БИОЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ В СОВРЕМЕННОЙ ЕСТЕСТВЕННОНАУЧНОЙ КАРТИНЕ МИРА (Часть II)

Цибулевский А.Ю.
Российский государственный медицинский университет, Москва
Подробная информация об авторах размещена на сайте
«Учёные России» - http://www.famous-scientists.ru

Изложены ключевые положения главных системных концепций современного естествознания — системологии (общей теория систем) и синергетики (теории самоорганизующихся систем). Рассмотрены основные свойства системных объектов: дискретность, элемент, связи, структура, паттерн, организация, целостность, интеграция, иерархия, управление, самоорганизация. Охарактеризованы особенности биологических систем: обмен веществ, итеративность, дискретность (пространственная и временная), избыток структурных элементов и связей между ними, наследственность и изменчивость, способность к самоорганизации и саморазвитию, раздражимость и возбудимость, способность к адаптации, самовоспроизведение (размножение).

Основные понятия и положения синергетики (продолжение)

Хаос. Теория самоорганизующихся систем по-новому трактует понятие хаоса. Хаос рассматривается как многогранный материальный фактор, который не только разрушает системы и процессы, но и обладает потенциальной творческой силой, способствуя возникновению новых объектов и явлений. Раскрывая эту сторону его «деятельности», следует указать, что, во-первых, хаос необходим для начального самоструктурирования нелинейных систем. Кроме того, он содействует резонансной интеграции простых субструктур в общую сложную структуру, согласованию скоростей их эволюции. И, наконец, хаос может выполнять роль механизма переключения, смены сценариев эволюции системы, переходов от одной относительно стабильной конструкции к другой. ***Самоорганизация*** — процесс самопроизвольного возникновения порядка и организации из беспорядка и хаоса. Важное условие самоорганизации системы — наличие петли положительной обратной связи системы и среды. Только в этом случае процесс самоорганизации приобретает прогрессивный характер и эффективно противостоит тенденции его разрушения окружающей средой. Самоорганизующиеся системы, будучи сложными объектами, характеризуются большим числом степеней свободы. По мере развития системы из них выделяется ограниченное число доминирующих, к которым «подстраиваются» остальные. Именно эти основные степени свободы (называемые странными аттракторами) определяют возможные направления эволюции открытой нелинейной системы. Поскольку для аналитического описания аттракторов применяются методы, основанные на многократном повторении (итерации) одной и той же математической операции с незначительными флуктуациями того или иного параметра (параметров) графическое изображение аттракторов выглядит как семейство замкнутых кривых, образующих в пространстве характерную фигуру (рис.1.2.). Отличительной чертой самоорганизующихся систем является высокая чувствительность к начальным условиям. Малейшие изменения в начальном состоянии системы могут привести к непредсказуемым крупномасштабным последствиям. Таким образом, динамика этого процесса носит сложный, далекий от линейного, характер. На пути его развития могут встречаться переломные моменты (точки бифуркации), когда дальнейшая судьба системы принципиально неизвестна: перейдет ли она в состояние хаоса или преобразуется в качественно иную структуру с более высоким уровнем упорядоченности.

Некоторые другие системные концепции. Из прочих научных концепций, идейно связанных с системологией и синергетикой, необходимо выделить теорию автопоэза и теорию фракталов.

Теория автопоэза. (У.Матурана, Ф.Варела). Согласно этой теории сложные системы (биологические, социальные и др.) характеризуются двумя основными свойствами. Первое свойство — гомеостатичность, которая обеспечивается механизмом круговой организации. Сущность этого механизма заключается в следующем: элементы системы существуют для производства функции, а эта функция – прямо или косвенно – необходима для производства элементов, которые существуют для производства функции и т.д. Второе свойство — когнитивность: в процессе взаимодействия с окружающей средой система как бы «познает» ее (происходит соответствующее преобразование внутренней организации системы) и устанавливает такие границы области взаимоотношений с ней, которые допустимы для данной системы, т.е., которые не ведут к ее разрушению или утрате автономности. При этом данный процесс носит прогрессивный характер, т.е. на протяжении онтогенеза системы область ее отношений со средой может расширяться. Поскольку накопленный опыт взаимодействий с внешней средой фиксируется в организации системы, это существенно облегчает преодоление аналогичной ситуации при повторном столкновении с ней. Теория фракталов. (Б.Мандельброт). При изучении строения различных объектов природы была выявлена общая закономерность их геометрических характеристик. Так, установлено, что характерный для данного объекта геометрический «мотив» многократно повторяется на всех уровнях его структурной организации. Иными словами, элементы объекта на любом уровне по форме аналогичны целому, т.е. объект обладает свойством самоподобия (рис.1.3.). Такого рода структуры получили название фракталов. В качестве примеров можно привести структуру кровеносного русла (рис.1.4), русла реки, кроны дерева, контура береговой линии морей и океанов и др. Отличительной особенностью фракталов является их *дробная* размерность. Привычные объекты окружающего мира, как правило, характеризуются цельной размерностью: у точки она равна нулю, у линии - единице, у поверхности – двум, у объемного тела – трем, у процесса изменения тела во времени – четырем. Существенно, что фрактальная размерность заполняет эти промежутки. Примером может служить операция вписывания ломаной линии в линию берега водоема. При этом длина ломаной линии (одномерная величина) с увеличением масштаба карты (двумерная величина) стремится к беспредельному росту. Но поскольку площадь карты конечна, данная кривая будет иметь размерность больше единице, но меньше двух. Применительно к природным объектам, в первую очередь, биологическим, полагают, что фрактальный рост дает возможность устанавливать структурные, функциональные и генетические связи между пространствами разных размерностей. Так, посредством капилляров, имеющих размерность между единицей и двойкой, и сети сосудов, размерность которой лежит между двойкой и тройкой, обеспечивается кровоснабжение таких объемных структур как ткани и органы. Разработан специальный математический аппарат, который, с одной стороны, является адекватным инструментом для формального описания систем, имеющих фрактальную структуру, с другой, открывает возможности для конструирования широкого спектра искусственных фракталов. Полученные в этом направлении результаты применяются для моделирования различных объектов. Дальнейшие исследования в области фрактальной геометрии и синергетики выявили глубокие органические связи между этими научными направлениями. Оказалось, что математический язык фракталов точно и корректно описывает тонкую структуру аттракторов.

