

Системная организация биосферы и концепция коэволюции

Моисеев Н.Н.

1. Земная оболочка "геосфера + биосфера" представляет собой *систему*, т.е. совокупность элементов, связанных между собой разнообразными взаимодействиями. С огромной степенью точности можно считать, что воздействие космоса, в том числе и солнечного излучения, является внешним по отношению к рассматриваемой системе. Особое значение имеет понятие "*динамическая система*", т.е. система, параметры и свойства которой *меняются со временем под внешними или внутренними воздействиями*, в том числе и стохастическими. Теория таких систем была развита в работах А. Пуанкаре и его последователей, хотя многие особенности подобных систем были обнаружены еще Л. Эйлером в XVIII веке. Когда мы говорим о *развитии системы*, это означает, что происходит увеличение числа и сложности элементов системы или связей между ними (о возрастании сложности системы).

Весьма важным является понятие бифуркации (или катастрофы). Развитие системы происходит в некотором *аттракторе*, т.е. некоторой *ограниченной "области притяжения"* одного из стабильных или квазистабильных состояний системы. Сложные нелинейные системы обладают множеством аттракторов. Несмотря на то, что система находится под воздействием как внешних, так и внутренних флуктуаций, до определенного момента это развитие носит достаточно спокойный, если угодно, дарвиновский характер.

Но в силу ряда причин - чрезмерно большой внешней нагрузки или накопление флуктуаций - ситуация однажды может качественно измениться. Состояние системы может оказаться несовместимым с данным аттрактором, может оказаться разрушенным сам аттрактор за счет потери стабильности

того возможного состояния, которое определяет "область притяжения". В подобных ситуациях *система относительно быстро переходит в новый аттрактор (другими словами, в новый канал эволюции). Подобная перестройка системы и носит название бифуркации.*

В условиях бифуркации система может практически потерять "память". Последнее означает, что дальнейшая судьба системы в очень малой степени зависит от характера ее предыдущего развития. Превалирующую роль начинают играть те стохастические факторы, действию которых подвержена система в период бифуркационных перестроек. Отсюда следует важнейший вывод: *постбифуркационное состояние системы практически непредсказуемо.*

При анализе возможного постбифуркационного состояния имеет смысл говорить только о некоторых возможных сценариях или общих тенденциях дальнейшего развития на основе общих законов материального мира.

Таким образом, *эволюция любой развивающейся системы состоит из чередований спокойных дарвиновских периодов развития с периодами стремительных катастрофических перестроек.*

Я не случайно употребил термин "дарвиновское развитие". Дело в том, что для описания этих этапов развития может быть использован язык *дарвиновской триады: изменчивость, наследственность и отбор.* В основе любого развития лежит рост числа и разнообразия организационных форм системы или ее элементов. Механизмы роста весьма разнообразны, включая и прямую стохастику. Настоящее и будущее системы в той или иной степени зависят от прошлого, а завершает этот процесс отбор, в основе которого лежат законы физики и химии, но не только они. Существует и множество иных критериев отбора. Например, огромную роль играет критерий стабильности (устойчивости, в биологических системах - гомеостаза).

Большое значение в теории систем играет понятие самоорганизации, термин, который, по-видимому, впервые использовал А. Богданов в своей знаменитой "Тектологии". *Систему мы условимся называть саморазвивающейся и самоорганизующейся, если в ее развитии не существует целенаправленного (целенаправляющего) начала.*

Еще одно важное понятие - сложность системы, которое связано со структурой ее элементов. Дело в том, что *элементы системы сами могут быть системами, обладающими способностью к самоорганизации, и их развитие тоже может проходить через стадии бифуркации. В этих условиях возникает важнейшее явление, названное термином "со-развитие" или "коэволюция".*

Мы условимся говорить, что *элемент системы развивается в условиях коэволюции, если его развитие не нарушает развития системы.* Понятие коэволюции впервые было употреблено биологами для описания ситуаций совместного развития, например бабочки и цветка. Около 30 лет тому назад в попытках интерпретировать понятие "ноосфера" я старался использовать термин "со-развитие", но в конечном итоге утвердилось понятие "коэволюция".

