

Эволюцию направляет саморазвивающаяся инструкция. Цивилизации во Вселенной, возможно, и возникают часто, но живут очень короткое время

Опубликовано в «Независимой газете». 22 мая 2002 г.
Интервью с А. Вагановым

От редакции газеты

«Подобно созревшему плоду, человек отрывается от древа жизни. Он более не питается ее соками. Он отчуждается от жизни с ее законами эволюции. Ни одно живое существо не может выжить вне живой природы. Кроме человека. Он может уничтожить все живое и продолжать существовать <...> Если он еще не достиг этого состояния сейчас, то, во всяком случае, приближается к нему. С этого момента существование жизни на Земле перестает быть условием его собственного существования <...> Технические устройства, выполняющие функции, и технические устройства, несущие информацию, срываются с биологическими носителями функций и информации, замещают их и, в конечном счете, могут заменить вполне».

Согласитесь, подобная динамическая генерация сюжета могла бы запросто быть взята из какого-нибудь фантастического триллера а-ля «Терминатор». Однако в данном случае – это отрывок из очень серьезной и глубокой книги президента Международной ассоциации геохимии и космохимии, директора Института геохимии и аналитической химии имени В. И. Вернадского РАН академика Эрика Галимова. Впрочем, даже название книги интригует не меньше, чем ее содержание: «Феномен жизни: между равновесием и нелинейностью. Происхождение и принципы эволюции» (М.: URSS, 2001).

Сейчас академик Галимов обдумывает возможные эксперименты, которые могли бы подтвердить (или опровергнуть) выдвигаемую им концепцию комбинаторной эволюции («Эволюция состоит, скорее, в составлении новых комбинаций с участием данного „строительного“ блока, чем в умножении альтернативных решений для выполнения той же

функции»); варианты компьютерного моделирования возникновения молекулы №1 в эволюционной цепочке (у Галимова это – аденозинтрифосфат, АТФ)...

Итак, куда же клонит эволюционная линия жизни?

– Знаете, Эрик Михайлович, какое чувство я испытал после прочтения Вашей книги? Во-первых, честно скажу, – засосало под ложечкой от смертельной тоски, от безысходности. Ну действительно: «...Следующей ступенью развития технологической цивилизации будет устранение биологических функций человека. Нетрудно предвидеть возможность радикального изменения механизма питания и деторождения, последовательной замены биогенных органов техногенными, постепенное возникновение биотехногенного гибрида»; или: «Можно предположить, что биосфера, породив цивилизацию, подошла к границам своей устойчивости...». Но второе было радостное чувство – я, слава богу, не доживу до этих светлых времен!

Неужели все действительно предрешено и законы термодинамики неумолимо работают именно в этом направлении?

– Вообще книга не об этом. Она не о смерти, а о рождении. О происхождении жизни. Меня более всего интересовал механизм возникновения жизни и ее эволюции. В основе современных представлений лежит дарвиновское учение. Но дарвинизм не объясняет многие стороны биологической эволюции и не помогает решить проблему происхождения жизни. Нужен поиск других путей. Я не хотел бы говорить о содержании моей концепции. Думаю, что ученому не следует обращаться к прессе, к широкой публике, пока его научные представления не прошли испытания в профессиональной научной среде.

– Но в данном случае Вы излагаете их не по своей инициативе. Вы отвечаете на вопросы, которые возникли у меня как у читателя.

– Что касается фрагмента, с которого вы начали, то все имеет свое начало и конец: и отдельный организм, и поколения, и биосфера в целом. Повторяющиеся процессы, которые воспроизводятся не совсем подобным образом (это называется нелинейностью), неизбежно переходят в хаос. Биологические процессы итеративны. Это достаточно очевидно. В организмах одни и те же процессы повторяются от раза к разу. Сами организмы репродуцируются от поколения к поколению.

