

УДК 57.011

**Гераскина Г.В.***Московский государственный областной университет***Раткевич Е.Ю.***Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана***К МЕТОДИКЕ ИЗУЧЕНИЯ ХИМИЧЕСКОЙ КАРТИНЫ МИРА  
В ВУЗОВСКОМ КУРСЕ «ЕСТЕСТВЕННОНАУЧНАЯ КАРТИНА МИРА»**

*Аннотация.* В работе предлагается методологический подход к изложению материала курса «Естественнонаучная картина мира», основанный на привлечении понятий и положений общей теории систем для характеристики химических объектов. На конкретных примерах раскрываются принципы их организации, функционирования и саморазвития, доказываются общность их системных свойств со свойствами других объектов изучения фундаментальных естественных наук, что обеспечивает логическую взаимосвязь как между отдельными разделами курса, так и между данной дисциплиной и соответствующими дисциплинами ООП ВПО.

*Ключевые слова:* системный подход, иерархия, обратная связь, саморазвитие, хемогенез, биогенез.

**G. Geraskina***Moscow State Regional University***E. Ratkevich***Bauman Moscow State Technical University***TO THE TECHNIQUE OF STUDYING OF A CHEMICAL  
PICTURE OF THE WORLD IN THE UNIVERSITY COURSE  
«NATURAL-SCIENCE PICTURE OF THE WORLD»**

*Abstract.* The article presents the methodological approach to presenting the teaching material of the course of "Natural-science Picture of the World" based on the concepts and propositions of the general theory of systems for characterizing chemical objects. On concrete examples the principles of their organization, functioning and self-development are revealed. The author proves the community of their system properties with the properties of other objects of studying fundamental natural sciences that provides logical interrelation both between separate sections of the course, and between this discipline and the corresponding disciplines in the system of Professional Higher Education.

*Key words:* systemic approach, hierarchy, feedback, self-development, hemogenesis, biogenesis.

В соответствии со структурой (ЕНКМ) входит в базовую часть тематического и естественнонаучного цикла учебных планов всех профилей направления «Педагогическое образо-

В соответствии со структурой ООП ВПО бакалавриата дисциплина «Естественнонаучная картина мира»

© Гераскина Г.В., Раткевич Е.Ю., 2015.

вание». Задачей дисциплины является углубление и систематизация входных естественнонаучных знаний на базе изучения современных научных концепций с целью формирования целостного естественнонаучного мировоззрения, а также обеспечение логической и содержательно-методической взаимосвязи материала дисциплины с другими дисциплинами ООП, поскольку полученные в ходе изучения ЕНКМ знания касаются таких вопросов, как методика и методы научного исследования, понятия «естественнонаучная революция» и ее роль в формировании новых научных картин мира, общие закономерности эволюции неживой и живой природы, взаимосвязь природных систем и общие принципы их организации и функционирования, место и роль человека в биосфере.

Одним из эффективных методов решения данной задачи является используемый авторами системный подход в организации и изложении учебного материала [2; 7], при котором изучаемые природные объекты характеризуются с точки зрения общей теории

систем, т. е. рассматриваются как ограниченное множество взаимодействующих друг с другом и с внешней средой разнокачественных элементов. В соответствии с этим при изучении каждого природного объекта необходимо охарактеризовать состав элементов системы, показать главные связи между ними и внешние связи системы, определить функции системы и ее место в природе среди других систем, изучить закономерности и тенденции развития [9]. Цель использования системного подхода при изучении дисциплины ЕНКМ состоит в том, чтобы показать наличие у природных объектов, изучаемых различными фундаментальными естественными науками, таких общих свойств, как единые принципы организации и функционирования. Это характеризует естествознание как совокупность наук о природе, взятую как единое целое, и тем самым способствует решению задачи по формированию у учащихся целостного естественнонаучного мировоззрения [8]. Поэтому при изучении раздела «Химическая картина мира» необходимо прежде всего дать общесистемную характе-

