

УДК 57.011

Гераскина Г.В., Раткевич Е.Ю.

(г. Москва)

ОСОБЕННОСТИ ИЗУЧЕНИЯ БИОЛОГИЧЕСКОЙ КАРТИНЫ МИРА В КУРСЕ «КОНЦЕПЦИИ СОВРЕМЕННОГО ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ»

Аннотация. В работе обосновывается использование системного подхода при изложении материала по биологической картине мира в курсе «Концепции современного естествознания». При таком подходе концепции каждого биологического уровня описываются с позиции общей теории систем, т. е. системные свойства раскрываются на конкретных примерах, что способствует более глубокому пониманию студентами общих закономерностей организации и функционирования биологических объектов и осознанию их места в общем иерархическом ряду природных систем.

Ключевые слова: системный подход, иерархия, эмерджентность, обратная связь, самоорганизация, эволюция.

G. Geraskina, E. Ratkevich

(Moscow)

PECULARITIES OF STUDYING THE BIOLOGICAL WORLDVIEW IN THE COURSE OF "THE CONCEPT OF MODERN NATURAL HISTORY"

Abstract. This work suggests using the systems approach in presenting materials for studying the biological worldview in the course of studying "The Concept of Natural History". According to this concept every biological system is described from the standpoint of general system theory. That is, its system features are described on certain examples which enhance students' understanding of general laws of biological entities organization and functioning, as well as understanding of their role in the general hierarchy of natural systems.

Keywords: systems approach, hierarchy, emergentness, feedback, self-organization, evolution

Курс «Концепции современного естествознания» в структуре ООП ВПО относится к блоку базовых дисциплин математического и естественнонаучного цикла и имеет целью формирование у выпускников вузов целостного естественнонаучного мировоззрения. Поскольку составными частями современного естествознания являются физика, химия и биология, то в задачу преподавателя входит выбор такой логики изложения материала, чтобы курс не превратился в механическое соединение различных концепций. В качестве такой единой формы организации лекционного материала

мы предлагаем использовать системный подход. В отличие от дисциплинарного подхода, когда в каждой области естествознания исследовались специфические закономерности организации и функционирования изучаемых объектов, системный подход дает возможность раскрыть более глубокие закономерности, характерные для широкого круга объектов и явлений, бывших ранее предметом изучения отдельных наук. Такой подход соответствует постнеклассическому этапу развития науки, когда в основу научного мировоззрения были положены принципы самоорганизации и глобального эволюционизма. Становление современного этапа было связано с переходом от изучения детерминистских систем к изучению стохастических, в которых имеют место массовые или повторяющиеся события и явления, в силу чего прогноз поведения таких систем имеет вероятностный характер (рис. 1).

Сущность системного подхода вытекает из понятия системы как совокупности элементов, находящихся в отношениях и связях между собой и образующих определенную целостность. Исходя из этого при характеристике каждой конкретной системы необходимо указать, из каких компонентов она состоит и как они взаимосвязаны, какие функции выполняет система и в чем при этом заключается роль каждого компонента. Нужно показать связь данной системы с другими природными системами, раскрыть механизмы, лежащие в основе устойчивости системы, а также описать механизмы и эта-

Рис. 1. Развитие науки нового времени.

Развитие науки нового времени			
Время	Этап	Дисциплины, лежащие в основе научного мировоззрения	Идеалы научного знания
17-18 в. н.э.	Классический (изучение закрытых систем)	Механика Оптика Теплота	Простота, линейность, исключение неопределенности
Конец 19 в.	Неклассический (изучение открытых систем)	Теория относительности. Квантовая механика. Статистическая физика	Вероятностный стиль мышления
Конец 20 в.	Постнеклассический (совместное изучение открытых систем и окружающей среды)	Эволюционизм Синергетика	Системность, нелинейность

пы эволюции системы. Принципиальное отличие системы от других совокупностей элементов (так называемых «агрегатов») заключается в том, что взаимодействие ее компонентов приводит к возникновению особых интегративных (или системных) качеств, не присущих отдельным компонентам. Проявление этого свойства интегративности (или эмерджентности) можно продемонстрировать на примере популяции, доказав, что ей присущи как свойства входящих в нее организмов (например, рост, дифференциация, саморегуляция), так и особые свойства (рождаемость, смертность, плотность, возрастная структура и др.), которые являются, по сути, статистическими характеристиками и поэтому не могут быть присущи отдельному организму.

