**Структурные уровни организации материи**

Аруцев Александр Артемьевич, Ермолаев Борис Валерьевич, Кутателадзе Ираклий Отарович, Слуцкий Михаил Семенович

Развитие - это необратимое, направленное, закономерное изменение материи и сознания, их универсальное свойство; в результате развития возникает новое качественное состояние объекта - его состава или структуры. Развитие - всеобщий принцип объяснения природы, общества и познания, как исторически протекающих событий.

Различают две формы развития, между которыми существует диалектическая связь: эволюционную, связанную с постепенными количественными изменениями объекта (эволюция), и революционную, характеризующуюся качественными изменениями в структуре объекта (революция). Выделяют прогрессивную, восходящую линию развития (прогресс) и регрессивную, нисходящую линию (регресс). Прогресс - направленное развитие, для которого характерен переход от низшего к высшему, от менее совершенного к более совершенному.

Развитие, как бы повторяет уже пройденные ступени, но повторяет их иначе, на более высокой базе, так сказать, по спирали, а не по прямой линии; развитие скачкообразное, катастрофическое, революционное превращение количества в качество; внутренние импульсы к развитию, даваемые противоречием, сталкиванием различных сил и тенденций, действуют на данное тело или в пределах данного явления; непрерывная связь всех сторон каждого явления, связь, дающая единый, закономерный мировой процесс движения, - таковы некоторые черты диалектики, как более содержательного учения о развитии (А.К.Айламазян, Е.В.Стась).

Основной особенностью, отличающей развитие от других динамических процессов, например, от процесса роста, является качественное изменение во времени переменных, характеризующих состояние развивающейся системы (для процесса роста обычно говорят лишь о количественном изменении этих переменных). Причем качественное изменение носит скачкообразный характер. Постепенное монотонное изменение некоторого параметра в течение заметного времени сопровождается соответствующим постепенным изменением состояния системы, но в определенный момент происходит разрыв постепенности: состояние системы меняется скачком, система переходит на новый качественный уровень, количество переходит в качество. Затем повторяется все заново, но уже на новом качественном уровне (А.И.Яблонский).

В изучении развития материи современной наукой сделаны такие серьезные шаги, что сейчас можно с полным правом говорить о превращении идеи развития, эволюции в норму научного мышления для целого ряда областей знания.

Термин "эволюция" имеет несколько значений, однако чаще всего он используется как синоним развития. Так, И.И.Шмальгаузен определяет эволюцию как закономерный процесс исторического развития организма. Иногда термин "эволюция" используют в более узком смысле, понимая ее как одну из форм развития, которая противопоставляется революции.

Эволюция и революция рассматриваются как взаимообусловленные стороны развития, выступая против абсолютизации какой-либо из них. В любых процессах развития естественно наличие чередующихся участков: эволюционных и революционных.

Эволюция в широком смысле - представление об изменениях в природе и в обществе, их направленности, порядке, закономерностях; определенное состояние какой-либо системы рассматривается как результат более или менее длительных изменений ее предшествовавшего состояния; в более узком смысле - представление о медленном постепенном количественном изменении.

Эволюция в биологии - это необратимое историческое развитие живой природы. Определяется изменчивостью, наследственностью и естественным отбором организмов. Сопровождается приспособлением их к условиям существования, образованием видов, преобразованием биогеоценозов и биосферы в целом.

Эволюционная идея зародилась и развилась в XIX в. в качестве оппозиции представлению о неизменности мира, но своего апогея она достигла в нашем столетии, и ее принятие можно считать достижением XX в.

В прошлом веке идея неизменчивости органического мира нашла свое яркое выражение в лице Ж.Кювье. Кювье исходил из своей теории постоянства и неизменности видов и ее двух основных принципов - принципа корреляций и принципа условий существования. Неизменность вида входила, согласно Кювье, в организованность, упорядоченность природы. Его теорию катастроф, или смену фаун и флор, в данной органической области можно назвать теорией эволюции при неизменности видов, теорией нарушения гармонии природы только в результате катастрофических событий общеземного масштаба.

Теория типов, теория гармонии природы и теория неизменности видов прекрасно согласовались друг с другом и составляли фундамент естествознания первой половины XIX в.

Познавательная ценность этих представлений об устойчивости органического мира была огромна. Представления о неизменности видов легли в основу их классификации. Теория типов позволяла делать прогнозы. Гениальная эволюционная идея Ламарка, на полстолетия опередившего свое время, не нашла отклика отчасти потому, что, ополчившись на постоянство вида, он направил свою полемику и против его реальности.

Ч.Дарвин впервые обосновал эволюцию и убедил своих современников именно потому, что он сочетал признание реальности вида с научной теорией его изменяемости.

В XX в. идею гармонии природы сменила идея эволюции. Принцип гармонии природы, теория типов и представление об устойчивости вида отодвинулись в сознании людей на задний план, а многим казались опровергнутыми. С течением времени, однако, полное обоснование эволюционной идеи породило свою противоположность. В науке XX в. вновь возродилась идея устойчивости. И с тем же благородным рвением, с каким человеческая мысль разрушала теорию типов и теорию неизменности видов, она устремилась на поиски механизмов поддержания устойчивости.

В.И.Вернадский сумел раскрыть на уровне биосферы в целом взаимодействие эволюционного процесса и идеи устойчивости живой природы. В 1928 г. В.И.Вернадский писал: "В геохимическом аспекте, входя как часть в мало изменяющуюся, колеблющуюся около неизменного среднего состояния биосферу, жизнь, взятая как целое, представляется устойчивой и неизменной в геологическом времени. В сложной организованности биосферы происходили в пределах живого вещества только перегруппировки химических элементов, а не коренные изменения их состава и количества - перегруппировки, не отражавшиеся на постоянстве и неизменности геологических - в данном случае геохимических процессов, в которых эти живые вещества принимали участие.

