьма удачно объясняет процессы размножения организма и передачи наследственной информации.

Процесс редупликации (снятия копии) резко отличается от «механического» деления микросфер. Как же идет этот процесс в клетке? Он начинается с разделения на некотором участке двойной спирали молекулы дезоксирибонуклеиновой кислоты при воздействии специального белка. Вот здесь-то и обнаруживается, что спиральная структура ДНК идеально приспособлена для создания своих собственных копий.

При разрыве связей, стабилизирующих молекулу ДНК, и раскручивании двойной спирали на некотором участке ДНК появляются две свободные цепочки. На одной из этих цепочек (ее называют смысловой), как на матрице, начинает синтезироваться новая цепь, состоящая из уже знакомых нам

нуклеотидов.

Может, конечно, возникнуть вопрос: а нужно ли влезать в такие дебри молекулярной биологии? Но ведь мы уже говорили о том, что двадцать аминокислот располагаются в единственном, уникальном для клетки порядке образуя нужный ей белок. А что контролирует этот процесс в клетке? Гены. А ген - это определенная последовательность триплетов (троек) нуклеотидов в ДНК. Но ведь если мы себе представим родительскую бактериальную клетку и дочернюю бактериальную клетку, то ясно, что и «мать» и «дочь» умеют строить одни и те же белки по одной и той же программе. Что это значит? Это может означать лишь одно: ДНК ухитряется осуществлять свое собственное воспроизведение, передавая всю содержащуюся в ней информацию от родителей к потомству.

Посмотрим, как это происходит, как из одной молекулы ДНК получаются две полностью похожие на исходную. Гипотеза (впоследствии подтвержденная экспериментально) о механизме репликации ДНК также была высказана Уотсоном и Криком. Однако сначала нужно упомянуть о так называемом правиле эквивалентности Э. Чаргаффа, установленном в 1950 году.

Азотистых оснований, из которых строится ДНК, всего четыре. Это аденин, гуанин, тимин и цитозин. Правило эквивалентности Чаргаффа состоит в том, что в молекулах ДНК количество аденина всегда равно количеству тимина, а количество гуанина равно количеству цитозина.

Глубокий смысл этого правила (его называют также правилом спаривания оснований) прояснился, когда Уотсон и Крик установили комплементарную структуру ДНК. Другими словами, в двухцепочечной спирали ДНК напротив молекулы аденина одной цепи всегда находится молекула тимина, а напротив гуанина - цитозин.

Уотсон и Крик сразу поняли значение этого факта для воспроизведения клеточной информации. Свою первую статью в журнале «Nature» (а эта публикация, кстати говоря, принесла им Нобелевскую премию) ученые закончили знаменательной фразой: «От нашего внимания не ускользнул тот факт, что специфическое спаривание... позволяет предполагать возможный копирующий механизм для генетического материала». Г. Стент говорит, что это самое скромное утверждение в истории.



Клетки работают-3

Теперь вернемся к процессу репликации. В клетке всегда есть запас свободных нуклеотидов. И когда начинается разделение полинуклеотидных цепочек двойной спирали, каждое основание притягивает комплементарное ему в соответствии с правилом спаривания оснований напротив аденина появляется тимин, а напротив цитозина - гуанин. Таким образом, напротив каждой из двух исходных родительских цепочек образуется комплементарная дочерняя. Из одной молекулы ДНК получаются две, полностью идентичные материнской молекуле. В каждой дочерней молекуле ДНК одна из цепочек двойной спирали родительская, а другая - синтезированная. Поэтому, когда начнут делиться дочерние клетки, то у части «внучатых» молекул ДНК уже не останется родительских атомов в полинуклеотидных цепях. Тем не менее природа выполнила свою цель: «родительская» информация записана в каждой молекуле ДНК, и процесс комплементарной репликации полностью обеспечивает передачу информации от родителей к потомкам.

После открытия знаменитой структуры двойной спирали немало времени ушло на поиски экспериментальных методов, которые смогли бы подтвердить правильность описанного выше механизма репликации ДНК. Это был очень важный и необходимый этап научного поиска, поскольку решение вопроса о структуре ДНК не являлось еще полной гарантией непогрешимости Уотсона и Крика в проблеме репликации генетического материала. В то время многие солидные биологи думали, что ДНК вообще прямо не реплицируется, а существует некая таинственная молекула-посредник, которая «не понимает» информацию родительской ДНК, а затем уж с нее, как с матрицы, снимаются копии дочерних молекул ДНК. Этот способ передачи информации они называли консервативным. Способ передачи информации, положенный

Уотсоном и Криком, получил название полуконсервативного.

Полуконсервативный механизм репликации был полностью подтвержден в классических опытах М. Меселсона и Ф. Сталля. Особенность опыта состояла в том, что исходная молекула ДНК, за репликацией которой следили ученые, содержала не обычные атомы азота, а тяжелые, с атомным весом 15. Для этого культура бактерий выращивалась на питательной среде, включающей в себя лишь меченый азот ^{15}N . Деление же этих «тяжелых» клеток происходило в среде, содержащей обычно азот. Меселсон и Сталь исследовали ДНК различных поколений при помощи специального метода, позволяющего в отдельности видеть «тяжелую» и нормальную ДНК». Вот этот опыт и позволил получить изящное прямое доказательство справедливости полуконсервативного механизма репликации молекулы ДНК, предложенного Уотсоном и Криком. Меселсон и Сталь убедительно продемонстрировали, что после удвоения числа бактерий вся их ДНК оказалась гибридной, то есть промежуточной по весу между «тяжелой» и нормальной. С каждым новым поколением наблюдалось уменьшение количества тяжелой ДНК и увеличение числа нормальных «легких» молекул.

С какой же скоростью происходит рост новых цепей ДНК?

Работая с культурой уже знакомой нам «еколи» (кишечной палочки), ученые оценили величину скорости роста цепи бактериальной дезоксирибонуклеиновой кислоты. Эти оценки невольно заставляют поражаться совершенству, которого достигла природа, создавая молекулярные машины-клетки. Оказалось, что 1400 нуклеотидов в секунду наращиваются на дочерней цепи - реплике. Мы сумеем лучше осмыслить, насколько велика эта скорость, вспомнив, что родительская молекула-спираль должна раскручиваться, чтобы получалась свободная цепь - матрица для синтеза. Так вот, скорость раскручивания ДНК в процессе репликации около 140 оборотов в секунду! Лишь сравнительно недавно такие скорости были достигнуты в лучших высокоскоростных центрифугах.

Процессы, которые мы рассматривали сейчас, не кажутся особенно сложными, но уже и на этой стадии жизни клетки, если взглянуть на весь механизм репликации в целом, сразу же возникнут принципиальные трудности.

Почему, собственно говоря, ДНК должна расплетаться, раскручиваться? Что заставляет ее это делать? Американский ученый А. Корнберг в результате упорной почти десятилетней работы доказал, что и в процессе репликации центральную роль играют все те же ферменты. Иными словами, без ферментов не может идти образование новых цепей ДНК. Фермент и расплетает двойнугз. спираль, и строит новую полинуклеотидную цепочку.

Эксперименты Корнберга и его сотрудников по синтезу ДНК существенно расширили представления о репликации и синтезе генетического материала.

Общая картина процесса репликации представляется достаточно ясной. Есть стартовая, родительская молекула ДНК. Есть ферменты, есть разрыв стартовой молекулы и синтез молекул потомков.

Поражает прежде всего временная сбалансированность всех процессов, проходящих в нормальных условиях в живой клетке. Очевидно, что этот механизм, является результатом длительной эволюции и не мог появиться внезапно, да еще во всем своем блеске, как Афина из головы Зевса. Но, к сожалению, механизмы, предшественники природой утеряны. В этом и состоит принципиальная трудность при попытках построить эволюционную схему от молекул к клетке.

Итак, один из центральных вопросов: как возник механизм репликации и синтеза нуклеиновых кислот?

К сожалению, здесь можно заниматься лишь самыми общими рассуждениями. Специалисты по предбиологической эволюции получили синтетические полинуклеотиды. По всей видимости, в условиях примитивной Земли могло происходить накопление некоторых количеств этих молекул. Но заметим, что к этим опытам нужно относиться с известной осторожностью, так как условия, в которых проводился синтез, вряд ли могли реально существовать на примитивной Земле. Это одно важное замечание.

В то же время ученые, занимающиеся абиогенным синтезом, обратили внимание на то, что в их опытах количественный выход полипептидов всегда выше, чем выход полинуклеотидов. Этот важный факт дает возможность предположить, что к моменту образования полинуклеотидов на стерильной Земле уже были достаточно высокомолекулярные полипептиды.

А что, если бы удалось экспериментально доказать, что какой-либо синтетический полипептид может способствовать полимеризации полинуклеотидов? Тогда мы имели бы возможность построения гипотетических механизмов - предшественников современных механизмов репликации и синтеза нуклеиновых кислот.

Предположение о слабой каталитической активности полипептида выглядит очень перспективным. В этом случае первичный полипептид мог бы выполнять функции, аналогичные функции ДНК-полимеразы, фермента, участвующего в биосинтезе ДНК в клетке. Поскольку, белки, по-видимому, «старше» нуклеиновых кислот, эта гипотеза могла бы быть проверена экспериментально.

Возможно, что механизм репликации возник уже после образования протоклеток и включения в них полимеров. Действительно, ведь современные процессы репликации, синтеза генетического материала и матричного синтеза белка происходят в растворах, концентраций органических соединений в которых весьма высока. Очень трудно представить себе, что на примитивной Земле могли существовать места, где достигались бы такие концентрации.

Только при достижении критической концентрации, аналогичной критической массе в ядерной физике, могли пойти репликативные процессы.

Вот почему репликативная функция могла появиться позже, чем протоклетки, и ей предшествовала длительная эволюция полимеров и первичных структур типа протеиноидных микросфер. Эта упрощенная схема не решает, конечно, таких важных вопросов: каким образом осуществляется контроль репликации ДНК в клетке и что обеспечивает удивительную надежность при образовании копии? И уж конечно, остается открытым вопрос о моменте включения и полипептидов и полинуклеотидов в протоклетки.

Но ведь мало передать информацию. Клетка при делении дает потомство. Оно должно превратиться во взрослые, полноценные организмы. Пища в окружающем мире есть. Автотрофные организмы используют углекислый газ как источник углерода, микроорганизмы извлекают из окружающей среды необходимые для питания простые вещества. В любом организме эти простые вещества превращаются в сложные полимерные молекулы, среди которых центральное место занимают белки. Не будь белков, клетка была бы мертва.

Представим себе на минуту клетку с нуклеиновыми кислотами, но без белков. Все, что нужно клетке для жизни, записано в молекуле ДНК. Но эта инструкция мертва. Некому открыть словарь нуклеиновых кислот, нет исполнителей инструкций.

Встречается ли такая ситуация в современной биологии? Конечно же. В мире вирусов. Маленький кусочек нуклеиновой кислоты мертва. Но стоит ему попасть в клетку, как начинаются удивительные процессы. Вторгаясь в клетку, вирус «приказывает» ей жить по-другому, нежели она жила до этой драматической встречи.

Но самое главное: в основе нормальной работы клетки и работы по «чужому приказу» лежит один и тот же механизм. Именно этот механизм в эволюционном плане - величайшая загадка и современной молекулярной биологии, и проблемы происхождения жизни. Речь идет о матричном синтезе белка и генетическом коде.

Великая загадка кода

15 миллиардов лет развивалась Вселенная. Из прото-капли родились частицы, элементы, звезды, галактика.

Мысль человека сумела объяснить многие процессы, происходящие в неживой природе. Конечно, и в физике элементарных частиц, и в планетной космогонии, и в космологии остаются еще не решенные вопросы. Но мне кажется, что по своему удельному весу в истории развития научного мышления человека, по своему философскому и общенаучному значению среди нерешенных вопросов нет более крупной, притягательной и таинственной проблемы, чем проблема происхождения жизни.

В рамках этой проблемы наибольшее число вопросов вызывают эволюция генетического кода и процесс мая ричного синтеза белка. Видимо, именно на матричном синтезе замыкается весь круг проблем, связанных с происхождением живых систем. Как-то после семинара в Институте белка Академии наук СССР мы разговаривали с академиком А. Спириным в его лаборатории. Он демонстрировал созданные в институте модели рибосом - клеточных органелл, принимающих участие в построив белковых молекул.

«Не могу представить себе, - сказал он, - чтобы ри-босомы могли каким-нибудь образом эволюционировать. Они столь совершенны, что должны были появиться сразу».

Эта полушутливая фраза одного из наших крупнейших специалистов по механизмам биосинтеза белка в полной мере отражает основную трудность задачи. Конечно же, и рибосомы и весь аппарат синтеза белков в клетке должны были эволюционировать. Но как? Пока ученые не решат этого вопроса, проблема происхождения жизни будет оставаться столь же загадочной, как и вчера. А тут еще рибосомы. Да добро бы только рибосомы. Есть задача и посложнее.

В двадцатых годах нашего столетия профессор У. Астбюри начал изучать рентгенограммы человеческого волоса. Оказалось, что молекулы белка в человеческом волосе расположены строго упорядочение и независимо от того, у кого взят волос, у блондина или брюнета, дают одинаковую и строго определенную картину в потоке рентгеновских лучей.

Астбюри провел эксперимент, который, по его собственному признанию, был одним из самых волнующих в его жизни. Будучи страстным любителем музыки, он сумел раздобыть на время прядь волос Моцарта и снял их рентгенограмму. Расположение белковых молекул в волосах великого композитора ничем не отличалось от их расположения в волосах обычных людей.

Но здесь речь идет только об упорядоченности молекул, причем у организмов

одного вида. А что можно сказать о химическом составе сходных белков, например известного всем гемоглобина, у различных биологических видов?

За многие миллионы лет эволюции живого мира в составе идентичных белков произошли определенные изменения. Гемоглобин лошади, выполняя те же функции, что и гемоглобин человека, несколько отличается от него по своей аминокислотной последовательности. Означает ли это, что у лошади механизм образования гемоглобина, да и любого другого белка иной, чем у человека? Вопрос можно поставить глубже. Каким образом происходит снятие копии живого организма? И как клетка делает белки, необходимые ей для нормальной жизни?

Мы видели, что первый этап этого процесса - редупликация генетического материала клетки, молекул ДНК. Но, спрашивается, зачем это нужно клетке? Зачем ей передавать потомству точную копию своей нуклеиновой кислоты?

Процесс редупликации генетического материала нельзя отделять от процесса образования дочерней клетки как целого.

Чтобы получилось полноценное потомство, недостаточно просто снять копию с ДНК. Нужно, чтобы дочерняя клетка имела такой же полный запас белков, мембрану, все необходимые клеточные органеллы, как и ее родитель.

В одной клетке кишечной палочки три тысячи типов различных белков. Именно в молекулах ДНК зашифрована вся информация, как их нужно делать. Поэтому-то великое таинство жизни - рождение потомства - и начинается с редупликации ДНК и передачи копии генофонда «по эстафете», от родителей к детям.

Но генофонд сам по себе, в изоляции, ничего не может сделать. Находясь же в крохотном кусочке живой материи - клетке, он творит чудеса, вернее, клетка, используя генофонд, творит чудо, строя свою полную копию. Клетка «знает», как это делать.

В 1973 году в офисе известного в США журналиста, специализировавшегося на научно-популярных статьях, Д. Рорвика раздался телефонный звонок. Миллионер, имя которого Рорвик обещал держать в тайне, обратился к нему с просьбой, которая вполне могла бы послужить сюжетом научно-фантастического романа. Однако миллионер был полностью в курсе достижений современной молекулярной генетики, и, хотя его разговор с Рорвиком действительно слегка отдает фантастикой, беседа эта явилась еще одним подтверждением колоссальных успехов современной науки.

Миллионер попросил журналиста подыскать ученых, которые бы согласились сделать... его (миллионера) живую копию. Такие ученые нашлись.

За пределами США была создана секретная лаборатория, где в течение двух лет готовились к решающему опыту. Извлеченную из тела миллионера клетку слили в пробирке с яйцеклеткой, ядро которой предварительно разрушили,

чтобы остались в «живых» только генетические признаки миллионера.

«Оплодотворенную» яйцеклетку имплантировали (ввели) приемной матери, у которой через 9 месяцев родился нормальный ребенок - сын и в то же время брат-близнец миллионера, его абсолютно точная копия.

Эту поразительную историю поведал миру один из научно-популярных журналов. Выдумка это или действительный факт - неизвестно. Ясно лишь одно. В принципе такой эксперимент сделать можно. Современной науке это по плечу.

Не будем останавливаться сейчас на моральных аспектах подобных опытов. Ясно, что возможное «клонирование» людей идет вразрез с тысячелетними этическими нормами человечества. Но этот пример еще раз заставляет нас вернуться к вопросу о том, как клетка строит свою копию.

Процесс этот исключительно сложен. Гораздо легче обсуждать космические явления, образование планет.

Конечно, и здесь есть масса неясных моментов. Но тем не менее физика - гораздо более простая наука, чем молекулярная биология. Даже если считать, что современная физика началась с Ньютона, то наука эта весьма преклонного возраста. А молекулярной биологии (будем считать днем ее рождения открытие двойной спирали ДНК) нет еще и тридцати лет.

Физика проста потому, что она имеет дело с малым числом изучаемых объектов. Можно в рамках физических законов описать поведение материальной точки, можно описать взаимодействие двух тел. Знаменитая задача трех тел уже вызывает определенные трудности. Когда физик хочет описать поведение молекул газа, ему трудно вычислить траекторию каждой отдельно взятой молекулы, В этом случае он пользуется законами статистической физики и описывает поведение коллектива молекул.

А в молекулярной биологии? Нам нужно знать, как ведет себя каждый из трех тысяч белков кишечной палочки, каждый фермент, каждая молекула нуклеиновой кислоты. Причем ясно, что в конечном итоге все процессы в клетке определяются законами физики. Но как с точки зрения физики описать полностью эти процессы, мы пока не знаем.

Сейчас в молекулярной биологии эпоха накопления фактического материала, и попытаемся пока просто на основании имеющихся данных поглядеть, каким же образом клетка печатает свои собственные копии, размножается.

Для этого ей нужно сделать две вещи. Первое - снабдить потомство информацией о том, что ему надлежит делать в этом мире. Иными словами, передать генофонд, молекулы ДНК.