Разрушение условий коэволюции приводит систему или ее отдельные элементы в состояние бифуркации.

2. Интерпретация процессов биосферы, которую я использую, основывается на следующем постулате: *биосфера представляет собой сложную саморазвивающуюся динамическую систему.*

Выбранный ракурс позволяет с единой точки зрения строить интерпретации как процессов эволюции косной материи, так и живого вещества. Более того, сформулированный постулат может оказаться

полезным и для изучения процессов, протекающих в обществе, а также во взаимоотношении природы и общества.

3. Основную массу биосферы составляет косное вещество. Это тоже динамическая самоорганизующаяся система: в ней все время возникают новые организационные структуры. Это и новые химические соединения, и перестройка элементов земной коры, и процессы общепланетарного характера, такие, как образование новых континентов и раскрытие океанов. Другими словами, развитие планетарного косного вещества следует тем же, описанным выше, законам развития сложных динамических систем.

Характерные времена протекания этих процессов измеряются миллиардами или сотнями миллионов лет.

4. Важнейшей составляющей биосферы является система, которую принято называть живым веществом. Оно взаимодействует с косной материей, резко ускоряя происходящие в ней процессы. Один биолог в 1980 году назвал косное вещество независимой составляющей биосферы, а живое - зависимой. Я думаю, что такое разделение не отвечает реальности. *И косное, и живое вещество связаны в единую систему, и живое вещество резко ускоряет развитие (эволюцию) биосферы.* Более того, живое вещество создает новую косную материю. Пример тому - осадочные породы. Возникновение жизни на планете - грандиозная бифуркация планетарного вещества, полностью перестроившая процессы его развития. Поэтому разделение биосферы на зависимую и независимую составляющие, принятое биологами, мне не представляется корректным.

Мы употребляем термин "жизнь", однако дать точное определение этого понятия мы не можем. Мы знаем целый ряд условий, необходимо присущих живому, но нам не известны условия, достаточные для того, чтобы идентифицировать некоторый объект как живой!

Долгое время считалось, что такими достаточными условиями являются *метаболизм¹* и *редупликация²*. Однако после работ (удостоенных Нобелевской премии) М. Эйгена, показавшего, что этими свойствами могут обладать и биологические макромолекулы, стало ясно, что оба указанных свойства являются тоже лишь необходимыми индикаторами жизни. Академик Г. Заварзин справедливо утверждает, что *жизнь может существовать лишь в форме организма*. Напомним, организмом в теории систем принято называть систему, обладающую собственными целями развития и определенными возможностями им следовать. Однако еще в 80-х годах я опубликовал математическую модель развивающейся системы, которая за счет неточности редупликации обладала свойствами организма (в данном случае сохраняла свой гомеостаз). Значит, и это условие является только *необходимым*.

Точно так же и свойством *диссимметрии* (т.е. способностью использовать в процессе метаболизма молекулы лишь определенного типа симметрии), открытым Л. Пастером и объясненным П. Кюри, обладают кроме организмов и любые кристаллы. Труднее с законом Пастера-Реди, который приходится формулировать так: *в современных условиях все живое происходит только от живого*.

Появление живого вещества в составе земной оболочки качественно изменило динамические свойства системы. Так, при отсутствии биоты Земля может иметь только два состояния равновесия (точнее, два аттрактора): одно "марсоподобное", другое "венероподобное". Современная биосфера имеет множество аттракторов. Мы в этом убедились, проводя компьютерную имитацию крупномасштабных ядерных войн, вызывавших эффект ядерной ночи и ядерной зимы. В результате такого "эксперимента" биосфера никогда

¹ Метаболизм, обмен веществ — полный процесс превращения [химических веществ](#) в [организме](#), обеспечивающих его рост, развитие, деятельность и [жизнь](#) в целом.

² ДНК-редупликация - самоудвоение молекулы ДНК, при котором двойная спираль молекулы сначала разделяется на две полинуклеотидные цепи, а затем на каждой из образовавшихся цепей из свободных нуклеотидов достраиваются дополняющие дочерние цепи.

