

Самоорганизующиеся природные системы

Исследования в области математического моделирования сложных самоорганизующихся открытых систем привели к появлению в 70-е годы XX в. нового междисциплинарного направления научных исследований, которое получило название синергетика [1: 13; 2: 108]. Синергетика – это теория, исследующая процессы самоорганизации, устойчивости, распада и возрождения самых разнообразных структур живой и неживой природы. [3: 110]. Основоположниками синергетики являются Г. Хакен и И.Р. Пригожин. Появлению такого научного направления в естествознании, как синергетика способствовало то, что всем природным системам присущи фундаментальные свойства: целостность, открытость, устойчивость, диссипативность, нелинейность, самоорганизованность. Самоорганизующимися называют такие системы, которые без специального воздействия извне способны совершенствовать свою организацию в направлении увеличения сложности и упорядоченности.

Предметом изучения синергетики являются процессы самоорганизации и возникновения, поддержания, устойчивости и распада структур

различной природы. Данные процессы изучаются различными науками: физикой и экономикой, химией и социологией, биологией и лингвистикой, математикой [4: 97]. Синергетика востребована в современном естествознании для обоснования наметившейся тенденции глобального эволюционного синтеза всех естественнонаучных дисциплин в познании живой и неживой природы. В круг ее интересов входят любые объекты окружающего мира, которые представляют собой стабильные и устойчивые системы. В качестве систем рассматривает разнородные и разнокачественные объекты, например, атом, клетку, здание, человеческое общество и т.д.

Современное естествознание ищет пути теоретического моделирования самых сложных систем природы, которые способны к самоорганизации и саморазвитию. С помощью синергетики было проведено моделирование сложных самоорганизующихся систем: от молекулярной физики и автоколебательных процессов в химии до эволюции звезд и космологических процессов, от морфогенеза в биологии и некоторых аспектов функционирования мозга до флаттера крыла самолета, от электронных приборов до формирования общественного мнения и демографических процессов [2: 34; 5: 88]. Для выявления общих закономерностей самоорганизующихся систем, синергетика использует методы из нелинейной неравновесной термодинамики. Самоорганизующаяся система является сложной и состоит из большого количества элементов. При определенных условиях в системе нарастает неравновесность, и она переходит в неустойчивое состояние. Новое неустойчивое состояние система приобретает за счет скачка и быстрой перестройки элементов системы. Обновленное качественное состояние система приобретает в результате появления новой упорядоченной структуры. Система движется к одному из возможных своих состояний случайно [3: 45]. Все предметы и явления живой и неживой природы представляют собой открытые системы. Системой является совокупность элементов определенного целостного образования, между которыми устанавливается взаимосвязь и взаимодействие, что приводит к появлению новых свойств, присущих системе в целом [6: 95]. Например, молекула поваренной соли – NaCl – это химическая природная система, состоящая из атома натрия и атома хлора. Натрий (Na) является типичным металлом. Он обладает металлическим блеском и пластичностью, проводит тепло и электрический ток. А хлор (Cl_2) при обычных условиях является ядовитым газом желто-зеленого цвета с резким запахом. Молекула же NaCl представляет собой белое кристаллическое вещество, хорошо растворимое в воде, соленое на вкус. Свойство системы, обуславливающее появление новых свойств и качеств, не при-

сущих элементам, входящих в состав системы называется эмерджентностью (от англ. emerge – появляться, возникать).

Источником, носителем эмерджентных свойств является определенная структурированность системы: при разных структурах у систем, образуемых из одних и тех же элементов, возникают разные свойства. Эмерджентность рассматривают как форму выражения закона диалектики перехода количественных изменений в качественные. Для появления нового качества достаточно объединить в целое хотя бы два элемента. Водород (H_2) и кислород (O_2) это молекулы газообразных веществ, соединяясь, они образуют молекулу воды, которая является жидкостью и приобретает совершенно новые свойства. Необходимо обратить внимание, что у системы также есть и не эмерджентные свойства, одинаковые со свойствами ее частей (например, для технических систем это объем, масса).