При описании связей изучаемой системы с другими природными системами необходимо ввести такие понятия из общей теории систем, как структурный уровень и иерархичность, что даст возможность построения иерархических рядов как для конкретной системы, так и для всего комплекса природных систем, и тем самым определить место каждой системы в общем иерархическом ряду (рис. 2).

Введение понятия структурный уровень позволяет организовать изложение материала в соответствии с выделенными в биологии уровнями: молекулярно-генетическим (рис. 3), клеточным (рис. 4), онтогенетическим (рис. 5), популяционно-биоценотическим (рис. 6) и биосферным.

Рис. 2. Природные системы и их взаимосвязь.



Рис. 3. Концепции молекулярно-генетического уровня.



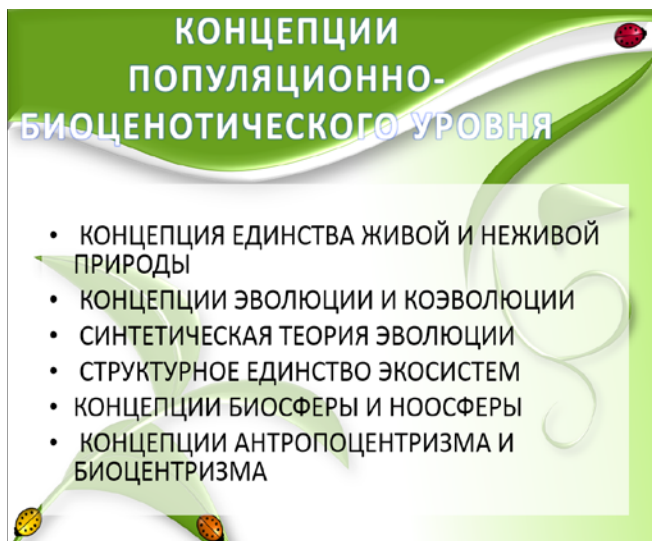
Рис. 4. Концепции клеточного уровня.



Рис. 5. Концепции онтогенетического уровня.



Рис. 6. Концепции популяционно-биоценотического уровня.



Если порядок изложения материала организован в соответствии с иерархией подсистем, то само изложение строится как последовательное раскрытие в каждом биологическом объекте наличия общесистемных качеств – способности к самоорганизации, саморегуляции и эволюционному развитию. Проявление всех этих качеств основано на таких свойствах природных систем, как открытость, нелинейность, большое внутреннее разнообразие и наличие механизмов обратной связи.

Внутреннее разнообразие биологических объектов на молекулярном уровне проявляется как в разнообразии классов молекул, так и в способности сложных биомолекул принимать различные пространственные конфигурации (рис. 7).

Отдельные клетки также имеют сложную внутреннюю организацию, что проявляется в существовании большого количества внутриклеточных структур, выполняющих различные специфические функции (рис. 8).

На тканевом (рис. 9) и онтогенетическом (рис. 10) уровнях разнообразие элементов системы проявляется в разнообразии клеток и тканей многоклеточных организмов, а также в огромном видовом разнообразии.

На популяционно-биоценотическом и биосферном уровнях существует большое разнообразие популяций, биоценозов и биогеоценозов (рис. 11).

Рис. 7. Внутреннее разнообразие на молекулярном уровне.



Рис. 8. Внутреннее разнообразие на клеточном уровне.



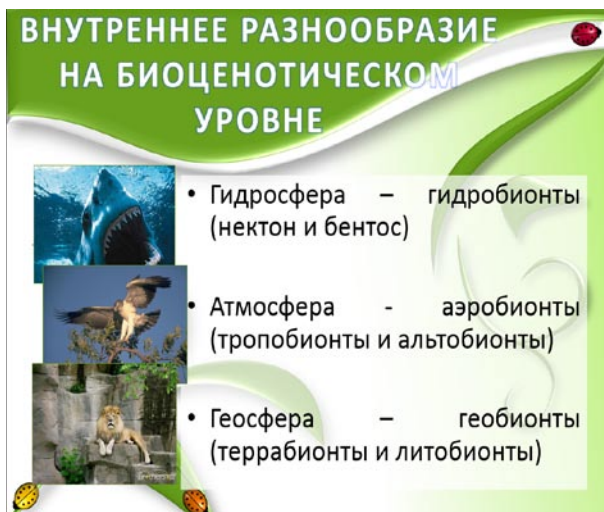
Рис. 9. Внутреннее разнообразие на тканевом уровне.