Второе - взрастить внутри себя полноценного «ребенка», копию. Для этого бактериальная клетка, дерево, животное обязаны уметь синтезировать белки, которые и делают растущий организм жизнеспособным.

Эти процессы идут повсеместно в мире живого. И в обоих этих процессах участвуют белки. Как происходит редупликация ДНК - передача генофонда, говорилось в предыдущей главе. А матричный синтез белков?

Попробуем разобраться в этом отнюдь не простом вопросе. Кстати говоря, совершенно ясно, что живой организм строит белки не только в цикле размножения, но и во время всей своей жизни, например, в процессе роста.

Итак, клетке потребовалось построить какой-либо белок. И вот наша молекулярная фабрика берется за дело. По строгому правилу, которое называется центральной догмой, или центральным постулатом молекулярной биологии, последовательно начинают работать отдельные цехи фабрики.

Что же это такое - центральная догма, сформулированная впервые Ф. Криком?

Догма указывает путь передачи информации в живых системах от ДНК ДО белка. Она (догма) утверждает, что информация о синтезе белков хранится в ДНК. Поток информации начинается тогда, когда информация с ДНК «переписывается» на молекулу РНК. Этот процесс называется транскрипцией, а одноцепочечная молекула РНК, которая образуется, как на матрице, на молекуле ДНК, называется матричной, или информационной.

В принципе этот процесс похож на процесс редупликации ДНК, но в случае транскрипции с ДНК считывается лишь определенный, нужный в данный момент клетке участок (ген).

Далее уже на матричной РНК с участием рибосом, определенных ферментов, специальных так называемых транспортных РНК и происходит сборка белковой молекулы. Этот последний этап процесса синтеза белка называется трансляцией.

Центральный постулат утверждает, таким образом, что поток информации во всех живых организмах идет только в одном направлении - от ДНК через РНК к белку. Другими словами, ДНК «знает» о белке все. Белок «не знает» о ДНК и не может повлиять на последовательность нуклеотидов в ДНК. Более того, если бы нашелся организм, функционирующий по принципу белок -> ДНК, это заставило бы нас пересмотреть основные положения молекулярной генетики и биологии. Казалось бы, все просто: есть матрица, а на ней строится белок. Но простоты здесь нет никакой.

Разберем более подробно, каким же образом происходит синтез белковых молекул.

Так же как и при описании репликации ДНК, мы постараемся подчеркнуть нерешенные вопросы в процессах матричного синтеза, чтобы сделать более контрастной стержневую идею о глубине разрыва между макромолекулами и функционирующей клеткой.

Сегодня на основании большого числа опытных данных можно считать

твердо установленным, что план построения клеточных белков записан в молекуле ДНК.

К такому выводу ученые пришли, конечно, не сразу, хотя проблема передачи наследственной информации возникла еще во времена Ф. Мишера и Г. Менделя.

На рубеже XIX и XX веков лишь отдельные естествоиспытатели понимали всю принципиальную важность и сложность проблемы воспроизведения копии живого организма и передачи наследственной информации.

Работы русского химика профессора А. Колли, выполненные почти столетие назад, показали, что наследственное вещество в бактериальной клетке составляет очень малую часть от общего числа молекул в ней. И данные Колли натолкнули академика Н. Кольцова на идею о матричном синтезе белков. Однако Кольцов представлял себе поток информации в виде схемы белок - белок. Он думал, что «каждая белковая молекула возникает из белковой молекулы путем кристаллизации вокруг нее находящихся в растворе аминокислот и других белковых обломков».

Весь процесс построения белка, как мы сейчас знаем, происходит не так и гораздо сложнее, но идея матричного синтеза, впервые высказанная Кольцовым в двадцатых годах нашего века, оказала неоценимое влияние на все последующее развитие молекулярной биологии.

Если отвлечься на время от химических аспектов взаимодействия аминокислот с РНК, то проблему генетического кода можно рассматривать просто как проблему перевода текста с одного алфавита на другой.

Молекулу белка можно представить себе как фразу с определенным смыслом. Ну, например, «Яумеюпомо-гатьорганизмувперевариваниипищи». Не очень длинная фраза, не очень сложный белок - всего 40 аминокислотных остатков. Каждая буква в этой фразе - аминокислота. Но только в отличие от русского алфавита в аминокислотном языке всего двадцать букв. Стоит переставить местами несколько букв во фразе, и она потеряет смысл. Стоит переставить аминокислоты, и молекула белка тоже «потеряет смысл» - не сможет выполнять свою функцию: помогать в переваривании пищи.

Молекула ДНК тоже текст. Но текст, в алфавите которого используется лишь четыре буквы. В мире живого белковый текст кодируется нуклеиновым. А что такое кодирование?



Великая загадка кода

Если заданная последовательность нуклеотидов в нуклеиновой кислоте полностью определяет последовательность аминокислот в белке, то мы говорим, что нуклеиновый текст кодирует текст белка.

Как же составляются слова из четырех букв нуклеинового текста?

Совершенно ясно, что кодировать одну букву - аминокислоту должны какие-то комбинации из четырех букв - нуклеотидов. Это очевидно, так как четыре нуклеиновых основания, взятые каждое в отдельности, могут определить положение только четырех аминокислот в белковой молекуле. Ну а если брать пары оснований? Нетрудно видеть, что тогда можно кодировать 4^2 , или 16 аминокислот. А если брать тройки, или, как говорят еще, триплеты? Тогда 4^3 , или 64, поскольку число комбинаций из четырех букв по три равно 4^3 .

Каждая аминокислота кодируется триплетом оснований, поскольку дуплет способен закодировать только $4^2=16$ аминокислот, а триплет создает некоторую избыточность ($4^3 = 64$).

Триплет оснований, кодирующий одну аминокислоту, называется кодовым словом, или кодовом. Поскольку триплетов 64, а организм использует для построения белков всего двадцать аминокислот, то среди триплетов есть и бессмысленные кодоны, то есть кодоны, которые не кодируют никакой аминокислоты.

Вот мы и подошли к самому главному. Существуют ли какие-либо данные, свидетельствующие о том, что код изменяется при переходе от низших форм к высшим?

Для выяснения этого вопроса были проведены тщательные исследования. Их

цель состояла в том, чтобы посмотреть, какую аминокислоту кодирует тринуклеотид, выделенный, к примеру, из кишечной палочки, из печени морской свинки, из тканей позвоночных, в том числе и человека.

Так вот оказалось, что если взять, к примеру, тринуклеотид УУУ (подряд три урацила), то из какого организма мы ни взяли бы этот триплет, он всегда кодирует аминокислоту фенилаланин. Этот и многие другие эксперименты доказали, что генетический код универсален.

Правда, из этого правила есть два важных исключения.

Совсем недавно в журнале «Nature» появилось сообщение, что ДНК митохондрий и ядерная ДНК клеток высших организмов по-разному кодируют одну и ту же аминокислоту - метионин. Еще раньше было выяснено, что у кишечной палочки кодон УГА, состоящий из урацила, гуанина и аденина, бессмысленный. В то же время у позвоночных, скажем у морской свинки, он соответствует аминокислоте цистеину.

Эти два важных отклонения от универсальности кода, бесспорно, требуют объяснения. И сегодня принято говорить о коде уже более сдержанно: код практически универсален.

Из палеобиологических данных известно, что вся дарвиновская эволюция насчитывает около 3,5 миллиарда лет и, по-видимому, за это время не произошло принципиальных (существенных) изменений в механизме матричного синтеза, поскольку генетический код практически универсален у всех организмов. На возникновение же самого механизма синтеза и кода остается промежуток времени меньше чем один миллиард лет, если исходить из данных о строении и эволюции планет солнечной системы.

Это кажется удивительным, так как в генетическом плане разница между человеком и бактерией существенно меньше, чем разница между неорганизованным набором макромолекул, составляющих клетку, и самой клеткой. На этот факт до сих пор обращалось недостаточное внимание, а ведь именно изучение эволюции матричного синтеза белков необходимо для решения, или, быть может, поиска подходов к решению загадки возникновения жизни.

Итак, последовательность оснований некоторого участка ДНК, на котором записан нуклеотидным языком порядок аминокислот какого-либо белка (ген), служит матрицей для синтеза молекул одноцепочечной рибонуклеиновой кислоты. Этот процесс (транскрипция) в принципе сходен с образованием реплики ДНК, и, значит, последовательность оснований в синтезируемой РНК комплементарна (с заменой тимина на урацил) последовательности оснований участка ДНК, на котором произошел синтез матричной, иначе информационной, РНК (мРНК). Особо отметим, что весь процесс транскрипции идет в присутствии специальных ферментов: синтетаз, репликаз, полимераз. Матричной эту РНК называют потому, что на ней, как

на матрице, синтезируется белок, а информационной потому, что она несет информацию об аминокислотной последовательности синтезируемого белка.

Следующий этап - перенос мРНК на рибосомы - клеточные органеллы в цитоплазме клетки, именно здесь непосредственно синтезируются белки. Этот последний этап образования белка называется трансляцией.

В начале процесса трансляции при помощи специальных ферментов-сиптетаз аминокислоты переводятся в высокореакционную форму, происходит так называемое активирование. После этого опять-таки при участии ферментов каждая активированная аминокислота соединяется с молекулой специфической для нее транспортной рибонуклеиновой кислоты (тРНК). Молекула транспортной РНК значительно меньше молекулы информационной РНК- Молекулярный вес мРНК около 10⁶, в то время как молекулярный вес транспортных РНК всего 10⁴.

В клетке существует более 20 типов транспортных РНК, то есть несколько типов могут соответствовать одной и той же аминокислоте. В одном из участков цепи тРНК расположен антикодон, то есть группа из трех оснований, узнающая кодон (соответствующие три основания) на мРНК. Во время синтеза белка рибосома, кодон мРНК и антикодон тРНК, нагруженный аминокислотой, объединяются. Рядом с этим комплексом на мРНК располагается другой комплекс тРНК-аминокис-лота, и происходит реакция поликонденсации, объединения двух аминокислот в дипептид при участии ферментов. Эти две аминокислоты остаются связанными через карбоксильную группу со второй молекулой тРНК, первая молекула тРНК покидает рибосому, а сама рибосома сдвигается на один шаг по молекуле мРНК. После этого с комплексом дипептид - тРНК объединяется следующая тРНК с аминокислотой, образуется трипептид и так далее.

Сейчас мы посмотрели на «крупномасштабную» картину матричного синтеза белка, на эту идеально отлаженную машину мира живой материи. Вроде бы все не очень сложно. В двойной спирали есть ген. Этот ген переписывается на молекулу РНК, а далее на ней строится белок. Все по школьным учебникам идет именно так. Ну а если взглядеться в эту картину более пристально?

Итак, первая ступень кодирования - транскрипция. Что нужно клетке, чтобы выполнить задачу образования «оттиска» гена - мРНК? Совсем немного. Для начала расплести двойную спираль ДНК, затем подтащить к одной из расплетенных нитей необходимые нуклеиновые основания и сделать оттиск, реплику с гена. Все, молекула мРНК готова отправиться из ядра клетки к рибосомам.

Но подождите. Ведь и для расплетания спирали ДНК и для синтеза РНК нужны ферменты. Конечно, нужны.

«Как же так, - спросит читатель, - структура этих ферментов тоже определяется каким-нибудь геном?»

Разумеется, последовательность аминокислот любого клеточного белка записана в ДНК- На этом правиле зиждется вся современная молекулярная биология.

Итак, чтобы «запустить» процесс транскрипции, клетке нужны определенные белки: репликазы и синтетазы. Но ведь эти белки клетка должна сначала построить сама. Она их не может получить непосредственно из пищи. Следовательно, для образования синтетазы клетке нужна та же самая синтетаза.

Какой-то начальный запас синтетаз клетка передаст потомству при своем делении, а дальше уже потомок будет работать сам. У него есть родительские синтетазы и репликазы, а он сможет «запустить» свой матричный синтез. По мере развития потомки «наработают» некий резерв синтетаз и передадут его своим потомкам. Ну как, решает такая схема задачу, откуда берутся репликазы и синтетазы?

Нет, конечно, и вот почему. Эта схема - «вечный двигатель». В ней есть «вечные» инструкции, «вечные» гены синтетаз и репликаз, передающиеся в течение миллиардов лет из поколения в поколение. А мы ведь хотим разобраться в происхождении жизни, то есть в процессе эволюционном, меняющемся во времени.

Итак, первый вопрос: как возникли гены?

Но вернемся к процессу трансляции. И здесь ключевую роль играют специальные ферменты, способные «выбирать» из смеси определенную аминокислоту для присоединения к соответствующей тРНК. Но ведь структура этого фермента, в свою очередь, определяется (как структура любого белка) последовательностью оснований на некотором участке ДНК? Да, мы опять встретились с той же ситуацией вечного двигателя.

На заключительной стадии синтеза белка на сцене появляются рибосомы и тРНК, структура которых, в свою очередь, определяется некоторым участком ДНК.

Мы видим в этой схеме неразрешимый в эволюционном плане парадокс. Его можно назвать парадоксом курицы и яйца (что было раньше, курица или яйцо) на молекулярном уровне.

Действительно, для синтеза какого-либо белка необходимо несколько специальных ферментов. Но для синтеза любого фермента нужен другой такой же фермент и так далее. Приходится признать, что эта схема не может удовлетворительно объяснить возникновение процесса матричного синтеза, так как получается замкнутый круг, и мы снова и снова приходим к вопросу о том, как возникли гены.



Великая загадка кода-2

Но только ли этот вопрос встает перед нами? Отнюдь нет. Давайте еще раз присмотримся к различным этапам работы молекулярных машин.

Итак, матричная РНК синтезируется на одной из Цепей дезоксирибонуклеиновой кислоты, отправляется к рибосомам и соединяется с ними. Как это происходит? Каким образом матричная РНК попадает на рибосомы?

Здесь, по всей видимости, имеет место некоторая специфичность механизмов связывания мРНК с рибосомами, взаимного химического узнавания. Ну а транспорт тРНК к рибосомам идет главным образом за счет беспорядочных, случайных движений, диффузии молекулы в клетке. На примере тРНК биофизики показали, что механизм диффузии в состоянии объяснить наблюдаемые скорости синтеза.

Нужно сказать, что современное представление о роли тРНК выработалось не сразу и первоначально основная роль отводилась мРНК как непосредственной матрице для синтеза. Казалось, что пространственные химические связи, или, как говорят химики, стереохимическое соответствие между кодоном и аминокислотой, решают вопрос об аминокислотной последовательности белка.

Адапторная гипотеза Крика явилась первым этапом на пути к выяснению истинной роли тРНК в процессе матричного синтеза. Крик предположил, что аминокислота взаимодействует с матричной РНК не непосредственно, а при помощи некоторых малых молекул, которые он предложил называть адаптерами. Он считал, что адаптеры представляют собой тринуклеотиды, с

которыми аминокислота соединяется при помощи ферментативного механизма. (Трудно переоценить роль Ф. Крика в развитии современной молекулярной биологии. Порой кажется, что большая часть принципиальных идей в этой науке была выдвинута именно им.)

Сейчас ясно, что адаптеры - это не что иное, как транспортные РНК, которые переносят активированные аминокислоты на рибонуклеиновую матрицу и рибосому. Адаптером транспортная РНК названа потому, что она обеспечивает возможность специфического взаимодействия между аминокислотой и матричной РНК.

Основным свойством, определяющим дальнейший механизм сборки аминокислот, является специфическое взаимодействие транспортной и матричной РНК. Аминокислота, связанная с транспортной РНК, уже никак не влияет на дальнейший механизм синтеза. Все последующие процессы определяются только взаимодействием антикодона транспортной РНК, кодона информационной РНК и рибосомы.

Для проверки этого положения были проведены эксперименты, в процессе которых удалось включить в белок неприродную аминокислоту, соединив ее ферментативно с транспортной РНК. Связывание антикодона с кодоном - неферментативный процесс. Он определяется тем же правилом спаривания оснований, правилом Чаргаффа, о котором мы уже говорили. Именно после соединения антикодона с кодоном и начинается последовательная сборка полипептидной цепочки.

Кстати, стоит сказать еще несколько слов о правиле Чаргаффа и о самом Чаргаффе. Биохимик из Колумбийского университета, австриец по происхождению Э. Чаргафф и его ученики еще со времен второй мировой войны изучали соотношение различных нуклеиновых оснований в разных препаратах ДНК. Установив количественно свое знаменитое правило, Чаргафф не дал ему никакого объяснения, хотя, имея в руках подобный материал, именно он, а не Уотсон с Криком, находился ближе всего к открытию структуры двойной спирали.

Более того, как пишет Уотсон, Чаргафф с нескрываемым презрением относился к их попыткам раскрыть структуру ДНК. И когда наконец весь мир признал великое открытие Уотсона и Крика, лишь один Чаргафф продолжал относиться к нему весьма скептически.

Но вернемся к нашему молекулярному «конвейеру».

Для нормальной работы любой машины, в том числе и молекулярной машины - клетки, необходимы команды на включение определенных механизмов. Действительно, откуда клетке знать, что пришла пора синтезировать тот или иной белок? Как клетка узнает, что надо прекратить считывание определенного участка ДНК? С какого участка начать считывание? Ведь хорошо известно, что молекулы ДНК, РНК и белков существенно

различаются по своей длине. Короткие пептиды-белки содержат иногда десятки аминокислотных остатков, а молекула ДНК - миллионы нуклеотидов. Матричная РНК - тысячи.

Молекула мРНК является копией, репликой только одного участка ДНК, соответствующей инструкции для построения одного белка. Это обстоятельство наталкивает нас на мысль, что в молекуле ДНК какие-то факторы должны определять, где начнется и где кончится синтез матричной РНК. В свою очередь, в молекуле матричной РНК что-то должно определять начало и конец синтеза белковой молекулы. Говоря другими словами, если молекула белка - фраза, то она должна начинаться после точки с большой буквы и должна кончатся точкой. Выяснение природы сигналов или команд на начало и конец процесса и составляет проблему «пунктуации кода».

Но мы не будем заниматься сейчас этой специальной к очень непростой задачей. Отметим лишь, что и на этапе начала синтеза, и на этапе его окончания обязательно присутствие нескольких специализированных белков.

Весьма беглый обзор проблемы матричного синтеза белка, приведенный выше, позволяет нам поставить ряд принципиальных вопросов.