не возвращалась в исходное состояние квазиравновесия: биота сохранялась, но ее распределение, так же, как и распределение температур, зон оледенения и других характеристик, становилось совершенно иным.

Развитие биоты следует той же общей схеме самоорганизации, о которой я говорил в начале статьи: спокойное развитие прерывалось бифуркационными катаклизмами. К ним относятся такие эпохальные перестройки, как замена прокариотической биосферы эукариотической, появление озонового экрана, позволившего живому веществу освоить континенты, замена динозавров в качестве "властителей биоты" млекопитающими... Ну и, конечно, появление человека,

Каждая бифуркация не только меняла аттрактор ("эволюционный канал"), в котором происходило развитие биосферы, но и резко ускоряла все процессы эволюции.

5. Общество является совершенно особой подсистемой биоты, а следовательно, и биосферы.

Эволюция подсистемы косной материи полностью описывается законами физики и химии. Для описания динамики живого вещества тоже необходимо использовать законы физики и химии - они универсальны. Но этого уже недостаточно: для описания процессов, протекающих в живом веществе, приходится вводить понятие информации и информационного взаимодействия, которые и определяют правила отбора.

По мере усложнения системы "живое вещество" роль процессов информационной природы в ее развитии непрерывно возрастает и становится определяющей, когда возникает общество. На этом уровне организации материи формируется своя система законов, определяющих новую структуру отбора. Но общая логика развития остается прежней.

Развитие процесса антропогенеза, а затем и истории человечества, как и любой динамической системы, перемежается чередой катастроф (бифуркаций), преодоление которых приводит к изменению самого характера эволюционного процесса. Заметим, что и само начало процесса становления человека тоже связано с катастрофой: ухудшение климата привело к вытеснению из зоны тропического леса его самых слабых обитателей. Ими были наши предки.

Вытесненные в саванну, они не погибли, хотя, по всем данным, и должны были. Более того, прямохождение, которое снижало их конкурентоспособность по сравнению с человекообразными обезьянами в тропическом лесу, здесь дало шанс на выживание: передние лапы превратились в руки, годные к применению искусственных орудий. Использование примитивных орудий и неизбежная перестройка образа жизни потребовали развития Разума: возникли новые принципы отбора, и это обстоятельство привело однажды к новой бифуркации - возникло табу "не убий!".

К. Лоренц установил существование "инстинкта волка" у млекопитающих, которых Природа наделила смертоносным оружием: если волк проигрывает в боях за самку, он подставляет свою шею победителю. И тогда последний сохраняет ему жизнь. У наших предков такого инстинкта быть не могло, поэтому много позже, с изобретением каменного топора, они стали использовать его и в рыцарских схватках. При этом гибли не самые сильные, а те, которые создавали каменное оружие: сделать хороший топор и уметь использовать его в драке - эти задачи требуют разных качеств. Развитие нашего предка могло остановиться. Так, вероятнее всего, и возникло табу "не убий", которое постепенно легло в основу человеческой морали.

Утверждение этого табу полностью изменило канал эволюционного развития. В самом деле, исчез мощнейший фактор отбора, и *биологическая эволюция постепенно уступила место эволюции общественной*. Когда в силу закона дивергенции на планете возникло несколько видов гоминид, в равной мере претендовавших на право сделаться родоначальниками современного человека, между ними, по-видимому, началась жестокая борьба за ресурс. Победили в конце концов кроманьонцы, которые, вероятнее всего, просто съели последних неандертальцев. Это произошло относительно недавно - 30-35 тыс. лет назад. И кроманьонцы биологически уже не отличались от современного человека.

Таким образом, палеолитическая бифуркация, в результате которой начала затухать биологическая эволюция и стали возникать общественные формы организации человечества, была результатом уже не природных изменений, а техногенной катастрофы: изобретением технологии обработки кремния и появлением кремниевого топора!

