Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное агентство по образованию
ГОУ ВПО Якутский государственный университет им.М.К.Аммосова

Б.М.Кершенгольц, Т.В.Чернобровкина,
А.А.Шеин, Е.С.Хлебный, Аньшакова В.В.

Нелинейная динамика (синергетика) в химических, биологических и биотехнологических системах

учебное пособие по курсу «Синергетика – теория самоорганизации систем»
для студентов химических и биологических специальностей

Якутск – 2009 г.

ОГЛАВЛЕНИЕ:

I. Введение 4-29

1.1. Необходимость формирования синергетического подхода в химии и биологии. 4 – 7

1.2. Определения синергетики. 7 – 9

1.3. Ключевые понятия (глоссарий) синергетики. 9 – 29

2. Основные положения синергетики, их физико-химическое и мировоззренческое содержание 29 – 75

2.1. Условия возникновения в системах качественно нового свойства – способности к самоорганизации. *Нелинейность, открытость системы и сильная термодинамическая неравновесность.* 29 - 31

2.2. Порядок и хаос, механизмы трансформации «динамического хаоса» в «порядок» («диссипативные структуры»). *Случайность и конкуренция флуктуаций, положительные и отрицательные обратные связи. Режимы с обострением (перемешивающий слой), развитие через неустойчивость. Аттракторы* 31 – 46

2.3. «Странные аттракторы» в открытых нелинейных средах. Фрактальная структура странных аттракторов. 46 – 50

2.4. Фракталы. Хаотические, динамические фракталы как механизм самоорганизации, возникновения порядка из хаоса 50 – 64

2.5. Числа Фибоначчи Золотая пропорция.

2.6. Философские и культурологические аспекты синергетики, общий смысл комплекса синергетических идей. 65 – 75

75

3. Физическая термодинамическая синергетическая модель мира 76 – 92

3.1. Наиболее общие свойства пространства, связанные с движением в нем материальных систем: 76 – 77

3.2. Термодинамические аспекты самоорганизации систем в физическом пространстве. 77 – 82

3.3. Образ открытой среды 83

3.4. Режимы с обострением 84 – 87

3.5. Фрактальная структура физических систем и их способность к самоорганизации 87 - 92

4. Самоорганизация в химических системах. 92 – 163

4.1 Модель брюсселятора. *Структурно-функциональное разнообразие элементов сложной открытой, сильно неравновесной нелинейной системы (включая биоразнообразие) как основа сохранения её способности к самоорганизации.* 93 – 100

4.2. Модель процессов естественного отбора и эволюции в системе химических автокатализаторов (химическая модель процессов спонтанного самозарождения жизни в режиме реального времени). 100 - 105

4.3. Диссипативные среды и их влияние на химические, биохимические и биологические процессы посредством систем слабых

взаимодействий. *Вода как самоорганизующаяся среда и среда для самоорганизации биохимических, биологических и глобальных геосферных и биосферных систем. Резонанс и комплементарность.* 106-127
4.4. Синергетические механизмы действия сверхмалых концентраций веществ и доз излучений. *Критерии, необычные эффекты действия сверхмалых доз физических и химических факторов среды на самоорганизующиеся системы. Примеры в химии, биохимии, биотехнологии, физиологии и медицине.* 127-147
4.5. Модель химической самоорганизующейся системы глобального климата в открытой, сильно неравновесной и нелинейной системе «Мировой океан-атмосфера-литосфера». 147-163
5. Синергетика в биохимии 163-173
Синергетические механизмы ранних стадий биологической эволюции.
6. Синергетика в биологии 173- 176
Синергетические механизмы обработки информации в нейросетях, процессов памяти и мышления и самоорганизации сознания, синергетика и логика, нейрокомпьютеры.
7. Синергетика в медицине 176-201
7.1. Синергетическая модель эволюции организма в фазовом и векторном пространстве, включающем области «здоровье», «болезнь», «предболезнь», в терминах: диссипативные структуры и диссипативные процессы, режимы с обострением, точки бифуркации, отрицательные и положительные обратные связи. 177-181
7.2. Синергетические механизмы в медицине на примере эффективных технологий немедикаментозного лечения (ЭМАТ-технология в аддиктологии) 181- 201
Заключение. *Вопросы, которые будут рассмотрены во второй части пособия* 201- 203
Литература 203-208

I. Введение

1.1. Необходимость формирования синергетического подхода в химии и биологии.

