

Приложение. Свойства биосферы как сложной системы

<i>Системное свойство и суть</i>	<i>Пример проявления в биосфере</i>
АВТОНОМИЯ (AUTONOMY). Разнокачественные составляющие системы всегда структурно независимы; функциональные связи, взаимопроникновение, обмен, иерархичность и целостность системы не лишает их самостоятельности.	Относительная автономия проявляется на уровне клеток, органов, организмов, экосистем, в пространстве и событийном поле. На глобальном уровне значительно разобщены и автономны биогеосфера и биогидросфера, где эволюция и существование протекает независимо и в разных условиях.
АВТОПОЭЗИС (AUTOPOIESIS). Способность системы творить, производить и поддерживать себя, создавая собственные части посредством производственной сети в самодостаточном пространстве (термин Maturana, Varela, 1991). Автопоэтическая система (клетка, экосистема) отличается от аллопоэтической системы (сборочный завод, гнездо), и от самоорганизации (кристалл).	Биосфера – крупнейшая автопоэтическая система, которая с момента зарождения жизни творит и воспроизводит себя во времени, порождая подсистемы всех уровней (клетка, организм, сообщество, экосистема), которые, в свою очередь, производят себя, конституируя самодостаточное пространство производства и сети производителей.
АДАПТИВНОСТЬ (ADAPTIVITY). Способность изменяться в ответ на изменения внешней среды или внутренних компонентов так, чтобы поддерживать свою функциональную и структурную устойчивость, выполнять задачи, защищать целостность.	Эволюционное развитие дыхательных систем, эукариотных и многоклеточных форм в периоды возрастания концентрации O ₂ в биосфере.
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ (INTERACTIONS). Взаимные воздействия компонентов системы, вызывающие их изменения, функции, порождение одним компонентом других. Процессы, в которых субъекты взаимодействуют целенаправленно и соревновательно, чтобы реализовать собственные интересы, изучаются в теории игр.	В живых системах организмы и группы проявляют различные каузальные взаимодействия (механические, химические, коммуникативные и др.). На уровне биосферы разнообразные взаимодействия проявляют парцеллы, биоценозы и более крупные подсистемы.
ВЗАИМООТНОШЕНИЯ (RELATIONSHIPS). Обычно подразумеваются взаимоотношения между живыми членами систем: причинно-следственные связи, взаимодействия, топологические взаимосвязи, обратные связи, обмены, симпатии, содружества, семейные и социальные связи	Живые организмы всегда участвуют в экологических взаимоотношениях (конкуренция, хищничество, паразитизм, мутуализм, комменсализм, коммуникация, коллаборация и др.), этологических взаимодействиях и групповых отношениях (от колоний до зусоциальности).
ВЛОЖЕННАЯ ИЕРАРХИЯ (NESTED HIERARCHY). Компоненты сложной системы сами по себе могут быть сложными системами, образуя «матрешечную» структуру с определённой степенью соподчинения.	Вложенную иерархию проявляет биологическая таксономия. В биосфере агенты всех уровней (клетка, организм, популяция, парцелла, экосистема, биом) являются одновременно и целым, и частью иерархической системы (Miller, 2008).
ГАРМОНИЧНОСТЬ (HARMONICITY). Наличие сложных, динамичных, сбалансированных взаимодействий, поддерживающих диссипативное равновесие системы. Гармоничность отношений между частями системы историко-эволюционно возрастает (принцип Лейбница).	В экологических подсистемах (хищник – жертва, паразит – хозяин) происходит гармонизирующая коэволюция; конкуренты расходятся в разные ниши. Нарушенные границы экосистем (берега, опушки) гармонизируются в экотоны. Нарушенные биогеоценозы проходят сукцессию до климаксовой стадии.