Биологические объекты как системы. С позиций системного подхода биологические объекты условно подразделяются на корпускулярные (дискретные) и «жесткие» системы. ***Корпускулярные (дискретные) системы*** состоят из множества относительно автономных и в определенной мере взаимозаменимых единиц.

При этом связи между элементами множества могут быть слабыми или практически отсутствовать. Главным системообразующим фактором является их отношение к среде, которое «заставляет» их вести себя сходным образом (особи в популяции, форменные элементы в потоке крови, гены в генофонде вида). Такие системы отличаются большой пластичностью: в силу относительной независимости их элементы способны к разнообразным перестановкам и комбинаторике. Благодаря этим свойствам значительно облегчается приспособление систем к ненаправленно изменяющимся условиям среды. Процессы отбора в них протекают с высокой эффективностью. ***«Жесткие» системы*** характеризуются жестко фиксированными (не в механическом, а в организационном смысле) связями между составляющими их элементами и подсистемами. При этом функциональная полноценность каждой части системы является необходимым условием функционирования системы в целом. Как правило, уровень организации таких систем значительно превосходит таковой составляющих их частей. Однако, в плане гибкости, способности к быстрым перестройкам они уступают корпускулярным системам. При полной «жесткости» связей эффективность функционирования такого рода систем определяется «принципом наименьших», согласно которому в системе имеется наиболее слабое звено, лимитирующее ее «жизнедеятельность» (пр.: ферментативные ансамбли метаболизма, системы органов животных и человека). В действительности эти два полярных типа систем в «чистом» виде почти не встречаются. При анализе сложных биологических объектов (биоценозы, многоклеточные организмы и др.) выявлено несколько способов их гармоничного сочетания. При первом способе имеет место закономерное чередование корпускулярного и жесткого типов организации при переходе от низших структурных уровней к более высоким: диплоидный набор хромосом (корпускулярность), взаимоотношения ядра, цитоплазмы и плазмалеммы (жесткие связи), множество клеток одной ткани (корпускулярность), взаимоотношения определенных тканевых структур в органе (жесткие связи), набор органов (корпускулярность), взаимоотношения систем органов (жесткие связи), множество особей одного пола (корпускулярность), взаимодополняемость полов (жесткие связи). Другой способ совмещения корпускулярного и «жесткого» принципов организации реализуется в биологических системах «звездного» типа, причем, на одном структурном уровне. В «центре» такой системы находится орган (как правило, характеризующийся эволюционной консервативностью), связанный тесными связями с определенным множеством «периферических» органов (признак «жестких» систем). Вместе с тем «периферические» органы, находясь в зависимости от «центрального», совершенно независимы друг от друга, прежде всего, в эволюционном плане. Это означает, что структуры, располагающиеся на периферии «звездных» систем, могут свободно эволюционировать и приводить к совершенно различным эволюционным результатам (признак корпускулярных систем). Примером может служить эндокринная система позвоночных животных. Так, «ось» гипоталамус – гипофиз - половые железы (центр системы) определяет развитие вторичных половых признаков – рога у оленей, грива у львов, характерное оперение у птиц, голосовой аппарат и гребень – у земноводных, яркая расцветка – у рыб (периферия системы).