Если итеративная система нелинейна, она воспроизводится с искажениями. Искажения накапливаются и приводят систему в какой-то момент к хаосу, то есть к концу порядка. Я как раз утверждаю, что биохимические процессы существенно линейны (протекают недалеко от равновесия). Это важная часть моего понимания биологической эволюции. Но линейность сама по себе – идеализация. Полностью линейных, так же как и полностью равновесных, процессов не существует: они все в какой-то степени нелинейны и потому конечны.

– Однако мы можем говорить о линейности на каком-то выбранном отрезке...

— Да, вот именно. Жизнь заключена в узкие рамки между равновесием и нелинейностью. Равновесие — это прекращение процессов, следовательно — смерть. Нелинейность тоже ведет к гибели. Поэтому жизнь — это непрерывная борьба с переходом к равновесию, а длительность жизни определяется мерой ее линейности.

— **В чем это проявляется?**

— В том, например, что мы с вами имеем ограниченное во времени, запрограммированное, по сути дела, совокупностью физиологических процессов в нашем организме, существование. В среднем человеческая жизнь завершается где-то между 80 и 90 годами. В этом интервале начинается лавинный переход в область хаоса. Это результат известной нелинейности суммы тех процессов, которые присущи нашему организму. Возможны отклонения, можно разными путями отсрочить этот момент, но в конечном счете никуда от этого не денешься, хаос — это то, чем заканчивается жизнь. Если говорить в целом о биосфере, то она подчиняется тем же законам.

— **Но есть ли у нас способ определить, на какой стадии, в каком временном интервале находится эта система — биосфера?**

— Качественно такую оценку можно сделать. В конце 70-х годов прошлого века Фейгенбаум доказал удивительную теорему об универсальности пути перехода некоторого класса нелинейных систем к хаотическому поведению. Эволюция таких систем сопровождается бифуркациями (то есть проходит через точки разветвления).

Причем относительное время между бифуркациями сокращается пропорционально коэффициенту, получившему название «число Фейгенбаума». Оно равно расчетно 4,6642.

Если качественно этот способ применить к сегодняшней биосфере, то получается, что мы очень близко подошли к области хаоса, то есть наша биосфера очень старая. В масштабе человеческой жизни ей лет 70. Правда, 70-летний человек не знает, когда с ним это произойдет: может, он до 100 лет проживет, а может — 71-й год станет роковым... Вот и мы не знаем, как обстоит дело в отношении биосферы. Но то, что в результате появления человека появляется нарастающая частота бифуркаций, свидетельствует о том, что мы близки к фазе, за которой следует хаос.

— **А что является в данном случае аналогом биологических бифуркаций?**

— Бифуркации в биологической эволюции можно связать с видообразованием — с расщеплением генетической линии на ветке филогенетического древа живых видов. Создание человеком устройств с принципиально новыми свойствами аналогично видообразованию. Но если биологическое видообразование укладывается в масштабе геологического времени, то создание летательных аппаратов, возникновение радио и телевидения, персональных компьютеров и систем искусственного интеллекта, геновая инженерия и клонирование — это уже события, укладываемые в масштаб десятилетий.

Есть и другие косвенные свидетельства приближения антропогенного мира к хаосу. Скажем, мы не наблюдаем в космосе иных цивилизаций. А ведь жизнь,

вообще говоря, должна быть не таким уж и редким явлением, и где-то она должна достигать стадии цивилизации. Но все наши попытки на протяжении последних 40 лет проводить мониторинг осмысленных сигналов из космоса пока безрезультатны. Объяснение, скорее всего, состоит в том, что цивилизации, возможно, возникают, но живут очень короткое время. Так что одновременно с нами в окрестной Вселенной существует очень мало цивилизаций, если вообще они существуют.

— Вы выдвигаете свою концепцию эволюции — комбинаторная эволюция. Ваша идея, насколько я понял, состоит в том, что возникает некая элементарная стационарная неравновесная ячейка, результатом функционирования которой становится производство низкоэнтропийного продукта, то есть более упорядоченного продукта. Как вы считаете: само возникновение такой химической ячейки — это случайный процесс или это предопределено законами физического мира?