<p>ГИСТЕРЕЗИС (HYSTERESIS). Зависимость состояния системы от её предыстории. В отличие от инерционности (монотонного сопротивления системы к изменению её состояния) для гистерезиса характерно явление «насыщения», а также неодинаковость траекторий между крайними состояниями (выраженная остроугольной петлёй на графике).</p>	<p>Гистерезис (нелинейный запаздывающий отклик) проявляет себя на всех уровнях живых систем, особенно в ЦНС. В экологии – как популяционные волны, например, «хищник – жертва». Моделирование экосистем требует учёта предыстории, влияющей на гистерезисные явления. Они усложняют прогностику на уровне биосферы, атмосферы, Мирового океана.</p>
<p>ДИССИПАТИВНАЯ СТРУКТУРА (DISSIPATIVE STRUCTURE). Воспроизводимое устойчивое состояние диссипативной системы – т. е. термодинамически открытой системы, которая функционирует вдали от термодинамического равновесия, в неравновесной среде, при условии диссипации (рассеивания) энергии, поступающей извне (ячейки Бенара, циклон, торнадо). Может быть достигнуто естественной эволюцией или искусственным путём. Антипод – консервативная система. (Термин: Prigogine, Nicolis, 1967)</p>	<p>Биосфера – открытая система, существует исключительно далеко от равновесия, за счёт обмена с окружающей средой (литосфера, атмосфера, космос) потоками вещества и энергии. Подсистемы биосферы (биогеоценозы, сообщества, организмы) также являются диссипативными системами, в пределах которых образуются разнообразные диссипативные структуры. В живых системах действует закон минимума диссипации энергии – экономии энергии (закон Л. Онсангера).</p>
<p>ЖИЗНЕСПОСОБНОСТЬ (VIABILITY). Теория жизнеспособности изучает эволюцию динамических систем при наличии ограничений на состояние системы, управляемости, адаптивности, неопределённости и т. д., ищет управляющее «ядро жизнеспособности» или случайные «тихастические ядра».</p>	<p>При глобальных катастрофах жизнеспособность биосферы обеспечивали естественные рефугиумы; в условиях техногенного кризиса такая роль возлагается на биосферные резерваты.</p>
<p>ИЕРАРХИЧНОСТЬ (HIERARCHY). Система состоит из многих уровней, имеющих каузальную и пространственную соподчинённость (архитектуру сложности) и иерархию взаимодействий. Часть может быть сложнее целого, но подчиняться его стратегии.</p>	<p>В биосфере проявляется генеалогическая иерархия (таксономическая и семейная), экологическая иерархия (каузальное, функциональное и пространственное соподчинение), стратегическая иерархия (например, организм животного сложнее, чем структура колонии, но подчинён её событиям и может быть пожертвован), межсистемная иерархия (незначительное повышение t° среднегодовой поверхности Мирового океана деструктивно действует на тундры, берега, рифы, криоценозы и т.д.)</p>
<p>КОВАРНЫЕ ПРОБЛЕМЫ (WICKED PROBLEMS). Коварная (злостная) проблема возникает в сложной социальной системе, не имеет критериев проблемности и прекращения, её решение не воспринимается как истинная победа. Она обладает устойчивостью, сопротивляется попыткам решения, гиперболизирует этические, идеологические, функциональные противоречия и иррациональные оценки, усугубляет конфликты, провоцирует каскад новых проблем, растягивается в пространстве и времени.</p>	<p>Любые глобальные проблемы и вызовы, касающиеся биосферы и антропосферы, вызывающие полемику вокруг управленческих решений, становятся коварными. Например, глобальное изменение климата называют супер-коварной проблемой (Lazarus, 2009).</p>
<p>ОБРАТНАЯ СВЯЗЬ (FEEDBACK). Процесс, приводящий к тому, что результат функционирования системы влияет на её параметры, активность, производительность – как часть причинно-следственной цепочки. В кибернетике основное внимание уделяется механизмам круговой причинно-следственной связи, цикличности действия и саморегуляции, когда выходной сигнал передаётся на вход.</p>	<p>Концепция обратных связей легла в основу ряда физиологических теорий (К.М. Быкова, П.К. Анохина, М.М. Завадовского), а также технологий биоуправления (biofeedback). Она широко используется в биологии и экологии. На уровне биосферы изучаются обратные связи климатических изменений (Climate change feedbacks), обратные связи почвенного углерода, облачности и аэрозолей, системы «океан – атмосфера» и др. (Soden, Held, 2006)</p>

