Лекция 8.

**СИНЕРГЕТИКА В ЭКОЛОГИИ**

*Синергетика (от греческого synergлtikos – совместный,  
согласованно действующий) – научное направление, изучающее связи   
между элементами структуры (подсистемами),   
которые образуются в открытых системах (биологических,   
физико-химических и других) благодаря интенсивному  
(потоковому) обмену веществом и энергией с окружающей средой  
в неравновесных условиях. В таких системах наблюдается  
согласованное поведение подсистем, в результате чего  
возрастает степень их упорядоченности, то есть уменьшается  
энтропия (так называемая самоорганизация). Основа синергетики  
– термодинамика неравновесных процессов, теория случайных  
процессов, теория нелинейных колебаний и волн.*

***Советский энциклопедический  
словарь***

*Самоорганизация – установление в диссипативной среде  
пространственных структур(вообще говоря, эволюционирующих  
во времени), параметры которых определяются самой  
системой и слабо зависят от пространственной структуры  
источника, неравновесности (энергии, массы и т.п.), начального  
состояния системы, а зачастую и граничных условий.*

***А.В.Гапонов-Грехов, М.И.Рабинович***

Системный подход, учение о системах в значительной степени формировались в недрах биологии, а соответственно и экологии, как ее теоретическое обоснование. И лишь позднее многие положения, предложенные и обоснованные биологами, были распространены или открыты заново в рамках иных направлений естествознания.

Системный подход наиболее универсален и интегративен по своей природе. На его основе формируется единый эволюционный подход, рассматривающий развитие материи, как единый и закономерный процесс, начиная с момента “большого взрыва”, во всех его ипостасях – от элементарных частиц до социальной организации общества. Синергетика, по существу, становится естественнонаучной философской системой, "наукой всех наук".

В частности, в рамках синергетики находят научно обоснованное решение гениальные предвидения, идущие с начала цивилизации, например, такие как возникновение порядка из хаоса. Очевидно, что с помощью синергетики могут быть решены и многие спорные проблемы биологии. В частности, эволюционные представления Льва Семеновича Берга о закономерном характере биологической эволюции с позиций синергетики более обоснованы, нежели представления о микроэволюции – путем поэтапного накопления частных полезных мутаций. Еще в начале века натуралист-любитель Теодор Рузвельт отмечал, что ***"…идеология полезных признаков означает не исследование природы, а лишь упражнение в красноречии, поскольку каждому признаку можно придумать какую-то полезность и именно ею объяснить его распространение, равно как можно придумать вредность"*** (цит. по: Чайковский, 1994, с. 215). *Экология же является, по существу, "частной синергетикой"*, поскольку она интегрирует все уровни организации жизни, взаимодействие живого и косного вещества, биосферы и человека, материального и идеального мира.

Основные положения системологии были разработаны в начале века Александром Александровичем Богдановым (1989) в капитальном труде "Тектология. Всеобщая организационная наука", значительно опередившем свое время, и, как обычно бывает в таких случаях, оказавшемся длительное время невостребованным. Им были установлены основные закономерности организации и развития открытых, то есть взаимодействующих со средой, систем.

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.* Когда мы говорим о *развитии системы,* это означает*, что происходит увеличение числа и сложности элементов системы или связей между ними.*

Для открытых неравновесных систем были постулированы следующие положения:

самоорганизация систем на основе бирегуляции (обратной связи),

неустойчивость динамического равновесия систем, обусловленная воздействием среды и являющаяся движущей силой их развития,

закономерность возникновения кризисов как пути разрешения внутренних противоречий систем,

дивергенция систем и увеличение их разнообразия, связь разнообразия с устойчивостью систем,

прогрессивный и необратимый вектор развития систем,

всеобщая связь,

пространственная и временная непрерывность систем в мировом развитии.

В конце 40-х годов особенности организации открытых биологических систем были проанализированы Людвиг фон Берталанфи, признанного в западном мире основателя системологии. Он в сущности развивает идеи А.А.Богданова, с трудами которого, по-видимому, был знаком, хотя и не ссылается на его работы.