Совершенно ясно, что какой бы этап репликации генетического материала или синтеза белка мы ни взяли необходимым звеном в этом этапе являются весьма специализированные ферменты. Их можно назвать операторными, сигнальными, управляющими белками в широком смысле этого слова. В рамках центральной догмы биологии появление этих ферментов объяснить невозможно. Действительно, если мы не хотим иметь дело, как принято говорить в математике, с бесконечностями, надо признать, что, по всей видимости, существовали еще какие-то механизмы синтеза белка в клетке, которые в настоящее время неизвестны.

Если же попытаться применить общепринятую схему синтеза белка к специализированным ферментам, рибосомам, то мгновенно получается расхождение в решении вопроса: для синтеза любого из этих соединений нужно то же самое соединение. Неясно, каким образом в эволюционном плане можно решить этот парадокс.

Здесь мы подходим к наиболее трудному и принципиальному вопросу - проблеме эволюции кода.

Ясно, что механизм такой сложности не мог возникнуть скачком. Мы можем, конечно, привлечь к решению проблемы происхождения жизни и религиозные аргументы. Но, если отбросить наиболее легкий путь «решения» задачи, связанный с витализмом, то видно, какая громадная экспериментальная работа предстоит, чтобы найти подходы к решению этой задачи.

Я хочу подчеркнуть, что здесь нужны именно эксперименты. Гипотез об эволюции кода предостаточно, и, как говорил Крик, следовало бы установить

ежегодную премию за самую плохую статью по поводу эволюции генетического аппарата. Здесь тот самый случай, когда фактических экспериментальных данных явно не хватает, а идей более чем достаточно. «Поэтому я надеюсь,- продолжает Крик, - что всякий, кто выдвинет детально разработанную теорию происхождения генетического кода, постарается сделать это так, чтобы теория в той или иной форме поддавалась экспериментальной проверке. Одея сами по себе ничего нам не дадут, если мы не сумеем получить новые фактические данные либо путем изучения механизмов, имеющих у современных живых форм, либо путем прямого эксперимента».

Сейчас уже очевидно, что абиогенно синтезировать можно очень многие молекулы клетки, кроме белков и ДНК.

А вот, когда удастся получить в лаборатории информацию из хаоса на уровне ДНК или РНК, тогда и начнется новый этап в биологии. Решение именно этого этапа даст нам ключ к тайне возникновения жизни.

И здесь тем более интересно ознакомиться с глубоким анализом проблемы возникновения и эволюции кода, предпринятым Ф. Криком и Л. Оргелом еще в 1968 году.

Два слова о блистательном специалисте в области как предбиологической химии, так и биохимии Л. Оргеле. Во время Бюраканской конференции зашел разговор о модном тогда «индексе интеллектуальности». При этом Оргел смутился, а остальные участники беседы дружно рассмеялись. Я не мог понять, в чем дело, пока мне не объяснили, что у Оргела один из самых низких индексов во всей Америке. Я спросил Оргела, не ошибка ли это? Он с грустью сказал, что нет. Тогда мы все вместе дружно возмутились несовершенством метода оценки творческого потенциала ученого.

Работы Крика и Оргела особенно отчетливо демонстрируют неразрывную связь проблемы кода и проблемы возникновения жизни.

Рассматривая структуру кода, Крик в первую очередь подчеркивает основное свойство кода, не зависящее ни от каких второстепенных деталей: его практическую универсальность.

Для объяснения универсальности кода Крик рассмотрел две гипотезы, хотя возможны различные промежуточные случаи.

На первый взгляд наиболее естественной выглядит так называемая теория стереохимического соответствия. Согласно этой теории аминокислота имеет химическое «средство» к соответствующему кодону молекулы матричной РНК. Были проделаны работы с использованием пространственных моделей молекул для подтверждения этой гипотезы. Однако Крик считает эти попытки малоубедительными, так как в построении моделей были допущены ошибки.



Великая загадка кода-3

Более привлекательной выглядит идея о стереохимическом соответствии между аминокислотой и антикодон на молекуле транспортной РНК. Следует отметить, что экспериментальные данные здесь очень и очень противоречивы, и на основании этого Крик делает вывод, что стереохимическое соответствие не является общим механизмом в процессе трансляции, а наблюдается в нескольких особых случаях. По крайней мере, в сегодняшнем механизме матричного синтеза стереохимическое соответствие между аминокислотой и антикодоном тРНК играет заметной роли, хотя для некоторых аминокислот оно могло иметь определенное значение в прошлом.

При обсуждении возможных примитивных механизмов синтеза белка прежде всего возникает вопрос о роли неинформационных, транспортной и рибосомальной, РНК и активизирующих ферментов.

Какова же их роль?

Крик предполагает, что транспортные РНК и рибосомальная РНК играли центральную роль в примитивном механизме синтеза белка. Прарибосомы согласно этой гипотезе состояли полностью из РНК. Синтез белка мог вначале идти не столь точно, как сейчас.

Однако эта схема также не решает вопроса с происхождением активизирующих ферментов (синтеаз и репликаз), хотя можно предположить, что именно на этой стадии стереохимическое соответствие имело существенное значение. Можно также предположить, что примитивные транспортные РНК являлись собственными активизирующими ферментами, и первичная машина синтеза работала только на основе нуклеиновых кислот.

Однако стоит отметить, что вопрос о происхождении самих нуклеиновых

кислот с нужной для синтеза белка последовательностью оснований и судьбе образовавшихся белков в схеме Крика остается открытым, хотя ученый считает возможным случайное образование таких последовательностей.

Что же касается самого кода, то трудно предположить, что код с самого начала не был триплетным. Ведь в этом случае любые изменения в размере кодона делают всю предыдущую информацию бессмысленной. Более правдоподобна идея о том, что в примитивном коде читались лишь два первых основания из триплета и по-настоящему кодировались только несколько аминокислот, по-видимому, глицин, аланин, серин и аспарагиновая кислота. Можно предположить также, что кодоны работали на группы аминокислот.

В плане этой проблемы исключительно важен вопрос о числе оснований в примитивных нуклеиновых кислотах. Крик, так же как и Оргел, рассматривает примитивную прануклеиновую кислоту, состоящую лишь из двух оснований.

Центральная идея заключается в том, что кодируется лишь несколько аминокислот, один кодон используется для кодирования группы аминокислот. Кодон для аланина, например, мог кодировать также глицин и так далее.

На этой стадии мог быть создан не очень хороший белок, несколько в белке использовались не все 20 аминокислот. В этой схеме эволюция состояла в увеличении точности и включении в белок все новых и новых аминокислот.

Разбирая вопрос о развитии генетического аппарата, Оргел также предполагает существование некоторой эволюционной схемы в условиях примитивной Земли. Это соображение само по себе могло показаться тривиальным, если бы не существовало так называемой теории направленной панспермии, о которой мы уже упоминали в начале книги.

Оргел рассматривает два направления в эволюции живого: жизнь без нуклеиновых кислот и жизнь без белка.

Следуя Оргелу, попытаемся рассмотреть обе возможности, хотя с эволюционной точки зрения такое разделение выглядит маловероятным.

Образование полипептидов в предбиологических условиях - процесс более «выгодный», нежели синтез полинуклеотидов. Это подтверждено многими лабораторными экспериментами и обусловлено, в частности, тем, что сахара, входящие в нуклеиновые кислоты, менее стабильны в водном растворе, чем аминокислоты, что затрудняет их концентрирование.



Великая загадка кода-4

Таким образом, пептидогенная полимеризация аминокислот, по-видимому, предшествовала появлению нуклеиновых кислот.

Именно на основании этого предположения Оргел строит модель жизни без нуклеиновых кислот, хотя, в общем-то, совершенно ясно, что в первичном бульоне было «все» и анализ таких крайних случаев, на мой взгляд, представляет только чисто умозрительный интерес.

Абиотически синтезированные полимеры аминокислот по мнению Оргела, не могли достичь высокой степени специализации и организации и проявить свойства ферментативной активности. Репликация с помощью белков не могла быть точной, и для построения каждого «сорта» цепи аминокислот требовался новый фермент.

Это не совсем верное предположение, потому что вполне было возможно возникновение неспецифического катализа, что снимает основные возражения Оргела против чисто белковой жизни. Во всяком случае, мысль Оргела о неспособности чисто полипептидной системы к направленной эволюции следует считать справедливой, поскольку нет структурной основы для точной репликации.

В качестве второй возможности Оргел предлагает модель жизни, основанной на нуклеиновых кислотах без «белкового кода». При этом он указывает на необходимость анализа двух ключевых процессов: репликации без белков (ферментов) и эволюции без белков.

Комплементарная репликация постулируется Оргелом как свойство внутреннее, присущее молекулам нуклеиновых кислот и зависящее только от их структуры. Доказательство этого положения можно найти в физико-химических свойствах оснований нуклеиновых кислот и их производных -

правиле Чаргаффа. Сравнительно недавно биохимики продемонстрировали, что полинуклеотидная цепочка работает как матрица для ориентации моноклеотидов.

Было показано также, что направленный матричный синтез нуклеотидов идет в водном растворе с использованием конденсирующего агента (карбодиимид). Но здесь очень важно отметить, что во всех опытах по матричному синтезу образуются не только природные изомеры полинуклеотидов. В значительных количествах присутствуют изомеры с неприродными химическими связями, которые никогда не встречаются в живых клетках.

Постулируя нуклеиновую схему, легко получить реплицирующиеся системы, используя, например, полиматрицу аденин-цитозин, которая будет направлять синтез полинуклеотида урацил-гуанин в соответствии с правилом Чаргаффа, и наоборот.

Очень интересен вопрос о том, какого уровня организации может достичь система без синтеза белка и соответственно репликации нуклеиновых кислот.

Здесь Оргел выдвигает ряд интересных идей. Он подчеркивает, что одноцепочечные нуклеиновые кислоты, имея определенную пространственную структуру, могли бы обладать каталитическими функциями. С другой стороны, кажется весьма вероятным, что полинуклеотидные Цепи могли осуществлять некоторый отбор среди аминокислот, образуя с ними стереоспецифические комплексы. Но это тоже своего рода тупик, потому что без белков все-таки жить нельзя.

Таким образом, возможность протеиновой жизни ограничена невозможностью достижения уровня генетического механизма, а нуклеиновая жизнь ограничена собственной химической инертностью.

Центральная проблема - возникновение кода, в котором тесно связаны генетический нуклеиновый и функциональный белковый аппараты клетки.

Оргел указывает на очень интересную возможность пути возникновения эволюционирующей системы. Если гипотетический полипептид, состоящий из аминокислот... глицин, аланин, глицин, аланин... и так далее, ускоряет матричную репликацию полимеров, содержащих, например, аденин и урацил, то система, содержащая полиматрицу аденин-урацил, аминокислоты и транспортные РНК, способна развиваться, могут образовываться новые полипептиды.

Можно, по-видимому, разработать немало модификаций такой схемы, но прежде всего хочется сделать небольшое резюме. Основная ценность работ Крика и Оргела состоит в том, что ни тот, ни другой не оставляют места необоснованному оптимизму в решении проблемы происхождения жизни. Грандиозная трудность проблемы возникновения кода и его эволюции исключительно наглядно и убедительно продемонстрирована в этих работах.

Именно удивительное свойство универсальности кода и приводит нас к выводу, что современный механизм наследственности сформировался за поразительно короткий промежуток времени (по сравнению с «возрастом» живых систем) - менее одного миллиарда лет. Этот факт сильно затрудняет решение проблемы происхождения жизни.

Где механизмы-предшественники? Их, к сожалению, нет.

Вот если бы удалось показать возможность прямого синтеза белка на ДНК-матрице, это было бы огромным достижением. Мы смогли бы тогда получить сведения об эволюционном развитии современного матричного синтеза белка. Но сегодня существуют, к сожалению, лишь косвенные данные о возможности прямого синтеза белка на органических матрицах.

Как бы то ни было, сейчас уже видно несколько направлений для работ в области молекулярной эволюции. Можно было бы, скажем, посмотреть, как ведут себя и как взаимодействуют короткие полипептидные и полинуклеотидные цепочки.

Возьмем, к примеру, декапептид - пептид, состоящий из 10 аминокислотных остатков. Предположим дополнительно, что сначала при построении пептидов использовалось не двадцать, а всего лишь семь аминокислот.

Можно с полной уверенностью сказать, что в смеси, содержащей семь аминокислот, будет образовываться не 7^{10} декапептидов с равной вероятностью каждый, а гораздо меньше. Хотя бы потому, например, что одной аминокислоты окажется больше, чем другой. В таком случае синтез декапептида пойдет уже не только по вероятностным законам, но будет определяться и такими факторами, как концентрация аминокислот в реакционной смеси, кислотность среды и так далее. И может случиться, в этой смеси будут синтезироваться не миллиарды, а только десятки разных типов декапептидов, что уже вполне поддается экспериментальной проверке.

И вот тут-то можно наткнуться на очень интересные вещи: декапептид вполне может обладать каталитической активностью.

Предположим, что он способствует полимеризации нуклеотидов, то есть работает как синтетаза. Тогда нам удастся запустить механизм репликации. Эта пока спекулятивная идея, конечно же, нуждается в проверке. Отметим, что подобные опыты уже ведутся.

Особенно внушительные экспериментальные подходы были разработаны в лаборатории того же Фокса. Не будем сейчас обращать внимания на то, в какой мере эти опыты соответствуют условиям примитивной Земли, отметим, что они имеют исключительное значение для изучения проблемы происхождения жизни.

Фоксу удалось установить, что уже на стадии термического синтеза аминокислот возникает исключительно важное свойство органических

молекул: свойство самоупорядоченности или самоорганизации, которое в данном конкретном случае (синтез протеноида) проявляется в том, что соотношение аминокислот в исходной реакционной смеси сильно отличается от аминокислотного состава синтезированного полимера. Это свидетельствует, что включение аминокислот в полимер происходит не статистически и существует некоторая избирательность, являющаяся прямым следствием химических свойств самих аминокислот.

Еще раз напомним, что полученные полимеры обладают рядом свойств, которые указывают на их известную общность с природными белками. Это в первую очередь качественный и количественный аминокислотный состав протеноида, в общем-то идентичный среднему аминокислотному составу белка; молекулярные веса, соответствующие молекулярным весам небольших белковых молекул; растворимость, схожая с растворимостью белков, и ряд других свойств, среди которых, конечно же, одно из основных - каталитическая активность.

Правда, каталитическая активность протеноидов весьма слаба, однако это свойство могло бы закрепляться в процессах молекулярного отбора. Наиболее важным свойством протеноидов является их способность образовывать в растворе морфологические единицы, протеноидные микросферы. Нужно только отдавать себе полный отчет в том, что в протеноидных микросферах отсутствует направленный синтез биополимеров и кодирующая система. Поэтому их, бесспорно, нельзя считать живыми системами.

Исключительную важность представляют эксперименты, в которых делаются попытки моделировать начальные пути биосинтеза белка.

Фокс исследовал взаимодействие полиаминокислот и мононуклеотидов. В процессе этих опытов удалось установить, что полиаргинин по-разному взаимодействует с аденином и урацилом. Точно так же и полилизин по-разному реагировал на различные типы нуклеиновых оснований.

Ну чем не начало кодирования? Конечно, на самом примитивном уровне.

В лаборатории Фокса изучалось и взаимодействие термически синтезированных протеноидов, образующих морфологические структуры с различными полинуклеотидами. В результате этих исследований было установлено, что протеноид определенного типа имеет различное химическое сродство к разным полинуклеотидам. Они объединились, и вновь образованные структуры можно было бы рассматривать как предшественники рибосом, прарибосомы.

Данные некоторых опытов, проведенных в лаборатории Фокса, свидетельствуют о возможном дорибосо-мальном механизме трансляции.

Конечно, эти эксперименты нужно расценивать как первые шаги в новой области добиологического синтеза - моделировании динамических процессов. Основная трудность здесь в том, что в лабораторных экспериментах

концентрации реагентов могут очень сильно отличаться от реальных природных концентраций, соответствующих геологическим и геохимическим условиям, которые существовали на примитивной Земле около 4 миллиардов лет назад. Пока именно это обстоятельство кажется наиболее уязвимым местом в изложенных выше результатах.



Великая загадка кода-5

Тем не менее мне думается, что именно теоретическое и экспериментальное моделирование динамических клеточных процессов - самое важное направление в работах по проблеме происхождения жизни.

Вряд ли кто-нибудь, даже самый большой оптимист, считает, что в ближайшее время удастся синтезировать живой организм, однако мне кажется, что именно усилия в изучении эволюции механизмов репликации и синтеза уже в ближайшее время, несомненно, принесут большие открытия.

Попробуем немного пофантазировать и представить себе гипотетическую последовательность событий, которые могли иметь место на примитивной Земле после того, как сформировалось достаточное количество предшественников белков.

Исходная посылка состоит в том, что до возникновения нуклеотидов и полинуклеотидов шла продолжительная эволюция пептидов и полипептидов. Бесспорно, что параллельно происходило образование других классов биологически важных соединений, в том числе предшественников нуклеиновых кислот. Однако в любой момент времени концентрация полипептидов была заметно больше концентрации полинуклеотидов.

Здесь мне хотелось бы обратить внимание на хорошо известный биологам механизм, не требующий в принципе участия нуклеиновых кислот, - механизм самосборки. Вполне можно предположить, что на ранних этапах эволюции самосборка происходила автономно. Характерным примером

является самосборка низкомолекулярного белка грамицидина, не требующая генетического контроля.

Сейчас есть все основания считать, что процесс самосборки был определяющим при образовании примитивных клеточных мембран, которые могли состоять из полипептидов и предшественников липидов. На этой ступени эволюции появились первые морфологические единицы, которые еще нельзя назвать клетками, - это были просто микросферы. Но с возникновением таких микросфер стала возможна дальнейшая эволюция биополимеров.

Обладая большой концентрационной способностью, микросферы резко ускорили ход химических реакций. Нельзя исключить, что на примитивных мембранах начались процессы синтеза полинуклеотидов, которые катализировались полипептидами, входящими как составные части в примитивную мембрану.

Таким образом, на этом этапе мог бы осуществляться процесс протобелок - протонуклеиновая кислота.

С появлением первых матриц мог начаться в том или ином виде прямой матричный синтез полипептидов. Достаточно было появления полипептида, который умел хотя бы немного «помогать» процессу репликации, и тогда сразу же мог возникнуть другой процесс: процесс снятия копий - начало протожизни.