Этот эпизод палеолита дает нам важный урок. Если бы не утвердилось табу "не убий!", не возникли бы и начала нравственности. В результате развитие наших предков оказалось бы в тупике: это табу открыло новые перспективы эволюции, решив спор между сильным и умным в пользу умного. В результате стало возможным говорить о развитии не только общественных форм жизни, но и цивилизации. Итак, суть урока состоит в следующем: *всякое техническое, технологическое новшество для того, чтобы оно не угрожало коэволюции, неизбежно должно сопровождаться определенным совершенствованием нравственности*, т.е. системы нравов, регламентирующих жизнь общества в новых условиях.

6. Следующая и пока последняя общепланетарная бифуркация произошла совсем недавно, 10-12 тыс. лет тому назад, в эпоху неолита. Ее так и принято называть неолитической революцией. Причина катастрофы

(как и при палеолитической бифуркации) - несоответствие норм нравственности открывающимся техническим возможностям, обретенным человеком.

Человек изобрел метательное оружие и сделался абсолютным «монополистом» в мире живого. Свои новые возможности он использовал с максимальной эффективностью и довольно быстро уничтожил всех крупнокопытных и мамонтов - основу своего пищевого рациона. В итоге он оказался в условиях жесточайшего ресурсного кризиса. По данным антропологов, население планеты в это время уменьшилось во много раз.

Человек неолита нашел выход из кризиса. Он открыл земледелие, а затем и скотоводство. Только после этого человек полностью выделился из остального живого мира, начав создавать новые биогеохимические циклы, новые формы неживой материи, новые виды животных. Именно от этой революции ведут отсчет часы истории общества (уже не антропогенеза).

Если глобального экологического кризиса за исторический период не было, то локальных кризисов, изменявших историю народов и регионов, было довольно много. Можно, наверное, вспомнить гибель Древнего Шумера, которая произошла из-за стремления к максимальному использованию поливных земель в междуречье Тигра и Евфрата. В результате неумеренного полива благодатнейшая земля превратилась в солончаковую степь. Такова же судьба многих степных народов, разрушивших свое благополучие стремлением использовать пастбища для выпаса все большего количества скота, и т.д.

И вот теперь мы оказались на пороге общепланетарного экологического кризиса, на пороге бифуркации, способной не только изменить весь характер нашей цивилизации, но и прекратить существование того биологического вида, который весьма самонадеянно назвал себя *Homo sapiens*.

Об особенностях наступающего экологического кризиса написано и сказано уже очень много. Это и неизбежное потепление климата, и разрушение озонового экрана, и истощение природных ресурсов, и сокращение биоразнообразия, и многое другое. Но я думаю, первое дыхание кризиса мы почувствуем в столкновении с проблемой Т. Мальтуса. Еще в конце XVIII века этот англиканский пастор предсказал неизбежность дефицита продовольствия: согласно Мальтусу, потребности людей растут в геометрической прогрессии, а производство пищи - в арифметической. К счастью, оценки Мальтуса оказались ошибочными: еще в течение двух веков производство пищи на душу населения росло. Только в конце 70-х годов 20-го века рост населения начал превосходить рост производства продуктов, существующий потенциал сельскохозяйственных технологий исчерпан или близок к истощению. Уменьшение производства питания на душу населения планеты - это очень грозный индикатор неблагополучия.

Грядущий экологический кризис имеет ту же *причину, что и кризис неолита: несоответствие системы нравственных начал и организации общества техническим возможностям быстро развивающейся цивилизации*, которое неизбежно влечет разрушение условий коэволюции человека и Природы.

7. В XX веке разными учеными (Э. Леруа, П. Тейяр де Шарденом и В. Вернадским) были выдвинуты идеи ноосферы. Этим термином стали называть такое состояние биосферы, которое в той или иной форме гармонизирует взаимодействие человека и биосферы. Позиции этих ученых в понимании смысла нового термина весьма различались. Однако изложение истории этих идей и их эволюции не входит в план данной статьи. Здесь я считаю необходимым отметить лишь то общее, что было во всех концепциях ноосферы: и Тейяр де Шарден, и Вернадский считали, что переход биосферы в состояние ноосферы является неизбежным и естественным этапом

эволюционного развития биосферы. Более того, в своей последней статье (декабрь 1944 года) Вернадский писал о том, что мы уже входим в ноосферу.