Основные теоретические представления системологии были первоначально разработаны биологами. Среди них ведущее место занимали российские ученые (к их числу следует отнести и А.А.Богданова – основателя первого в мире Института переливания крови, погибшего в результате экспериментов по трансфузии крови, проведенных на себе).

К.Ф.Рулье – один из основоположников эволюционизма и, пожалуй, первый палеоэколог, установивший зависимость биологической эволюции от условий среды и ее необратимость. Это положение неоднократно обсуждалось и расширялось. Из последователей К.Ф.Рулье следует особо отметить Ивана Михайловича Сеченова, обосновавшего связь организма с внешней средой, формирование, помимо телесной, и духовной сферы – высшей нервной деятельности.

Существенный вклад в формирование системологии внес Чарльз Дарвин, обосновав принцип естественного отбора и дивергенции в эволюции. Более чем вековая дискуссия о значении естественного отбора в эволюции, была завершена признанием этого принципа как основополагающего в области саморазвития материи, в том числе и на молекулярном уровне. Но в рамках дарвиновской теории не была решена проблема появления новых признаков. Эта наиболее сложный вопрос биологии стал ареной борьбы между материалистическими и идеалистическими направлениями в естествознании. Пожалуй первым исследователем, постулировавшем эволюцию как закономерное свойство самих систем к саморазвитию, был Л.С.Берг (1922). Он полагал, в противовес господствующим представлениям дарвинистов, что ***"…создание все более и более совершенных форм есть имманентное свойство живой природы"***, что основой является ***"…внутреннее начало, лежащее в самих организмах, а не привносимое путем соединения частей и воздействий внешнего мира"***. Эти представления до сих пор не получили широкого признания. Согласно современной синтетической теории эволюции, в основе ее лежит накопление случайно возникших под влиянием повреждающих факторов среды повреждения наследственного аппарата. Но такой механизм не универсален (Воронцов, 2000) и тем более он не может быть распространен на предбиологические этапы эволюции, что сужает рамки эволюции организменным уровнем организации материи.

С 40-х годов развитие системологии из области биологии переходит к другим дисциплинам – кибернетике (работы Н.Винера, В.А.Котельникова, К.Шеннона, У.Росс Эшби, Б.С.Флейшмана и др.), термодинамической химии (работы И.Пригожина о возникновение упорядоченных устойчивых систем вдали от равновесия), эволюционной химии (теория автокатализа А.П.Руденко, гиперциклов М.Эйгена), физике (лазерное излучение, фрактальные структуры). В 70-80-х годах происходит междисциплинарное взаимодействие исследователей самоорганизующихся систем, для которого была организована Биологическая компьютерная лаборатория в университете Урбаны (США), и “глобализация” концепции самоорганизации – использование ее для изучения процессов в самых разнообразных сферах деятельности: науке, технике (создание искусственного интеллекта), экономике (самоорганизация рынка), социологии, политики.

Здесь следует назвать пионерные работы Б.С.Флейшмана (1982), книга которого “Основы системологии” содержит концептуальные и математические основы теории сложных систем и в которой демонстрируются возможности системологии в решении актуальных задач экологии и охраны окружающей природной среды. Его работы по праву можно отнести к разряду "конструктивной системной экологии".

Способность живых систем создавать высокоорганизованные упорядоченные структуры обосновал нобелевский лауреат И. Пригожин (1962, 1986, 1994). Особое значение для развития синергетики имели революционизирующие работы И.Пригожина о поведении систем в условиях, удаленных от состояния равновесия. Он показал, что на фоне разбалансировки и **роста энтропии** в открытых системах могут возникать новые упорядоченные структуры, получившие название диссипативных, т.е. возникающих в условиях распада системы. Эти структуры не зависят от исходного состояния системы, ее предыстории – организация и свойства их не могут быть предсказаны. Диссипативные структуры достигают равновесного состояния, соответствующего новым условиям. Появление диссипативных структур изменяет вектор развития (при этом исходные системы могут сохраняться вследствие гетерогенности среды в пространстве).

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, предсказуемый 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 (случайные) 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 периодов развития с периодами стремительных катастрофических перестроек*.

Развитие биоты на Земле следует той же общей схеме самоорганизации: 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.

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.