— Мир движется в сторону беспорядка — это определяет второй закон термодинамики. Вместе с тем, существование жизни доказывает, что на этом фоне возможно движение в сторону увеличения порядка.

Упорядочение — это не что иное, как ограничение свободы. Мерой беспорядка — если хотите, мерой свободы — является энтропия. Увеличение порядка — это ограничение свободы. На языке термодинамики — это уменьшение энтропии, на языке теории информации — увеличение информации. Эволюция жизни связана с возрастанием упорядочения, то есть все новых и новых ограничений в свободе взаимодействий. Описание такого естественного механизма я и ставил своей задачей, — механизма, который в рамках известных законов, безо всякого их нарушения прокладывает дорогу порядку навстречу миру, движущемуся в сторону хаоса.

Иначе говоря, речь идет о вполне закономерном процессе, присущем природе, но возникающем при сочетании определенных условий. Я пытаюсь их указать.

— Вы называете аденозинтрифосфат (АТФ) «молекулой №1 в биологической эволюции». Почему, ведь претендентов много?

— АТФ идеально отвечает условиям работы «машины упорядочения». Помимо того, что он снабжает стационарную систему энергией (это могут и другие соединения), гидролиз АТФ обеспечивает вынос избытка энтропии и, самое главное, гидролиз АТФ (то есть процесс, идущий с поглощением молекулы воды) идеально химически сопряжен с процессами усложнения органических соединений, почти всегда идущих с выделением молекулы воды. Это главное условие диспропорционирования энтропии — акта, сопровождающего упорядочение.

Аденозинтрифосфат, казалось бы, довольно сложное соединение, состоящее из трех частей: нуклеинового основания, рибозы и фосфатной цепочки. Но оно возникает из простых предшественников: цианистого водорода и формальдегида, вполне доступных на ранней, еще безжизненной Земле. Химически АТФ — это нуклеотид. Поразительно, что наша главная молекула ДНК представляет цепь нуклеотидов, то есть структур типа АТФ. Эта структура входит в состав многих коферментов и других важнейших биологических соединений, то есть это важнейший строительный блок живого вещества, унаследованный от добиологического периода.

— Кстати, академик Виталий Гольданский показал в свое время, что в условиях космоса могут самозародиться биологические молекулы.

— Идея Виталия Иосифовича состояла в следующем. Он говорил о том, что в глубоком космосе, при температуре близкой к абсолютному нулю («минус» 273 градуса по Цельсию), энтропия в принципе равна нулю. То есть термодинамически — это почти абсолютный порядок, поэтому второй закон термодинамики не является препятствием к упорядочиванию, в частности к синтезу органических соединений. Но это не путь эволюции.

Огромная гамма органических соединений возникает вне эволюционной линии жизни, включая аминокислоты, альдегиды, нуклеиновые основания... То есть до некоторой степени организационной сложности мир не требует какого-то особого механизма эволюции. Случайное образование глицина, например, с высокой вероятностью возможно. А вот случайное образование даже короткого белка и его последующее воспроизведение — это крайне маловероятная вещь. Здесь-то и должен начать работать некий механизм, который позволит получить эти соединения.

Тот механизм, о котором я говорю, начинается на уровне такой довольно сложной молекулы, как АТФ, сложной, но синтезируемой абиогенно. С этого момента фактически неотвратимо включается механизм биологической эволюции. Хотя, конечно, тут есть некоторые тонкости, касающиеся первичного синтеза АТФ, которые нужно обсуждать специально.

— Но, как бы там ни было, затем включается итерационный механизм, который обеспечивает масштабный переход: от микроскопического упорядочения к макроскопическому...