На рубеже очередных столетий и тысячелетий четко обозначились основные проблемы, с которыми впервые столкнулось человечество, и возможные сценарии их дальнейшего развития. С одной стороны, численность человечества и суммарное техногенное воздействие на экосистему Земли достигли значений, вплотную приблизившихся к теоретическим пороговым значениям. С другой стороны, человечество вступило в этап своего развития, который называют информационным обществом. Главные его характеристики — компьютерная революция и экспоненциальное нарастание информационных потоков. В этих условиях появление новых парадигм познания вполне закономерно, и наиболее интегративной из них становится синергетика.

Синергетика — новое направление в познании человеком природы, общества и самого себя, смысла своего существования. Новое качество в познании достигается за счет использования нелинейного мышления и синтеза достижений различных наук при конструировании образа мироздания. Когда в конце советского периода нашей истории термин “синергетика” появился в специализированных словарях, он использовался прежде всего для обозначения нового направления научных исследований. Так, по определению философского словаря [М.: Политиздат, 1991. - С. 407], синергетика — это область научного знания, в которой посредством междисциплинарных исследований выявляются общие закономерности самоорганизации, становления устойчивых структур в открытых системах. Словарь по кибернетике [Киев, 1989. - С. 585] задачу синергетики видит в выявлении общих закономерностей и единства методов описания и моделирования процессов эволюции и самоорганизации в физических, *химических, биологических, экологических*, социологических, вычислительных и других естественных и искусственных системах.

Утверждая принципы нелинейного мышления, синергетика идет на смену классическим философско-методологическим системам. Исходя из этого, синергетика стремится к адекватному восприятию и трезвой оценке подходов, свойственных всем ветвям познавательной деятельности, включая оккультные науки, религиозно-теологические, теософские и другие системы. Она тем самым освобождает мысль человека от каких бы то ни было догм, шор и открывает неограниченные просторы проявлениям его разума, развитию познавательных потенций и творчества. Единственное ограничение, которое науке и человеку в его творческой деятельности следует принять во внимание, связано с этическими соображениями.

В теоретическом плане синергетика выступает в роли своеобразной метанауки, исследующей общий характер закономерностей, как бы растворенных в частных науках. Для нее представляют интерес, говоря словами Ю.А. Данилова, системы из самой сердцевины предметной области частных наук, которые она извлекает и исследует, не апеллируя к их природе, своими специфическими средствами [Данилов, 1997]. В этом смысле синергетика начинает соперничать (?) с философскими системами.

В прикладном плане синергетика проявила себя с момента своего зарождения, поскольку возникла на почве точных наук (физика, химия, математика) в виде попыток решить конкретные проблемы на основе синергетического подхода и специфических методов. Затем область применения синергетических методов в различных науках, в том числе и гуманитарного профиля, стала быстро расширяться. На этом поприще синергетика наоборот, как бы объединяется с кибернетикой, системным подходом и т.д. Слияние теоретико-методологических разработок, мировоззренческих подходов и эмпирических исследований междисциплинарного порядка привело к появлению укрупненных прикладных разделов синергетики, таких, например, как социальная синергетика, медицинская синергетика, химическая (в т.ч. химико-технологическая) синергетика. Отсюда становится понятным, почему сегодня так важно, чтобы синергетика изучалась каждым образованным человеком и, прежде всего теми, кто в силу своих профессиональных обязанностей ученого-экспериментатора, практика, организатора, руководителя, инженера, педагога не может оставаться в стороне от современной революции в естествознании и обществознании, новых тенденций в научном познании, заключающихся в системном, интегративном подходе к проблемам на любом уровне.

Парадоксальным является тот факт, что в естественнонаучном образовании изучение дисциплин основывается на образцах линейного мышления, хотя объектом изучения являются эволюционирующие во времени и пространстве сложные открытые, нелинейные системы.

Современное состояние развития синергетического знания позволяет вести обоснованный поиск универсальных законов эволюции и самоорганизации сложных открытых неравновесных, нелинейных систем любой природы. В педагогической системе теория самоорганизации полезна преподавателю для того, чтобы, меняя стереотипы мышления, конструктивно осуществлять переход от механистического мировоззрения XX века к концепции самоорганизующегося мира; для помощи студенту в процессе формирования его как саморазвивающейся личности с новым миропониманием и толерантным сознанием.

Появившаяся необходимость рассматривать фундаментальные дисциплины и человеческое общество как нерасторжимое целое требует в свою очередь обновления содержания и смысла образования. Уместно вспомнить тезис И. Пригожина о том, что наука не должна находиться в оппозиции к культурному контексту. Так, на химическом и биологическом отделениях Якутского государственного университета им.М.К.Аммосова в рамках стандартных требований постижения современной химической и биологической наук, учебный процесс организован так, чтобы с помощью естественнонаучных дисциплин студент мог понять насколько органично человек вписан в окружающий его мир и что эволюция человека как биосоциального феномена подчинена законам развития этого мира – открытой, неравновесной и нелинейной системы. Показана необходимость в практической деятельности ориентироваться на наиболее общие законы природы и общества, как самоорганизующихся систем в пространстве и времени и локальные формы их реализации, научиться попадать в ***резонанс*** с ними, сохраняя этнокультурно-исторические особенности.