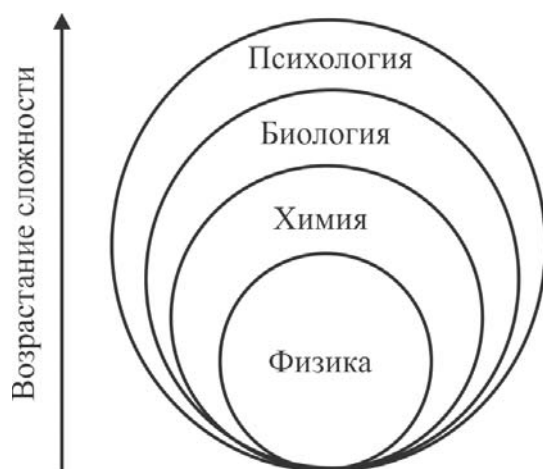


Рис. 1. Систематика естественных наук

ристику изучаемых химией объектов, показав на конкретных примерах соблюдение таких общих принципов организации, как принципы иерархии и эмерджентности, и рассмотрев их функционирование с точки зрения общенаучных концепций самоорганизации, саморегуляции и глобального эволюционизма.

Понятия о принципах иерархии и эмерджентности являются одними из ключевых понятий теории систем. В химии объектами изучения являются атомы, молекулы, кристаллы и минералы, находящиеся по отношению друг к другу в состоянии иерархической соподчиненности согласно общенаучной концепции структурных уровней. При этом в общем иерархическом ряду всех природных систем они оказываются связанными как с объектами изучения физики (атомами и субатомными частицами), так и с объектами изучения биологии (через биомолекулы), выражением чего является такое понятие, как иерархическая лестница естественных наук («лестница Кекуле»), каждая ступень которой является фундаментом для следующей науки, основывающейся на данных предшествующей (рис. 1).

Взаимосвязь химии с физикой основывается на том, что ключ к объяснению строения молекул и их химических свойств лежит в строении атома, в квантовомеханических закономерностях систем, состоящих из элементарных частиц. Исходя из этого, целесообразно расширить определение химии как науки: обычно химию определяют как науку о химических элементах и их соединениях, а с учетом вышесказанного можно определить химию как науку о

превращениях веществ, связанных с изменением электронного окружения атомных ядер. Взаимосвязь химии с биологией основывается на том, что процессы жизнедеятельности представляют собой совокупность химических реакций, которые сочетаются между собой во времени и протекают в строгой последовательности. Соблюдение такой последовательности обеспечивает участие в биохимических реакциях ферментов – катализаторов белковой природы, механизм действия которых описывается общей теорией катализа, разработанной в рамках химической науки.

Выполнение иерархического принципа как принципа наличия связей по вертикали, т.е. связей по субординации, наблюдается не только по отношению к структуре природных систем, но и по отношению к развитию научного знания [10]. В истории химии можно выделить четыре последовательно сменявшихся друг друга этапа, с каждым из которых связана собственная концептуальная система знаний. Выражением иерархического принципа в данном случае является следующая последовательность, представленная на рис. 2.

Существование связей между элементами системы по вертикали (связи субординации) и по горизонтали (связи координации) обеспечивают целостность системы, выражающуюся в том, что свойства системы не сводятся к сумме свойств, входящих в нее элементов. Этот так называемый принцип эмерджентности является вторым основным принципом организации природных систем. Для объектов химии проявление этого принципа становится очевидным при сравнении