Устойчивость видовых форм в течение миллионов лет, миллионов поколений, может, даже составляет самую характерную черту живых форм".

По сложившемуся общему мнению, вершиной творчества Вернадского является учение о биосфере и об эволюционном переходе ее под влиянием человеческого разума в новое состояние - ноосферу: "Масса живого вещества, его энергия и степень организованности в геологической истории Земли непрерывно эволюционировали, никогда не возвращаясь в прежнее состояние. Преобразования в поверхностной оболочке планеты под влиянием деятельности человека стали естественным этапом этой эволюции. Вся биосфера, изменившись коренным образом, должна перейти в новое качественное состояние, сферу действия человеческого разума".

Переводя теорию Дарвина на язык кибернетики, И.И.Шмальгаузен показал, что само преобразование органических форм закономерно осуществляется в рамках относительно стабильного механизма, лежащего на биогеоценотическом уровне организации жизни и действующего по статистическому принципу. Это и есть высший синтез идеи эволюции органических форм с идеей устойчивости и идеей постоянства геохимической функции жизни в биосфере. Так воедино оказались слитыми и вместе с тем поднятыми на новый современный уровень концепции Кювье, Дарвина, Вернадского.

Основные направления поиска в эволюционной теории - это разработка целостных концепций, более адекватно отражающих системный характер изучаемых явлений.

Общепризнанным является тезис о движении как атрибуте материи, и встает вопрос, можно ли считать атрибутом материи развитие. Эти проблемы оживленно дискутируются, и на сегодня общепризнанной точки зрения нет. Существует точка зрения, что движение - более общий момент, а развитие - частный случай движения, т.е. развитие не является атрибутом материи. Другая точка зрения настаивает на атрибутивном характере развития. Решение вопроса об атрибутивном характере развития связано с тем содержанием, которое вкладывается в понятие "развитие". Обычно выделяют три подхода:

- развитие как круговорот;

- развитие как необратимое качественное изменение;

- развитие как бесконечное движение от низшего к высшему.

Эти подходы справедливы, когда речь идет не о материи вообще, а о каком-либо материальном образовании.

К материи в целом, материи как таковой понятие развития приложимо, но не в том смысле, в каком мы говорим о развитии отдельных предметных областей. Материя как объективная реальность - это именно вся совокупность вещей и явлений окружающего нас мира. Она непрерывно развивается, и это развитие не означает ничего иного, кроме непрерывного развития всех ее конкретных проявлений. Материя есть предельно общая философская категория, а естествознание всегда имело и будет иметь дело с "материей на данном уровне проникновения в нее". Единственно известной нам материи мы сегодня можем приписывать развитие не только на основании общефилософских соображений, а и на основе достаточно апробированных естественнонаучных теорий.

Тезис о развитии как атрибуте материи до недавнего времени трудно было согласовать с данными естествознания, где единственный закон, включающий направленность происходящих изменений, - это второе начало термодинамики, говорящее скорее о тенденции к деградации. Второе начало является одним из естественнонаучных выражений принципа развития, определяющим эволюцию материи. Поскольку принцип увеличения энтропии отражает необратимость всех реальных процессов и тем самым означает необратимое изменение всех известных форм материи, т.е. их переход в какие-то иные формы, для которых уже будут недействительны существующие законы, то его можно считать естественнонаучным выражением философского принципа развития.

Второе начало имеет тот же статус, что и первое начало (закон сохранения энергии), и его действие не противоречит развитию Вселенной. Напротив, сам принцип развития находит свое естественнонаучное обоснование во втором начале термодинамики. Принцип возрастания энтропии рассматривается как одна из естественнонаучных конкретизаций принципа развития, отражающая образование новых материальных форм и структурных уровней в неорганической природе.

Одной из фундаментальных черт современного естествознания и вместе с тем направлений его диалектизации является все более глубокое и органичное проникновение в систему наук о природе эволюционных идей, которые неразрывно связаны с концепцией иерархии качественно своеобразных структурных уровней материальной организации, выступающих как ступени, этапы эволюции природных объектов. Если всего лишь несколько десятилетий назад исследования эволюционных процессов в различных областях естествознания были довольно слабо связаны между собой, то сейчас положение изменилось радикальным образом: выявляются контуры единого (в многообразии своих конкретных проявлений) процесса эволюции охваченных исследованиями областей природы.

Практика современной научно-исследовательской деятельности выдвигает новые задачи в понимании эволюционных процессов, поэтому формируется некий слой знаний, не имеющий статуса отдельной науки, но составляющий важный компонент культуры мышления современного ученого. Этот слой знания является как бы промежуточным между философией, диалектикой как общей теорией развития и конкретно-научными эволюционными концепциями, отражающими специфические закономерности эволюции живых организмов, химических систем, земной коры, планет и звезд.

Можно, видимо, говорить о нескольких взаимосвязанных и соподчиненных понятиях эволюции в рамках естественнонаучной картины мира. Наиболее общим из них и применимым практически в пределах всей доступной исследованию области природы, неживой и живой, следует считать понятие эволюции как необратимого изменения структуры природных объектов.