Рис. 10. Внутреннее разнообразие на онтогенетическом уровне.



Рис. 11. Внутреннее разнообразие на биоценотическом уровне.



Иерархичность и большое внутреннее разнообразие природных систем обеспечивает возможность их саморегуляции по принципу обратной связи [1] (рис. 12, 13).

Рис. 12. Механизм обратной связи.



Рис. 13. Виды обратной связи.



Механизм отрицательной обратной связи, называемый также принципом Ле-Шателье-Брауна, выполняет стабилизирующую роль, поддерживая систему в равновесном состоянии.

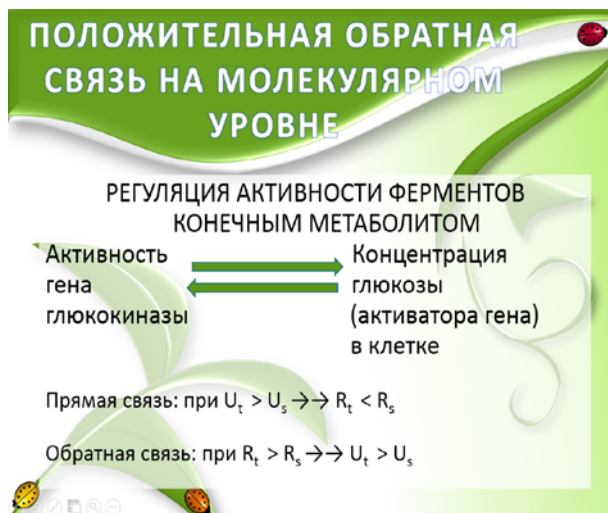
На клеточном уровне организации биологических систем, на этом принципе основана, например, регуляция величины водородного показателя фосфатным буфером и регуляция активности ключевых ферментов метаболизма конечным продуктом (так, избыток лимонной кислоты тормозит активность ферментов распада глюкозы, а избыток гликогена подавляет активность гексокиназы – ключевого фермента на пути его биосинтеза). На принципе Ле-Шателье-Брауна основаны также: работа буферной системы крови с участием почек по поддержанию pH крови; угнетающее действие на гипоталамус и гипофиз повышенного уровня в крови их гормонов; контроль за содержанием в крови диоксида углерода при усиленной мышечной работе и др. Популяционный гомеостаз (поддержание целесообразной структуры) обеспечивается изменением скорости полового созревания, роста и развития животных, их плодовитости, соотношения полов и возрастных групп, смертности животных разного пола и возраста, подвижности, распределения по местам обитания. В основе такой регуляции также лежит способность живых организмов реагировать на плотность своей популяции и популяций других видов по принципу отрицательной обратной связи. На биосферном уровне по этому принципу работает буферная система Мирового океана, поддерживающая постоянную концентрацию диоксида углерода в атмосфере.

В биологических системах, наряду с механизмом отрицательной обратной связи, для поддержания гомеостаза может использоваться и механизм положительной обратной связи. Особенно это характерно для различных метаболических процессов. Если, например, нормальный уровень глюкозы в крови поддерживается по механизму отрицательной обратной связи путем подавления глюкокиназы избытком гликогена, то в клетке глюкокиназа активируется избытком глюкозы по механизму положительной обратной связи (рис. 14).

Переключение путей регуляции находится в зависимости от энергетического состояния клетки. Таким образом, в живой природе существуют так называемые петли комбинированной обратной связи, в которых механизмы положительной и отрицательной обратной связи переключаются в зависимости от характера воздействия среды [4, 5]. При отсутствии же таких петель положительная обратная связь оказывает дестабилизирующее действие, так как усиливает отклонение от нормы.