<p>Различают положительную и отрицательную обратную связь. На множестве обратных связей зиждется стабильность системы.</p>	
<p>РАЗНООБРАЗИЕ (VARIETY, DIVERSITY). В кибернетике У.Р. Эшби в 1956 г. ввёл термин «разнообразие» (Variety) и сформулировал «закон необходимого разнообразия»: разнообразие сложной системы требует управления, которое само обладает достаточным разнообразием (и децентрализовано). Сложная система устойчива, если обладает высоким разнообразием элементов и подсистем. Количественно необходимое разнообразие определяется законом полноты составляющих.</p>	<p>Термин биоразнообразие (biodiversity) получил распространение с 1980-х. Как концепт, биоразнообразие проработали различные направления философии (Faith, 2021). Под биоразнообразием подразумевается таксономическое, морфологическое, генетическое, функциональное и экологическое разнообразие (внутри- и межсистемное, а также надценотическое), т. е. это не только «богатство видов». Величина биоразнообразия признана одним из главных показателей жизнеспособности вида, экосистемы и биосферы. С позиции натуральной экономики биоразнообразие влияет на экосистемные услуги, особенно на обеспечивающие и регулирующие.</p>
<p>РЕЗИЛЕНТНОСТЬ (RESILIENCE). Способность системы сопротивляться факторам возмущения, нарушения, стресса – путём поглощения возмущений, реорганизации и изменения, восстанавливая и сохраняя свою функцию, структуру, идентичность и обратные связи. Проще говоря, это активное и нелинейное сопротивление системы. Характеризуется четырьмя аспектами: широта интервала восстановимости, шаткость (precariousness), уровень резистентности, степень панархии (иерархической гибкости). Достижение порога (точки бифуркации) вызывает критический переход. (Allison, 2004)</p>	<p>Экологическая резилентность (или жизнестойкость, ecological resilience) – важнейшее понятие устойчивости экосистем. Термин введён К.С. Холлингом (Holling, 1973) и используется в экологической политике, законодательстве, менеджменте. Биосфера за свою историю подвергалась экстремальным катастрофическим воздействиям – и проявляла максимальную системную резилентность, всегда восстанавливая свою функциональную структуру.</p>
<p>РЕЗИСТЕНТНОСТЬ (RESISTANCE). Способность системы оставаться неизменной по существу, в течение длительного времени, а также возвращаться к исходному состоянию после нарушающих воздействий.</p>	<p>Резистентность является одним из важнейших аспектов экологической стабильности (stability). Резистентность на уровне биосферы проявляется, например, как миллиардолетняя стабильность микроорганизмов и их сообществ – на фоне катастроф и эволюционных трансформаций растений и животных.</p>
<p>САМОРЕГУЛЯЦИЯ (SELF-REGULATION). Способность системы компенсировать внешние воздействия и сохранять стабильность за счёт её внутрисистемных механизмов, реакций и управляемой активности её компонентов.</p>	<p>Основное свойство организмов и экосистем – способность к саморегуляции и поддержанию динамического равновесия (гомеостаза). Считается, что саморегуляцию автоматически обеспечивают обратные связи, но это свойство гораздо сложнее, и опирается на предысторию биогеоценоза, иерархическую организованность, пространственно-временную структуру, управляемую деятельность организмов и т.д.</p>
<p>СЕТЕВАЯ СТРУКТУРА (NETWORK STRUCTURE). Компоненты сложной системы обычно образуют структурные и функциональные сети, обладающие различной связностью и динамизмом. Их изучает наука о сетях (Network science) и теория графов.</p>	<p>Формирующие экосистемы функциональные взаимоотношения, каузальные и генеалогические связи всегда сетевые; преобладают безмасштабные неоднородные сети, имеющие высокую устойчивость к ошибкам.</p>