Во всяком случае, уже сразу по окончании войны возникает не только представление о возможной экологической катастрофе, но и начинаются поиски альтернативных путей развития общества, позволяющих избежать кризиса. По рекомендации В. Ковды и Н. Тимофеева-Ресовского, разделявших идеи Вернадского о ноосфере, в конце 60-х годов в Вычислительном центре АН СССР мы стали разрабатывать систему компьютерной имитации динамики биосферы как единой системы. Целью исследований мы считали построение вычислительной системы, способной анализировать взаимодействие различных сценариев функционирования общества и биосферы планеты.

Для построения программы компьютерных экспериментов надлежало прежде всего предельно сузить число возможных сценариев, и для этого, в свою очередь, пришлось конкретизировать утвердившееся понятие ноосферы, придать ему более конструктивный характер. Утвердившееся к этому времени представление о ноосфере как о таком состоянии, в котором реализовывался принцип коэволюции общества и биосферы, было недостаточно. Необходимо было перевести этот термин на язык конкретных количественных соотношений. Вот тогда-то и возникло понятие *экологического императива как совокупности необходимых условий—необходимых для сохранения биосферы в том аттракторе, в котором обеспечивается жизнь человечества.*

Однако эта первоначальная программа была изменена после публикации знаменитой работы К. Сагана, утверждавшего, что последствиями ядерной войны будут явления, которые получили позднее названия "ядерная ночь" и "ядерная зима". Мы тогда обладали единственной системой, способной

методами компьютерной имитации проверить гипотезу американского астронома. Эта работа нами была выполнена в 1983 году.

Гипотеза Сагана нашла полностью свое подтверждение: в некоторых сценариях после ядерной войны в Аравии устанавливались сибирские холода; в других - положительные температуры сохранялись только на островах Тихого океана и т.д. Но главный результат я видел в другом: после того как биосфера снова входила в квазиравновесное состояние, это новое состояние никогда не совпадало с начальным. Подобный факт был косвенным подтверждением моей гипотезы о том, что *биосфера может иметь множество различных аттракторов, т.е. развиваться в разных каналах эволюции*. А последнее означает, что подтверждается и разумность сформулированной выше постановки задачи об *экологическом императиве как о границе аттрактора*.

8. В 1992 году в Рио-де-Жанейро была проведена грандиозная международная конференция. Проведение подобного конгресса с участием не только ученых, но и глав правительств, я считаю, трудно переоценить: это значит, что экологические проблемы глобального масштаба начинают беспокоить даже политиков.

Центральным вопросом конгресса в Рио был доклад госпожи Брундтланд, бывшей и то время премьер-министром Норвегии. Доклад комиссии Брундтланд получил название проблемы *sustainable development*. Этот термин не имеет четкого русского перевода. По-видимому, он близок к термину *sustainability*, который иногда употребляется в популяционной динамике и описывает поведение популяции, согласованное с гомеостазом экологической ниши. Но лейтмотивом доклада было такое развитие экономики, которое в минимальной степени ухудшало бы экологические условия планеты.

Всем государствам было предложено создать собственные национальные программы *sustainable development*. Была такая программа составлена и в России. Я думаю, что это один из самых неудачных документов данной серии. Прежде всего на русский язык термин *sustainable development* был переведен как "устойчивое развитие". Такое выражение само по себе является лингвистическим нонсенсом. Но главное было в другом: программу "устойчивого развития" составляли не специалисты-естественники, а экономисты и чиновники, в ней не были раскрыты сущность проблемы, реальность кризиса и возможность деградации человечества. Вряд ли значительно лучше была программа США. Она была ориентирована на развитие энергосберегающих технологий и создание экологически чистых деревень. Слов нет, соответствующее развитие технологий необходимо. Но к этому все не сводится: чисто технологического решения проблема глобального экологического кризиса не имеет.