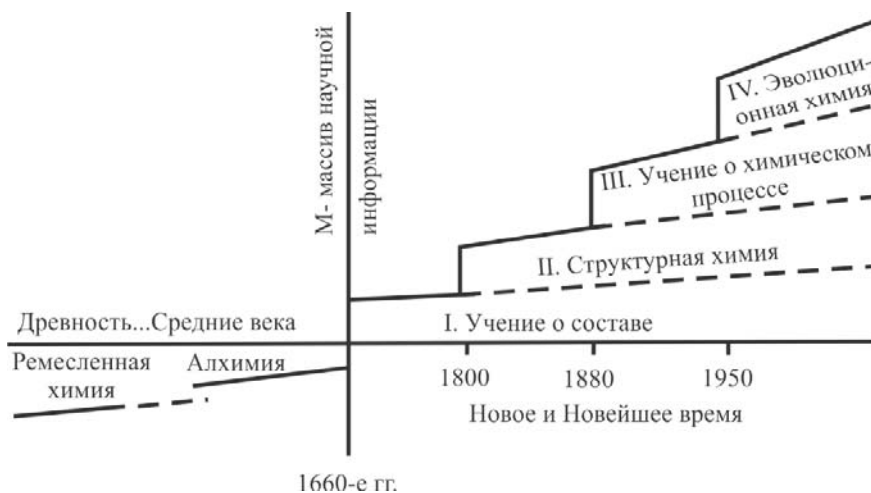


Рис. 2. Иерархия уровней химического знания, или концептуальные системы химии [5]

свойств любой молекулы со свойствами образующих ее атомов. Положительный эффект объединения проявляется даже при образовании системы из относительно однородных системных единиц. Примером такого кооперативного эффекта может служить высокая реакционная способность молекул гемоглобина, состоящих из четырех пептидных цепей, имеющих глобулярную конфигурацию. Скорость связывания молекул кислорода глобулами в составе такого тетрамера намного превышает скорость его связывания отдельными глобулами.

Показав подчинение химических систем общим принципам организации систем, необходимо далее проиллюстрировать на конкретных примерах наличие у химических объектов таких общих системных свойств, как способность к самоорганизации, саморегуляции и эволюционному развитию. Проявление этих свойств обусловлено большим внутренним разнообразием элементов систем и существованием механизмов обратной связи. Для химических систем проявление вну-

треннего разнообразия заключается в разнообразии химических элементов, молекул и надмолекулярных структур. При этом, как и в других природных системах, это разнообразие является избыточным. Так, даже одинаковые атомы в кристаллической решетке обладают функциональным разнообразием, обусловленным их различным расположением в узлах. Разнообразие химических элементов существенно повышается из-за наличия изотопов, а разнообразие молекул – за счет существования изомеров. Кроме того, вещества, обладающие одним и тем же элементарным составом, могут образовывать различные кристаллические структуры (таким наиболее известным примером является аллотропия углерода, проявляющаяся в существовании алмаза и графита). При всем этом число вариантов организации жестко лимитировано, что приводит к существованию структурных аналогий и гомологий: гомологические ряды органических молекул, спиральные структуры биополимеров (полисахаридов, полипептидов, полинуклеотидов), на-

личие всего семи кристаллографических симметричных систем для более чем трех тысяч известных минералов. При этом различные по химическому составу минералы часто образуют одинаковые кристаллические структуры, что описывается как изоморфизм. Все приведенные примеры являются проявлением еще одного общего принципа – так называемого «принципа молекулярной экономии».

Вторым условием для протекания процессов саморегуляции и саморазвития является наличие в системе механизмов обратной связи, которые обеспечивают изменение состояния системы, являющееся реакцией на внешнее воздействие [1]. При отрицательной обратной связи направление изменения управляющего каким-либо параметром системы воздействия не совпадает с направлением изменения этого результирующего параметра, вызванного изменением внешней среды. Примером могут служить буферные системы, где управляющим воздействием является скорость диссоциации слабой кислоты, а ответной реакцией является концентрация ионов водорода. Такой же механизм лежит в основе поддержания химического равновесия во всех обратимых реакциях. Этот принцип более известен как принцип Ле-Шателье – Брауна, и он соблюдается в работе всех природных систем. При положительной обратной связи направление изменения управляющего каким-либо параметром системы воздействия совпадает с направлением изменения этого результирующего параметра, вызванного изменением внешней среды. В химии такое явление называется автокатализом, когда скорость образо-