Эти предклетки должны были обладать достаточной устойчивостью к воздействию внешних условий. Они должны были иметь свое и весьма продолжительное «время жизни».

Процесс репликации мог происходить и без участия ферментов, просто за счет изменения параметров среды, например, изменения температуры или кислотности раствора.

Схемы эволюции можно представить следующим образом: сначала был первичный океан. Затем под воздействием источников энергии на атмосферу и переноса продуктов реакций образовался разбавленный раствор мономеров. Потом в результате медленной эволюции возникла жизнь. Это классическая схема зарождения жизни в океане.

Возможен и другой вариант, связанный, например, с районами активной вулканической деятельности. В этом случае последовательность событий можно представить так. В некоторых локальных областях образуется концентрированный раствор мономеров (аминокислот и так далее). Мы уже видели, что вполне возможны реакции полимеризации этих мономеров. Следующим этапом является концентрирование полимеров на минералах. Это дает возможность для образования протоклеток и «включения» механизмов самосборки. Затем происходит дополнительное концентрирование органического материала в протоклетках.

Именно на этой стадии возникает примитивный прямой матричный механизм. Природа слепа, она работает методом проб и ошибок. С того момента, как она «нашла» прямое матричное копирование, могли пройти еще многие миллионы лет, прежде чем возник современный вариант трансляционного механизма.

В рамках этой схемы тоже очень трудно представить себе, как могли возникнуть трансляция и код и почему код оставался неизменным в течение 3,5 миллиарда лет. «Глядя» на генетический код, невольно думаешь о том, что в какой-то момент времени природа получила удовлетворение от своей работы и сочла этот этап своей деятельности завершенным.

Стратегическое направление исследований - изучение возникновения динамической организации - сейчас на начальной стадии. Слишком много сегодня нерешенных вопросов в этой области. Полезно их перечислить.

Как возникло кодовое соответствие между полинуклеотидами и полипептидами?

Как возникла транскрипция и трансляционный аппарат?

Как возник информационный поток между полимерами?

Как возникло сопряжение механизмов транскрипции и трансляции?

В биологии XX века произошла революция: родилась новая наука - молекулярная биология.

Бесспорно, начало этой революции следует приурочить к определению структуры ДНК. Крик назвал это событие «концом начала». Когда устанавливали структуру генетического кода, Крик сказал, что это - «начало конца». Он имел здесь в виду, что главное в молекулярной биологии уже сделано. С этим вряд ли можно согласиться.

Величайшая загадка молекулярной эволюции еще ждет своего решения. Сегодняшний день в проблеме происхождения жизни - начало начал.

Правое и левое

В нашем рассказе о живых клетках до сих пор не говорилось ни слова еще об одном удивительном свойстве биоорганических молекул - об их оптической активности.

Пропустим луч солнечного света через кристалл исландского шпата - разновидность широко распространенного минерала кальцита. Луч расщепится на две части, два луча. В чем здесь дело?

Обычный белый свет - это набор электромагнитных волн, имеющих разную длину и колеблющихся в различных плоскостях. Даже если с помощью фильтров или специальных источников получить свет определенной длины волны - монохроматический свет, то и он будет состоять из волн, колебания которых происходят в различных плоскостях.

Кристалл исландского шпата имеет такое строение, что при прохождении через него световой волны образуются два световых луча - «обыкновенный» и «необыкновенный»; колеблющееся электрическое поле одного луча находится в плоскости, перпендикулярной плоскости другого луча.

Физики говорят, что эти лучи поляризованы в двух взаимно перпендикулярных плоскостях.

Если определенным образом разрезать, а потом склеить два кристалла исландского шпата, мы получим поляризатор света, который называется призмой Николя. Она пропускает только «необыкновенный» луч плоскополяризованного света.

Действие призмы Николя можно понять из следующей аналогии. Если попытаться вложить столовый нож в закрытую книгу, это удастся сделать лишь при условии, что нож повернут в определенной плоскости. Книга - призма, нож - «необыкновенный» луч.

Явления, о которых мы сейчас говорили, были замечены учеными в самом начале XIX века.

Началось интенсивное исследование свойств плоскополяризованного света. В 1811 году французский физик Л. Араго обнаружил интересное явление. Он пропускал поляризованный свет через кристаллы кварца. Оказалось, что кристалл кварца способен поворачивать плоскость поляризации направленного на него светового луча.

Более того, Ж. Био, работавший вместе с Л. Араго, установил, что одни кристаллы вращают плоскость поляризации влево, а другие вправо. Такие кристаллы получили название энантиоморфных, то есть относящихся друг к другу как правая и левая руки, зеркально.

Но Био сделал еще одно важное открытие. В 1815 году он обнаружил оптическую активность (способность вращать плоскость поляризации света) у некоторых природных органических соединений. Он установил, что этим свойством обладают водный раствор тростникового сахара, скипидар, камфара.

Био прекрасно понимал разницу между оптической активностью кварца и органических соединений. Он подчеркивал, что оптическая активность кварца исчезает при разрушении его кристаллической структуры. Для этого вполне достаточно переплавить кристалл. Оптическую же активность жидкостей Био связывал со свойствами самих молекул жидкости.

В 1874 году молодые химики Я. Вант-Гофф и Ж. Ле-Бель установили основополагающее правило. Ни одна структура, ни одна молекула не может быть оптически активной, если ее атомы лежат в одной плоскости. Открытие этого правила положило начало стереохимии.

Необходимо подчеркнуть, что за 13 лет до открытия Вант-Гоффа и Ле-Беля выдающийся русский химик А. Бутлеров, впервые предложивший термин «химическое строение», писал, что важно знать, каким образом каждый атом в молекуле пространственно связан с другими атомами.

Нужно также сказать, что значительный вклад в изучение оптической активности внес великий Л. Пастер. В 1848 году ему впервые удалось разделить смесь двух оптически активных соединений. Естественно, что сама исходная смесь была оптически неактивной. Одна ее часть вращала плоскость поляризации света влево, а другая вправо. Это был раствор винной кислоты, состоящий из двух энантиомерных форм. Одна из них называется d-формой (от латинского слова *dextro* - правый), другая l-формой (*levo* - левый). Такие вещества, абсолютно одинаковые по своим химическим свойствам и отличающиеся только направлением вращения плоскости поляризации света, называются оптическими изомерами, или энантиомерами.

Пастер, тогда еще молодой человек, ему было всего 19 лет, представил свою работу во Французскую академию наук. Академия попросила Био дать рецензию на открытие Пастера. До этого Био исследовал образец виноградной кислоты и нашел его оптически неактивным.

Био предоставил Пастеру все требуемые реагенты, и в одной из лабораторий Коллеж де Франс начался знаменитый опыт. Через некоторое время Пастер передал Био кристаллы и сказал, что они будут вращать свет влево. Так оно и произошло. Маститый Био был потрясен.

Идеи Пастера и легли в основу теории Вант-Гоффа и Ле-Беля. За 14 лет до четкой формулировки основного положения стереохимии, в 1860 году Пастер писал: «Расположены ли атомы правой винной кислоты в направлении витков правой спирали... Или они образуют какую-то другую асимметричную группировку? Мы не можем ответить на эти вопросы. Однако нет никакого

сомнения, что расположение атомов является асимметричным и не совместимым со своим зеркальным изображением. Не менее достоверно и то, что атомы l-формы кислоты обладают точно противоположным расположением».

Великий ученый замечательно ясно и точно объяснил загадку оптической активности.

После работ Пастера, Вант-Гоффа и Ле-Беля биохимиками был установлен поразительный факт. Во всем мире живого, в органических молекулах любой клетки белки построены только из одного типа пространственных изомеров аминокислот, а именно из l-аминокислот. Белки коровы, дерева, дрожжей и даже вирусов состоят из d-аминокислот.

Почему? Ведь правые и левые молекулы химически абсолютно одинаковы.

Они одинаковы, лишь когда дело касается взаимодействия с оптически неактивными веществами. Если же они реагируют с другими правыми и левыми молекулами, проявляются их стереохимические особенности.

Лауреат Нобелевской премии шведский физик Х. Альвен развивает идею существования антимиров, где роль электрона выполняет позитрон, а вместо протона в ядре атома - антипротон. Такой мир, в терминах физики, являлся бы зеркальным отображением нашего мира. При соприкосновении они были бы уничтожены, аннигилировали. А в мире живого?



Правое и левое

Этот вопрос был поднят еще в XIX веке, но не физиками или биологами, а автором знаменитой «Алисы в Зазеркалье» Л. Кэрролом. Правда, он известен

и как математик. «Может быть, зеркальное молоко не годится для питья», - рассуждает Алиса в знаменитой книге.

Кэррол прав. Если бы мы с вами были построены из белков, в состав которых входили бы не l-, а d-аминокислоты, внешне ничего бы не переменялось. Возможно, большинство людей писало бы левой рукой, а сердце билось бы справа. И животные и микроорганизмы дышали бы так же, как и сейчас. Но если бы l человек стал бы есть d-белки, он очень скоро умер бы от голода, так как d-аминокислоты не сумели бы включиться в состав l-белкового мира.

Итак, почему у нас l-, а не d-мир? Почему и как в результате эволюции произошел отбор только одной формы изомеров молекул?

В живых системах всегда присутствует только один оптический изомер, в то время как в процессах небиологического синтеза при прочих равных условиях (без использования оптически активных матриц) образуется рацемическая смесь молекул, то есть смесь, состоящая поровну из l- и d-форм и не вращающая плоскость поляризации, в процессах биосинтеза синтезируются оптически активные соединения. По этому поводу существует целый ряд предположений, и мы остановимся на обзоре лишь некоторых гипотез, представляющих, на наш взгляд, наибольший интерес.

Лауреат Нобелевской премии известный химик Д. Уолд подчеркивает различие формы у энантиомеров как весьма важное качество для ряда биохимических реакций и обосновывает предположение, что оптическая активность возникла в результате естественного отбора молекул из начальной рацемической смеси.

Целесообразно, однако, указать сначала на природные источники оптической асимметрии, которые могли бы играть определенную роль в отборе молекул. Так, еще в 1896 году было обнаружено, что оптические изомеры отличаются коэффициентами поглощения поляризованного света. Это явление могло бы в принципе служить механизмом отбора, так как на поверхность Земли попадает некоторое количество поляризованного излучения.

Однако результирующий эффект, по-видимому, слишком мал, чтобы играть заметную роль в возникновении столь явно выраженного отбора энантиомера одного типа.

В качестве возможной причины появления оптической активности рассматривались кристаллы кварца, которые могут разделять оптические изомеры с различной адсорбцией и играть определенную роль в асимметрическом синтезе (небиологическом) на поверхности. Но для этого одна форма кварца должна быть преимущественной. Если же правые и левые кристаллы кварца ветре» чаются одинаково часто в природе, то остается надежда лишь на локальные флуктуации какой-либо из этих форм.

Правда, известный геохимик В. Гольдшмит сообщил, в свое время о преимущественном распространении правых кристаллов кварца. Он полагал,

что правых кристаллов в 10 раз больше, чем левых. Другие геологи не сумели подтвердить численные данные Гольдшмита. Однако нельзя исключить того обстоятельства, что правых кристаллов действительно несколько больше, чем левых. Тем не менее кристаллы кварца не могли играть сколь-либо серьезной роли в возникновении биологической оптической активности, так как экспериментально была доказана равная эффективность правых и левых кристаллов кварца в отношении поверхностной ориентации аминокислот.

Уолд видит объяснение эволюционного пути этого явления в постепенной селекции молекул. Для обоснования своей идеи он рассматривает полипептиды и белки, с одной стороны, и полинуклеотиды и нуклеиновые кислоты - с другой.

Большинство известных белков имеет в своей структуре спирализованные участки, называемые α -спиралью. α -спираль была открыта и изучена лауреатом Нобелевской премии и Ленинской премии аира знаменитым химиком Л. Полингом.

При изучении синтетических полимеров аминокислот удалось показать, что они образуют в некоторых случаях α -спиральную структуру самопроизвольно. Может ли α -спираль образовываться из смеси l- и d-аминокислот? Тщательно проанализировав этот вопрос, Уолд приходит к выводу, что небольшие включения d-аминокислот не оказывают существенного влияния на α -спиральную конфигурацию. Однако возникновение α -спирали в рацемической смеси аминокислот маловероятно, если не невозможно, по все тем же стереохимическим причинам.

Сравнивая процессы полимеризации и свойства l-, d-аминокислот и полимеров, можно сделать следующие важные выводы: полимер, состоящий из смеси l- и d-аминокислот, растет значительно медленнее, чем l- или d-форма отдельно (примерно в 20 раз медленнее). Кроме этого, смешанные полимеры короче, чем l- или d-формы, образованные в аналогичных условиях. Но это еще не все. Смешанные полимеры гораздо менее стабильны в своей конфигурации, чем l- или d-формы.

Все эти факторы могут обеспечить естественный отбор на молекулярном уровне по признаку стерического (стереохимического) преимущества.

Еще более нагляден пример с нуклеиновыми кислотами. Ведь они тоже оптически активны. Вернее, оптически активна молекула сахара, входящая в состав и ДНК и РНК. Полная геометрия двойной спирали определена структурой групп, связанных с асимметрическим атомом углерода в молекуле сахара.

Поскольку компонентами нуклеотидов являются d-сахара, то устанавливается определенная пространственная ориентация азотистых оснований по отношению к асимметричному углеродному атому молекулы сахара. Именно поэтому конфигурация нуклеиновой кислоты стерически четко определена,

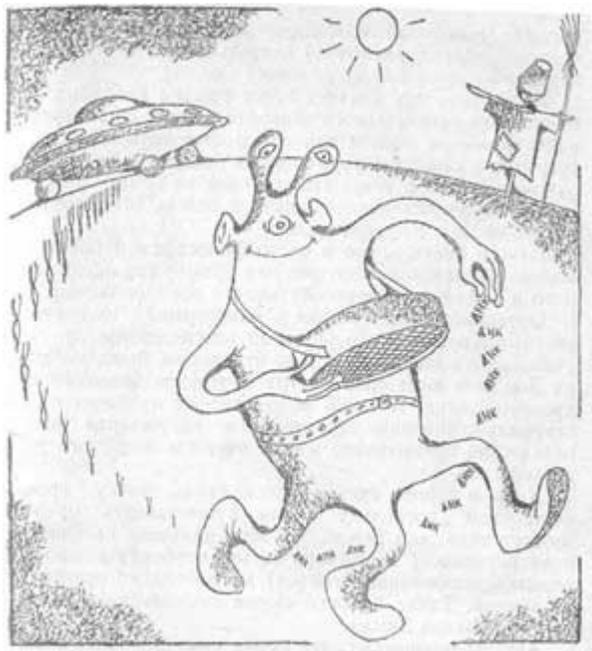
что и дает возможность для спаривания оснований, В случае же использования смеси l- и d-сахаров азотистые основания не могут расположиться комплементарно и двойная спираль не сможет образоваться.

Что же определяет в природе выбор правого или левого?

Саму оптическую активность объяснить нетрудно. Труднее объяснить, почему природа сделала столь определенный выбор. Обсуждая этот вопрос, Уолд вспоминает свой разговор с Эйнштейном.

Почему живое использует l-аминокислоты? Этот вопрос аналогичен проблеме зарядовой симметрии в физике. Эйнштейн говорил, что он часто задавал себе вопрос, почему электрон заряжен отрицательно. И в том и в другом случае можно дать аналогичный ответ: одна форма победила другую. Возможно, говорит Уолд, некоторое время существовали l- и d- организмы. Затем одна популяция вытеснила другую. Возможно также, что отбор произошел раньше, на стадии предбиологической эволюции.

Идеи Уолда представляются весьма интересными и обоснованными именно в части естественного отбора оптических антиподов, их внутренней приспособленности для построения структур высшего порядка. Что касается вопроса о том, почему мы имеем на Земле жизнь, а не «антижизнь», то есть системы, построенные из l-аминокислот и d-сахаров, а не наоборот, то, по-видимому, сегодня мы не в состоянии решить эту задачу.



Правое и левое-2

Во всяком случае, проблема возникновения оптической активности не кажется сегодня столь загадочной, и можно уверенно констатировать, что

наметились конкретные пути решения.

Совсем другое дело - загадка происхождения генетического кода. Трудности на этом пути столь велики, что даже в настоящее время возникают идеи о внеземном происхождении земной жизни.

Так, совсем недавно Ф.Крик и Л. Оргел с учетом космологических данных ревизовали модель панспермии и предложили модель так называемой направленной панспермии, в которой возникновение жизни на Земле объясняется целенаправленной деятельностью цивилизаций, возраст которых больше возраста Солнца.

Бесспорно, что, пока не будет решена проблема возникновения генетического аппарата в чисто философском аспекте, мы не можем полностью отвергать идею панспермии, в какой бы форме она ни предлагалась. Однако нужно помнить о том, что эта идея не дает решения проблемы возникновения жизни в целом, относя его в другое место и в другое время.

Нужно сказать, что в чисто философском плане эта модель представляет интерес как пример труднодоказуемого и также труднопроверяемого предположения.

Ортодоксальная теория панспермии, выдвинутая впервые Аррениусом и развитая впоследствии другими учеными, заключается в том, что жизнь была занесена на Землю в виде спор внутри метеорита внесолнечного происхождения. В такой форме теория приводит к экстремально низким вероятностям зарождения жизни вследствие чрезвычайно малой частоты подобного рода событий.

Крик и Оргел считают последнюю точку зрения ошибочной, поскольку могли существовать планеты другого типа, чем Земля. На этих планетах каталитическая активность минералов (и это особенно важно для возникновения живых систем) могла сильно отличаться от земной. Такие планеты могли существовать задолго до образования Земли.