Системный подход к биологическим объектам позволил выявить ряд присущих им *характерных особенностей*. ***Обмен веществ*** между элементами (подсистемами) внутри системы и системой и окружающей средой, организованный во времени и в пространстве и сопровождающийся преобразованием элементов системы; рециркуляция веществ на всех уровнях организации системы. ***Итеративность*** – многократное повторение одной и той же операции (размножение организмов, репликация нуклеиновых кислот, циклы биохимических реакций, ферментативный катализ и др.). ***Дискретность***. Биосистемы состоят из набора относительно автономных структурных единиц различного ранга. Их разнообразные функции обеспечиваются путем комбинации небольшого числа стан-

дартных функциональных блоков — идентичных для большинства организмов молекул и надмолекулярных комплексов. Дискретность биологических систем *во времени* заключается в том, что время их существования конечно. Важной особенностью временной организации биологических систем является то, что продолжительность существования составляющих их подсистем и элементов, как правило, значительно различаются. При этом наблюдается следующая закономерность: чем ниже ранг подсистемы (элемента), тем короче время ее (его) жизни. Однако прекращение существования подсистемы (элемента) как физической единицы не означает более или менее быстрое исчезновение множества элементов, членом которого она (он) является. Их количественный баланс и качественные характеристики поддерживаются сформировавшимися в эволюции специальными механизмами (размножение, физиологическая регенерация и др.), благодаря чему и обеспечивается целостность и преемственность биологических систем во времени. Наиболее наглядно эта закономерность прослеживается на организменном (онтогенетическом) уровне организации живой природы. Смерть является неизбежным финалом индивидуального развития отдельных особей. Вместе с тем, благодаря их способности к размножению вид, который они представляют, может существовать длительное время. ***Избыток*** структурных элементов и связей между ними позволяет повысить надежность биосистем и их устойчивость к повреждающим факторам, а также обеспечить им свойство пластичности – способности легко переходить из одного режима функционирования в другой. ***Наследственность и изменчивость*** одновременно обеспечивают хранение, использование и передачу биологической информации, а также необходимый уровень ее неоднородности (разнообразия). Способность к ***самоорганизации и саморазвитию*** — формирование целостных организмов на основе реализации собственной наследственной информации и самоупорядочение составляющих их элементов и подсистем. Для поддержания высокого уровня упорядоченности элементов системы необходим постоянный приток веществ и энергии из окружающей среды. Наряду с вышеуказанными к характерным свойствам биосистем необходимо отнести ***раздражимость*** и ***возбудимость, способность к адаптации*** и ***самовоспроизведение (размножение)***.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Берталанфи Л. Фон. История и статус общей теории систем// в кн.: Системные исследования. Ежегодник. М, 1973

2. Блауберг И.В., Юдин Э.Г. Становление и сущность системного подхода. М, Наука, 1973, 270 с.

3. Богатых Б.А. Фрактальные структуры живого и эволюционный процесс//Журнал общей биологии, 2006, 4, С.243-255

4. Богданов А.А. Всеобщая организационная наука (тектология).

3-е изд. М, Берлин, 1925-1929, Т.1-3

5. Волкова В.И., Денисов А.А. Основы теории систем и системного анализа. СПб, Изд. СПбГТУ, 1997, 510 с.

6. Капра Фритьоф Паутина жизни. София, 2003, 335 с.

7. Князева Е.Н., Курдюмов С.П. Законы эволюции и самоорганизация сложных систем. М, Наука, 1994

8. Малиновский А.А. Тектология. Теория систем. Теоретическая биология. М, Едиториал УРСС, 2000.

9. Найдыш В.М. Концепции современного естествознания. М, Альфа-М, 2005, 621 с.

10. Пайтген А.О., Рихтер П.Х. Красота фракталов. М, Мир, 1993

11. Пригожин И., Стенгерс И. Время. Хаос. Квант. К решению парадокса времени. М, Эдиториал, 2000

12. Хлебович В.В. Уровни гомеостаза//Природа, 2007, 2, С.63-65

13. Чайковский Ю.В. Наука о развитии жизни. М, Товарищество научных изданий, 2006, 712 с.

14. Шаповалов В.И. Основы синергетики: макроскопический подход. М, Исто-Сервис, 2000.

BIOLOGICAL SYSTEMS IN PRESENT-DAY SCIENTIFIC WORLD VIEW (Part II)

Tsybulevsky A.Yu.
Russian state medical university, Moscow

Key positions of the main system concepts of modern natural sciences —systemology (to the common theory of systems) and synergetrics (the theory of self-organizing systems) are stated. The basic properties of system objects are considered: step-type behaviour, an element, connections, structure, a pattern, the organization, integrity, integration, hierarchy, management, self-organizing. Features of biological systems are characterized: a metabolism, iteration, step-type behaviour (spatial and time), surplus of structural elements and connections between them, a heredity and variability, ability to self-organizing and self-development, irritability and excitability, ability to adaptation, self-reproduction.