вания вещества возрастает с увеличением его концентрации. Положительная обратная связь обычно приводит к неустойчивым состояниям системы и началу ее самоорганизации с целью противостоять тенденции разрушения средой. Таким образом, начало самоорганизации связано с усилением действия механизмов положительной обратной связи, в результате чего в системе происходит усиление и накопление флуктуаций, ведущее к ее качественной перестройке [11; 12]. При этом необходимо отметить, что в природе самоорганизация наблюдается только в так называемых открытых диссипативных системах, существование которых поддерживается постоянным обменом со средой веществом или энергией, или и тем и другим одновременно [6]. В химии же явление самоорганизации может также наблюдаться в замкнутых системах в самом начале реакционного процесса, когда система далека от равновесия. Если такая система является бистабильной, т. е. имеет два разных устойчивых стационарных состояния, то при добавлении к ней соединения, по-разному влияющего на два пути достижения стационарных состояний, возможно возникновение колебаний. Другим условием возникновения химических колебаний является такая обратная связь, когда продукт одной из стадий в реакционной цепи должен оказывать влияние на скорость собственного образования. Такие реакции были изучены в 50-е годы XX в. советскими учеными Б.П. Белоусовым и А.М. Жаботинским. Внешне колебательный процесс проявляется в периодическом изменении цвета раствора, что объясняется периодическими изменениями

концентраций промежуточных продуктов.

При изучении явления самоорганизации необходимо обратить внимание учащихся на такое условие, как критичность новых элементов. Если скорость появления новых элементов будет ниже скорости исчезновения старых, система может остаться в исходном диссипативном состоянии.

Эволюционные процессы, в отличие от процессов самоорганизации, являются необратимыми и характеризуются единой генеральной линией развития для каждого класса объектов. Так, эволюция химических систем, начавшаяся с эволюции химических элементов во Вселенной, представляла собой усложнение электронной структуры путем последовательного увеличения на единицу числа протонов ядра с соответствующим заполнением и наращиванием электронных оболочек атомов. Первыми химическими элементами были водород и гелий, образовавшиеся путем термоядерного синтеза в эпоху первичной рекомбинации, через 300–400 тысяч лет после Большого Взрыва [3; 4]. Через миллионы лет из протозвездного вещества, содержащего эти элементы, сформировались звезды первого поколения, в недрах которых в результате вторичного звездного нуклеосинтеза образовались новые химические элементы: углерод, кислород, азот и др., вплоть до железа и никеля, а через миллиарды и более лет образовались звезды второго поколения и начали возникать «тяжелые элементы» в звездах типа «красных гигантов» и при взрыве сверхновых. Большинство изотопов этих элементов могло образоваться за счет захвата нейтронов в процессах,

идущих в недрах звезд, а часть изотопов образовывалась при коллапсе звезды под влиянием мощного излучения нейтрино.

Эволюция вещества нашей планеты происходила путем направленного распределения химических элементов в теле планеты и отбора химических элементов для образования органических молекул. Среди химических элементов земной коры почти половину (49,13 %) составляет кислород, на втором месте находится кремний (26 %). Содержание остальных, характерных для земной коры элементов выражается намного меньшими показателями (алюминий – 7,45 %; железо – 4,2 %; кальций – 3,25 %; натрий – 2,4 %; калий – 2,35 % и магний – 2,35 %). При этом наблюдается четкая дифференциация вещества по отдельным зонам. В пределах земной коры наблюдается дифференциация вещества между верхним, гранитным, слоем и нижним, базальтовым. Граниты лидируют по содержанию кислорода и кремния, а базальты – по содержанию железа. В общем же лидирующими элементами земной коры являются кислород и кремний, образующие специфическую структуру, «кислородно-кремниевую сеть» – своеобразный «скелет» земной коры. Ядро нашей планеты содержит, в основном, железо, никель и серу.

Принципиальной особенностью химической эволюции является различный принцип отбора химических элементов при образовании вещества планеты и живой материи. Например, если содержание в земной коре так называемых органогенов (элементов, входящих в состав биомолекул) составляет десятые и сотые доли процента, то в живых организмах эти



элементы (водород, углерод, фосфор, азот, сера, а также кислород) являются основными, и их общая весовая доля в живой материи составляет 97,4 %. Примерно 1,6 % составляет общая весовая доля еще 11-ти элементов, которые принимают участие в различных физиологических процессах, и 1 % приходится на долю 20-ти элементов, характерных для отдельных специфических биосистем.

