

ОСОБЕННОСТИ ТЕРМОДИНАМИКИ САМООРГАНИЗУЮЩИХСЯ СИСТЕМ

Поздняков А.В.

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН

Томск, Россия

Согласно второму началу термодинамики, процессы в природе самопроизвольно развиваются в направлении диссипации энергии и роста беспорядка. Данная закономерность относится к числу объективной и всеобщего действия. Однако если не оговаривать условия, то можно прийти к неразрешимому, на первый взгляд, противоречию. Например, почему наряду с процессами диссипации энергии и вещества в системах наблюдаются прямо противоположные процессы, в результате которых мироздание оказывается представленным длительно существующими динамическими, структурными образованиями, представляющими открытые системы, обменивающимися между собой и создаваемой ими средой энергией и веществом [1, 2]. Более того, в этих структурах на Земле возникла жизнь и сознательная созидательная деятельность, приведшая к созданию единственных в своем роде систем «человек-машина».

Если считать, как полагается, что открытые системы объективно стремятся к наиболее вероятному состоянию, характеризующемуся необратимым ростом энтропии, то как объяснить формирование Солнечной системы и бесконечного множества подобных образований в мироздании? Сложные ландшафтные совокупности на Земле, в одних и тех же условиях, не только устойчивы по отношению к внешним воздействиям, но после существенного их изменения и даже уничтожения восстанавливаются в прежнем виде по разнообразию растительных и животных видов и их сообществ, продуктивности и пр., если не меняется субстрат.

Необратимые процессы, если основываться на следствиях второго начала термодинамики, спонтанно направлены к состоянию эквипотенциальности градиентов энергии в системах, по достижении которого они теряют способность совершать работу. Это состояние для них считается конечным. Отсюда следует, что системы могут производить работу только на пути движения к данному состоянию. А чтобы данную систему обратить (возвратить в начальное состояние), необходимо затратить дополнительную энергию, т.е. какой-то другой системе произвести работу, уменьшив свою энергию (иначе, увеличив энтропию собственного состояния).

Существует два больших класса открытых систем: класс самоорганизующихся систем (*SS*) и класс дезинтегрирующихся систем (*DS*).

Класс *SS* при условиях поступления вещества и энергии из среды, постоянно совершают работу, направленную на поддержание своей структуры и устойчивости функционирования. В них, наряду с необратимыми процессами, протекают **процессы обратимости**, осуществляющиеся за счет непрерывной компенсации теряемой (отдаваемой другим системам) энергии, вещества и информации, получаемой из среды. За счет непрерывного обмена энергией с внешней средой (иначе, с другими системами) *SS* поддерживают постоянство своих параметров и энтропии, которая, на начальных этапах их формирования и функционирования, не только не растет, но и уменьшается.

Все естественным образом формирующиеся (самоорганизующиеся) системы эволюционируют благодаря постепенному изменению среды обитания и целесообразному изменению структуры систем.

В *DS*-системах, не обладающих функциями саморегуляции на основе обратной отрицательной связи, протекают **необратимые процессы**, которые, согласно второму началу термодинамики, направляют их к некоему конечному состоянию - дезинтеграции до первичных элементов, используемых самоорганизующимися системами.

Состояние термодинамического равновесия относится к числу научной абстракции, подобной первому закону Ньютона. Никогда и нигде в мироздании не могут создаться условия, при которых тела находились бы в состоянии покоя или равномерного и прямолинейного движения. Этого не происходит, поскольку одновременно во всем мироздании, благодаря имманентным свойствам веществ обладать массой, энергией и гравитационным взаимодействием, происходит их спонтанное объединение в структурные эмерджентные целостности.

Можно полагать, что количество порядка и беспорядка в мироздании – величина постоянная, поскольку постоянной является масса материи. Порядок переходит в хаос, но и хаос переходит в порядок. Причина взаимопереходов хаос-порядок состоит в том, что материя обладает имманентным свойством взаимодействия, обуславливающим движение. Причем движение не прекращается ни тогда, когда материя собирается в целое, ни когда она делится на части. Первопричиной движения является гравитация. Благодаря ее действию материя, собираясь в целое, из холодного состояния переходит в горячее; делясь на части - из горячего состояния переходит в холодное.