Интересным случаем, когда части системы обладают свойствами системы в целом, является так называемое фрактальное построение системы. Фракталы наблюдаются в природе, например, иерархическое управление в живых организмах, тождество организации на различных уровнях в естественно растущих системах – биологических, геологических, демографических и т.п. Общим свойством любой природной системы является целостность. Под целостностью понимают зависимость каждого элемента системы, его свойств и отношений в системе от его места, функций и т.д. внутри целого. Таким образом, воздействие на один или несколько элементов системы обязательно вызывает ответную реакцию, и изменение других элементов. Через взаимодействие и взаимосвязь элементов, система существует и выполняет свои функции в природе. Например, в человеческом организме в одну секунду совершается примерно 15 миллиардов актов реакций, многие из которых давно и хорошо изучены. Для живого специфичен определенный порядок этих реакций, их последовательность и объединение в целостную систему [4: 89]. Специфическим для живых тел, прежде всего, является то, что в них эти отдельные реакции определенным образом организованы во времени, сочетаются в единую целостную систему, наподобие того, как отдельные звуки сочетаются в какое-либо музыкальное произведение, например симфонию. Факторы внешней среды могут оказывать воздействие на любую природную систему, но она может функционировать, не меняясь, если сохраняет свои свойства. В этом проявляется устойчивость системы, которая противодействует ее разрушению и обеспечивает существование системы во времени, делая природные системы эмпирически фиксируемыми. Устойчивость любой системы не является абсолютной, поскольку внутренние процессы и внешние воздействия изменяют её.

Живые организмы характеризуются сложной упорядоченной структурой, их самоорганизация значительно выше, чем в неживой природе. Они существуют в стационарном состоянии и представляют собой физико-химические системы, которые в течение длительного эволюционного времени вырабатывали разнообразные анатомические, биохимические, физиологические и поведенческие адаптации. Адаптации возникают в ответ на действия конкретных факторов, поэтому они всегда относительны и целесообразны. С появлением адаптаций природные системы могут длительно и стабильно существовать. В 1932 г. американский физиолог Уолтер Кэннон, для обозначения относительного динамического постоянства состава и свойств внутренней среды, а также устойчивости основных функций системы, ввел термин гомеостаз (от греч. *homoios*-тот же; *stasis*-состояние) [4: 81].

Согласно современным научным представлениям, элементарным процессом эволюции является самоорганизация, которая реализуется не только через взаимодействия системы с факторами внешней среды, но и заложенной в систему генетической информации. Процессы, протекающие в открытых системах, проявляют способность к самоорганизации, когда из хаоса самопроизвольно возникают упорядоченные структуры, когда системы подвержены колебаниям, благодаря которым они движутся к относительно устойчивым структурам [7: 263]. Непрерывно обмениваясь веществом, энергией и информацией с окружающей средой, природные системы проявляют открытость. Осуществляя такой обмен, система демонстрирует устойчивость и функционирует в условиях внешнего противодействия, а опираясь на целостность, гомеостаз и адаптации проявляет сложное и разнообразное поведение [6: 90]. Природные системы могут осуществлять энергоинформационный обмен и с помощью различного рода полей, которые связывают их с Космосом. Важнейшим свойством открытых систем является нелинейность, которая связана с постоянным выбором путей развития открытых самоорганизующихся систем. В реальных системах незначительные флуктуации, как правило, подавляются, и система остается стабильной. Если же силы, действующие на систему, становятся достаточно большими и вынуждают ее далеко уйти от положения равновесия, то состояние системы становится неустойчивым.