— Да, это важно. Итерация в биологических системах и в биологической эволюции играет всеохватывающую роль. Смена поколений в ходе эволюции вида, размножение организмов — все это итеративные явления. Репликация и автокатализ — частные случаи итерации. Для того чтобы жизнь эволюционировала, должны идти рука об руку два важных процесса: упорядочивание и итерация. Упорядочивание, то есть ограничение свободы взаимодействий, осуществимо через биосинтез катализаторов. Катализатор фиксирует определенный путь прохождения реакции. В современных организмах катализаторами являются белки-ферменты.

Строго определенный характер химических процессов в организмах определяется специфическим действием белков. Это результат длительной эволюции. Но даже короткие цепочки аминокислот (пептиды) способны к каталитическому действию. Однако аминокислотные последовательности почти совершенно неспособны к репликации, то есть к прямому автокатализу. В отличие от пептидов, цепочки нуклеотидов обнаруживают замечательную способность к саморепликации, но они довольно плохие катализаторы.

Таким образом, в самом начале биологической эволюции возникло противоречие между возможностью эффективного производства микроскопического упорядочения через синтез катализаторов (полипептидов) и невозможностью трансформации микроскопического упорядочения в массовое макроскопическое явление путем их прямого автокатализа (репликации).

Природа нашла путь разрешения этой коллизии в создании опосредованного автокатализа полипептидов через промежуточную структуру, способную к репликации, — полинуклеотид путем установления соответствия между элементами полипептидов (аминокислотами) и полинуклеотидов (набором нуклеиновых оснований). Это соответствие известно как генетический код. Эволюция должна была пройти через «узкое горлышко» создания генетического кода. Воспроизведение генетического кода в ходе компьютерного моделирования исходя из общих принципов можно было бы рассматривать как решение задачи происхождения жизни.

— Вы в самом начале книги пишете: «...Моя позиция отличается от позиций недарвинистов и антидарвинистов. Я считаю дарвинизм правильной теорией, но <...> недостаточной для объяснения происхождения жизни и ее эволюционного усложнения». Тем не менее на протяжении всей книги Вы аккуратно, по пунктам, последовательно и очень логично опровергаете основные постулаты дарвинизма: естественный отбор, конкуренция и так далее. В дарвинизме, например, роль мутаций трудно переоценить, это движущая сила эволюции, по Дарвину. Вы же пишете, что мутации — это, скорее, адаптационный механизм. Я мог бы привести много примеров. Так, все-таки Вы опровергаете дарвинизм?

— Дарвинизм занимает свое место. Он хорош как теория адаптации. Собственно, все иллюстрации, которые приводил Дарвин, относятся к адаптации в конечном счете. Но дарвинизм не является общей теорией упорядочения. Поэтому из него нельзя вывести механизм возникновения жизни, так же как нельзя экстраполировать его в сторону антропогенного мира, в частности, небологического упорядочения материи.

— А естественный отбор?

— Естественный отбор — обязательный элемент дарвиновской эволюции. Селективное преимущество, приобретенное в результате случайного изменения (мутации), должно быть обязательно фенотипически (внешне) выражено. Упорядочение же является объективным самодостаточным процессом. Оно не требует проверки естественным отбором. Это разрешает одну из главных трудностей эволюции: наличие таких промежуточных изменений, которые сами по себе не дают преимущества (не являются фенотипически полезными).

Естественный отбор нейтрален по отношению к деградации или упорядочиванию. Биологическая эволюция совершается как результат двух противоположных тенденций в эволюции материи. Первая состоит в усложнении организации, когда возникают и эволюционируют низкоэнтропийные структуры. Это восходящая линия эволюции. Одновременно и неизбежно действует тенденция к разупорядочению, равномерному распределению, деградации (в которой более устойчивые компоненты обнаруживают селективное преимущество), то есть тенденция к увеличению энтропии. Это нисходящая линия эволюции. Она не может привести к более высокоорганизованным формам. Но она также формирует лик биоты. Расширение биологического разнообразия, адаптация к внешней среде и естественный отбор связаны главным образом с этой стороной эволюции.

Жизнь и ее эволюция — это сочетание двух противоборствующих начал, стремление к свободе и к ограничению ее. В неживой природе стремление к свободе доминирует. Жизнь принципиально связана с ограничением свободы.