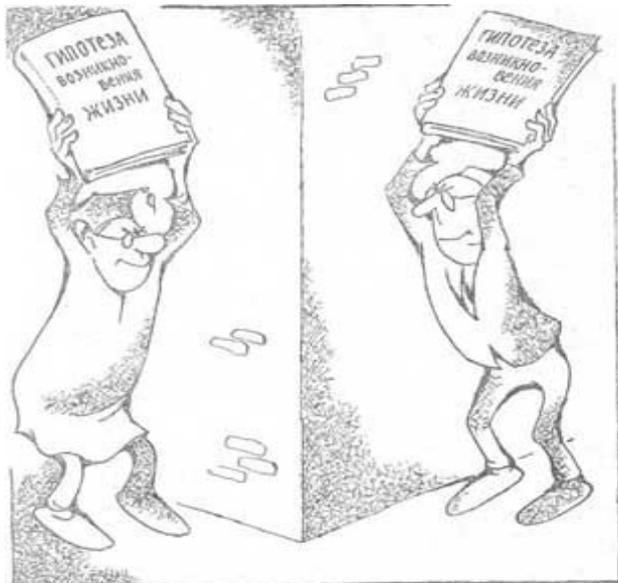
Авторы принимают, что время существования Галактики - 13 миллиардов лет, и спустя 2 миллиарда лет после возникновения Галактики могли появляться звезды, которые содержали не только легкие, но и тяжелые элементы.

Таким образом за 6,5 миллиарда лет до образования нашей солнечной системы могли возникнуть планетные системы, в которых были планеты типа Земли.

Поскольку время, в течение которого на Земле возникла технологически развитая цивилизация, меньше 4 миллиардов лет, то даже до образования Земли как планеты в Галактике могли существовать высокоразвитые технологические цивилизации.

На основании этих астрофизических данных Крик и Оргел предполагают, что жизнь на Земле возникла в результате заражения нашей планеты

микроорганизмами специально посланными высокоразвитой цивилизацией для осеменения планет, потенциально пригодных для жизни. Для этой цели был использован автоматический космический зонд.



Правое и левое-3

Исходя из ближайших возможностей нашей собственной цивилизации, нетрудно убедиться, что создание такого космического корабля вполне реальная задача. При полезной нагрузке в одну тонну можно послать десять образцов по 10^{16} микроорганизмов в каждой или 100 образцов по 10^{15} клеток. Нет никакой необходимости приблизительно 10^5 световых лет, и, таким образом, в принципе за 10^8 лет автоматический корабль может достигнуть границ Галактики, если его скорость составляет 0,001 от скорости света.

Здесь неясным моментом является вопрос о сохранности зародышей в течение времени порядка 10^6 - 10^8 лет. Однако, если сохранять споры при температурах, близких к абсолютному нулю, эта трудность может быть разрешена.

Таким образом, Крик и Оргел не считают невероятным появление жизни на Земле именно таким путем. В защиту своей позиции они выдвигают следующие аргументы.

Химический состав живых систем должен хотя бы в некоторой степени отражать условия их возникновения и развития. Поэтому наличие в земных формах жизни редких элементов может свидетельствовать об их внеземном происхождении.

Авторы считают, что молибден является свидетелем внеземного происхождения нашей земной жизни. Процентное содержание хрома, никеля

и молибдена составляет на Земле 0,2; 3,16 и 0,02 процента соответственно. И хотя первые два элемента не играют в биохимии практически никакой роли, молибден принимает участие во многих ферментативных реакциях.

Если бы удалось показать, что элементы, представленные в земных организмах, коррелируют с содержанием элементов в так называемых «молибденовых» звездах, это послужило бы серьезным доказательством в пользу выдвигаемой гипотезы. Однако этот аргумент не выдерживает критики в силу того, что нужно рассматривать не процентное содержание элементов в массе Земли в целом, а степень их концентрирования в живых системах по сравнению с их концентрациями в земной коре или морской воде. Тогда оказывается, что молибден не занимает никакого особенного положения по сравнению, например, с фосфором.

Гораздо более серьезным аргументом в пользу этой гипотезы является проблема универсальности генетического кода, поскольку в настоящее время не существует сколь-либо удовлетворительной теории, объясняющей возникновение кода и его универсальность. Поэтому гипотеза направленной панспермии, постулирующая возникновение всех форм земной жизни от одного внеземного микроорганизма, наиболее легко и естественно «расправляется» с этой загадкой.

Правда, перенося решение проблемы возникновения жизни в другое место и время, эта гипотеза не дает никаких позитивных путей для решения интересующей нас задачи.

Действительно, пусть 13 миллиардов лет назад был Большой Взрыв, а спустя 2 миллиарда лет начали образовываться звезды и планеты. И пусть на какой-то планете возникла жизнь. Но задача науки состоит именно в том, чтобы объяснить, как эта жизнь возникла, где бы это ни случилось: на Земле или какой-то другой планете.

Бесспорно, что гипотеза внеземного происхождения жизни, одним из авторов которой является крупнейший ученый современности Ф. Крик, лишней раз свидетельствует об огромной сложности проблемы зарождения жизни и, в частности, проблемы возникновения генетического кода. Однако в научном плане ее вряд ли можно считать плодотворной, хотя в принципе нельзя исключить внезапного пересмотра наших представлений вследствие выхода человека в Космос.

Отметим, что, если встать на позиции теории направленной панспермии, вероятность существования жизни во Вселенной резко повышается, так как каждой «зеленой» планете можно приписать вероятность присутствия жизни на ней, равной 1.

В этом случае жизнь во Вселенной - явление очень распространенное. Но где тогда эта сверхцивилизация, которая «тиражировала» жизнь в нашей Галактике?

Ведь эта цивилизация должна быть на миллиарды лет старше нас. Жива ли она до сих пор или погибла в результате какой-нибудь космической катастрофы?

Только ли на Земле могла эта цивилизация оставить зародыши жизни?

Быть может, космические автоматы посещали подряд все планеты солнечной системы и на далеких внешних Планетах - Уране, Нептуне и Плутоне тоже были оставлены «семена» жизни. За миллиарды лет с ними могли произойти удивительные изменения.

Недаром, когда ученые начали планировать эксперименты по поиску жизни на Марсе, одним из основных требований, выдвинутых биологами, было требование о стерилизации всей научной аппаратуры и космического корабля. Все детали были «прожарены» при температуре около 130 градусов Цельсия.

Подобные предосторожности были предприняты для того, чтобы не привести возможные инопланетные формы жизни в контакт с земной микрофлорой. Ведь в результате этого контакта инопланетная жизнь могла бы быть уничтожена. С другой стороны, хорошо известно, что при возвращении с Луны американские космонавты проходили весьма продолжительный карантин.

Отметим еще одно обстоятельство. Если правы Крик и Оргел, жизнь в Галактике должна быть построена по единому образцу.

По всей видимости, дальнейшие, более глубокие исследования планет помогут в известной мере приблизиться к решению проблемы возникновения и существования внеземных форм жизни. Именно поэтому в решении Бюраканской конференции подчеркнута важность экспериментов по поиску жизни на других планетах солнечной системы.

Боги и «викинги»

Среди планет солнечной системы третья планета от Солнца обитаема. Это наша Земля - Деметра, богиня плодородия.

Извечный вопрос, есть ли где-нибудь еще жизнь, кроме Земли, относился прежде всего к другим планетам солнечной системы. Казалось бы, сейчас этот вопрос в известной мере утерял свою актуальность в связи с результатами исследования планет. Человечество получило от космических исследований столь большой объем научной информации, что он будет еще многие десятилетия осмысливаться учеными.

И нам полезно посмотреть, как практически на глазах сегодняшнего поколения менялось отношение к проблеме существования жизни на других планетах, какие новые идеи возникают по этому поводу и как старые идеи теряют свою силу перед неопровержимыми экспериментальными данными.

Итак, посмотрим, каков климат на планетах солнечной системы. Где еще, кроме Земли, может зародиться и существовать жизнь?

Наша родительская звезда - Солнце имеет семью, состоящую из девяти планет. Расстояния от планет до Солнца исчисляются сотнями миллионов и даже миллиардами километров. С такими чудовищными цифрами оперировать не очень-то удобно. Поэтому астрономы предпочитают иметь дело не с километрами, а с астрономическими единицами. Одна астрономическая единица равна расстоянию от Солнца до Земли, или приблизительно 150 миллионам километров.

Самая близкая к Солнцу планета Меркурий находится от него на расстоянии 0,39 астрономической единицы. Самая далекая, Плутон, в 100 раз дальше от Солнца, чем Меркурий. Расстояние от Солнца до Нептуна в 30 раз больше, чем расстояние от Солнца до Земли. Уран находится в 19 астрономических единицах от Солнца, Сатурн - почти в десяти, Юпитер - в пяти. Марс дальше в полтора раза от Солнца, чем Земля. Ну а ближайшая соседка Венера отстоит от Солнца «всего» на 0,72 астрономической единицы.

Чем дальше от Солнца планета, тем холоднее ее климат. Ведь хорошо известно, что количество солнечной радиации убывает пропорционально квадрату расстояния от нашего светила. Именно поэтому поверхность Меркурия получает в семь раз больше солнечных лучей, чем поверхность Земли. А на долю Плутона приходится всего 0,0006 того количества солнечной энергии, которая достигает Земли.

Очень важной величиной, определяющей климатические условия, является время обращения планет вокруг Солнца, то есть продолжительность их года. Ясно, что чем дальше от Солнца планета, тем продолжительней - период ее обращения. Меркурий полностью «закрывает» свою орбиту за 88 дней. Земля,

как мы знаем, тратит на это уже 365 дней. Чем дальше от Солнца, тем больше, и год Юпитера составляет почти 12 земных лет, а на Плуtone длится 248 земных лет. Марсианский год приблизительно вдвое больше земного. Это означает, что и каждый сезон года на Марсе продолжается приблизительно вдвое дольше, чем на Земле.

Чрезвычайно важно знать и массу планеты, поскольку именно она определяет силу тяжести на поверхности. В солнечной системе самая легкая планета - Меркурий. Его масса составляет всего 0,05 массы Земли. Юпитер же тяжелее всех остальных планет, вместе взятых. Он в 318 раз тяжелее Земли и в три раза тяжелее Сатурна. Итак, каковы же климатические условия на планетах?

Самая маленькая, самая легкая и самая близкая к Солнцу планета - Меркурий. Температура его поверхности, освещаемой солнечными лучами, достигает 345 градусов по Цельсию. Если бы можно было повысить температуру поверхности Меркурия всего на сто градусов, то сера, находящаяся на поверхности, начала бы кипеть и астрономы наблюдали бы желтую атмосферу на этой планете. Но, во-первых, этих ста градусов все-таки не хватает, а во-вторых, если атмосфера на Меркурии и есть, то она очень слабая. Давление газов у поверхности Меркурия в сотни миллиардов раз меньше, чем у поверхности Земли. Совершенно ясно, что на поверхности такой планеты, так же как и на поверхности Лупы, никакой жизни быть не может.



Боги и «викинги»

Совсем недавно наш выдающийся ученый академик В. Вернадский говорил, что существование микробной жизни на Венере более чем вероятно.

Существование жизни на Марсе у него (как, впрочем, и у подавляющего большинства других ученых) не вызывало никаких сомнений.

Существовали какие-нибудь основания для столь оптимистической точки зрения? Безусловно. Ведь Венера и по размерам, и по средней плотности, и по массе - близнец или, точнее, родная сестра Земли. Поэтому-то и считалось еще лет тридцать тому назад, что на Венере обязательно должна быть жизнь. Но, пожалуй, именно в отношении Венеры наши представления претерпели наибольшие изменения в последнее десятилетие. Это, конечно, в первую очередь связано с достижениями советских космических станций типа «Венера» и американского «Пионера».

Наиболее интересные данные о Венере были получены с автоматических станций «Венера-9 и 10» в 1975 году, со станций «Венера-11 и 12» в 1978 году и в том же году с американской станции «Пионер-Венера». Советские автоматические станции в 1975 году впервые дали возможность человечеству взглянуть глазами телевизионных установок на каменистую и безжизненную поверхность Венеры. Их отличие от американской станции «Пионер» состояло в том, что они работали на поверхности Венеры.

Американцы пошли по другому пути. У них был большой космический корабль, из которого выбросили три маленьких и один большой исследовательский зонды. На всех зондах была установлена научная аппаратура. Зонды прошли всю атмосферу Венеры до самой поверхности и сделали много измерений. При столкновении с поверхностью Венеры все они, кроме одного, погибли: скорость соударения достигала 11 метров в секунду. Один маленький зонд «жил» на поверхности 67 минут. Что же показали советские и американские космические эксперименты?

Атмосфера Венеры горячая, плотная и сухая. Температура поверхности больше 400 градусов Цельсия. Выше, чем на Меркурии. Но ведь Венера дальше от Солнца, чем Меркурий. Почему же она горячее?

Дело в том, что на Венере всю работу делает тот самый парниковый эффект, о котором говорилось в одной из предыдущих глав. Давление атмосферного столба у поверхности - около ста килограммов на квадратный сантиметр, и львиную долю этого давления создает углекис-Я лый газ. Поэтому-то парниковый эффект на Венере гораздо сильнее, чем на Земле, поэтому-то и температура поверхности Венеры выше, чем у Меркурия.

При подобных температурах не может быть и речи о существовании каких-либо форм жизни. Высказывались, правда, идеи о холодных полюсах на Венере и о существовании именно в этих районах океанов. Однако вряд ли подобное предположение можно считать состоятельным: в этом случае необходимы гигантские перепады температуры в меридиональном направлении.

А как получить такие перепады? Ведь на Венере сильные ветры. На высоте 40

километров их скорость достигает скорости хорошего урагана, 40 метров в секунду. На высоте 60 километров и того больше, 100-160 метров в секунду. При столь сильных движениях в атмосфере значительные температурные перепады невозможны.

Таким образом, мы приходим к выводу о невозможности существования не только каких-либо форм жизни на поверхности Венеры, но, по-видимому, и о невозможности существования на поверхности этой планеты сколь-либо сложных органических молекул.

Действительно, основной компонент атмосферы Венеры - углекислый газ. Есть немного азота и аргона. Воды совсем мало. Даже сернистого газа больше, чем воды. Из такой атмосферы органической «каши» не сварить, хотя грозовые разряды там бывают.

Кстати, вопрос о том, куда исчезла вода с Венеры, является одним из самых загадочных. Ведь на Земле-то воды более чем достаточно. Средняя толщина одних океанов около трех километров. А сколько еще воды в мантии!

Для объяснения этого явления предлагался ряд гипотез. Можно, например, предположить, что в самом начале образования планеты исходный материал содержал малые количества воды, поскольку в зоне образования Венеры начальные температуры были выше. Это предположение носит слишком общий характер, не поддается никакой экспериментальной проверке и целиком зависит от слишком неопределенных начальных условий.

Наиболее убедительна другая точка зрения, которую разделяют советские геохимики, согласно которой при высоких температурах вода интенсивно связывается с минералами химически. Такой же позиции придерживается известный американский геолог Руби. Тем не менее сейчас этот вопрос нельзя считать окончательно решенным.

Очень интересная особенность атмосферы Венеры заключается в том, что практически вся поверхность планеты закрыта от нас мощным облачным слоем. Поверхность Венеры никогда не удавалось наблюдать средствами оптической астрономии. Именно облачный слой планеты остается даже сейчас последней надеждой экзобиологов. Были высказаны предположения о том, что именно в облаках Венеры могут существовать примитивные формы жизни. Однако результаты космических исследований Венеры указывают на то, что средний размер большинства частиц облачного слоя составляет величину порядка одного микрона. Мне представляются невозможными процессы, которые могли бы привести к образованию в газовой фазе (даже при наличии капелек тумана или частиц пыли) не только живых организмов, но и сложных органических соединений.

В противном случае приходится предположить, что облачный слой состоит из микроорганизмов, поскольку размеры частиц облачного слоя и размеры большинства микробных клеток совпадают.

Каким образом в облаках могло происходить концентрирование органики, столь необходимое для возникновения жизни? Ведь из газов атмосферы Венеры очень трудно получить с хорошим выходом даже формальдегид. Где взять в атмосфере источники фосфора для био полимеров?

Невозможность получить ответы на эти вопросы заставляет нас считать модели биогенного облачного слоя Венеры малоубедительными.

Даже до настоящего момента химический состав частиц облачного слоя неизвестен. В качестве возможных кандидатов за последние годы предлагались следующие соединения. Обычная пыль - силикаты и окислы, углеводороды, хлористый аммоний, хлориды ртути, гидратированные хлориды железа, вода, лед. Однако по мере накопления экспериментальных данных практически все перечисленные соединения были исключены из списка кандидатов.

В последнее время выдвинуто предположение о том, что облачный слой состоит из частиц серной кислоты. Данные оптических измерений подтверждают эту идею. Прямой химический анализ облаков Венеры будет проведен в ближайшие годы.

Во всяком случае, определенные к сегодняшнему дню физико-химические характеристики поверхности и атмосферы Венеры не оставляют никаких шансов для существования даже примитивных форм жизни на этой планете. Правда, американский астроном и экзобиолог К. Саган рассматривает модели организмов-аэростатов в облачном слое {их размеры должны быть порядка нескольких сантиметров}. Но подобная модель внутренне противоречива, поскольку совершенно непонятно, каким образом такие организмы могли возникнуть в условиях малой концентрации органических соединений. К сожалению, утренняя звезда безжизненна, и для биологов это мертвый объект.



Боги и «викинги»-2

Со времен открытия знаменитых каналов на Марсе человечество мучил вопрос о жизни на этой планете. Никто не сомневался, что она существует, причем жизнь разумная. Казалось, что предметом обсуждения является лишь метод установления контактов с марсианами, а также вопросы их биологии, архитектуры марсианских городов и так далее. Правда, в последние годы оптимизм в отношении жизни на Марсе у большинства ученых в результате космических экспериментов сильно поубавился.

Здесь, в общем, случилась такая же история, как и с Венерой, когда получение новой информации привело к пересмотру установившихся взглядов.

Но сначала поговорим о природных условиях Марса. Атмосфера этой планеты весьма разрежена по сравнению с атмосферами Земли и Венеры и давление у поверхности оценивается величиной, почти в сто раз меньшей, чем у поверхности Земли. Основной составляющей атмосферы является углекислый газ. В качестве малых примесей есть аргон, азот и кислород. Оказалось, что аргон на Марсе не такой, как на Земле.

Аргон в земной атмосфере состоит из нескольких изотопов, причем больше всего аргона, который произошел от распада радиоактивного калия с атомным весом 40. На втором месте - нерадиоактивный изотоп аргона с атомным весом 36.

А на Марсе радиоактивного аргона гораздо больше, чем нерадиоактивного. Это может означать лишь одно. Все процессы дегазации, образования атмосферы шли менее интенсивно, чем на Земле, и поэтому первичного, нерадиоактивного азота в атмосфере Марса меньше, чем в атмосферах Земли и Венеры.

