БИОЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ В СОВРЕМЕННОЙ ЕСТЕСТВЕННОНАУЧНОЙ КАРТИНЕ МИРА (часть I)

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).

За последние четверть века в естествознании возникло, оформилось и активно развивается масштабное междисциплинарное движение (иногда называемое теорией динамических систем), направленное на исследование сложных открытых систем (космических, биологических, социальных и др.). В его структуре представлено множество теорий, концепций и гипотез, но стратегическими, безусловно, являются системология и синергетика. Именно последние во главу угла ставят изучение общих закономерностей возникновения и эволюции сложных систем различной природы, выявление фундаментальных принципов их организации и функционирования.

Основные понятия и положения системологии (А.А.Богданов, Людвиг фон Берталанфи). Системология - область научного знания, ставящая своей целью описание объекта (явления) как элемента некоторой системы с учетом его взаимосвязей с другими элементами, что позволяет выявить *общие* свойства, характерные для определенных классов объектов (явлений). ***Системой*** называется целостный объект, состоящий из взаимосвязанных элементов. ***Дискретность*** (прерывность) предполагает, что система состоит из отдельных структурных единиц – элементов. ***Элемент*** представляет собой наименьший объект системы, обладающий определенными только ему присущими свойствам и находящийся в определенных отношениях с другими элементарными объектами в пределах данной системы. Независимо от степени сложности своей организации элемент с точки зрения данной системы рассматривается как неделимый объект (например, система натуральных чисел состоит из целых чисел, а не дробей; экипаж судна состоит из отдельных людей, а не из частей человеческого тела). ***Связи*** – отношения между элементами (подсистемами) системы (внутренние связи) и между системой и окружающей средой (внешние связи). Различают несколько типов внутрисистемных связей: структурные (характеризуют «архитектуру» системы), генетические (отражают преемственность частей системы в процессе ее развития), координационные (обеспечивают согласование элементов и подсистем в процессе функционирования) и др. ***Структура*** – сеть связей между элементами (подсистемами) внутри системы. ***Паттерн*** — определенная *конфигурация упорядоченных взаимоотношений* (организующих связей) между элементами (подсистемами), характерная для конкретного класса систем. Примером может служить совокупность отношений между элементами системы, формирующая обратную связь — передачу информации о результатах определенного процесса к его первоисточнику. В частно-

сти, обратная связь является важнейшим звеном механизма гомеостаза в живых организмах. ***Организация*** означает формирование такой сети связей между элементами (подсистемами) системы, которая ориентирована на достижение последней определенной цели (адекватная, целенаправленная упорядоченность). ***Целостность*** означает несводимость свойств системы к сумме свойств составляющих ее элементов. Система обладает комплексом качественно *новых* характеристик (по сравнению с характеристиками ее частей - элементов, подсистем), являющимся результатом взаимодействия последних между собой, а также установления определенных связей системы с окружающей средой (это свойство систем называется ***эмерджентность***). При этом степень «плотности» связей между элементами системы превышает степень «плотности» ее связей с внешней средой, благодаря чему достигается относительная независимость системы от окружающей среды. ***Системообразующими*** являются те факторы, которые на данном этапе развития системы играют ведущую роль в поддержании ее целостности. Совокупность механизмов, обеспечивающих целостность системы, называется ***интеграцией***. ***Иерархия*** отражает многоуровневую организацию сложных систем, при которой ее элементы и их множества объединяются в относительно автономные совокупности различного ранга (подсистемы) (рис.1.1.). Отношения между подсистемами разных уровней упорядочены по принципу от высшего к низшему. Иерархическая организация системы предполагает структурную и функциональную дифференциацию, то есть специализацию каждого уровня на выполнении определенного класса задач, причем масштаб последних, как правило, закономерно уменьшается от высшего уровня к низшему. Существенным свойством систем является передача информации внутри них и наличие процессов управления. ***Управление*** – совокупность воздействий управляющей системы (системы управления) на управляемую систему (объект управления), направленных на достижение определенного результата. Обязательным условием эффективного управления является поступление в систему управления ***информации*** о состоянии объекта управления, что позволяет управляющей системе корректировать управляющие воздействия. Системы с контурами обратной связи называются саморегулирующимися системами. Общей чертой процессов управления в сложных саморегулирующихся системах различной природы (биологических, социальных, технических и др.) является установление такого режима управления, при котором значение регулируемого параметра поддерживается вблизи *критических* точек, за которыми процесс катастрофически обрывается. Считается, что при этом достигается наибольшая эффективность управления, поскольку существенные изменения объекта управления могут быть вызванными минимальными воздействиями. Следует различать понятия «управление» и «регуляция (регулирование)». Регуляция является частным случаем управления и направлена на обеспечение постоянства определенного параметра (параметров) системы (например, pH крови у высших позвоночных животных и человека). Для сравнения приведем пример управления — организация процессов с целью поддержания оптимального напряжения кислорода в крови в процессе выполнения человеком физической работы (в данном случае физиологический параметра является не постоянной величиной, а сложной функцией, вид которой существенно зависит от характера прилагаемой нагрузки). Важным аспектом общей теории систем является анализ ***динамики*** систем – процессов, происходящих внутри систем, их «поведения» как отдельных единиц, а также как элементов конечного множества систем, находящихся в определенной среде. В процессе развития систем выделяют такие стадии как возникновение, становление, зрелость и преобразование в качественно новую систему (отмирание прежней системы). Динамичность систем также означает, что даже в стационарной стадии существования с ее элементами (подсистемами) могут происходить различные изменения: появление новых элементов, преобразование имеющихся, исчезновение определенных элементов и даже полная их смена. «Архи-