— Комбинаторная эволюция не требует элиминирования предшественника. То есть одновременно могут существовать разного уровня организации процессы, организмы и так далее. В итоге Вы приходите к выводу, что существует некий общий генетический пул, из которого природа, как из кубиков, создает жизнь, организмы. Но, по-моему, если это принять, неминуемо мы приходим к тому, что этот общий генетический пул должен был образоваться по геологическим меркам почти мгновенно.

— Наиболее экономичный путь упорядочения — это комбинирование уже имеющихся форм упорядочения. На уровне генов это означает генный обмен в масштабах биосферы. Должен существовать механизм переноса генов и их адаптации.

Здесь можно провести аналогию с возникновением письменного текста из набора букв. И такие компьютерные эксперименты проводились. Сначала мы имеем алфавит. Потом после наложения некоторых совсем простых ограничений на сочетаемость этих букв у вас появляются блоки из двух слов, из пяти. Потом эти слова собираются во фразу.

Письменный текст вообще оказался хорошей моделью для эволюционных процессов. Это дает возможность определить смысловую наполненность: человек легко воспринимает такую аналогию. Вместо того чтобы говорить об отрицательной энтропии, говорят, есть смысл или нет смысла в слове. А это и есть аналог порядка.

Модель комбинаторной эволюции предполагает возможность сопряжения чужеродных генных наборов.

Действительно, по мере расшифровки генетического кода разных организмов все в большей мере становится очевидным, что одни и те же гены и их последовательности встречаются у организмов, относящихся к разным ветвям филогенетического древа, то есть существует горизонтальный перенос генов. Он долгое время отрицался, потому что плохо совместим с дарвинизмом.

— «Эволюционирует то, что уже есть... <происходит> отбор слова, имеющего смысл». Это цитата из вашей книги. Но что такое «смысл» применительно к биологической эволюции? Как только мы наделяем, даже в метафорическом плане, биологическую эволюцию «смыслом», с необходимостью возникает тот, кого называют «Дизайнер». То есть мы опять приходим к концепции креационизма?

— «Эволюционирует то, что есть» означает, что в процессе эволюции не происходит тотальный перебор всех возможных решений. Комбинируется то, что к данному моменту возникло. Это значит, что какие-то возможности оказались упущены, какие-то свойства, структуры или виды организмов, которые в принципе могли бы быть, не состоялись.

Что же касается понятия «смысл», то оно имеет, я бы сказал, чисто подсобное значение. Пример с текстом, который я приводил, — это всего лишь иллюстрация: смысл — некий аналог низкоэнтропийного продукта. Но не более

того. Но вообще, как ни странно, между «креационизмом» и абсолютно материалистической системой взглядов, излагаемых мною, есть то общее, что и в том и в другом случае утверждается объективная природа упорядочения.

Я утверждаю лишь, что упорядочение вызвано не божьим промыслом, а присуще определенному классу природных процессов. Иллюстрации к тому и другому иногда оказываются общими. Понятие «Дизайнера» просто совпадает с понятием «Природа», с ее законами.

— У английского биолога Ричарда Докинза ген наделен собственной волей...

— Действительно, у Докинза есть понятие «эгоистичный ген». Гены хотят размножаться, вообще имеют намерения. Американский биолог Лей идет еще дальше, предполагая наличие некоего «парламента», в котором, несмотря на фракцию эгоистичных генов, большинство принадлежит кооперативным генам.

За этими рассуждениями уходит из поля зрения тот простой факт, что гены — это просто органические молекулы и ничем, кроме обычных физико-химических свойств, не обладают. Они не могут иметь цели, их поведение не может быть наделено смыслом. Эволюция — это просто последовательное ограничение степеней свободы. Сами ограничения случайны. Но всякое ограничение — это и есть упорядочивание. Поставили светофор, ограничили движение — на дороге возникает порядок. Причем, если у вас только красный и зеленый цвет сигналов, порядка будет меньше, чем если вы добавите еще и желтый. И так далее. Как только вы начинаете ограничивать свободу — возникает порядок, энтропия уменьшается. Это и есть упорядочивание. И больше ничего не требуется от той химической реакции, которая ведет в сторону упорядочивания.

