

**От редакции** Известный геохимик, создатель теории биологического фракционирования изотопов, автор работ по происхождению планет и Луны, химии изотопов, геологии и геохимии нефти и газа, образованию алмазов, директор Института геохимии и аналитической химии им. В. И. Вернадского РАН академик Э. М. Галимов выдвинул оригинальную гипотезу появления жизни, законов ее эволюции, механизма возникновения генетического кода. Наш корреспондент И. А. Горюнов попросил ученого прокомментировать некоторые положения его концепции.

— Эрик Михайлович, прошло 50 лет с того времени, как будущие нобелевские лауреаты (за 1962 г.) американец Дж. Уотсон и англичанин Ф. Крик определили структуру ДНК. Что дало ученым открытие двойной спирали дезоксирибонуклеиновой кислоты? Как данное событие повлияло на развитие науки в XX веке?

— Их модель ДНК — одно из самых ярких научных достижений ушедшего столетия. Стал ясен молекулярный механизм наследственности. Очень скоро после этого был расшифрован генетический код. Химией жизни управляют ферменты-белки. Они состоят из аминокислот. Каждой из них соответствует набор из трех нуклеотидов. Последовательная цепь нуклеотидов — это и есть ДНК. Ее длинная нить содержит запись состава всех белков, которые должен выработать организм, чтобы обеспечить себе жизнь. Однако и по сей день нет ответа на главный вопрос: как природа пришла к «идее» программирования? Как был создан генетический код?

Между тем решение этой проблемы практически равносильно ответу на вопрос, как произошла жизнь. Чтобы запустить процесс эволюции, Творцу нужно было только указать генетический код.

— Выходит, его кто-то сознательно создал?

— Некоторые ученые так и считают. Например, американец М. Бехе доказывает: молекулярный механизм жизни мог появиться только по воле Творца. Даже Крик, который не только открыл структуру ДНК, но и очень много работал над расшифровкой генетического кода, в конце своей научной карьеры стал говорить о панспермии, т. е. о том, что жизнь зародилась где-то вне Земли и была занесена из космоса.

— Иначе говоря, механизм возникновения генетического кода — тайна? Как Вы видите решения этой научной проблемы?

— Прежде всего я считаю: происхождение и эволюция жизни — нормальный физико-химический процесс, развивающийся на планетах в условиях, подобных тем, которые существовали на молодой Земле, т. е. спустя 200–300 млн лет после ее образования (напомню, сегодня считается, что возраст Земли — почти 4,7 млрд лет).

Каков же механизм возникновения жизни, и что движет эволюцией? Казалось бы, на данный вопрос уже давно есть общепризнанный ответ — дарвиновский естественный отбор. Действительно, когда речь идет о механизмах адаптации к окружающей среде, биологическом разнообразии, дарвинизм «работает», и можно привести бесчисленные примеры, подтверждающие его справедливость. Однако он не способствует пониманию того, как произошла жизнь, ибо не является общей теорией упорядочения материи, которую мы обычно ассоциируем с усложнением. И не только с ним. Упорядочение — еще и ограничение свободы, некая предписанность поведения. Скажем, уличное движение регулирует введение целого ряда ограничений: разделительные полосы, сигналы светофоров, специальные знаки и др. То же самое и в химии. Если три отдельно взятые аминокислоты объединяются в пептид, то имеет место упорядочение, так как в этой более сложной структуре аминокислоты не могут вести себя в пространстве столь же свободно, как при раздельном существовании. В свою очередь, возникший пептид вносит организацию в окружающую среду. Более того, он может действовать как катализатор и в других реакциях.

— То есть катализаторы суть организаторы упорядочения в природе?

— Да. По сложившимся представлениям, любой катализатор — ускоритель какого-либо процесса. Но способен он на это в силу того, что выбирает определенный, наиболее выгодный с точки зрения скорости хода реакции путь. Значит, катализатор прежде всего осуществляет функцию селекции.

Современные биокатализаторы (ферменты) — это белки. И каждый из них контролирует одну-единственную реакцию, а вместе они представляют собой сложную «машину».

Из всех химических соединений, которые нам известны, нет лучших катализаторов, чем полимеры аминокислот. Они образуют трехмерную структуру, обладающую наиболее совершенными селективными свойствами, другими словами, эффективно осуществляющую упорядочение.