Дальнейшая эволюция геосферы была тесно связана с эволюцией биосферы. Появление биогенного кислорода в нижнем протерозое (2,6–1,9 млрд лет назад) вызвало окисление газов первичной атмосферы и изменение ее газового состава, а также изменение минерального состава литосферы. Если в первичной литосфере минералы находились в виде сульфидов (что было обусловлено восстановительным характером атмосферы и содержанием в ней больших количеств сероводорода), то для протерозоя характерны кислородсодержащие соли – сульфаты и карбонаты. В нижнем палеозое (570 млн лет назад) расцвет морских беспозвоночных животных, строящих свои наружные скелеты из извести, фосфора и кремния, привел к образованию донных отложений, которые стали компонентом буферной системы Мирового океана.

Наряду с изучением геохимической эволюции, химической наукой рассматриваются процессы самоорганизации и саморазвития химических систем, ведущие к возникновению более сложных и высокоорганизованных молекул, из которых могли образоваться первые одноклеточные организмы. Эти проблемы решаются эволюционной химией, которую можно назвать «пред-

биологией», ключевым положением которой является тезис о закономерности возникновения живого как итога развития геохимического круговорота Земли. Можно заметить, что в ходе такой химической эволюции, по аналогии с биологической эволюцией, происходит «химический естественный отбор» веществ. Прежде всего он проявляется в отборе химических элементов, входящих в состав живых организмов. Из 118 элементов основу живого составляют только шесть: углерод, водород, кислород, азот, фосфор и сера. Отбор этих шести так называемых органогенов обусловлен их способностью образовывать прочные ковалентные связи, причем из всех элементов, способных к образованию таких связей, органогены являются самыми легкими. Важной особенностью этих элементов является также способность образовывать кратные связи, что облегчает перестройку молекул, а также способность атомов углерода образовывать цепочечные или кольцевые структуры, выполняющие роль углеродных скелетов органических молекул. Все органогены могут соединяться друг с другом и с другими элементами в различных комбинациях, что обеспечивает огромное разнообразие органических молекул как по составу, так и по конфигурации. Атомы кислорода и водорода, кроме того, обеспечивают проявление молекулами окислительных и восстановительных свойств, а атомы фосфора и серы могут образовывать особо энергоемкие связи, называемые макроэргическими, что играет ключевую роль в процессах трансформации энергии в живой природе.

Наряду с направленным отбором химических элементов происходил

и дальнейший отбор химических соединений. Подавляющее большинство известных химических соединений относится к органическим веществам, причем очень малая их часть входит в состав живых организмов.

Механизм хемогенеза современная химия рассматривает в рамках концепции о ведущей роли в отборе процессов катализа. В ходе самопроизвольных автокаталитических реакций, протекающих в неживой природе, отбирались наиболее эффективные катализаторы, а также молекулы, структура которых способствовала повышению активности катализаторов или увеличению избирательности их действия. Такой отбор становился возможным, поскольку продукты автокаталитической реакции влияют на ее скорость и даже на возможность протекания. Таким образом, в ходе химической эволюции происходило саморазвитие каталитических систем, итогом которого могло стать использование молекул нуклеиновых кислот как в качестве носителей информации, так и одновременно в качестве катализаторов процессов самопроизводства.

В рамках же общей теории систем химическую эволюцию можно представить как последовательность актов самоорганизации, в которой каждый акт представляет собой выход из кризисного неустойчивого состояния, возникшего в результате временного изменения внутреннего состояния, например, появления нового вида молекул.