Например, из истории известно, что северяне, хорошо знавшие полезные свойства ягеля, не болели трахомой, туберкулезом, сахарным диабетом. Учитывая, что в процессах эволюции открытых сложных структур прошлое не исчезает, оно остается существовать в ином, более медленном, или менее интенсивном темпомире, привлекая генетическую память, можно интерпретировать различные этнические традиции на примере современных наукоёмких биотехнологий переработки уникальных для Северо-Востока России видов природного биологического сырья и получения новых препаратов. Такой подход поможет будущему специалисту соотнести общетеоретические положения синергетики и народной медицины с жизненным укладом этносов, т.к. «… голый результат без пути, к нему ведущего, это лишь скелет истины, неспособный к самостоятельному движению» [Князева, Курдюмов, 2005].

Именно поэтому, вновь введенные дисциплины, («Механохимические процессы и технологии», «Физико-химические основы химических превращений в среде газов в состоянии сверхкритической жидкости» и др.) содержат информацию об особенностях биосырья, о состоянии биотехнологических разработок в условиях крайнего Севера. Кроме того, введены биотехнологические разделы в рабочую программу и учебно-методические материалы авторского курса «Нелинейная динамика (синергетика) в химических, биологических и биотехнологических системах». Таким образом, происходит сочетанное использование существующих у человека двух диапазонов восприятия действительности: сенсорный (осознанный) и субсенсорный (неосознанный). Наряду с образованием ведется работа по организации научно-исследовательских работ в области биотехнологий переработки природного биосырья. Благодаря интеграции с наукой и производственными организациями осуществляется инновационное внедрение результатов в производство.

Генерируя новую информацию, идеи, социальные и культурные инновации, опираясь на эволюционный путь развития открытых систем, можно и *нужно* в настоящем (например, в образовании) научиться *резонансно* возбуждать структуры, близкие к аттракторам эволюции.

Ко второй половине XX века, вслед за физиками специалисты и других естественных и гуманитарных наук начали приходить к пониманию того, что процессы и явления, происходящие в реальном мире, не описываются линейными закономерностями. Точнее, приём линеаризации траекторий эволюции сложных систем является оправданным лишь на определенных небольших отрезках времени. Большое значение это имело для понимания и описания процессов, происходящих и на химическом, и на биологическом уровнях организации материи, ещё и по той причине, что взаимодействия между элементами в них не описываются уравнениями 1-го порядка, следовательно, линеаризация зачастую неадекватно описывает процессы, происходящие в них.

Кроме того, сложные химические и все без исключения биологические (конечно и социальные) системы являются яркими примерами открытых и неравновесных систем, к описанию и прогнозу поведения которых классическая термодинамика, создаваемая для анализа систем закрытых и стремящихся к термодинамическому равновесию, неприменима.

В частности, в рамках классических представлений химической кинетики и термодинамики казались совершенно невозможными автоколебательные химические реакции типа реакции «Белоусова-Жаботинского»; не описывались и,

следовательно, не поддавались адекватному моделированию и управлению многие сложные химико-технологические и биотехнологические процессы, протекающие в химических реакторах открытого типа, нанохимические процессы, оставалась совершенно непонятной роль воды, не просто как среды, а как организующего участника, регулятора геохимических, биохимических и биологических процессов.

В биологии ключевые проблемы «возникновение живой материи», «возникновение сознания», сам механизм мышления и эмоций были отнесены к разряду «неразрешимых проблем биологии» [Блюменфельд, 2002]. Всё более отчетливо формировалось понимание того, что классические представления о механизмах трансформации стадий онтогенеза живых организмов, регуляции обмена веществ на уровне дерепрессии-репрессии оперонов ДНК, саморегулируемом функционировании экосистем и многих других биологических процессов являются поверхностными, не дают понимания сути этих ключевых для биосистем различных уровней организации процессов.

В рамках классических представлений не находили объяснения и особенности ***структурной (пространственной)*** организации ряда химических (прежде всего автоколебательных реакций) и практически всех биологических систем – прежде всего их фрактальности. Например, в области физиологии высшей нервной деятельности – отсутствие чётких корреляций между массой головного мозга и когнитивными функциями и другими способностями человека..