Эта особенность положительной обратной связи играет ключевую роль в процессах самоорганизации. Под самоорганизацией понимаются такие процессы, в результате которых возникает, воспроизводится или совершенствуется порядок или структура в системе. Теоретическую базу

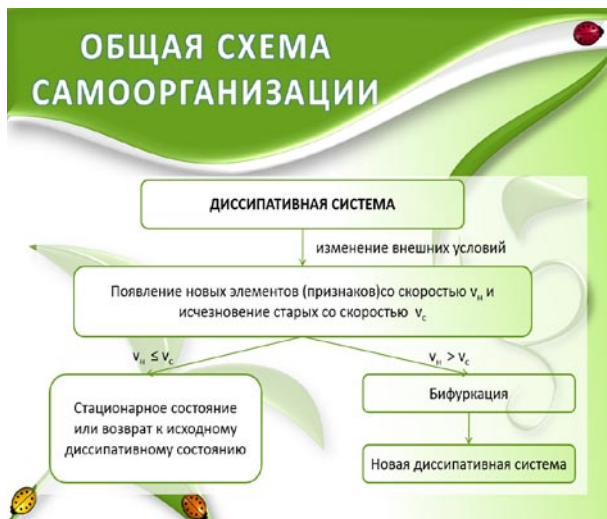
Рис. 14. Положительная обратная связь на молекулярном уровне.



процессов самоорганизации составляют синергетика, кибернетика и теория диссипативных структур. Все природные системы являются диссипативными, в них, по определению И.Р. Пригожина, внутреннее производство энтропии за единицу времени в единице объема не равно нулю, т. е. такие системы находятся в состоянии текущего равновесия. Система в состоянии текущего равновесия является устойчивой, поскольку в ней поддерживается неупорядоченное однородное состояние в соответствии с принципом Ле-Шателье–Брауна. При определенных условиях внутреннее производство энтропии в такой системе может уменьшиться за счет обмена потоками (веществом, энергией, информацией) с внешней средой и система переходит в неустойчивое состояние, в котором возникают крупномасштабные флуктуации и из хаоса могут возникнуть новые структуры. Наличие положительной обратной связи в такой неравновесной системе между флуктуацией и новым состоянием может способствовать закреплению этого нового состояния и перестройке системы. Дальнейший прогноз зависит от соотношения скоростей появления новых элементов и исчезновения старых (рис. 15).

Таким образом, акт самоорганизации (разрешение кризисной ситуации) – это быстрый переход диссипативной системы на более высокий уровень упорядоченности с образованием диссипативной структуры.

Рис. 15. Общая схема самоорганизации.



Акты самоорганизации могут происходить на всех структурных уровнях. Примерами могут служить образование сложных биомолекул из простых органических соединений, образование внутриклеточных структур из биополимеров, возникновение первых клеток, образование многоклеточных организмов, формирование биоценозов и биосферы.

На молекулярном и клеточном уровнях ведущую роль в процессах самоорганизации играет принцип комплементарности. Действие этого принципа можно наблюдать при формировании третичной структуры белков, когда конфигурацию молекул белка определяет взаимодействие соответствующих аминокислот, и при образовании двойной спирали молекулы ДНК за счет взаимодействия комплементарных оснований. Процессы биосинтеза белка также основаны на комплементарных взаимодействиях. Это образование информационной РНК (иРНК), которая является комплементарной копией гена, и механизм расшифровки генетической информации путем взаимодействия на рибосоме комплементарных оснований в составе кодонов иРНК и антикодонов транспортной РНК. На принципе комплементарности основаны также такие межмолекулярные взаимодействия, как образование фермент-субстратных комплексов и комплексов антиген-антитело.

На уровне многоклеточного организма связующую роль выполняет гормональная система, в основе действия которой лежит транспорт гормо-

нов с током крови и связывание их специфическими рецепторами на поверхности клеток.

Формирование биоценозов происходит в результате взаимодействия различных видов микро- и макроорганизмов, входящих в конкретное сообщество. В результате реализации всех возможных видов взаимоотношений формируется устойчивое сообщество, причем его устойчивость тем выше, чем больше видовое разнообразие [3].

Во всех таких процессах можно выделить кризисные моменты: «переходное состояние» молекул в ходе биохимических реакций, связанное с деформацией их электронной структуры и эффектами ориентации; «фолдинг белка» – процесс выбора единственной устойчивой и функционально активной конфигурации из множества возможных; смена стадий развития организма под влиянием эндокринной системы (например, метаморфоз насекомых); перестройка трофических связей в биоценозе при появлении новых видов или исчезновении старых (рис. 16).