тектура» связей между элементами при этом также может перестраиваться. Однако важнейшим условием сохранения и эволюции системы как целостного объекта является *преемственность* между элементами (подсистемами) и типами связей на всем протяжении ее развития. Одним из результатов исследования общей динамики систем явилась разработка понятий квантования «жизнедеятельности» систем и системоквантов. Сущность их заключается в том, что процессы, протекающие на всех уровнях организации системы, а также «поведение» системы в целом, имеют дискретный характер (квантованы), то есть состоят из определенного набора «элементарных» событий (операций - системоквантов), закономерным образом организованных во времени. Следует специально отметить, что сложные системы, состоящие из множества взаимосвязанных элементов (подсистем, блоков), могут существовать в различных устойчивых состояниях (определяемых свойствами элементов и характером отношений между ними), число которых *конечно*. Это обстоятельство накладывает достаточно жесткие ограничения на эволюционные возможности таких систем, придавая процессу их исторического развития частично направленный характер. ***Сложность***. Повышение степени сложности системы означает: увеличение числа составляющих ее элементов и подсистем; увеличение числа связей между ними; рост числа уровней структурной организации; увеличение числа элементов и связей системы, работающих в единицу времени (и/или в единице пространства); повышение разнообразия режимов функционирования системы. ***Среда*** – совокупность находящихся вне системы объектов, которые воздействуют на систему или (и) испытывают влияние со стороны системы. Входы системы - связи, посредством которых среда воздействует на систему. Выходы системы – связи, с помощью которых система влияет на среду. Все системы принято классифицировать на материальные (неорганические и живые — биосистемы) и идеальные (абстрактные), к которым относятся понятия, гипотезы, теории и др. Важное место в категориальном аппарате теории систем занимают понятия «модель» и «моделирование». Это объясняется тем, что моделирование является одним из наиболее эффективных методов изучения систем. ***Модель*** – идеальная или материальная конструкция, отражающая наиболее существенные (в контексте конкретного исследования) характеристики системы и абстрагирующаяся от ее несущественных свойств. Основным достоинством модели является возможность относительно простыми средствами изменять ее параметры, оказывать на нее те или иные воздействия с целью изучения динамики системы в различных условиях и предсказывать ее «поведение». Различают натурные (например, модель кристаллической решетки), информационные (например, словесный портрет человека), математические (например, система уравнений, описывающих колебания тока в электрическом контуре) и другие модели. В качестве примеров успешного моделирования биологических объектов (процессов) можно привести математическую модель взаимодействия в системе «хищник-жертва» с последующими эволюционными изменениями, математическую модель процесса проведения электрических импульсов по нервному волокну, полную (поатомную) действующую компьютерную модель рибосомы и др.