В классическом естествознании, и, прежде всего в естествознании прошлого века, учение о принципах структурной организации материи было представлено классическим атомизмом. Именно на атомизме замыкались теоретические обобщения, берущие начало в каждой из наук. Идеи атомизма служили основой для синтеза знаний и его своеобразной точкой опоры. В наши дни под воздействием бурного развития всех областей естествознания классический атомизм подвергается интенсивным преобразованиям. Наиболее существенными и широко значимыми изменениями в наших представлениях о принципах структурной организации материи являются те изменения, которые выражаются в нынешнем развитии системных представлений.

Общая схема иерархического ступенчатого строения материи, связанная с признанием существования относительно самостоятельных и устойчивых уровней, узловых точек в ряду делений материи, сохраняет свою силу и эвристические значения. Согласно этой схеме дискретные объекты определенного уровня материи, вступая в специфические взаимодействия, служат исходными при образовании и развитии принципиально новых типов объектов с иными свойствами и формами взаимодействия. При этом большая устойчивость и самостоятельность исходных, относительно элементарных объектов обусловливает повторяющиеся и сохраняющиеся свойства, отношения и закономерности объектов более высокого уровня.

Это положение едино для систем различной природы.

Любая сложная система, возникшая в процессе эволюции по методу проб и ошибок, должна иметь иерархическую организацию. Действительно, не имея возможности перебрать все мыслимые соединения из нескольких элементов, а найдя научную комбинацию, размножает ее и использует - как целое - в качестве элемента, который можно полностью связать с небольшим числом других таких же элементов. Так возникает иерархия. Это понятие играет огромную роль. Фактически всякая сложная система, как возникшая естественно, так и созданная человеком, может считаться организованной, только если она основана на некоей иерархии или переплетении нескольких иерархий. Мы не знаем организованных систем, устроенных иначе.

Концептуальные формы выражения идеи структурных уровней материи многообразны. Определенное развитие идея уровней получила в ходе анализа концептуального аппарата фундаментальных, относительно завершенных физических теорий, теории эволюции живых организмов.

Одна из актуальных проблем, которую ставит изучение иерархии структурных уровней природы, заключается в поисках границ этой иерархии как в мегамире, так и в микромире. Иерархичность уровней отражается в иерархичности классификационных понятий, характерных для описательных теорий различных наук. С наличием определенных уровней материи связано существование ряда самостоятельных научных дисциплин.

Уровни становятся такими спиралями только при всестороннем развитии преемственности, без которой могут быть лишь хаотические смены круговоротов изменений. Поэтому "развитие развития" возможно только на основе обогащения форм преемственности, которая позволяет в той или иной мере сохранять достигнутые преобразования, чтобы включать их в линии процессов эволюции, а также онтогенеза. Возникновение нового без преемственности обречено было бы каждый раз начинать развитие с "самого начала".

В ходе прогресса число взаимосвязанных уровней возрастает и объекты становятся все более многоуровневыми. Объекты каждой последующей ступени возникают и развиваются в результате объединения и дифференциации определенных множеств объектов предыдущей ступени. Системы становятся все более многоуровневыми. Сложность системы возрастает не только потому, что возрастает число уровней. Существенное значение приобретает развитие новых взаимосвязей между уровнями и со средой, общей для таких объектов и объединений. В этих взаимосвязях все большее значение получает информация.

**1. Информационная концепция развития систем**

Понятие развития неживой и живой природы рассматривается как необратимое направленное изменение структуры объектов природы, поскольку структура отражает уровень организации материи.

Структура - это внутренняя организация системы, которая способствует связи составляющих систему элементов, определяющая существование ее как целого и ее качественные особенности. Структура определяет упорядоченность элементов объекта. Элементами являются любые явления, процессы, а также любые свойства и отношения, находящиеся в какой-либо взаимной связи и соотношении друг с другом.

Структура есть упорядоченность (композиций) элементов, сохраняющаяся (инвариантная) относительно определенных изменений (преобразований).

Структура - это относительно устойчивый, упорядоченный способ связи элементов, придающий их взаимодействию в рамках внутренне расчлененного объекта целостный характер.

Важнейшее свойство структуры - ее относительная устойчивость, понимаемая как сохранение в изменении. Однако структура содержит определенную динамичность, отдельные временные моменты, представляет собой процесс развертывания во времени и в пространстве новых свойств элементов.

Структура - это общий, качественно определенный и относительно устойчивый порядок внутренних отношений между подсистемами той или иной системы. Понятие "уровень организации" в отличие от понятия "структура" включает, кроме того, представление о смене структур и ее последовательности в ходе исторического развития системы с момента ее возникновения. В то время как изменение структуры может быть случайным и не всегда имеет направленный характер, изменение уровня организации происходит необходимым образом. Системы, достигшие соответствующего уровня организации и имеющие определенную структуру, приобретают способность использовать информацию для того, чтобы посредством управления сохранить неизменным (или повышать) свой уровень организации и способствовать постоянству (или уменьшению) своей энтропии.

Что такое организация? Ссылаясь на основоположников теории организации Федорова и Богданова, Моисеев дает такое определение: "Организация изучаемого объекта (системы) - это совокупность консервативных, медленно изменяющихся (в частном случае постоянных, неизменных) характеристик объекта.

Для определения организации нужно выделить эти характеристики объекта (системы)".

Под организацией системы будем понимать изменение структуры системы, которое обеспечивает согласованное поведение, или функционирование системы, которое определяется внешними условиями.

Если под изменением организованности понимать изменение способа соединения (или связи) подсистем, образующих систему, то явление самоорганизации можно определить как такое неизбежное изменение системы и ее функций, которое происходит вне каких-либо дополнительных влияний, вследствие взаимодействия системы с условиями существования и приближается к некоторому относительно устойчивому состоянию.