<p>СИНЕРГИЯ (SYNERGY). Взаимодействие или сотрудничество агентов, компонентов и факторов системы имеет усиливающий эффект и создаёт эмерджентные изменения в структуре, функциях, продукции системы. Антиподы – диссинергия (негативное взаимовлияние), асинергия (разобщённость, утрата</p>	<p>Синергия более всего проявляется на уровне организма, обеспечивая комплексное функционирование (антагонистов и агонистов), движение, морфогенез, гомеостаз. Синергию эволюции жизни на уровне биосферы и антропосферы изучает П. Корнинг (Corning 2005). Для биосферы характерна устойчивая синергия (sustainable synergy), благодаря которой длительное</p>

<p>сочетанности). Особый практический интерес вызывает корпоративная синергия и медицинский синергизм (комбинированное действие).</p>	<p>время сохраняют единство основные трофические группы (автотрофы, гетеротрофы, детритофаги) и другие базовые компоненты экосистем.</p>
<p>ТЕНСЕГРИТИ (TENSEGRITY). Термин Р.Б. Фуллера (tensional integrity) – подразумевал «напряжённо-связанные» конструкции, в которых жёсткие элементы (стержни) сжаты, а эластичные элементы (тросы) натянуты и очерчивают контур системы. Тенсегрити-система опирается сама на себя, не имеет отправной точки. Воплощает гегелевский принцип единства и борьбы противоположностей.</p>	<p>В живых системах по принципу тенсегрити строится цитоскелет, некоторые ткани и опорно-двигательные системы. Целостная экосистема скрепляется антагонизмом компонентов. Например, жертва, страдая от хищника, получает от него сбалансированную пользу (регуляция, оздоровление, покровительство).</p>
<p>ХОЛИЗМ (HOLISM). Философия целостности, противостоящая редукционизму, основа системной биологии. Термин Дж. Смэтса – подразумевал фундаментальный фактор, способствующий созданию целого во Вселенной (J.C. Smuts, 1926). Системы обладают, помимо свойств составных частей, эмерджентными свойствами целого. В онтологии: целое есть нечто большее, чем сумма его частей. В гносеологии: познание целого должно предшествовать познанию его частей. Целое не сводимо к сумме частей. Целое имеет приоритет по отношению к частям.</p>	<p>Биосфера возникает как сумма живых систем (экосистем и организмов), но неизмеримо сложнее и больше этой суммы. Познанию экосистемы и организма должно предшествовать понимание эволюции и экологии биосферы. Биосфере некорректно отождествлять с организмом или биоценозом, сводя её до собственной части. Биосфера проявляет себя как целое только в глобальном пространстве и геологическом времени.</p>
<p>ЭВОЛЮЦИЯ (EVOLUTION). Сложная адаптивная система постоянно изменяется в пространстве и времени, причём часть изменений необратимы (за счёт появления новых форм и исчезновения старых), что и определяет эволюционный процесс.</p>	<p>Эволюцию жизни на Земле изучает интегративная наука – синтетическая теория эволюции. Основным результатом процесса эволюции в биосфере является нарастание биологической сложности – но не общей адаптивности таксонов: в глобальной биомассе сохраняется преобладание одноклеточных и примитивных форм жизни, они же более устойчивы.</p>
<p>ЭМЕРДЖЕНТНОСТЬ (EMERGENCY). Сложные системы проявляют свойства, невыводимые из суммы свойств компонентов, непредсказуемые, неожиданные. Феномены, порождённые системой или встроенные в неё, могут трансформироваться и проявлять эмерджентные свойства.</p>	<p>Для организма и экосистемы обычна конструктивная эмерджентность, когда надёжная система сложена из ненадёжных и уязвимых компонентов, не способных к самостоятельному существованию (термиты, коралловые полипы). Во всей биосфере живое вещество (по отдельности «лёгкое» и «ненадёжное») определяет устойчивое существование всей планетарной системы.</p>