— Вернемся к механизму возникновения организованности. Я согласен, что правила уличного движения упорядочивают движение на дорогах, но их специально принимают, а Вы говорите, что во Вселенной подобные правила устанавливаются сами собой.

— Согласно общему закону природы, который известен как второй закон термодинамики, наиболее естественное развитие материи идет по пути разупорядочения (повышения энтропии). Ее максимум достигается в состоянии равновесия, когда никаких видимых изменений не происходит — система мертва.

Поэтому должно быть выполнено несколько условий, чтобы процесс пошел вспять естественному развитию материи.

Прежде всего, реакция, благодаря которой происходит упорядочение (т. е. идущая с понижением энтропии), должна быть микроскопически сопряжена (практически составлять одно целое) с реакцией, идущей с повышением энтропии. Далее: система обязана быть стационарной — убыль любого компонента в ней компенсируется его производством. А это требует непрерывного притока энергии извне. Ничего необычного во всем перечисленном нет, и эпизоды соответствующей организации встречаются в природе часто.

Я полагаю, что в предбиологической химии особую роль играли молекулы аденозинтрифосфата (АТФ). Их гидролиз прекрасно удовлетворяет требованиям упорядочения. И хотя это довольно сложные молекулы, тем не менее они синтезируются из простых предшественников: цианистого водорода, формальдегида и фосфатов — соединений, доступных на ранних стадиях развития нашей планеты. Осуществление этого процесса требует реализации определенного геохимического сценария. Но в рамках известной нам сегодня обстановки того периода его воплощение выглядит вполне правдоподобно. Ввиду особой роли, которую я придаю АТФ в предбиологической химии, ее можно назвать «молекулой № 1» на пути биологической эволюции.

Кстати, АТФ очень важны и для ныне живущих организмов. Это одно из доказательств ее древнего происхождения, ибо природа, найдя какое-либо оригинальное решение, пытается использовать его в максимально возможном числе вариантов, а не изобретать что-то новое.

Однако только процесс упорядочения не объясняет эволюцию: на каждом этапе — это просто частный случай. Для полноты картины организованная структура должна уметь сама себя копировать, иначе рано или поздно она погибнет. К тому же первоначальное упорядочение могло выражаться в синтезе всего одной молекулы. Чтобы перевести это микроскопическое событие в макроскопический результат, необходим был механизм размножения. А большое количество одной и той же структуры можно получить двумя путями: либо каждый из них делать заново и независимо друг от друга, либо, используя первый экземпляр в качестве шаблона, производить последующие копии. Разница в эффективности здесь такая же, как между переписыванием вручную рукописей в древние времена и производством копий на современном ксероксе.

Как я уже говорил, аминокислотные цепочки (пептиды) обладают свойствами упорядочения, но не самокопирования. С другой стороны, нуклеотиды — плохие катализаторы, однако благодаря «умению» строить комплементарные цепи могут прекрасно воспроизводиться. Короче говоря, в силу объективных особенностей органической химии, два свойства, необходимые для эволюции упорядочения, оказались разделенными между двумя разными классами соединений. Причем генетический код и есть та программа, по которой структурные элементы одного класса (аминокислоты) поставлены в соответствие с таковыми другого (нуклеотиды). В результате аминокислоты могут воспроизводиться опосредованно через цепочки нуклеотидов.

Эволюция осуществляется под действием двух взаимосвязанных процессов. Первый — упорядочение, второй — воспроизведение (итерация) уже организованных структур. Термин «итерация» предпочтительнее, поскольку воспроизве-

дение — это точное копирование, а итерация — производство дубликатов, очень похожих на оригинал.

— Почему невозможно производство точных копий? Есть какие-то ограничения?

— Законы природы. В соответствии с ними получить полный аналог оригинала невозможно. Но это и не требуется. Даже если при итерации воспроизводится не точная копия, она все равно будет работоспособна. Более того, с точки зрения эволюции несоответствие «оригиналу» открывает новые возможности, ибо созданный дубликат может обладать даже лучшими адаптационными свойствами.

— Выстроенная вами логика возникновения генетического кода понятна. А как это происходит в реальности?