Под самоорганизацией будем понимать изменение структуры, обеспечивающее согласованность поведения благодаря наличию внутренних связей и связей с внешней средой.

Самоорганизация - это естественнонаучное выражение процесса самодвижения материи. Способностью к самоорганизации обладают системы живой и неживой природы, а также искусственные системы. Конкретная конфигурация структуры существует только в строго определенных условиях и в определенный момент "движения" сложной системы. Динамика развития систем приводит к последовательному изменению их структур.

Закономерное изменение структуры системы соответственно историческим изменениям соотношений с внешней средой и называется эволюцией.

Изменение структуры сложной системы в процессе ее взаимодействия с окружающей средой - это проявление свойства открытости как роста возможностей выхода к новому. С другой стороны, изменение структуры сложной системы обеспечивает расширение жизненных условий, связанное с усложнением организации и повышением жизнедеятельности, т.е. приобретением приспособлений более общего значения, позволяющих установить связи с новыми сторонами внешней среды.

Самоорганизация характеризуется возникновением внутренне согласованного функционирования за счет внутренних связей и связей с внешней средой. Причем понятия функция и структура системы тесно взаимосвязаны; система организуется, т.е. изменяет структуру ради выполнения функции.

Вопрос о взаимоотношении структуры и функции - один из древних и традиционных в биологии. Аристотель, задавая вопрос "ради чего существует орган?", отвечал: "ради выполнения определенной цели", т.е. функции. Для биологических объектов понятия функции и цели идентичны. Так, под функцией понимается, например, физиологическое отправление.

Рассматривая структуру и функцию, предпочтение отдают первичности в изменении функции. Однако наиболее правильно рассматривать диалектическую взаимосвязь и взаимообусловленность их изменений в процессе эволюции (изменение среды требует изменения функции; а она, в свою очередь, влияет на изменение структуры).

Растительное и животное царство дает множество убедительных примеров такой взаимообусловленности.

Так, выход растений на сушу ознаменовался приобретением комплекса морфофизиологических новшеств, защитных покровов, проводящей системы, дифференциацией тела на органы и т.д. Благодаря этим изменениям, прежде всего, было достигнуто уменьшение потери воды от испарения и усиление ее движения по растению. Здесь трудно сказать, что чему предшествовало, морфологические или физиологические изменения. В то же время очевидно, что "заказ" на уменьшение отрицательных последствий недостатка воды повлек за собой отбор растений на развитие защитных покровов и проводящей системы в наземных условиях.

В данном случае речь идет о процессе самоорганизации, где можно выделить причину и следствие, указать связи их с внешней средой: внешняя среда изменяет функцию, функция изменяет структуру. По мере усложнения внутренней организации функциональные возможности организмов усиливаются.

Функциональные особенности изменяются несколько быстрее, чем структурные. Одним из примеров влияния функциональных преобразований на структуру растения могут служить листья и преобразование структуры черешка изменением его функции: у листа после длительной самостоятельной жизни в укорененном состоянии перестраиваются исторически сложившиеся функции; при этом черенок приобретает функции стебля, усиливается его проводящая и механическая активность.

Структура и функция - неотъемлемые свойства живой природы, они связаны в онто- и филогенезе. Любой орган обладает множественностью функций. Если из множеств функций, например, корня растений (проведение веществ или их запасение, образование придаточных почек, прикрепление, синтез и т.п.) одна окажется главной, то строение его в филогенезе изменится сообразно новой функции. С другой стороны, проявление любой функции растений одного и того же вида меняется количественно, причем различия часто наследственно обусловлены. На этой основе может происходить отбор по степени выражения данного свойства. Например, у одних растений по такому принципу усилилась присасывающая функция корней (паразиты), у других - опорные функции.

Взаимосвязь изменения структуры и функции в онто- и филогенезе способствует повышению выживаемости и конкурентоспособности. Для растений функция - единое физиологическое отправление, необходимое для выживания и размножения растений в онтогенезе (например, фотосинтез, дыхание, движение). Отбор направлен на поиски наиболее эффективных механизмов, реализующих необходимую функцию, т.е. на поиски архитектур системы.

Именно в структуре биологически активного вещества эволюция закодировала его способность выполнять строго определенную биологическую функцию.

Функциональная роль биологических молекул задается их пространственной структурой - расположением в пространстве входящих в структуру атомов. Можно привести множество других примеров.

Для изучения процесса развития необходимо знать характер изменения структур во времени, их динамические параметры. Надо также уметь вскрывать закономерности взаимосвязи между структурой и проявляемой системой функцией.

До недавнего времени естествознание и другие науки могли обходиться без целостного, системного подхода к своим объектам изучения, без учета коллективных эффектов и исследования процессов образования устойчивых структур и самоорганизации. В настоящее время проблемы самоорганизации, изучаемые в синергетике, приобретают актуальный характер во многих науках, начиная от физики и кончая экологией.

Задача синергетики - выяснение законов построения организации, возникновения упорядоченности. В отличие от кибернетики здесь акцент делается не на процессах управления и обмена информацией, а на принципах построения организации, ее возникновения, развития и самоусложнения (Г.Хакен).

Вопрос об оптимальной упорядоченности и организации особенно остро стоит при исследованиях глобальных проблем - энергетических, экологических, многих других, требующих привлечения огромных ресурсов.

Философско-методологический анализ проблем глобального эволюционизма неизбежно приводит к постановке фундаментального вопроса: существуют ли законы эволюционного процесса, представляющие собой определенную конкретизацию диалектической концепций развития и в то же время общие для всех структурных уровней природной действительности?