Вообще говоря, определение концентраций благородных газов в атмосферах планет исключительно важно именно для изучения эволюции планеты, так как сравнение содержания благородных газов в метеоритах и планетах дает возможность судить о термической истории планет и эволюции их атмосфер.

Температуры поверхности Марса весьма низки и составляют на полюсах величину порядка - 140 градусов Цельсия, а на экваторе в дневное время достигают 28 градусов. Поверхность Марса имеет красноватый оттенок, что связано с наличием на ней окислов железа. Нельзя исключить, что здесь могут идти процессы фотохимического синтеза простых органических молекул, поскольку поверхности Марса достигает ультрафиолетовое излучение Солнца.

Для проверки этого предположения были проведены некоторые эксперименты. Они продемонстрировали образование альдегидов в условиях, моделирующих марсианский климат. Однако если альдегиды и присутствуют на поверхности Марса, концентрация их очень мала, не более 0,0000001 грамма на квадратном сантиметре.

В результате полетов к Марсу автоматических станций выяснились чрезвычайно интересные особенности рельефа этой планеты. На фотографии, полученной с автоматической станции «Маринер-9», отчетливо видно образование, напоминающее русло высохшей реки. Позже автоматические станции «Викинг» подтвердили это другими снимками. Эти фотографии вызывают недоумение в первую очередь потому, что, с одной стороны, атмосферное давление слишком низко, чтобы могли существовать открытые водоемы, а с другой стороны, на Марсе очень часты пыльные бури, и поэтому за геологические времена русла бывших рек должны были бы просто исчезнуть под слоем пыли.

Именно с этой точки зрения большой интерес представляют гипотезы периодических изменений климата Марса. Остановимся на них несколько подробнее, поскольку именно они оставляют еще некоторые надежды для поиска жизни на Марсе. Действительно, в нынешних условиях трудно ожидать, что Марс - зеленая планета. На ее поверхность падает губительный для земных форм жизни поток ультрафиолета, а низкие средние температуры и малые количества воды делают очень и очень сомнительной возможность зарождения и существования даже примитивных форм жизни на этой планете.

Возможны, правда, локальные изменения подобных условий. Смягчение экологии можно ожидать, например, в районах активного вулканизма на Марсе. Но существуют другие модели - модели временных изменений климата планеты.

Если наблюдать Марс в телескоп, легко можно заметить, как каждый год летом испаряется южная полярная шапка. В то же время северная полярная шапка площадью около 100 тысяч квадратных километров никогда не тает до конца.

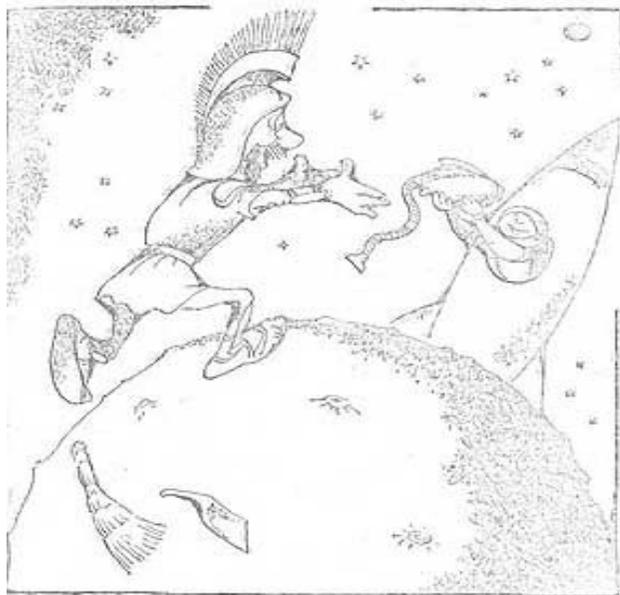
При таянии южной полярной шапки частично обнажаются кратеры, и поэтому можно провести приблизительную оценку ее толщины. Эта оценка дает значение многих десятков метров, причем можно думать, что на южном полюсе есть районы с еще большей глубиной снежного покрова. Толщину северной полярной шапки трудно оценить на основании наблюдательных данных. И тем не менее некоторые ученые считают, что толщина ледяного покрова для весеннего остатка северной шапки достигает одного километра.

Если предположить, что средняя плотность ледяного покрова составляет 1 грамм в кубическом сантиметре, то при испарении остатка северной полярной шапки можно получить очень плотную атмосферу, как на Земле. Тогда-то, естественно, и появляется возможность существования открытых водоемов на планете. Вода в атмосферу и на поверхность Марса может поставляться и из слоя вечной марсианской мерзлоты во время периодических потеплений. Расчеты показывают, что марсианская глспа должна наступать каждые 20 - 50 тысяч лет.

Конечно же, мы должны учитывать не только глобальные изменения климата Марса. На нем могут быть оазисы, где в принципе возможна жизнь. Самый большой из известных вулканов в солнечной системе Nix Olimpica находится на Марсе, и есть все основания предполагать, что на этой планете вулканизм - постоянно действующий фактор. Вот в этом случае на поверхности Марса и могут быть оазисы, в которых, возможно, даже сейчас живут примитивные микроорганизмы.

Несколько слов по поводу сезонной волны потемнения, которую в течение ста лет связывали с цветением марсианской растительности. Потемнение поверхности Марса начинается весной. Волна потемнения движется от полярных шапок к экватору со скоростью около 30 километров в сутки. (Термин «потемнение» не совсем точный. На самом деле астрономы наблюдают возрастание контрастности различных участков поверхности Марса.) Сейчас возможность образования волны потемнения за счет биологических процессов исключена. Ее наиболее убедительно объясняет изменение сезонных ветровых режимов Марса с учетом переноса пылевых частиц. Именно сезонный перенос пыли изменяет контраст различных участков поверхности Марса.

Однако окончательное заключение о биогенности Марса можно сделать лишь после очень широкого круга экспериментов по поиску жизни на этой планете.



Боги и «викинги»-3

Проблеме поисков жизни на Марсе последние 15 лет уделялось очень большое внимание, и поэтому остановимся на ней несколько подробнее. Планирование экспериментов по поиску жизни - весьма сложная задача, так как очень трудно, если не невозможно указать какой-либо единый, универсальный признак, спто-значно характеризующий живую систему.

Поэтому принципиальный этап в научной программе поиска инопланетных форм жизни - выработка критериев, которые, с одной стороны, достаточно полно характеризовали бы живую систему, а с другой - могли служить удобной основой для разработки соответствующих методов обнаружения инопланетной жизни.

Выработка такого комплекса критериев аналогична выработке некоторой «модели» живой системы. Безусловно, что такая «модель» имеет ряд существенных ограничений и не будет полностью соответствовать реальной живой системе. Тем не менее на современном этапе поиска инопланетных форм жизни такого рода подход можно считать оправданным.

Для характеристики собственно живых систем на любом уровне их иерархии нужно иметь в виду прежде всего два самых существенных свойства живого: во-первых, обмен веществ (метаболизм), и, во-вторых, способность к самовоспроизведению, или размножение.

Эксперименты по искусственному синтезу биологически важных соединений доказали возможность образования в лабораторных условиях веществ, жизненно необходимых для любых организмов и получавшихся ранее только в процессе биосинтеза. Лабораторные синтезы некоторых соединений идут в присутствии интенсивного потока ультрафиолетовых лучей, и, поскольку на поверхность Марса попадает значительное количество ультрафиолета, не исключена возможность, что на поверхности Марса есть органические соединения абиогенного происхождения.

Эта задача очень интересна сама по себе и тесно связана с возможностью существования жизни на планете. Поэтому-то все программы по изучению Марса и планировались таким образом, чтобы искать на его поверхности и собственно живые системы, и органические молекулы.

Во второй половине 1976 года на поверхность Марса были доставлены две американские автоматические станции - «Викинг-1» и «Викинг-2», оснащенные научной аппаратурой, предназначенной для изучения поверхности и атмосферы планеты. И все-таки, по словам руководителей проекта «Викинг», задачей номер один был поиск жизни на Марсе. Вообще говоря, информация, которая была собрана о Марсе еще до «Викингов», не противоречила возможности существования здесь простейших форм жизни. Однако, уточнение природных условий планеты, которое входило в программу экспедиции, имело огромное значение не только для решения поставленной «сверхзадачи».

«Викинги» выполнили множество экспериментов, среди которых одним из главных было фотографирование марсианской поверхности. Снимки, сделанные с орбитальных аппаратов и непосредственно с посадочного модуля, содержат очень ценную научную информацию. Например, перед выбором места посадки «Викингов» были тщательно исследованы участки

планеты площадью около 4,5 миллиона квадратных километров. Это позволило получить новые сведения о строении поверхности Марса.

Фотографии запечатлели лавовые потоки и кратеры, причем некоторые явно отличаются от метеоритных. Значит, на Марсе, по крайней мере в прошлом, действовали вулканы. Снимки еще раз подтвердили, что на поверхности планеты есть структуры, которые можно истолковать как следы водных потоков или ледников. Мы уже говорили о том, что климат на Марсе не всегда был таким, как сегодня. Однако если в прошлом на Марсе были реки и ледники, то куда исчезла вода сегодня?

Многие исследователи полагают, что сейчас на Марсе существует мощный слой (многие сотни метров) вечной мерзлоты. И вот, как бы в подтверждение этой точки зрения, при анализе фотографий поверхности удалось установить, что на склонах некоторых метеоритных кратеров застыли многокилометровые «селевые потоки». Судя по всему, при ударе метеорита о поверхность планеты мерзлый грунт нагревается и тает, и потоки грязи стекают по склону кратера, оставляя характерные следы.

Предварительный анализ полученных данных позволяет считать, что атмосфера Марса в прошлом была более плотной. Если эти данные верны, то Марс действительно претерпевал за свою историю значительные изменения климата.

Центральными экспериментами «Викингов» были эксперименты по поиску жизни на Марсе. Эксперименты делились на две группы.

Первая группа - анализ проб грунта на присутствие в нем органических молекул. Эти опыты проводили при помощи бортового хроматомасс-спектрометра весьма высокой чувствительности: многие соединения выявляются этим прибором даже в том случае, если они присутствуют в пробе в количестве, меньшем чем одна часть на миллиард.

Что же это за прибор? Он представляет собой хроматографическую разделительную колонку, соединенную со входом в ионный источник миниатюрного масс-спектрометра. Начальный участок колонки связан с печкой, в которой сжигаются пробы марсианского грунта.

При сжигании сложных органических соединений обычно образуются летучие вещества - нитрилы, альдегиды, бензол и другие достаточно простые продукты. Попадая все вместе в хроматографическую колонку, они выходят из нее в различное время, и поэтому масс-спектрометр анализирует уже не сложную смесь веществ, а индивидуальные простые соединения, спектры которых хорошо известны.

Руководители программы «Викинг» исходили из естественного предположения, что если жизнь на поверхности Марса существует, то ей должны сопутствовать достаточно сложные органические соединения. Действие тельно, на Земле мы почти всегда встречаем продукт» распада и

жизнедеятельности микрофлоры. Поэтому органические остатки на поверхности нашей планеты есть практически повсеместно.

Но очень чувствительный прибор на «Викингах» не обнаружил в грунте никаких органических молекул! Было зафиксировано лишь присутствие воды (в совсем) малых дозах - 0,1 - 1 процент. Эти результаты (они бы ли одними из первых, переданных на Землю) нанесли сильный удар по оптимизму сторонников «жизни на Марсе». Ведь исследователи рассчитывали обнаружить на поверхности Марса хотя бы продукты абиогенного синтеза. Мы уже говорили, что альдегиды, например, в принципе могут образовываться из атмосферных компонентов под действием ультрафиолетового излучения. Правда, концентрация таких соединений должна быть очень низкой, поскольку создающий их ультрафиолет оказывает одновременно и сильное разрушающее действие.

Поэтому руководители программы решили «копнуть глубже» - взять пробу на анализ из-под камня, где органические соединения защищены от ультрафиолета и должны были бы сохраниться. Но и здесь ученый постигла неудача. В этой пробе органики также не было.

Казалось, вопрос решен: Марс - биологически мертвая планета. Но тут на Землю стала поступать информация, получаемая в результате других экспериментов, чисто биологических. Этих экспериментов было три.

Первый состоял в изучении фотосинтетического усвоения гипотетической марсианской микрофлорой меченых $^{14}\text{CO}_2$ и ^{14}CO . Пробы грунта поместили в небольшой замкнутый объем (камеру). В камере был смонтирован миниатюрный осветитель, имитирующий солнечный свет, а внутрь вместо марсианского воздуха вводились $^{14}\text{CO}_2$ и ^{14}CO . Авторы этого эксперимента предполагали, что если в пробе грунта содержатся микроорганизмы, то они могут под действием солнечного света усваивать $^{14}\text{CO}_2$ и ^{14}CO , включая в молекулы клеточного вещества радиоуглерод из газовой фазы.

После экспонирования образцов грунта на свету они подвергались постепенному нагреванию. Сначала при нагревании и продувке инертным газом удалялись все исходные и сорбированные газы. Затем температура повышалась до 600 градусов Цельсия, и происходило термическое разложение гипотетических марсианских микроорганизмов, при котором должна была бы выделяться углекислота с радиоуглеродом, перешедшим в состав этих организмов из исходной газовой фазы. Для фиксации меченого радиоуглерода служил счетчик радиоактивности, который и зарегистрировал искомый сигнал. Контрольный образец, прошедший предварительную термическую обработку, дал отрицательный результат.

Во втором эксперименте изучали хорошо известный для земных условий факт «дыхания грунта». Если взять образец грунта и увлажнить его, то все

процессы жизнедеятельности микроорганизмов здесь как бы усиливаются, активнее выделяются газы: азот, углекислота, кислород. Приборы «Викингов» зарегистрировали выделение из увлажненной пробы кислорода и углекислоты.

В третьем опыте к пробе грунта добавлялась питательная жидкая среда, содержащая меченые радиоактивные соединения - аминокислоты, лактат и прочие. Этот метод широко используют микробиологи для изучения обмена веществ у земной микрофлоры. Микроорганизмы, усваивая эти соединения, окисляют их до углекислоты, которая радиоактивна, так как содержит ^{14}C . На «Викингах» счетчики радиоактивности зарегистрировали рост счета импульсов, что может свидетельствовать о присутствии в пробе микрофлоры.

Хорошо известно, что каждый биологический эксперимент требует контроля. Как были организованы контрольные опыты на «Викингах»? Те же самые процедуры, о которых мы только что говорили, дублировались на образцах, предварительно нагретых до 170 градусов Цельсия. Если в этих пробах и была жизнь, построенная по земному образу и подобию, то она была уничтожена при нагревании. Значит, все процессы обмена и усвоения не должны были происходить, и соответственно нельзя в этом случае было ожидать сигналов от датчиков во всех трех биологических экспериментах.

Так вот, самым интересным было то, что сигналы от датчиков в опытах с предварительно простерилизованным при температуре 170 градусов Цельсия образцом отсутствовали.

Итак, налицо противоречие. Хотя кривые, фиксирующие выделение CO_2 , и непохожи на те, которые получаются на Земле, но рост количества меченой углекислоты очевиден, и вся серия биологических экспериментов как будто не согласуется с хроматомасс-спектрометрическим анализом.

Попробуем разобраться в этом противоречии. Здесь открываются, по крайней мере, две возможности.

Первая состоит в том, что следует принять вывод: жизни на Марсе нет (по крайней мере, в местах посадки «Викингов»). В этом случае результаты биологических экспериментов могут быть объяснены следующим образом: меченые соединения, содержащиеся в жидкой питательной среде, были окислены до $^{14}\text{CO}_2$ чисто неорганическим путем.

Дело в том, что из-за отсутствия на Марсе защитного озонового экрана на поверхность планеты падает поток жесткого ультрафиолетового излучения Солнца. При облучении ультрафиолетом минералы Марса сильно могут изменять свои свойства. На их поверхности могут образовываться активные центры, придающие минералам свойства сильных катализаторов, ускоряющих разнообразные химические реакции.

Вторая возможность - сделать вывод, что жизнь на Марсе есть.

Но как же отнестись в этом случае к результатам хроматомасс-спектрометрии? Объяснение может быть найдено и тут.

Если концентрация клеток в марсианском грунте низка, например, как у нас в Антарктике, хроматомасс-спектрометры «Викингов» могли не почувствовать этих клеток. А биологические тесты? Они нацелены на изучение результатов длительного процесса, когда даже одна клетка может изменить состав питательной среды.

Представим себе такую ситуацию: марсианские микроорганизмы находились в анабиозе. Они «проснулись» в посадочном модуле «Викинга» в условиях земной питательной среды и стали поглощать незнакомую пищу. Началось выделение CO_2 в газовую фазу. Но пища оказалась неприемлемой для инопланетной микрофлоры. Марсианские микроорганизмы погибли. Прирост меченой углекислоты прекратился.

Как мы видим, интерпретация результатов может быть взаимоисключающей.

Возникает естественный вопрос: можно ли было предусмотреть ситуацию, когда один эксперимент (хроматомасс-спектроскопия) говорит с определенностью «нет», а другие (биологические) говорят «возможно»?

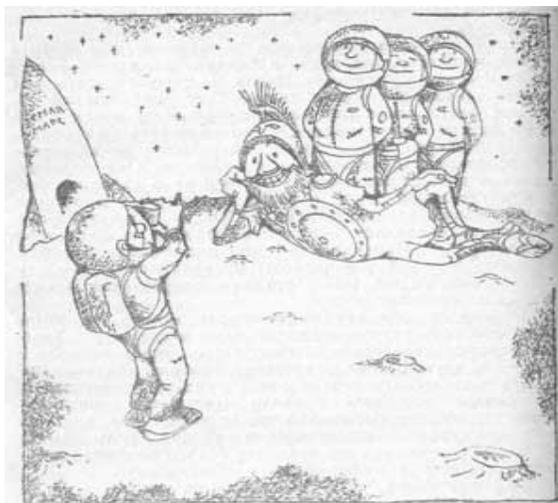
Об этом судить сейчас очень трудно. Руководители программы «Викинг» провели громадную многолетнюю подготовительную работу, проверяя все приборы в крайне суровых климатических районах Земли. Мысль об особых свойствах поверхности Марса возникла лишь после получения информации с «Викингов»...

Так или иначе, строгого ответа на вопрос, есть ли жизнь на Марсе, «Викинги», к сожалению, не дали.