Исследуя динамику сильнонеравновесных систем, И. Пригожин пришел к выводу: «Когда система, эволюционируя, достигает точки бифуркации, детерминистическое описание становится непригодным. Флуктуация вынуждает систему выбрать ту ветвь, по которой будет происходить дальнейшая эволюция системы. Переход через бифуркацию – такой же случайный процесс, как бросание монеты. Существование неустойчиво-

сти можно рассматривать как результат флуктуации, которая сначала была локализована в малой части системы, а затем распространилась и привела к новому макроскопическому состоянию» [5: 60]. Большой взрыв, рождение, жизнь и смерть галактик и звезд – это нелинейные процессы. Солнечная система является нелинейной, что вызвано, в частности, нелинейной зависимостью силы всемирного тяготения от расстояния. Как правило, нелинейными являются процессы на Солнце и на планетах, а также внутри их. Большинство процессов на Земле, внутри ее и во внешних оболочках также нелинейны. Сюда относятся землетрясения, цунами, вулканизм, вихри в атмосфере и океане. Активно взаимодействуя с внешней средой, открытые неравновесные системы могут приобретать особое динамическое состояние – диссипативность. Это состояние, возникающее в неравновесной системе при условии диссипации (рассеивания) энергии, и получения новой энергии из окружающей среды. Благодаря диссипативности, в неравновесных системах могут спонтанно возникать новые типы структур, совершаются переходы от хаоса и беспорядка к порядку и организации, возникают новые динамические состояния материи. Диссипативная система (или диссипативная структура, от лат. *dissipatio* – «рассеиваю, разрушаю») – это открытая система, которая оперирует вдали от термодинамического равновесия [6: 153]. Примером образования структур нарастающей сложности служат ячейки Бенара [7: 179].

Сложными диссипативными структурами являются и живые организмы [8: 95]. Источником жизни для них служит Солнце, солнечная энергия характеризуется высоким качеством и имеет низкую энтропию. Автотрофные организмы, используя энергию Солнца, производят органические вещества (белки, липиды, углеводы и др.) с низким уровнем энтропии. Этими веществами питаются гетеротрофы. Пища обеспечивает живые организмы энергией высокого качества. Расщепляясь в живых системах питательные вещества, повышают свою энтропию и выводятся, но за счет этого обеспечивается понижение энтропии в организме, например, протекание биохимических реакций синтеза белков, нуклеиновых кислот. Благодаря обмену энергией и веществом, диссипативные системы могут поддерживать собственную организацию путем самообновления и самовосстановления. В живой природе самообновление связано с явлением самовоспроизведения, например на молекулярном уровне, это синтез белка, репликация ДНК, на субклеточном уровне это сборка микротрубочек, образование митохондрий, рост мембран и т.п. [5: 123]. Например, живые организмы забирают упорядоченные структуры (пищу) из окружающей среды, используют их как ресурсы для своих метаболических процессов и рассеивают их как структуры

низшего порядка (отходы). По мнению И.Р. Пригожина, «порядок парит в беспорядке»; при этом общая энтропия продолжает возрастать в соответствии со вторым законом термодинамики [5: 70].

Таким образом, возникнув из неравновесной термодинамики, синтеза естественнонаучных знаний, синергетика направлена на раскрытие механизмов самоорганизации сложных природных и социальных систем. Благодаря синергетике появилось понимание единства мира, понимание того, что чередование порядка и хаоса являются универсальным принципом мироустройства.

Библиографический список

1. Аршинов В.И. Синергетика как феномен постнеклассической науки. М.: Прогресс, 1999, 123 с.
2. Василькова В.В. Порядок и хаос в развитии социальных систем: Синергетика и теория социальной самоорганизации. СПб.: Лань, 1999. 187 с.
3. Князева Е.Н., Курдюмов С.П. Основания синергетики: Режимы с обострением, самоорганизация, темпомиры. СПб.: Алетейя, 2002. 414 с.
4. Мир вокруг нас: Беседы о мире и его законах / В.Г. Астахова, Е.В. Дубровский, И.И. Жерневская и др. М.: Политиздат, 1983. 197 с.
5. Пригожин И. От существующего к возникающему: Время и сложность в физических науках. М.: Наука, 1985. 206 с.
6. Трубецков Д.И., Мчедлова Е.С., Красичников Л.В. Введение в теорию самоорганизации открытых систем. 2-е изд., М.: Физматлит, 2005. 212 с.
7. Хакен Г. Синергетика. Иерархия неустойчивостей в самоорганизующихся системах и устройствах. М.: Мир, 1985, 423 с.
8. Хакен Г. Тайны природы. Синергетика: учение о взаимодействии. М.–Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2003. 320 с.