Хотя эта проблема в настоящее время еще далека от решения, все же есть определенные основания допускать существование законов и закономерностей прогрессивного развития в природе, охватывающих все основные этапы - космогонический, геологический, биологический, наряду со специфическими законами и закономерностями, присущими каждому из них. Это могут быть, во-первых, частнонаучные законы или закономерности, которые возможно экстраполировать на целостные процессы эволюции природной действительности (скажем, закон возрастания энтропии или определенные "биоаналогии", имеющие достаточно общее значение).

Во-вторых, идея глобального эволюционизма получает поддержку со стороны общенаучных концепций. Так, начавшаяся в последние годы разработка генетических аспектов общей теории систем позволяет предполагать, что некоторые сформулированные в ее рамках закономерности могут обладать весьма широкой сферой применимости, в частности, охватывать определенные черты эволюции всей исследуемой природной действительности. Изучению процессов эволюции неживой и живой природы, а также прогресса общества может содействовать дальнейшая разработка концепции самоорганизации.

Наконец, в-третьих, возможно предположить, что существуют такие типы достаточно общих эволюционных законов и закономерностей, которые будут выявлены на основе комплексного анализа процессов развития в масштабах всей системы наук о природе. Пока, конечно, преждевременно обсуждать вопрос, будут ли законы, сформулированные первоначально в рамках общенаучной картины мира, включаться далее в такую форму организации теоретического знания, какой является теория (система теорий), или в иную, до сих пор мало исследованную форму междисциплинарного и общенаучного знания - учение (примером которой может служить учение В.И.Вернадского о биосфере), или же входить и в состав систем теорий, и в состав учений разной степени общности. Во всяком случае, очевидно, что потребности как теоретического, так и мировоззренческого плана будут стимулировать дальнейшее обоснование идеи глобального эволюционизма.

Информационная концепция развития систем любой природы, в основе которой лежат категории информатики - информация, энтропия, информационные процессы и их связь с эволюционными процессами, по-видимому, может рассматриваться как одна из естественнонаучных конкретизации общей теории развития.

**2. Особенности описания сложных систем**

Те практические задачи, которые сегодня решаются, требуют глубокого изучения отдельных объектов и явлений природы. Большое число задач связано с исследованием сложных систем, таких, которые включают множество элементов, каждый из которых представляет собой достаточно сложную систему, и эти системы тесно взаимосвязаны с внешней средой. Изучение таких систем в естественных условиях ограничено их сложностью, а иногда бывает невозможным ввиду того, что нельзя провести натурный эксперимент или повторить тот или иной эксперимент. В этих условиях порой единственным возможным методом исследования является моделирование (физическое, логическое, математическое). Без модели нет познания. Любая гипотеза - это модель. И правильность гипотезы о будущем состоянии объекта зависит от того, насколько правильно определили параметры исследуемого объекта и их взаимосвязи между собой и внешней средой. Однако научное описание никогда не охватывает всех деталей, оно всегда выделяет существенные элементы структур и связей. Поэтому такое описание содержит обобщенную модель явлений. В настоящее время термин "общая теория систем" по предложению Л.Берталанфи трактуется в широком и узком смысле. Общая теория систем, понимаемая в широком смысле, охватывает комплекс математических и инженерных дисциплин, начиная с кибернетики и кончая инженерной психологией. Более узкое толкование термина связано с выбором класса математических моделей для описания систем и уровня их абстрактного описания.

Аналогичная ситуация складывается и с теорией развития сложных систем. Ее также можно понимать в широком и узком смысле. В широком смысле теория развития сложных систем - это естественнонаучная конкретизация общей теории развития - материалистической диалектики. В рамках этой же теории должны быть объединены основные положения о поведении сложных систем, разработанные в различных областях научного знания, в результате чего может быть построена концептуальная модель процессов развития сложных систем различной природы. Более узкое понимание теории развития предполагает построение математических моделей развития конкретных систем (биологических, экологических, экономических, социальных и т.п.). В этом случае объект исследования выделяется и анализируется конкретной научной дисциплиной.

Особенность простых систем - в практически взаимной независимости их свойств, позволяющей исследовать каждое из них в отдельности в условиях классического лабораторного эксперимента; особенность сложных систем заключается в существенной взаимосвязи их свойств (иногда она даже применяется как определение сложной системы).

Будем считать систему сложной, если она состоит из большого числа взаимосвязанных и взаимодействующих между собой элементов, каждый из которых может быть представлен в виде системы. В качестве содержания теории развития сложных систем можно рассматривать совокупность методологических подходов, позволяющих строить модели процессов развития сложных систем, используя достижения различных наук, а также методы анализа получаемых моделей.

Обычное для теории простых систем требование адекватности модели оригиналу для моделей сложных систем приводит к непомерному росту их размерности, приводящему к их неосуществимости. Ситуация для построения теории кажется безнадежной, она действительно оказывается таковой, если не произвести некоторого разумного отступления от непомерных требований адекватности теории и вместе с тем не отступать от требований ее объективности.

Математические модели любых систем могут быть двух типов - эмпирические и теоретические. Эмпирические модели - это математические выражения, аппроксимирующие (с использованием тех или иных критериев приближения) экспериментальные данные о зависимости параметров состояния системы от значений параметров влияющих на них факторов. Для эмпирических математических моделей не требуется получения никаких представлений о строении и внутреннем механизме связей в системе. Вместе с тем задача о нахождении математического выражения эмпирической модели по заданному массиву наблюдений в пределах выбранной точности описания явления не однозначна. Существует бесконечное множество математических выражений, аппроксимирующих в пределах данной точности одни и те же опытные данные о зависимости параметров.