— Конкретный путь эволюционного возникновения генетического кода пока не раскрыт. На этот счет существует множество гипотез. Если исходить из нашего подхода, предпочтительны те, которые предполагают последовательное упорядочение путем достижения все более строгого соответствия между аминокислотой и набором нуклеотидов. В ныне существующих организмах механизм транскрипции (переписывания) чрезвычайно сложен. Но центральную роль здесь играет транспортная рибонуклеиновая кислота (тРНК). Еще в 1958 г. Крик предположил, что должна существовать молекула-посредник, связывающая конкретную аминокислоту с определенным набором нуклеотидов. Затем она была идентифицирована как тРНК. Хотя на заре эволюции биологических систем подобие генетического кода, по сравнению с нынешним, было упрощенным и ненадежным, тРНК или аналогичные ей архаичные структуры, в отличие от других нуклеиновых кислот, выполняющих биологические функции, были и остались относительно короткими соединениями, содержащими всего 70–90 нуклеотидов, чем походили на полинуклеотиды, формировавшиеся до возникновения кода. И действительно, если сейчас в экспериментах синтезировать полинуклеотиды, они приобретают как раз то строение, которое имеют тРНК. Обычно это причудливо свернутые цепи, в которых последовательность нуклеотидов образуют пары комплементарных оснований. На первичность тРНК указывает и тот факт, что она содержит более разнообразный набор нуклеиновых оснований, чем ДНК и РНК. Очевидно, очищение РНК и ДНК от излишних структурных форм нуклеотидов произошло в ходе эволюции. По своему значению и месту в биологической эволюции прото-тРНК — это «молекула № 2». Именно она оказалась посредником между аминокислотами и нуклеотидами.

— Есть ли возможность проверить Вашу гипотезу? Планируете ли Вы какие-либо эксперименты?

— Да. В РАН в качестве одной из приоритетных принята программа «Проблема зарождения жизни и ее эволюции». В ее рамках в нашем институте и в других организациях (мы планируем сотрудничать с учеными МГУ им. М. В. Ломоносова, Институтов биологических наук РАН и Сибирского отделения РАН) будут проведены эксперименты для проверки роли АТФ в механизме упорядочения, синтез АТФ в условиях, моделирующих обстановку на ранней Земле.

— А проверку концепции установления генетического кода?

— На первый взгляд кажется, что решающий эксперимент, в ходе которого будет продемонстрирован механизм возникновения генетического кода, можно осуществить на лабораторном столе. Но самопроизвольное установление соответствия — принципиально длительный процесс. Даже если бы мы знали абсолютно точно все его детали, воспроизведение заняло бы тысячелетия.

Процесс может быть ускорен в миллионы раз, если его заменить компьютерным моделированием. В этом направлении я сейчас активно работаю с сотрудником нашего института доктором физико-математических наук В. А. Дементьевым. Мы хотим убедиться, что при определенным образом формализованном нашем понимании природы упорядочения его механизм неизбежным образом наткнется на идею генетического кода.

— Какой математический аппарат необходим для такой работы? Можно ли применять уже имеющийся или требуется создавать новый?

— Сейчас проводим численные эксперименты на условном языке, хотя компьютерное моделирование процесса зарождения жизни следует вести в терминах квантовой химии. Но для того чтобы использовать аппарат этой науки, нужно сначала — хотя бы на условном языке — получить требуемый результат — некий вариант возникновения жизни. Конечно, нельзя утверждать, что реализовавшийся на Земле вид жизни — единственно возможный, но он один из очень ограниченного числа. Иначе говоря, если где-то на других планетах существует жизнь (по моему мнению, в каких-то формах она обязательно существует и в масштабах Вселенной имеет достаточное распространение), то в основных чертах она должна быть похожа на земную. Любое разумное существо с другой планеты обязательно окажется очень похожим на нас. У него, правда, может быть иная внешность, другое строение тела, но в основе жизненных процессов будут те же белки, та же запись информации с помощью нуклеиновых кислот и т. д. Более того, во Вселенной просто нет других элементов, кроме углерода и водорода, на которых могла бы базироваться жизнь. Ведь только углерод позволяет строить линейные цепочки, кольца, образовывать двойные связи. А единственный похожий на него элемент — кремний — создавать двойные цепи не может. Соответственно, и водород, имеющий колоссальное значение, например, для репликации (воспроизведения), тоже ничем заменить нельзя. Поэтому в организации жизни многое предопределено: при кажущемся разнообразии мы имеем ограниченный набор соединений для ее строительства.