Изучение механизмов самоорганизации также неразрывно связано с понятиями симметрии и асимметрии. Если симметрия в широком смысле отображает порядок, устойчивость,

равновесное состояние, а асимметрия связывается в нашем понимании с нарушением порядка, устойчивости и равновесия, то с точки зрения теории самоорганизации логичным выводом из сравнения этих понятий будет вывод о том, что асимметрия может рассматриваться как источник развития, эволюции, образования нового. Действительно, на всех этапах эволюции живой и неживой природы мы наблюдаем возникновение асимметрии. Уже само возникновение нашей Вселенной рассматривается как нарушение симметрии исходного «ложного» вакуума, и все дальнейшее развитие проходило через стадии нарушения симметрии. Так, вся эволюция вещества Вселенной представляется как последовательность спонтанных нарушений симметрии – между различными классами элементарных частиц, веществом и антивеществом, различными видами фундаментальных взаимодействий и т. д. Для процессов хемогенеза и биогенеза ключевым является нарушение зеркальной симметрии органических молекул. Причиной возникновения такой асимметрии, называемой хиральностью, могли быть различные физические факторы. В неживой природе хиральные молекулы встречаются как в «правом», так и в «левом» варианте, т. е. они хирально нечистые. В живых организмах молекулы могут быть только одной определенной ориентации. Например, молекулы ДНК образуют спирали правого типа, все биогенные аминокислоты являются левовращающими, а глюкоза и виннокаменная кислота находятся в правовращающей форме. Отбор таких определенных форм связан с эволюцией соответствующих каталитических



систем, и с современной точки зрения именно возникновение способности синтезировать хирально чистые молекулы провело биохимическую границу между живыми и неживыми системами в ходе хемогенеза.

Таким образом, изучение химической картины мира с привлечением основных понятий и положений общей теории систем позволяет выявить общие закономерности строения, организации, функционирования и саморазвития всех природных систем, обеспечивает логическую связь как между отдельными разделами курса ЕНКМ, так и между отдельными дисциплинами ООП ВПО на базе общего методологического подхода.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Гераскина Г.В., Раткевич Е.Ю. Опыт изучения проблемы саморегуляции природных систем в вузовских курсах естествознания. 55-ая ВНПК химиков с международным участием по актуальным проблемам химического и естественнонаучного образования. СПб., 2008. 363 с.
2. Гераскина Г.В., Раткевич Е.Ю. Особенности изучения биологической картины мира в курсе «Концепции современного естествознания». Электронный журнал «Вестник Московского государственного областного университета» [Сайт]. 2014. № 1. URL: <http://vestnik-mgou.ru/Articles/Doc/530>. (дата обращения: 07.03.2015).
3. Горшков В.К., Мансуров Г.Н. Мультиселенная и антропный принцип // Электронный журнал «Вестник Московского государственного областного университета» [Сайт]. М., 2013. № 2. URL: <http://www.evestnik-mgou.ru/Articles/View/327>. (дата обращения: 07.03.2015)
4. Горшков В.К., Мансуров Г.Н. Теория инфляции. Стрела времени. Электронный журнал «Вестник Московского государственного областного университета» [Сайт]. 2012 № 1. URL: <http://evestnik-mgou.ru/Articles/View/166> (дата обращения: 07.03.2015).
5. Кузнецов В.И. Общая химия. Тенденция развития: [Науч.-попул.]. М., 1989. 288 с.
6. Пригожин И., Стенгерс И. Время, хаос, квант. М., 1994. 268 с.
7. Раткевич Е.Ю., Гераскина Г.В. О некоторых принципах системного подхода в химико-педагогическом образовании. 60-я ВНПК химиков с международным участием по актуальным проблемам химического и экологического образования, СПб., 2013. 515 с.
8. Рузавин Г.И. Системный подход и единство научного знания // Единство научного знания. М., 1988. С. 237–252.
9. Садовский В.Н. Системный подход и общая теория систем: статус, основные проблемы и перспективы развития // Системные исследования: Методологические проблемы. М., 1979. С. 29–54.
10. Хайлов К.М. Иерархия живых и биокостных систем и ее отражение в знании // Системные исследования: Методологические проблемы. М., 1982. С. 320–338.
11. Хакен Г. Информация и самоорганизация. Макроскопический подход к сложным системам. М., 1991. С. 28–29.
12. Хакен Г. Синергетика. М., 1985. 424 с.