Ну а если на Марсе нет жизни? Остаются еще какие-либо надежды?

Из планет, расположенных от Солнца на большем расстоянии, чем Марс, наибольший интерес представляет Юпитер. Этот гигантский газовый шар по объему в тысячу раз больше Земли. Огромная масса Юпитера обуславливает своеобразие его химического состава. Основной компонентой является молекулярный водород.

Сильно восстановительная атмосфера Юпитера открывает интересные возможности для образования и накопления сложных органических молекул. Цветные фотографии, полученные с американских зондов «Пионер-10» и «Вояджер», подтверждают подобные возможности. На этих фотографиях мы видим отчетливо окрашенные детали. По-видимому, подобное явление можно объяснить лишь возникновением специфических органических соединений.



Боги и «викинги»-4

Образование полимерного материала, по цвету похожего на Большое красное пятно Юпитера, было продемонстрировано в лабораториях американских ученых К. Сагана и С. Поннамперумы. Этот полимер синтезировался в результате воздействия ультрафиолетового излучения на смесь газов, моделирующую атмосферу Юпитера. Опыты, проведенные в лаборатории автора этой книги, в которых изучалось воздействие электрических разрядов на модельную атмосферу Юпитера, показали, что там может быть и цианистый водород и аминокислоты.

На Юпитере мощные облака, и, по всей видимости, именно район облачного слоя Юпитера наиболее благоприятен для синтеза органических молекул.

Самый сложный вопрос, как сохранить эти молекулы. Недра Юпитера очень горячие, а атмосфера все время перемешивается. Поэтому органические молекулы уносятся потоками внутрь Юпитера и разрушаются.

Принципиальным здесь является то обстоятельство, что, если в атмосфере Юпитера есть район с постоянной по высоте температурой, это должно способствовать стабилизации и сохранности органических молекул. Это же замечание относится также к Сатурну, Урану и Нептуну.

Несостоявшаяся звезда, как часто называют Юпитер, не очень подходящее место для зарождения жизни. Делать какие-то очень категорические заключения мне не хотелось бы, но вряд ли на других дальних планетах мы сумеем обнаружить что-либо интересное в плане биологии.

Так что же? Неужели никаких шансов найти хотя бы простейшие формы жизни на других планетах нет?

Конечно, экспедиция «Викингов» к Марсу принесла сторонникам жизни на этой планете известное разочарование. Тем не менее мы должны помнить, что однозначного ответа на вопрос эти экспедиции не дали. Когда будут повторены подобные эксперименты, сказать трудно. Загадка жизни на Марсе

еще многие годы будет интриговать человечество. Но уже сегодня ясно, что если жизнь на Марсе и есть, то биосфера этой планеты очень и очень «слабая». Такая же, как, скажем, у нас в Антарктиде: единичные микроорганизмы в грунте.

И тем не менее задача не теряет своего интереса: а вдруг там, на Марсе, мы найдем недостающее звено генетического кода? Решение одного этого вопроса окупило бы все космические запуски к Марсу.

Но неужели только Марс?

Несколько лет тому назад американские астрономы Д. Крюкшенк и Д. Моррисон установили, что на одном из спутников Сатурна, Титане, есть атмосфера. Вообще планеты-гиганты Юпитер и Сатурн отличаются одной особенностью: это как бы солнечные системы в миниатюре, особенно Юпитер, имеющий несколько спутников. Но у спутников Юпитера нет выраженной плотной атмосферы, а вот Титан - дело другое.

Еще в 1944 году известный американский астроном Д. Койпер предположил, что Титан - необычный объект в солнечной системе именно потому, что у него есть атмосфера. Но только после тщательных наблюдений в обсерватории близ Гонолулу удалось установить, что Титан действительно окружен газовой оболочкой, в состав которой входят, по всей видимости, водород, метан и азот. Точные характеристики этой атмосферы неизвестны, но очень странно, как такое маленькое небесное тело могло удержать водород.

Ученые стали строить модели атмосферы Титана. Сейчас существует две модели атмосферы спутника Сатурна. По одной модели температура поверхности планеты 80 градусов по шкале Кельвина и давление газов у поверхности около 20 миллиметров ртутного столба, то есть побольше, чем на Марсе.

Но дело осложняется тем, что все наши данные о Титане яе очень точны, потому что уж слишком он далек от Земли. Одни исследователи считают, что его радиус 2900 километров, а другие называют цифру 2550 километров. Одни, как мы уже говорили, полагают поверхностную температуру равной 80 градусам по Кельвину, другие приводят значение 200 градусов по Кельвину, а давление у поверхности около двух атмосфер.

Самое интересное, что даже при столь низких температурах возможно образование органических соединений, и жизнь на Титане в принципе могла бы существовать. Ведь переживают же земные микроорганизмы температуры, близкие к абсолютному нулю.

А где песочки энергии для начальной стадии биопозза - химической эволюции? Это космические лучи, ультрафиолетовое излучение, достигающее Титана.

Рассмотрим гипотетическую органическую химию Титана более подробно.

Можно предположить, что в верхней атмосфере Титана есть пыль, которая поглощает видимое и ультрафиолетовое солнечное излучение. В атмосфере есть облачный слой, состоящий из льдов самых обычных углеводов. И ниже и выше облаков атмосфера состоит из метана и азота с добавками аммиака и воды.



Боги и «викинги»-5

Но что же происходит в пылевой дымке, облаках и верхней атмосфере Титана?

Первое предположение состояло в том, что пыль в атмосфере Титана желтого цвета и представляет собой полимер ацетилена. Конечно, ацетилен - газ, но в определенных условиях он может полимеризоваться при низких температурах. Были проделаны лабораторные эксперименты, и оказалось, что полимер ацетилена не очень подходящий кандидат для пыли в атмосфере Титана.

Скорее всего красноватый цвет Титана обусловлен продуктами, образующимися при бомбардировке протонами смеси метана и азота. В лаборатории действительно было установлено, что в этом случае получается полимер красноватого цвета. Но нам гораздо интереснее посмотреть, что может происходить на поверхности Титана. А там могут происходить совершенно удивительные вещи.

Время существования солнечной системы (и, конечно же, Титана) - около четырех с половиной миллиардов лет. Так вот, за это время на поверхности Титана должен был образоваться слой органических молекул толщиной в сотни метров!! Это следствие сложных криохимических процессов. Но ведь в таких условиях могут существовать какие-нибудь новые формы жизни: криожизнь, или жизнь при низких температурах. Основа ее - углерод, но кто может сказать, в какие причудливые формы выльется за 4,5 миллиарда лет криожизнь.

Планеты типа Юпитера и Сатурна могут в принципе образовываться в

космосе и без родительских звезд. Такие планеты называются одиночками, или блуждающими. Быть может, и на таких небесных телах развиваются своеобразные новые формы микроорганизмов.

Еще несколько слов о спутниках Юпитера.

Я уже говорил о том, что у них нет столь мощной атмосферы, как у Титана. Но ведь доказано, что, например, на Ио есть действующие вулканы. А мы с вами помним, что вулкан - генератор органических соединений.

Однако атмосферы-то все-таки нет! Да, атмосферы нет. Но есть кора и есть мантия. И в самое последнее время появились гипотезы о том, что мантия некоторых из спутников Юпитера состоит из... воды!

Тут же возникли идеи о возможном существовании жизни внутри юпитерианских лун. Так какие же из Галилеевых спутников Юпитера могут быть обителью жизни?

Считается, что Ио и Европа имеют обычную силикатную мантию, в то время как Ганимед и Каллисто содержат значительные количества воды или льда. Ну а поскольку в любом случае существуют внутренние источники тепла, то водяная мантия этих спутников - вполне подходящее место для существования жизни. Обитают же в земных пещерах в условиях вечной темноты самые разнообразные живые существа.

Другое дело, могла ли зародиться жизнь в этих ус-яовиях. Этот вопрос, бесспорно, ждет своего решения.

Но сама мысль о жизни в «подземных» океанах Ганимеда и Каллисто весьма и весьма привлекательна.

Итак, Марс, Титан, Ганимед и Каллисто - вот наиболее вероятные кандидаты на присутствие простейших форм жизни.

Есть еще, конечно, совсем далекие планеты, о которых мы практически ничего не знаем, - Плутон и Нептун. С этих планет мы видели бы Солнце просто как яркую звезду на темном небе.

Что там, на этих планетах? Были ли они когда-либо горячими или сверхнизкие температуры всегда сковывали глыбы льда на их поверхности?

Сейчас мы не в состоянии ответить на эти вопросы. Но почему бы не предположить, что и на этих планетах может существовать криожизнь?

Систематическое изучение планет солнечной системы средствами космической техники только начинается, и бесспорно, что ближайшие десятилетия принесут много новой информации. Быть может, скоро мы сумеем получить ответ на вопрос, интересующий каждого человека: существует ли жизнь в солнечной системе где-нибудь, кроме Земли?

Внеземной разум

Настало время обсудить вопросы, которые обычно встречаются на страницах научно-фантастических романов. Внеземной разум, внеземные цивилизации, контакт с ними.

Но что такое разум?

Можно ли, к примеру, наблюдать сосуществование высокоразвитого разума с явной технической отсталостью?

Да, можно.

Есть археологические данные примерно за пятьдесят тысяч лет о племени бушменов, об их материальной культуре. Канадскому антропологу Р. Ли довелось около трех лет прожить в Южной Африке бок о бок с бушменами.

Казалось бы, какой может быть интеллект у племени, которое до сих пор пользуется луком и стрелами?

Но послушаем, что говорит по этому поводу Ли. Нужно сказать, что он в совершенстве знает язык бушменов.

Так вот, Ли утверждает, что разум бушменов вполне сравним с нашим собственным разумом. Возможности их общения поразительны. Сидя ночью около костра, они ведут долгие беседы, рассказывают различные истории, насыщенные тонким юмором, намеками, сложными метафорами. Словом, всем тем, что мы привыкли связывать с литературой развитой технологической цивилизации. Но парадокс состоит в том, что у бушменов практически отсутствует материальная культура. Арсенал ее очень скуден и насчитывает менее ста наименований различных предметов. Более того, у них нет даже сельского хозяйства!

Тем не менее сейчас никто не возьмет под сомнение наличие развитого интеллекта и у бушменов и у аборигенов Австралии. Значит, разум не так уж сильно связан с технологическим путем развития цивилизации.

Но все-таки, что такое разум? Вопрос отнюдь не простой.

Около четырех миллионов лет тому назад в Африке жили небольшие существа ростом около 150 сантимет-ров и весом от 30 до 40 килограммов. Мозг их был очень мал, такой же, как у современных крупных человекообразных обезьян (450-650 кубических сантиметров), Некоторые из этих существ, получивших название австралопитеков, умели делать орудия. По всей видимости, именно они дали начало роду Номо, из которого и возник современный разумный человек Номо sapiens.

Несколько обстоятельств способствовали превращению австралопитеков в Номо sapiens, и среди них мы должны выделить изготовление орудий труда,

появление языка и возникновение нового типа коллективной охоты.

Многие ученые считают, что в науке есть две наиболее интригующие проблемы: эволюция генетического кода и возникновение языкового общения.

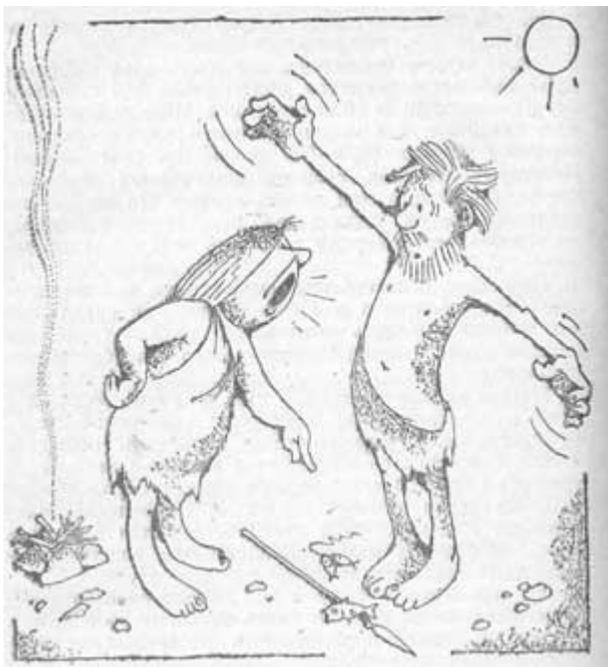
Возникновение солидарности и взаимной защиты у крупных приматов само по себе еще не могло обеспечить появления речевых контактов. Проявление солидарности и коллективной охоты встречается и у хищников, например у волков. Коллективные действия присущи даже некоторым птицам.

Но первобытный человек был обязан развивать методы общения до гораздо более высокого уровня, чем прежде. Возникла необходимость распределения продуктов среди неохотящихся членов сообщества: женщин, детей и стариков. Именно этот принципиально новый тип коллективного распределения и даже учета продуктов дал определенный стимул к развитию разума.

Бесспорно, что необходимость принимать коллективные решения обусловила появление зачатков языкового общения. Передача все более усложняющейся информации, ведь ситуации, в которых оказывались приматы, были отнюдь не простыми, требовала нового типа контактов. Постепенно возник язык. Ли считает, что человеческий разум, по сути дела, синоним человеческого языка.

Вопросы, которые я сейчас затронул, представляют колоссальный интерес сами по себе, без всякой связи

с проблемой внеземного разума. В силу необходимости приходится обсуждать их очень коротко и поверхностно. Но даже такой поверхностный обзор необходим и полезен для наших целей.



Внеземной разум

Необходимо посмотреть, а нет ли других, нетехнологических возможностей развития цивилизации?

Всегда ли должно случиться так, что разумное существо обращает свой взгляд к звездам и ищет своих братьев по разуму?

Наконец, не являемся ли мы редчайшим феноменом в нашей Вселенной?

У первых охотников в общем-то была довольно приятная жизнь, что видно хотя бы из хорошо известной книги Рони-старшего «Борьба за огонь». Незагрязненная среда, добрая семейная жизнь (хотя проблема треугольника существовала уже во времена плейстоцена), крепкое здоровье. Они не знали ни энергетических, ни экологических кризисов, ни проблемы ядерного уничтожения.

Понадобилось лишь несколько десятков тысяч лет, чтобы разум человека, совершив гигатский скачок, создал сельское хозяйство, гидроэлектростанции и космические корабли. Срок по космологическим и геологическим масштабам ничтожный. Если считать, что человек на Земле существует в течение суток, то цивилизация занимает, скажем, последние минуты из этих суток, И за эти последние минуты возникли классы, сельское хозяйство, аппарат государственной власти и, наконец, высокоразвитая цивилизация, обладающая значительным научным и технологическим потенциалом. Возникло стремление познать окружающий мир и самих себя. Возникла способность прогнозировать последовательность сложных событий.

Собственно говоря, последние два обстоятельства в наибольшей степени

характеризуют свойства разумной жизни. Увеличение объема мозга у приматов всего в два раза привело к колоссальным качественным изменениям на нашей планете. Человек научился применять приобретенные знания на практике.

Но мы опять сталкиваемся здесь с очень тяжелой задачей. Мы знаем лишь один пример эволюции органического мира, когда в результате определенной совокупности обстоятельств возник разум, наука и технология.

А быть может, существуют другие пути развития органической жизни? Обсуждая вопрос существования внеземного разума и контакта с ним, нельзя закрывать глаза на другие варианты эволюции. Ведь природа работает вслепую. Для нее характерно отсутствие какой-либо цели. Ее метод - это метод проб и ошибок, и даже на Земле мы видим примеры эволюционных тупиков.

Я хотел бы, чтобы слово «тупик» было понято правильно. Тупик - это или отсутствие развития, законсервированность на какой-то стадии процесса, или чрезвычайно медленное развитие. Общеизвестным и очень наглядным примером эволюционного тупика являются насекомые, чьи физиологические особенности не позволяют в принципе иметь им большой мозг.

И конечно, никак нельзя исключить того, что на какой-нибудь далекой планете эволюция не привела к появлению разума. Ведь не нужно забывать и о том, что уменьшение темпа эволюции всего в два раза (а что такое коэффициент, равный двойке?) отбрасывает нас сейчас на уровень одноклеточных организмов.

С другой стороны, не следует думать, что наша модель разума, человеческого разума, - единственно возможный вариант эволюции во Вселенной. Многие знакомы с блистательным научно-фантастическим романом С. Лема «Непобедимый». Лем описывает ситуацию, когда группа людей, исследующих далекие миры, встретилась с псевдоразумной жизнью. Она была «построена» из маленьких неорганических кристаллов, каждый из которых, взятый в отдельности, не представлял никакой опасности. Но когда миллиарды этих кристаллов объединялись, они приобретали совершенно новые свойства и образовывали «тучемозг», уничтоживший все на планете.

Отдаленный аналог этого «тучемозга» представляют насекомые и особенно муравьи. Муравьи общаются между собой, щекоча друг другу брюшко. Это очень медленный тип контакта. Если бы природа дала им возможность какого-нибудь нового, более быстрого типа контакта, например прямой передачей электрических импульсов, трудно предсказать, какого уровня развития достигли бы насекомые. Гигантские сообщества «электромурьев» могли бы делать сложные расчеты и быстро принимать коллективные решения. Это и был бы органический «тучемозг», и очень трудно представить себе его возможности, его культуру, его этические принципы.

С другой стороны, хорошо известно, что китообразные, обладая мозгом, превосходящим по объему человеческий, не пошли по пути, связанному с развитием науки и технологии. По всей видимости, это вызвано тем, что среда, в которой они обитают, гомеостатична. Ни дельфинам, ни китам нет необходимости защищаться от резких смен температуры, да и голодная смерть им пока не грозит.

Я пишу обо всем этом сейчас для того, чтобы показать, что в принципе могут быть и другие возможности для развития разума. Возможности, которые отнюдь не приводят к идее поиска контактов с другими мирами. Но нам все-таки нужно обсудить вопрос о существовании внеземного разума, наделенного теми же свойствами, что и наш собственный. Неразумно было бы полагать, что человеческий разум - явление уникальное во Вселенной.