Теоретические модели систем строятся на основании синтеза обобщенных представлений об отдельных слагающих их процессах и явлениях, основываясь на фундаментальных законах, описывающих поведение вещества, энергии, информации. Теоретическая модель описывает абстрактную систему, и для первоначального вывода ее соотношений не требуется данных о наблюдениях за параметрами конкретной системы. Модель строится на основе обобщения априорных представлений о структуре системы и механизма связей между слагающими ее элементами.

Наряду с эмпирическими и теоретическими используются и полуэмпирические модели. Для них математические выражения получаются теоретическим путем с точностью до эмпирически получаемых констант, либо в общей системе соотношений моделей наряду с теоретическими выражениями используются и эмпирические.

Построение эмпирических моделей - единственно возможный способ моделирования тех элементов системы, для которых нельзя построить в настоящее время теоретических моделей из-за отсутствия сведений об их внутреннем механизме. Вопросы, связанные с построением эмпирических моделей, относятся к области обработки наблюдений или, точнее, к математической теории планирования эксперимента.

Для некоторых систем единственная возможность оценить правильность теоретической модели состоит в проведении численных экспериментов с использованием математических моделей. Поведение модели не должно противоречить общим представлениям о закономерностях поведения процессов.

Теоретическая модель описывает не конкретную систему, а класс систем. Поэтому проверка теоретической модели возможна при исследовании конкретных частично или полностью наблюдаемых систем. Затем проверенную таким образом теоретическую модель можно применять для описания и изучения конкретных ненаблюдаемых систем, относящихся к тому же либо к более узкому классу.

Строго обосновать выражение "модели относятся к одному и тому же классу" несколько затруднительно. Мы будем рассматривать класс развивающихся систем, к которому могут относиться системы искусственные, живой и неживой природы, социальные и т.п.

Между эмпирическими, полуэмпирическими и теоретическими моделями не существует резкой границы. Любые математические модели, в конечном счете, выражаются через параметры, определяемые экспериментальным путем. Все различия между тремя упомянутыми типами моделей сводятся к степени общности представлений, относящихся к данной модели, а именно: или они относятся непосредственно к изучаемому конкретному объекту, или связаны с классом таких объектов, или же, наконец, связаны с классом явлений, наблюдающихся в природе

Большинство процессов столь сложно, что при современном состоянии науки очень редко удается создать их универсальную теорию, действующую во все времена и на всех участках рассматриваемого процесса. Вместо этого нужно посредством экспериментов и наблюдений постараться понять ведущие (определяющие) факторы, которые определяют поведение системы. Выделив эти факторы, следует абстрагироваться от других, менее существенных, построить более простую математическую модель, которая учитывает лишь выделенные факторы. К внешним факторам будем относить такие, которые влияют на параметры изучаемой модели, но сами на исследуемом временном отрезке не испытывают обратного влияния.

Известно, что материальное единство мира находит свое отражение во взаимосвязи целого и его частей. До недавнего времени в естествознании преобладающим был подход, согласно которому часть всегда рассматривалась как более простое, чем целое. Новое направление - синергетика описывает процессы, в которых целое обладает такими свойствами, которых нет у его частей. Она рассматривает окружающий материальный мир как множество локализованных процессов различной сложности и ставит задачу отыскать единую основу организации мира как для простейших, так и для сложных его структур. В то же время синергетика не утверждает, что целое сложнее части, она указывает на то, что целое и часть обладают различными свойствами и в силу этого отличны друг от друга.

В синергетике делается попытка описать развитие мира в соответствии с его внутренними законами развития, опираясь при этом на результаты всего комплекса естественных наук. Для нашего анализа представляется важным то, что одним из основных понятий синергетики является понятие нелинейности.

Не только в процессе научного познания, но и в своей повседневной практике мы фактически сталкиваемся с различными проявлениями нелинейных закономерностей. Поведение нелинейных систем принципиально отличается от поведения линейных. Наиболее характерное отличие - нарушение в них принципов суперпозиции. В нелинейных системах результат каждого из воздействий в присутствии другого оказывается иным, чем в случае отсутствия последнего.

Математические исследования природы линейности и нелинейности так или иначе обусловливались потребностями развития физики. Постановка задачи о нелинейности связана с именами Рэлея, Д'Аламбера, Пуанкаре, которые исследовали математическую модель струны и другие модели при помощи дифференциальных уравнений.

В 30-е годы XX в. на первое место в области обыкновенных дифференциальных уравнений встают проблемы качественной теории. Значительное влияние на ее развитие оказывают потребности физики, особенно нелинейной теории колебаний. Физикам Андронову и Мандельштаму принадлежит здесь целый ряд важных математических идей и разработок. Мандельштам первым обратил внимание на необходимость выработки в физике нового "нелинейного мышления". До его работ существовали лишь отдельные частные подходы к анализу отдельных нелинейностей в различных физических задачах. Роль Мандельштама состоит в том, что он отчетливо понял всеобщность нелинейных явлений, сумел увидеть, что возможности линейной теории принципиально ограничены, что за ее пределами лежит огромный круг явлений, требующих разработки новых нелинейных методов анализа.