— Между тем сейчас высказывают предположения, что где-то существует виртуальная жизнь, без материального воплощения...

— Представления о виртуальных, компьютерных и тому подобных существах кажутся мне фантазиями, оторванными от реальности. На самом деле появление живых существ возможно лишь на базе тех элементов, которые имеются в земных условиях. А их, как я уже говорил, мало.

— Существуют ли пределы жизни? Вы задавались этим вопросом?

— Безусловно, все живое имеет свое начало и свой конец, тем более если рассматривать биологическую эволюцию как саморазвивающийся процесс

упорядочения. Любая сложная структура спустя определенное время переходит в состояние дезорганизованное. И жизнь содержит в себе черты, предопределяющие ее переход в состояние хаоса. Во-первых, вспомним об итеративности — по мере воспроизводства копий любая небольшая ошибка или неопределенность усиливаются в ходе дальнейшего процесса, поэтому его конечный результат практически непредсказуем. Во-вторых, в биологических процессах наличествует элемент нелинейности — зависимость правил, управляющих процессом итерации, от достигнутого результата. Эти рассуждения, скорее, из области философии, и я как геохимик, рассматривающий процесс синтеза живого вещества на реальной исторической сцене, волей-неволей вынужден обращаться к соответствующим обобщениям.

Вообще проблему происхождения жизни (а нас сейчас интересует все-таки ее возникновение, а не конец) можно рассматривать в рамках как естественно-научного, так и философского подходов. При этом под философией я понимаю максимально возможный для данного этапа развития человеческой цивилизации уровень обобщений, в том числе и общенаучных. Ну а когда человеческая мысль упрется в некие ограничения, то для преодоления придется менять уже саму философию. Итак, по моему мнению, философская рефлексия должна, с одной стороны, предшествовать научному анализу, задавать вектор исследований, а с другой — вносить коррективы после того, как научное знание достигнуто — уточнять существующие концепции (если наука в целом подтвердила их продуктивность) или выдвигать новые, ставя, соответственно, перед учеными иные проблемы и вопросы. Помимо философии мерилom интеллектуального и духовного развития человека является религия. Но и она должна постоянно развиваться, чтобы соответствовать (конечно, в рамках своей парадигмы) уровню современных представлений о мире. Скажем, некогда гром и молнию ассоциировали с божественной колесницей, и миропонимание, включающее представление о боге Зевсе, путешествующем по небу, тогда имело право на существование. Но стоило науке выяснить природу электрических разрядов, как привычные объяснения стали неадекватны действительности, и религия исключила их из своего арсенала.

— Академик В. И. Вернадский говорил, что религия очень заинтересована в развитии науки, как и наука в развитии религии: «Рост науки неизбежно вызывает, в свою очередь, необычайное расширение границ философского и религиозного сознания человеческого духа; религия и философия, восприняв достигнутые научным мировоззрением данные, все дальше и дальше расширяют глубокие тайники человеческого сознания». Есть ли в настоящее время почва для религиозного мировоззрения?

— Есть. И вот почему. Мы все еще не понимаем и не можем объяснить массу вещей во Вселенной. Например, много вопросов связано с мировыми константами — фундаментальными физическими постоянными. Они таковы, что их значения позволяют существовать нашей Вселенной. Если вы хотя бы немного измените значение гравитационной постоянной, заряда электрона или скорости света, окружающий нас мир рухнет.

Кто задал им такие значения? Это — философский вопрос. Именно здесь возникает идея Творца, понятие веры. Я только не приемлю примитивных рассуждений на этот счет. Мы еще дети во Вселенной и не понимаем нашу роль в ней. Разве можно быть уверенным, что человеческий ум постиг все и нам стало доступно абсолютное знание о бесконечном во времени и пространстве мире? Поэтому для религии — современной, цивилизованной — по-прежнему остается место. Но чем дальше будет продвигаться понимание человеком мира, тем больше будет изменяться религия. Как и наука.