По прошествии определенного времени выяснилось, что конгресс в Рио имел не только положительные, но и отрицательные последствия: постепенно у широких масс граждан создалось представление о том, что следование принципам, декларированным в Рио, по существу решает проблемы, связанные с наступлением глобального экологического кризиса. Во всяком случае, общественность эти проблемы стали тревожить гораздо меньше, и публикации на экологические темы стали носить гораздо более конкретный и локальный характер. Работ, посвященных общим проблемам развития биосферы и проблемам будущего, стало заметно меньше.

9. Наступление экологического кризиса представляется неизбежным, а его масштабы будут сопоставимыми с неолитической революцией. Однако если в неолите никто толком не понимал сути и причин происходящего, то новую бифуркацию человечество встречает (точнее - может встречать) с полным пониманием ожидающих его последствий: мы знаем, что нынешнее развитие событий неизбежно влечет наступление кризиса.

Проблема преодоления грядущего кризиса или его смягчения требует специальной общепланетарной стратегии. Ее построение, а тем более реализация мне представляются трансцендентно трудными. И сегодня программа необходимых действий еще даже не начала обсуждаться - на это нужно и время, и понимание существа дела. У нас во времена Рио не было ни того, ни другого. Вот почему программа, принятая в Рио, должна была бы рассматриваться как своеобразный тайм-аут: программа *sustainable development* содержит ряд положительных предложений, и их реализация замедлит наступление кризиса. Поэтому и возникнет некоторый тайм-аут, который даст время понять глубину проблемы и наметить следующие шаги.

Прежде всего мы должны понять, что преодоление кризиса будет означать вступление человечества в новую цивилизацию. Причем первый раз в истории человечества ее принципы должны быть согласованы с нашими знаниями законов биосферы. Но это не только вопросы естествознания. В свое время я ввел понятие *экологического императива (или запретной черты)* как совокупности условий, необходимых для обеспечения коэволюции. Но реализация экологического императива требует выполнения определенного нравственного императива, характерного для перехода от цивилизации потребления к той новой цивилизации, в рамках которой экологический кризис только и может быть преодолен.

Если конгресс в Рио рассматривать в качестве некоторого предварительного шага, то последующие шаги уже видны. Это выработка ясного понимания реальности со всей ее суровостью и неизбежная смена ценностей.

Авторы теории ноосферы полагали, что формирование ноосферы неизбежно, а Вернадский говорил даже о начале нашего вступления в ноосферу. Я категорически отвергаю подобные утверждения. Ноосфера как состояние биосферы желательна, она гарантирует дальнейшее развитие рода

человеческого, но нельзя утверждать, что ее наступление столь же неотвратимо, как и экологический кризис.

Способен ли человек выработать необходимый нравственный императив, сможет ли он преодолеть тот психологический настрой, который ему достался со времен борьбы с саблезубыми тиграми, нет ли генетических пороков, которые будут препятствовать жизни человека в эпоху ноосферы, и сможет ли человек создать необходимую цивилизацию - это все вопросы, на которые не только нет ответа, но которые даже как следует и не сформулированы!

Контрольные вопросы

1. Какие воздействия относятся к внешним и внутренним для биосферы?
2. Является ли биосфера динамической системой?
3. Из каких этапов состоит эволюция биосферы как саморазвивающейся системы?
4. При каких условиях возникает явление коэволюции? Как изменяется система при нарушении этих условий?
5. Элементы *сходства и различия* в развитии косного и живого вещества биосферы.
6. Какой вывод можно сделать, если система (организм) обладает свойствами метаболизма, редупликации, диссимметрии?
7. Приведите примеры точек бифуркации в развитии биосферы.
8. Почему в развитии человечества биологическая эволюция постепенно уступила место эволюции общественной?
9. Что такое «экологический императив»? Что им определяется, для чего применяется это понятие?
10. В чем именно автор несогласен с творцами теории ноосферы В.Вернадским, Ле Руа, П.Т.де Шарденом?