Возникают вопросы: какова роль нелинейности, зачем необходимо разрабатывать нелинейные модели, если большое количество физических процессов можно объяснить с помощью линейных моделей или же свести нелинейные задачи к линейным? Ответ на эти вопросы состоит в следующем: линейные задачи рассматривают лишь рост, течения процессов, нелинейность же описывает фазу их стабилизации, возможность существования нескольких типов структур. В то же время нелинейность выражает тенденцию различных физических процессов к неустойчивости, тенденцию перехода к хаотическому движению. Таким образом, сочетание линейности и нелинейности (даже пока еще далеко не диалектическое) дает более адекватное отражение реальных процессов, так как с их помощью выражается единство устойчивости и изменчивости, являющееся ядром сущности всякого движения.

Решение многочисленных проблем, возникающих при описании перехода от регулярного к стохастическому движению, связывается с развитием стохастической или хаотической динамики.

Удалось показать, что с помощью уравнений, предложенных Х.Лоренцем, либо систем уравнений, включающих странные аттракторы, возможно описание поведения некоторых типов плазменных волн, химических реакций в открытых системах, циклов солнечной активности. закономерностей изменения численности биологических сообществ, исследование вопросов, связанных с генерацией лазеров в некотором диапазоне параметров.

Синергетика, используя единство линейности и нелинейности, выражает в теории те аспекты материального единства мира, которые связаны с общими свойствами саморазвития сложных систем. Нелинейные уравнения, составляющие основу этой теории, позволяют с помощью достаточно простых моделей описывать самые различные материальные процессы. Причем, даже не решая этих уравнений, можно выработать представление о качественно новых чертах тех процессов, которые этими уравнениями описываются.

Теория описания сложных хаотических процессов М.Фейгенбаума представляет интерес, ибо автор, по существу, исходит из признания материального единства мира и пытается найти то общее, что присуще хаотическим процессам различной природы. Эта теория показывает, что поведение всех диссипативных систем вблизи перехода к хаотическому движению носит универсальный характер. Теория дает возможность описать поведение той или иной системы за пределами возможности других математических представлений.

Для выявления наиболее общих закономерностей поведения нужны макромодели, которые имеют наиболее высокий уровень обобщения. Возможно, такой моделью может быть модель процесса развития, построенная на основе информационной концепции.

Построение такой модели проводилось в несколько этапов: концептуальная модель; модель процесса самоорганизации; собственно математическая модель, т.е. уравнение, описывающее поведение системы; машинная модель, реализующая алгоритм решения этого уравнения.

**3. Концептуальная модель развития**

Наиболее важный этап процесса разработки модели состоит в выборе структуры модели системы. Вряд ли можно считать целесообразным начинать исследования сразу с подробной математической модели еще до того, как выдвинуты основные гипотезы и достигнуто более глубокое понимание механизма работы системы.

Разработка модели системы начинается с наименее структуризованных и наиболее широко применяемых понятий, и на их основе аксиоматическим образом развивается дальнейшая математическая модель.

Методические аспекты изучения развития сложных систем неотрывны от самой теории развития. Задача заключается в том, чтобы для определенного класса систем, а именно открытых динамических самоорганизующихся, конкретизировать общие закономерности развития, формализовать их, построить модель развития.

Идея развития неразрывно связана с концепцией иерархии структурных уровней природы, выступающих как ступени, этапы развития природных объектов. Это положение едино для систем различной природы. Согласно схеме иерархического ступенчатого строения материи, отдельные объекты определенного уровня материи, вступая в специфические взаимодействия, служат исходными образованиями в развитии принципиально новых типов объектов с иными свойствами и формами взаимодействия. При этом основным исходным положением является наличие преемственности. Если нет преемственности, то мы будем наблюдать не процесс развития, а лишь хаотические смены круговоротов. Новое всегда рождается в недрах старого.

Развитие неживой и живой природы рассматривается как необратимое изменение структуры объектов природы. Важная проблема в теории развития - выявление объективных критериев прогресса, которые определяют переход системы от одного уровня развития к другому, более высокому.

Одной из естественнонаучных конкретизаций принципа развития является принцип возрастания энтропии, отражающий образование новых материальных форм и структурных уровней. Уравнение Больцмана для энтропии часто рассматривают как математическое выражение закона эволюции. Однако эта математическая модель процесса развития обладает следующими серьезными недостатками. Она показывает лишь направление эволюции и не учитывает того факта, что развивающиеся системы - это системы открытые, которые могут уменьшать свою энтропию за счет увеличения энтропии во внешней среде.

С позиций неравновесной термодинамики развитие трактуется как последовательность переходов иерархии структур возрастающей сложности. Переход на новый уровень развития идет от беспорядка к порядку через неустойчивость. В неравновесных ситуациях появление порядка возможно только при наличии внешних потоков (вещественно-энергетических или информационных), удерживающих систему далеко от равновесия. При отсутствии этих потоков (изоляции системы) в подобных ситуациях развиваются диссипативные разрушения структуры, рассеяния (диссипация) энергии или информации, в результате чего системы деградируют к равновесному состоянию. Взаимодействие со средой создает потенциальные возможности для возникновения неустойчивых состояний и появления вслед за неустойчивостью новой, более упорядоченной структуры.

Возникающая в процессе развития неустойчивость создает возможность скачкообразного перехода системы в новое состояние. Скачок можно рассматривать как реакцию системы на возмущение с целью его компенсации, только система возвращается не в старое состояние, а переходит в новое, т.е. "развитие через неустойчивость" обеспечивает устойчивость на более высоком уровне. При этом сама устойчивость понимается не как устойчивость равновесных структур типа кристаллических образований, а как динамическая устойчивость открытых систем за счет самоорганизации, авторегуляции, осуществляемая для достаточно сложных систем в основном путем информационного обмена (В.Эбелинг).