Если в результате самоорганизации система остается на том же структурном уровне, то такие процессы относят к эволюционным. В живой природе мы наблюдаем эволюцию на всех структурных уровнях. Эволюция клеток шла в направлении от прокариот к эукариотам и сопровождалась появлением у отдельных клеток способности к автотрофному типу пита-

Рис. 16. Самоорганизация систем живой природы.



ния и к использованию молекулярного кислорода атмосферы. Эволюция многоклеточных организмов в целом носила прогрессивный характер, т. е. приводила к появлению более сложных организмов. На популяционно-биоценотическом уровне эволюционные процессы идут как внутри популяций, приводя к появлению новых видов, так и внутри экосистем, изменяя их видовой состав и характер трофических связей. На биосферном уровне механизмы эволюции основаны на взаимосвязях между живым и неживым веществом планеты, оказывающих друг на друга взаимное влияние и поэтому эволюционирующих совместно [2].

Поскольку эволюция представляет собой последовательность актов самоорганизации, то регулятором эволюционного процесса также выступает внешняя среда. Каждый из этих актов самоорганизации является, согласно принципу подчинения Г. Хакена, проявлением действия креативной триады, в которой управляющие параметры высшего уровня взаимодействуют с переменными низшего уровня, что приводит к появлению новых параметров порядка среднего уровня. Применительно к биологической эволюции элементами креативной триады являются биогеоценоз, популяция и отдельный организм, соединенные линиями прямой и обратной связи. Функционирование каналов связи на молекулярном уровне для передачи наследственной информации между зиготой и гаметой формируется и поддерживается стабилизирующей формой естественного отбора, что ведет к созданию и максимальной стабилизации аппарата индивидуального развития и к установлению нормы. Второй канал на онтогенетическом уровне служит для передачи информации о фенотипах между популяцией и биогеоценозом. На этом канале работают движущий и дизруптивный формы отбора, что ведет к перестройке наследственного аппарата и к возникновению новых адаптаций и специализации (рис. 17).

Такая организация учебного материала позволяет изучать отдельные концепции каждого из биологических структурных уровней, сохраняя при этом представление об общих закономерностях. В итоге каждая конкретная биологическая система выступает как частный случай общей теории систем, а применение подобного подхода также и при изучении физической и химической картин мира будет способствовать формированию у студентов целостного естественнонаучного мировоззрения и понимания единства научного знания.

Рис. 17. Биогеоценоз как регулятор эволюции в биологических системах.



Литература:

1. Гераскина Г.В., Раткевич Е.Ю. К методике реализации межпредметных связей при изучении в школе комплекса естественнонаучных дисциплин. Естественнонаучное образование: методология, теория и методика. Сборник материалов V Международного методологического семинара 22–24 ноября 2005 г., г. Санкт-Петербург. Вып. 4. Часть 2. – СПб.: Тесса, 2005. – 184 с.
2. Гераскина Г.В., Раткевич Е.Ю. О структуре курса «Биология с основами экологии» для гуманитарных и технических специальностей // II Международная научно-практическая конференция «Актуальные проблемы биоэкологии». – М.: МГОУ, 2010. – 264 с.
3. Раткевич Е.Ю., Гераскина Г.В. К изучению проблемы самоорганизации биологических и экологических систем в вузовских курсах естествознания // 58-я ВНПК химиков с международным участием по актуальным проблемам химического и экологического образования. – СПб.: РГПУ им. А.И. Герцена, 2011. – 378 с.
4. Раткевич Е.Ю., Гераскина Г.В. К изучению проблемы саморегуляции биологических систем в вузовском курсе «Концепции современного естествознания» // Сб. трудов международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы биоэкологии», МГОУ, ЕЭИ, г. Москва (21–24 октября 2008 г.). – М., 2008. – 252 с.
5. Раткевич Е.Ю., Гераскина Г.В. Опыт изучения проблемы саморегуляции природных систем в вузовских курсах естествознания // Материалы 55-й ВНПК конференции химиков с международным участием «Актуальные проблемы химического и естественнонаучного образования». – СПб.: РГПУ им. А.И. Герцена. 2008. – 363 с.