Основные понятия и положения синергетики (И.Р. Пригожин)

Синергетика – область научного знания, изучающая общие закономерности возникновения, развития и структуры сложных открытых нелинейных диссипативных систем, далеких от равновесия. Рассмотрим их основные свойства. ***Открытость.*** Открытыми считаются системы, определенное состояние которых поддерживается за счет непрерывного обмена веществом, энергией и информацией с окружающей средой. При этом данный обмен происходит в каждой точке (элементе) системы, то есть носит *объемный* характер. ***Неравновесность*** открытых систем является результатом взаимодействия двух противоположных сил. Действие одной силы направлено на порождение и фиксацию неоднородностей, структурирование системы, определенную локализацию ее элементов, другой – на деструктурирова-

ние системы, «размывание» неоднородностей. Очевидно, что, если преобладает первая сила, то в открытой системе начинается процесс *самоорганизации*, если верх берет вторая сила, то система рассеивается, превращается в хаос. Если временно устанавливается динамическое равновесие этих сил, то в дальнейшем развитии системы решающую роль могут играть *случайные* факторы. Следует подчеркнуть, что открытые системы характеризуются *необратимостью*, для них существенное значение имеет фактор времени. ***Нелинейность.*** Существенно, что неравновесные системы «строят» свои отношения с окружающей средой на *избирательной* основе. Даже слабые воздействия, если они адекватны собственным тенденциям развития системы, могут оказывать значительное влияние на ее динамику. И, напротив, сильные, но не соответствующие внутренней динамике системы факторы, могут не оказывать на ее эволюцию заметного эффекта. Потому для сложных открытых систем возможны ситуации, когда результат совместного действия на нее различных факторов существенно отличается от эффектов, оказываемых этими факторами по отдельности. Открытые нелинейные системы, как правило, находятся в состояниях, далеких от равновесия. В таких ситуациях очень слабые возмущения могут усиливаться до гигантских волн, коренным образом преобразующих структуру систем или разрушающих ее. Иными словами, многие процессы, протекающие в открытых системах, носят *пороговый* характер: при медленном, плавном изменении внешних условий поведение системы на макроуровне изменяется скачкообразно. Для каждой конкретной системы существует определенный «интервал нелинейности», в пределах которого усиление нелинейности способствует образованию локальных структур и их разнообразию, установлению связей между ними и, как результат, усложнению организации системы. Важно отметить, что количество вариантов сценария дальнейшей эволюции системы в этих условиях существенно увеличивается. Характерной особенностью нелинейных систем является их способность создавать неоднородности в окружающей среде. При этом в их взаимоотношениях могут возникать петли положительной обратной связи, то есть система может влиять на среду таким образом, что в среде формируются условия, вызывающие изменения в самой системе. Примером может служить ферментный каскад – особая метаболическая система, обеспечивающая быструю наработку большого количества определенного продукта в ответ на специфический сигнал. ***Диссипативность.*** Диссипация (от лат.dissipatio – рассеивать, разгонять) формально выражает тенденцию к упрощению (размыванию) организации системы. Практически все объекты природы являются диссипативными системами, так как силы сопротивления (трение и др.) приводят к рассеиванию энергии. В то же время в нелинейных неравновесных системах, активно взаимодействующих с окружающей средой, диссипация, напротив, может выполнять структурообразующую функцию. Дело в том, что такие системы отличаются *избирательностью*, то есть различной чувствительностью к тем или иным внешним и внутренним воздействиям. В этих условиях действие фактора диссипации также носит избирательный характер: он «размывает» одни структуры и способствует образованию других. При этом могут самопроизвольно формироваться новые виды конструкций, осуществляться переходы от хаоса к порядку, возникать новые динамические состояния системы. Существенно, что эти преобразования происходят не из-за внешнего воздействия (оно, как правило, выполняет лишь функцию начального стимула), а за счет перестройки внутренней структуры системы (самоорганизация). Важную роль в этих явлениях играют процессы с положительной (усиливающей) обратной связью.

BIOLOGICAL SYSTEMS IN PRESENT-DAY SCIENTIFIC WORLD VIEW (PART I)

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 synergy (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.