Спокойный эволюционный этап развития характеризуется наличием соответствующих механизмов, стабилизирующих данное состояние системы и ликвидирующих любое отклонение от него (возвращающих систему к этому состоянию). С течением времени эти механизмы ослабляются из-за количественного роста соответствующих параметров среды или системы, в силу чего они уже не могут осуществлять стабилизацию системы. Наступает кризисное состояние. Новое вступает в противоречие со старым, и, как разрешение этого противоречия, происходит скачкообразный переход системы в новое устойчивое состояние.

Развитие - это прежде всего необратимое изменение. Поэтому слишком устойчивая, т.е. абсолютно устойчивая, система к развитию не способна, ибо она подавляет любые отклонения от своего гиперустойчивого состояния и при любой флуктуации возвращается в свое равновесное состояние. Для перехода в новое состояние система должна стать в какой-то момент неустойчивой. Но перманентная неустойчивость - это другая крайность, которая также вредна для системы, как гиперустойчивость, ибо она исключает "память" системы, адаптивное закрепление полезных для выживания в данной среде характеристик системы.

Таким образом, хотя имеют право на существование только устойчивые системы (неустойчивые сразу элиминируются), но развиваются только те из существующих систем, которые способны (на время) становиться неустойчивыми под влиянием соответствующих факторов. Такой тип поведения характерен для открытых систем, которые могут находиться в стационарных состояниях, далеких от равновесия.

Такое поведение мы наблюдаем у биологических, экологических, экономических, социальных систем. В настоящее время основные положения неравновесной термодинамики о развитии сложных систем стали практически общенаучными.

Опираясь на такое представление о развитии сложных систем, можно выделить два основных параметра, характеризующих процесс развития. Это устойчивость системы и мера ее организованности.

Развитие - это единый целостный процесс, который может рассматриваться только по отношению к системе, так как этот процесс является результатом кооперативного действия элементов системы. Если мы хотим исследовать процесс развития отдельного элемента, то должны представить этот элемент в виде системы, проведя разбиение его на элементы и выделив внешнюю среду. Мерой организованности системы может служить энтропия, понимаемая в широком смысле. Состояние системы определяется распределением ее элементов, обладающих данным признаком, мерой их упорядоченности. Энтропия системы может быть определена для различных уровней агрегирования ее элементов.

Из изложенных выше рассуждений следует, что для определения состояния и тенденций развития системы необходимо знать, в каком состоянии находится система (устойчивом или неустойчивом) и как при этом меняется энтропия системы.

Эволюционный этап развития, характеризуется устойчивостью системы и увеличением энтропии. Рост энтропии может быть вызван не только ростом числа элементов, но и нарушением связей, упорядоченности системы. В этом случае нарушение связей может привести к тому, что система перестанет выполнять возложенные на нее функции, она будет неспособна к этому в силу своей неорганизованности. Следовательно, рост энтропии не всегда свидетельствует о том, что система повышает свой запас устойчивости. Вблизи точки бифуркации случайные флуктуации могут изменить траекторию движения системы. В зависимости от внешних и внутренних условий система либо деградирует, либо переходит на новый качественный уровень развития. Период зарождения и формирования новой системы связан с потерей устойчивости и возникновением диссипативной структуры, которая сохраняется только благодаря обмену энергией, веществом, информацией с внешней средой. Период зарождения новой системы характеризуется увеличением диссипации. При соблюдении определенных условий в системе могут возникнуть процессы упорядочения структуры, в результате чего энтропия будет уменьшаться и система перейдет в новое устойчивое состояние. На этом один цикл развития заканчивается, начинается следующий - эволюция новой системы. Деградация системы рассматривается в двух аспектах.

В первом случае резко возрастает энтропия, система теряет устойчивость, но перехода в новое устойчивое состояние не происходит. В данном случае отсутствуют регулирующие механизмы (внутренние и внешние), возникает лавинообразный рост энтропии вследствие роста числа новых элементов-признаков и отсутствия когерентного их поведения. Система дезорганизуется и не может выполнять свои функции.

Во втором случае энтропия уменьшается за счет количественных изменений в системе. Система в силу своей гиперустойчивости теряет способность к адаптации и при наличии соответствующих внешних воздействий может разрушиться, т.е. устойчивость отдельных подсистем еще не определяет устойчивость системы в целом.

Устойчивость развивающихся систем мы связываем со структурной устойчивостью и функционированием системы. В данном случае система, не обладающая способностями к адаптации, не может функционировать в меняющихся внешних условиях (А.К.Айламазян).

В зависимости от значений управляющего параметра система может находиться в большом числе устойчивых и неустойчивых режимов. Траектория развития системы характеризуется чередованием устойчивых областей, где доминируют детерминистические законы, и неустойчивых областей вблизи точек бифуркации, где перед системой открывается возможность выбора одного из нескольких вариантов будущего.

И детерминистический характер уравнений, описывающих поведение системы, позволяющих вычислить заранее набор возможных состояний, определить их относительную устойчивость, и случайные флуктуации, "выбирающие" одно из нескольких возможных состояний вблизи точки бифуркации, теснейшим образом взаимосвязаны. Эта смесь необходимости и случайности и составляет "историю" системы.

Модель связывает конкретный этап развития системы со знаком производной энтропии и устойчивостью системы. Модель показывает, что система любой сложности может проходить при соответствующих условиях все этапы развития.

Предлагаемая концептуальная модель развития базируется на одной из основных категорий информатики - энтропии как мере порядка в системе. Поэтому излагаемую концепцию развития систем назовем информационной и выдвинем гипотезу о том, что она применима к системам неживой и живой природы, искусственным, социальным и другим системам.