— У Вас: систему, «включающую в комплексе энергогенерирующую систему, протеинсинтезирующую систему и аппарат репликации, можно уже рассматривать как элементарный организм». С другой стороны, сейчас идут достаточно бурные споры о том, что считать организмом, с какой стадии эволюции биологического мира начинается жизнь. Например, советский микробиолог Надсон, говоря о вирусах, дал им такое образное определение: вирус — это то ли вещество, обладающее свойствами существа, то ли существо со свойствами вещества. А академик Георгий Заварзин говорит о целостной самоорганизующейся системе наподобие живой клетки. Так, с какой же стадии начинается жизнь?

— Клетка подпадает, а вирус не подпадает под мое определение, которое вы процитировали. У меня там, правда, в этой фразе имеется продолжение: «...Чтобы подобная система существовала как единое целое, необходимо ее пространственное обособление. Таким образом, организм начинается с клетки». Но я подчеркнул бы другое. Не следует — и бесполезно! — определять жизнь через свойства организма.

Если вы посмотрите литературу, то увидите, как много людей пытались определить, что такое живой организм, как отличить живой организм от чего-то другого! Мне вот, например, очень нравится емкое определение живого, которое принадлежит Джакобу. Он определяет живое как некое место, где сочетаются потоки вещества, энергии и информации. Но даже здесь, если подумать, окажется,

что магнитофон, например, полностью отвечает этим условиям. Определить, что такое живое, через свойства организма оказывается практически невозможно.

Все дело в том, что жизнь и живой организм — это очень разные вещи вообще. Жизнь — это определенный способ эволюции вещества, и только. Организм — продукт этого типа эволюции — некая сущность, построенная и действующая сообразно самозволюционирующей инструкции. Жизнь как явление нужно выводить не из свойств живого организма. Тогда мы сразу увидим, что в понятие жизни войдут и наши города, построенные из камня.

— **Возникновение городов — это типично низкоэнтропийный процесс...**

— Конечно! Чем город отличается от улитки, которая тоже строит вокруг себя кальцитовую раковину? Мы тоже строим здания — все то же самое. То есть это способ организации среды, способ упорядочивания в соответствии с развивающейся инструкцией. Развитие этой инструкции началось 4,5 миллиарда лет назад. К сегодняшнему дню эта инструкция достигла изумительной информационной мощности, которая позволяет вовлекать в упорядочивание огромные массы вещества. И зачастую уже не нуждается в биологическом материале.

С человеком возник новый тип инструкций. Инструкции теперь не обязательно связаны с ДНК — мы нашли другие типы инструкции: язык, письменность... Все это другой канал инструкций. Причем канал гораздо более эффективный. Скажем, если развитие ДНК заняло около четырех миллиардов лет, то с возникновением письменности мы получили возможность практически мгновенно передавать опыт. Он становится уже в онтогенезе, чего нельзя сделать в биологической эволюции — мы не можем какие-то наши личные изменения передать через ДНК, они передаются другим путем.

Почему все так убыстряется? Почему бифуркации начали быстро нарастать? — Потому что появился новый канал передачи информации, который в огромной степени убыстряет вовлечение среды в этот процесс упорядочивания.

— **Как бы вы могли прокомментировать с этих позиций определение жизни, которое дали в одном из своих романов братья Стругацкие: «Жизнь — это болезнь материи, а разум — это болезнь жизни»?**

— Это определение, хотя и образное, но вполне традиционное. Если нормой считать развитие материи в соответствии со вторым законом термодинамики, то жизнь представляется патологией. Но по мне жизнь — это путь созидания в мире деградирующей материи, или, если угодно, — здоровое начало в болезни мира.