Таким образом, в развитии материи, вселенной в целом действуют два противоположно направленных процесса. Один из них характеризуется вторым началом термодинамики - действием фундаментальной асимметрии в природе, объективно предполагающей движение к статическому равновесию, хаосу в виде так называемой "тепловой смерти". Другой, в основном вследствие законов гравитационного и электромагнитного взаимодействия, предполагает обратное направление - к формированию порядка в виде самоорганизующихся целостностей - систем, в свою очередь способных порождать не только гравитационные и электрические силы, но и тепло, и связанную с системой энергию. В результате данного процесса осуществляется аккумуляция частиц в крупные космические тела: звезды, планеты, которые производят энергию и вещество, выделяемые в пространство, что предполагает образование новых системных целостностей.

Операционально замкнутые самоорганизующиеся структуры и циклы их развития Самоорганизующиеся системы представляют собой парные образования: если формируется система $X(t)$, то вместе с ней формируется и ее спутник система $Y(X,t)$. Для $Y(X,t)$ система X поставляет энергию и определяет пространственные границы развития и время существования. Динамика системы, как бинарной структуры, осуществляется, с одной стороны, за счет поступления вещества и энергии из среды, а с другой, вследствие обмена ими между составляющими ее подсистемами. Потоки энергии, вещества и информации (*MEI*), потребляемые системой X из среды, нами названы *F-потоками*, а объективно отдаваемые системе Y - *D-потоком*. Таким образом, любую

систему, включая и социально-экономическую, можно рассматривать на основе балансовых само-регулирующихся отношений в системе «ресурс-потребитель» [1, 3].

Понятие «геосистема» GS объединяет все самоорганизующиеся и саморазвивающиеся структуры на Земле: различного типа геолого-геоморфологические структуры; биокосные – биогеоценозы (экосистемы); социально-экономические, геосистемы «человек-машина» и пр. Любая целостная структура (в том числе и техническая, если она рассматривается вместе с ее создателем – человеком) образует парную, бинарную структуру.

Составляющие GS подсистемы X и Y находятся в функциональной зависимости от выходных характеристик. Система Y всегда стремится по своей величине к X, и, по существу, ее величина выступает в качестве обратной отрицательной связи, замедляющей и стабилизирующей рост вещества, энергии и информации в системе $X \leftrightarrow Y$.

В дифференциальной форме данная закономерность записывается в следующем виде [2, 4]:

$$dM/dt = Q(M, V, t) - q(M, t),$$

где M – выходные характеристики системы (по объему, массе численности и пр.); Q – расход MEI , идущий на формирование GS; V – емкость среды (экологическая емкость); q – расход MEI в D -потоке, создаваемом системой Y; t – время.

Слагаемое $Q(M, V, t)$ характеризует процесс накопления MEI в системе X, асимптотически затухающего по мере заполнения емкости V или в связи с уменьшением поступающих из среды MEI . Слагаемое $q(M, t)$ характеризует процесс накопления MEI спутником Y, который тоже происходит с замедлением по мере заполнения емкости, но создаваемой системой X. Таким образом, спутник Y ингибирует развитие геосистемы, выступает в качестве обратной отрицательной связи. А взаимодействие составляющих GS элементов (подсистем) $X(t)$, $Y(t)$ и (St) направлено к установлению баланса расходов MEI , характеризующего динамически равновесный режим развития. Этот режим на фазовой плоскости соответствует предельному циклу – аттрактору. Все фазовые траектории, расположенные внутри предельного цикла, характеризуют объективную направленность к диссипации MEI , в соответствии со вторым началом термодинамики; а траектории на внешней его стороне соответствуют активизирующемуся расходу MEI в F -потоке и восстановлению системы. Благодаря этому система переходит в режим установившегося автоколебания, не выходящего по амплитуде за некоторые границы, обусловленные процессами, происходящими как в системе, так и в среде.

Спонтанное стремление к равновесию в процессе самоорганизации сложных структур очень ярко проявляется в различных процессах, и не только на Земле, но и при формировании планет.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Поздняков А.В. Стратегия российских реформ. Томск: Спектр, 1998. 320 с.
2. Поздняков А.В. Самоорганизация целостных систем как результат спонтанного стремления к равновесию // Оптика атмосферы и океана. 2002. Т. 15, № 1. С. 101–109
3. Поздняков А.В. Механизм закручивания газо-пылевой туманности в спираль и формирование солнечной системы // Самоорганизация геоморфосистем. Томск / КТИ «Оптика» СО РАН, 1994. С. 23-37.
4. Поздняков А.В. Динамическое равновесие в рельефообразовании. М.: Наука, 1988. 207 с