И все-таки я сначала хочу обсудить точку зрения нашего крупнейшего астрофизика И. Шкловского о возможной уникальности земной цивилизации. Его работа так и называется: «О возможной уникальности разумной жизни во Вселенной». Основные аргументы Шкловского состоят в следующем. Во-первых, он считает, что планетных систем не так уж много, а поскольку загадка происхождения жизни не решена, то и вероятность возникновения жизни исчезающе мала. Спорить с подобными возражениями не очень просто, потому что действительно приходится обсуждать явления, которые мы пока наблюдаем «в единственном экземпляре».

Но с общепознавательной точки зрения эти аргументы не выдерживают критики. Молекулярной биологии как науке всего 25 лет от роду, и, по-видимому, неправильно говорить о том, что за этот промежуток времени должна быть решена одна из величайших загадок природы.

Шкловский не учитывает того обстоятельства, что в последние годы уже появились серьезные работы, пытающиеся обосновать новые подходы к проблеме эволюции генетического кода. В предыдущей главе я специально подчеркивал огромную сложность этой проблемы. И поэтому вряд ли следует подкреплять свою точку зрения уровнем нашего сегодняшнего незнания.

Действительно, если взять уровень науки всего столетней давности, можно привести массу примеров (и они покажутся сегодня тривиальными), когда в XX веке были реализованы вещи, казавшиеся абсолютно невозможными в XIX веке.

Шкловский вводит термин неограниченной экспансии, связывая его с деятельностью технологически развитой цивилизации. В это понятие он вкладывает очень широкий смысл. Здесь и «неограниченное» истощение природных ресурсов, и уничтожение экологической обстановки, неограниченный рост народонаселения, и, наконец, неограниченная экспансия в Космосе, то есть освоение новых планетных систем. Первым шагом в освоении Космоса, по мнению многих ученых, является сооружение

огромных космических колоний в нашей солнечной системе.

Д. О'Нил из Принстонского университета опубликовал книгу «Высокий рубеж», где подробно излагается программа освоения солнечной системы. Как будет выглядеть такая колония?

Это гигантская космическая станция, имеющая форму бублика диаметром от полутора километров и более. Нормальное тяготение создается за счет вращения станции. Перемещая большие зеркала из алюминиевой фольги, можно осуществить смену дня и ночи.

Условия жизни в такой станции в принципе могут быть гораздо более привлекательны, чем на Земле. По желанию можно варьировать климатические условия от субтропиков до полярных областей. Можно выбирать любой ландшафт. Не нужны будут инсектициды и пестициды.

Первое время строительные материалы нужно будет доставлять с Земли, затем как сырьевую базу можно будет использовать Луну, ну а потом и материал астероидов.

В частности, на Луне предполагается построить огромный линейный ускоритель, который будет разгонять уже не элементарные частицы, а крупные материальные объекты до второй космической скорости; потом в заданной точке космического пространства объект освободится от полезного груза и возвратится на Луну для повторного использования. Интереснее всего то, что уже создан лабораторный прототип такого ускорителя, или, как его называют конструкторы, масс-ускорителя.

О'Нил полагает, что первые колонии на 500 - 1000 человек будут созданы между 1990 и 2015 годом. Стоимость проекта около 60 миллиардов долларов. Это сравнительно немного, если учесть, что проект «Аполлон» стоил примерно столько же.

О'Нил считает, что человечество рано или поздно «оккупирует» всю Галактику и на этот процесс потребуется двести пятьдесят тысяч лет. Заметим, что срок освоения солнечной системы в рамках модели О'Нила всего 2500 лет.

Мы вкратце рассказали об этих интересных вещах, бесспорно, заслуживающих гораздо более подробного изложения, чтобы обратить внимание на замечательный парадокс, замеченный Шкловским.

Полностью принимая положение о необходимости освоения Галактики хотя бы некоторой частью цивилизаций, предположительно существующих в ней (Галактике), Шкловский справедливо считает, что в таком случае следовало бы ожидать наблюдательных проявлений разумной космической деятельности. Еще в 1962 году он назвал этот феномен «космическим чудом».

Парадокс состоит в том, что, по мнению Шкловского, вся совокупность наблюдательных данных астрономии исключает в видимой части Вселенной

какое-либо «космическое чудо». Исключена также возможность посещения Земли представителями иных цивилизаций.

Следует отметить, что подобная точка зрения весьма и весьма спорная, хотя и нельзя не согласиться с тем, что эмоциональный дидактизм Шкловского производит очень сильное впечатление. В уже упоминавшейся работе «О возможной уникальности...» приводятся два примера интерпретации естественных явлений природы как «космических чудес».

Первый пример связан с именем замечательного английского ученого Д. Холдейна - одного из основоположников теории происхождения жизни, человека энциклопедических знаний и поразительной широты интересов. В 1924 году, когда еще не был открыт нейтрон, Холдейн высказал гипотезу, согласно которой взрывы новых звезд связаны с гибелью цивилизации, овладевшей ядерной энергией. Впоследствии был доказан естественный характер вспышек и новых и сверхновых звезд.

Пульсары - второй пример гипноза в ожидании «космического чуда». Хорошо известно, что сигналы от пульсаров сначала были интерпретированы как искусственные.

Шкловский, конечно же, прав в том, что любое явление, еще не до конца понятное учеными, нужно рассматривать с точки зрения «презумпции естественности». Это бесспорно. Но точно так же бесспорно и то обстоятельство, что нельзя делать вывод об отсутствии цивилизаций на основе очень и очень кратковременных астрономических наблюдений. Ведь только в 1978 году впервые радиотелескоп был выведен в Космос.



Внеземной разум-2

Наконец, необходимо учитывать тот факт, что, несмотря на значительные достижения, человечество отнюдь не всесильно. Наука не достигла «насыщения». И мне представляется, что слабым местом в аргументации Шкловского является именно своего рода интеллектуальный антропоцентризм, связанный с переносом нынешних человеческих представлений на деятельность внеземных разумных цивилизаций.

Прежде всего нужно отметить тот факт, что и обсуждаемая выше концепция и возражения оппонентов Шкловского - хорошие примеры чисто умозрительных споров по поводу недоказуемых на сегодняшний день положений. И тем не менее эти дискуссии приносят огромную пользу и обогащают интеллектуальный багаж человечества, хотя до получения каких-либо новых наблюдательных данных истина в них не родится.

Не следует забывать, что наша технологическая цивилизация очень молода. Если считать ее возраст с момента возникновения современных средств связи, то ей всего около ста лет от роду.

Теперь представим себе ситуацию детского сада. Ведь никто не допустит пятилетнего ребенка к управлению самолетом, это абсолютно бессмысленная вещь. Не раз высказывалось предположение, что сверхцивилизации терпеливо ждут определенного уровня развития нашей науки и культуры и только после достижения этого порога вступят с нами в контакт.

Мне могут возразить, что в детском саду детей учат. Это так. Но кто знает законы развития цивилизаций?

Нельзя исключить того, что, наоборот, любое вмешательство в естественный ход событий на какой-либо планете является недопустимым с точки зрения носителей внеземного разума.

Конечно, если правы оракулы Римского клуба, предсказывающие скорую гибель нашей цивилизации, положение коренным образом меняется, и тогда Шкловский прав. Дело в том, что, если человеческий разум, человеческое общество не смогут справиться с проблемами перенаселения, загрязнения окружающей среды, ядерной угрозой, тогда, бесспорно, нашей цивилизации угрожает гибель.

Можно налагать, что такой путь вполне закономерен для цивилизаций гуманоидного типа, и тогда шкала жизни подобных цивилизаций невелика. В этом случае вероятность каких-либо контактов становится исчезающе малой, поскольку цивилизация может погибнуть, прежде чем она встанет на путь космической экспансии.

Все сказанное выше подтверждает огромную ответственность, лежащую на человечестве в целом, ответственность за сохранение жизни на нашей планете.

Однако, как правильно указывает Н. Кардашев, нет? никаких объективных

оснований думать, что во Вселенной «работает» страшный фатальный закон неизбежного уничтожения любой цивилизации после достижения ею определенной стадии развития.

Поэтому попробуем более оптимистично поглядеть на наше будущее и оценить возможности развития цивилизаций и контактов с иными мирами.

Итак, откажемся от концепции апологетов Римского клуба, проповедующих стабилизацию или гибель цивилизации на уровне развития, близкого к нашему. Пусть наша цивилизация живет и развивается, тем более что в науке - одной из движущих сил развития общества - существует масса нерешенных проблем.

В биологии это прежде всего создание общей теории эволюции живой материи. Сюда, конечно же, входит решение проблемы происхождения жизни. В физиологии нет сколь-либо полной теории деятельности мозга человека и животных.

В физике можно указать гораздо большее число нерешенных принципиальных проблем. Нет теории о том, что было в начале и до начала наблюдаемого расширения Вселенной. Нет единой теории гравитации и релятивистской квантовой механики. Физики не могут сегодня ответить на вопрос, почему фундаментальные постоянные, например скорость света, имеют определенные численные значения. Мы не знаем ничего о топологии космического пространства. Ведь нельзя исключить существования других микро- и макромиров. Не создана еще, наконец, общая теория элементарных частиц.

Приведенные примеры отнюдь не исчерпывают всех нерешенных проблем современного естествознания,

И поэтому цивилизации есть чем заняться. Нельзя исключить того, что, если какая-нибудь цивилизация в силу тех или иных причин развивается чуть «технологичнее» нашей, она уже давно проникла в иные вселенные и для нее представляет большой интерес изучать законы построения других миров, чем космические путешествия.

Кардашев взамен модели неограниченной экспансии указывает следующие возможные пути деятельности разумной цивилизации. Вместо неограниченной космической экспансии - целенаправленные полеты к наиболее интересным объектам во Вселенной. В нашей Галактике наиболее заманчивым представляется полет к ее центру.

Цивилизация может удовлетворять свое любопытство не в исследовании космического пространства, а, к примеру, в изучении микромира. Кто знает сейчас, какие возможности могут открыться в этой области?

И наконец, о захватывающей воображение проблеме перехода в другие пространственно-временные измерения. Мне хотелось бы более подробно

остановиться на этой модели, разработанной Кардашевым.

Писатели-фантасты легко и просто справляются с этой проблемой. Я думаю, что многие читатели знакомы с термином, бытующим в научно-фантастической литературе, - гиперпространство. Космонавты обычно проходят через гиперпространство и оказываются после этого в необходимой им точке нашей Вселенной. Но оказывается, что современные физические теории в принципе «разрешают» куда более поразительные вещи.

Давайте вспомним, что такое «черная дыра».

Если достаточно большая (конечно, по меркам астрофизики) масса, например, больше, чем две массы Солнца, начинает сжиматься, остановить этот процесс уже никак нельзя. Процесс сжатия будет продолжаться, пока не будет достигнут так называемый гравитационный или шварцшильдовский радиус r_g . Численное значение этого радиуса можно приблизительно найти из следующего простого соотношения: $r_g \sim 3 (M/M_{\odot})$ километров, где M - масса сжимающегося объекта, а M_{\odot} - масса Солнца. Сразу же видно, что, если бы наше Солнце вдруг «захотело» стать «черной дырой», его радиус должен был бы уменьшиться всего до нескольких километров.

К счастью, в обычных условиях лишь более массивные, чем Солнце, объекты могут сжиматься до гравитационного радиуса. И если сжимающаяся масса, будь то звезда или облако межзвездного газа, достигнет шварцшильдовского радиуса, получается «черная дыра», или, как еще принято говорить, гравитационная могила. А сам процесс сжатия называется гравитационным коллапсом.

В центре «черной дыры» плотность бесконечна и даже лучи света не могут выйти за поверхность гравитационного радиуса, столь велики силы притяжения. Все, что оказывается в сфере действия «черной дыры», поглощается ею. Мало того, что бесконечна плотность в центре «черной дыры», там бесконечно высока и температура.

И вот в такой объект Кардашев предлагает послать космический корабль.

Здесь нужно обсудить две вещи.

Во-первых, если масса «черной дыры» невелика (немного более двух масс Солнца), корабль, безусловно, погибнет в гравитационной могиле из-за гигантских плотностей внутри «черной дыры».

Но если масса дыры очень велика, например в миллиард раз больше массы Солнца, да к тому же она электрически заряжена, то можно думать, что люди в космическом корабле останутся в живых. Ведь из-за электрического заряда большая масса не может сжаться до бесконечной плотности.

Вблизи шварцшильдовского радиуса сжатие прекратится и сменится расширением. И плотности в такой почти «черной дыре» будут нормальными:

около одного грамма в кубическом сантиметре.

А зачем, вообще говоря, понадобилось Кардашеву посылать космический корабль к таким странным объектам?

Ведь из общей теории относительности известно, что для наблюдателя, находящегося на Земле, полет космического корабля к «черной дыре» будет выглядеть очень своеобразно. По мере сближения корабля с «черной дырой» все процессы для земного наблюдателя бесконечно замедлятся. Изображение корабля будет все более слабым и за бесконечное время пропадет.

А космонавты будут жить по обычным часам, и все процессы в корабле для них будут выглядеть нормально. Но за иллюминаторами своего корабля они увидят потрясающие вещи. Когда они будут приближаться к шварцшильдовской сфере заряженной «черной дыры», они смогут увидеть все будущее нашей Вселенной, причем за конечный промежуток времени. Этот поразительный вывод основывается на строгих законах физики.

Смогут ли космонавты вернуться на Землю? Ведь стадия сжатия сменится стадией расширения, «черная дыра» станет «белой дырой».



Внеземной разум-3

К сожалению, нет. Второй не менее ошеломительный результат Кардашева состоит в следующем. Когда корабль выйдет из-под шварцшильдовской сферы, он окажется в новой вселенной, в другом пространстве, и на этой стадии полета космонавты увидят все прошлое нового мира!

Таким образом, через «черную дыру» можно проникнуть в будущее. Чем не машина времени! Правда, и плата за такую возможность немала: вечное скитание по иным мирам. Я глубоко убежден в том, что идеи, развиваемые Кардашевым, а ведь они базируются на прочной научной основе, куда увлекательнее любого научно-фантастического романа.

Но все-таки каковы же сегодня возможности контактов с другими цивилизациями?

Один вариант мы сейчас обсудили. Правда, совершенно ясно, что это вариант не сегодняшнего дня, поскольку системы «черно-белые дыры» находятся ближе к центру Галактики и человечество не в состоянии в ближайшее время совершить туда путешествие.

Поэтому остаются только наблюдательные возможности, возможности поиска различных электромагнитных сигналов. Но от каких источников могут исходить эти сигналы?

Есть предположения, что в районе центра нашей Галактики могут существовать сверхцивилизации, использующие ядро Галактики или квазары как источники энергии. Вроде того, как наша цивилизация использует энергию Солнца. Но мощность излучения ядра Галактики в миллион раз выше мощности излучения Солнца, а квазар мощнее Солнца в триллион раз! И ядра Галактик и квазары на миллиарды лет старше нашего Солнца. И действительно, резонно предполагать, что около этих источников энергии и расположены сверхцивилизации.

Очень интересен следующий факт. Вблизи центра нашей Галактики есть огромное облако с почти «земной» температурой, около 0 градусов Цельсия. Что может быть внутри этого облака?! А строго в центре Галактики есть точечный источник коротковолнового радиоизлучения. Его размеры меньше, чем размеры солнечной системы. Мы пока не знаем, какова природа этого источника.

В 1979 году в Советском Союзе впервые на околоземную орбиту был выведен радиотелескоп. Не за горами постройка различных инженерных сооружений на Луне.

В космосе, где не нужно охлаждать приемники излучения, эффективность их работы более высока, чем на Земле. Поиск информационных сигналов по ряду причин удобнее вести на миллиметровых волнах, а не на волне 21 сантиметр, как это предполагалось раньше. В том же диапазоне можно исследовать тепловое излучение от больших астроинженерных конструкций.

Когда мы говорим «информационное сообщение», то, конечно же, имеется в виду, что один абонент принимает от другого сообщения со смысловой нагрузкой. Вопрос состоит в том, сумеет ли человечество расшифровать принятое сообщение. Тепловое излучение от астро-инженерной конструкции не является в полном смысле слова смысловым сигналом. Это пассивный, косвенный сигнал о деятельности суперцивилизации.

Если же одна цивилизация посылает вполне сознательно сигнал о своем существовании, она должна это делать таким образом, чтобы сигнал поддавался дешифровке. Сейчас большинство ученых стоит на точке зрения, согласно которой практически любой «разумный» сигнал, снабженный вводным текстом или кодом¹ для дешифровки, может быть расшифрован. Конечно, если сообщение приходит не в виде радиосигнала, а в виде

космического инопланетного корабля, задача облегчается, хотя и в этом случае могут существовать определенные трудности. К примеру, мы просто можем не знать о назначении некоторых предметов корабля, и их исследование тоже своеобразная задача дешифровки.

А каковы могут быть последствия контактов с внеземным разумом? И что может произойти, если мы наконец обнаружим внеземную цивилизацию?

Предположим, мы приняли радиосигнал от суперцивилизации. Сумели его дешифровать. Что дальше? Дальше возможно возникновение нескольких ситуаций, но коротко все-эти ситуации можно разделить на два больших класса - благоприятные и неблагоприятные.

Поскольку мы ничего не знаем априорно об этических принципах суперразума, то мы должны предусматривать в принципе возможность неблагоприятной ситуации. В чем может состоять неблагоприятная ситуация?

Предположим, принимаемое сообщение содержит инструкцию для построения принципиально новой ЭВМ, с невиданными возможностями. Человечество должно иметь в виду потенциальную агрессивность созданного супермозга и должно заранее обезопасить себя от последствий этой потенциальной агрессивности.

Благоприятные ситуации связаны с приобщением человечества к высшим достижениям внеземной культуры и техники, и значение этого факта трудно переоценить. Контакт сможет оказать огромное влияние на культурный, научный и технологический потенциал человечества. Более того, контакт может оказать положительное влияние на будущее самого человечества.

Только в нынешнее время, впервые в истории человеческого общества появилась реальная возможность проводить глубокие теоретические и экспериментальные исследования по этой интригующей проблеме. Сейчас человечество готово к поиску внеземных цивилизаций и контакту с ними. Уже в ближайшее время будет осуществляться поиск сигналов от возможных астроинженер-ных объектов, от мощных источников в центре Галактики и так далее.

Быть может, еще при жизни нашего поколения удастся разрешить вечную загадку: одиноки ли мы во Вселенной? И будем надеяться, что в ближайшее время будет решена и другая великая проблема - проблема возникновения живой материи. Решение этих проблем было бы триумфом человеческого гения.