Вышеуказанные причины привели к необходимости переосмысливания многих химических явлений и реакций, подавляющего числа биологических процессов с точки зрения теории нелинейной динамики, теории термодинамики открытых сильно неравновесных систем и представлений о критериях и механизмах появления качественно нового свойства многих сложных систем, а именно – способности к самоорганизации. Появилось понимание того, что только глубочайшее органическое взаимодействие различных наук может обеспечить понимание вышеуказанных проблем и вопросов.

Всё это и привело к проникновению идей синергетики – как теории самоорганизации систем - в химию и биологию.

1.2. Определения синергетики

В греческом языке «син» означает совместный, «эргос» - действие. Т.е. «Синергетика», по определению учёного впервые предложившего этот термин в 1970 г. - Германа Хакена, – это «совместное действие», возникновение новых свойств у целого, состоящего из взаимодействующих объектов и, прежде всего, свойства самоорганизации, а также «единство наук».

Теория самоорганизации на сегодня является одним из наиболее продуктивных и перспективных междисциплинарных подходов к изучению закономерностей пространственно-временной организации, механизмов возникновения, развития и распада самых различных систем – от элементарных частиц, атомов, молекул, до звездных систем и Вселенной, от клетки и простейших организмов до экосистем, социума и биосферы.

Неустоявшимися синонимами «синергетики» являются «нелинейная динамика», «нелинейная термодинамика», но термин «синергетика» представляется наиболее удачным, т.к. наименее понятен!

Триада развития (эволюции), сформулированная Гегелем как «Тезис→Антитезис→Синтез», в синергетике трансформируется как чередование динамических и хаотических стадий (точнее стадий «перемешивающего слоя»): Динамическая стадия-1 $_{\text{(содержит меньшее количество информации)}} \rightarrow$ Хаос $\rightarrow$ Динамическая стадия-2 $_{\text{(содержит большее количество информации)}}$ Хаос $\rightarrow$ …

В синергетике эволюция системы (любого живого или неживого объекта) рассмаитривается как совокупность математических моделей явлений самоорганизации. В таком контексте под синергетикой понимается наука о том, как создавать функционирующие модели, а не только о том, как их исследовать и решать.

Забегая вперёд, науку *«Синергетику» можно определить как науку о механизмах самоорганизации в термодинамически открытых, сильно неравновесных, сложных системах, процессы взаимодействия которых с факторами внешней среды, как и внутрисистемные взаимодействия их собственных элементов между собой носят нелинейный характер.*

Междисциплинарное направление исследований, называемое синергетикой, или теорией самоорганизации, сложилось при слиянии концепций нескольких изначально независимых направлений: кибернетики, термодинамики необратимых процессов, кинетической теории химических реакций, экологии, физической теории фазовых переходов, фрактальной геометрии и др.

Основа синергетики – *общность* нелинейно протекающих процессов в системах самой разнообразной природы (изучаемых как естественными, так и гуманитарными науками), что позволяет описывать явления из самых разных областей с помощью похожих (сходных) математических моделей. Явления самоорганизации имеют место в физических, химических биологических, геологических и социальных системах, что фиксируется в виде эмпирических фактов. Эти эмпирические факты теоретически объясняются в рамках теории самоорганизации с помощью соответствующей математической формализации на уровне качественного анализа нелинейных дифференциальных уравнений. Эта теория имеет осмысленное истолкование в рамках схемы, включающей в себя специфические представления о системе и ее связях с внешней средой с учетом всех причинно-следственных и пространственно-временных отношений. Иными словами, *в основе концепции самоорганизации лежат философские принципы и представления, отличающиеся от оснований классического естествознания.*

Качественно новыми свойствами таких систем и процессов, в них протекающих, являются:

– Необратимость изменений таких систем на определенных участках траектории.

- Появление в них фактора времени.

- Недетерминированность (принципиальная непредсказуемость траектории) развития на определенных этапах их нелинейной эволюции.

- Появление на траектории их развития *точек бифуркации* – пространственно-временных состояний, после которых система может развиваться в нескольких направлениях с определенными вероятностями. Причем вероятности тех или иных траекторий развития могут зависеть от воздействий факторов среды, а вблизи точек бифуркации – от средовых факторов малой и сверхмалой интенсивности. Т.е. в таких системах (не только живых) имеется особое качество – способность «запоминать самой траекторией своего развития» предыдущие воздействия среды, что отражает историю эволюции (жизни, историю болезни) и способность системы к «адаптации». Такая парадигма наиболее адекватна современному уровню развития науки, она описывает и вскрывает самые общие механизмы развития разнообразных систем: от вселенной до элементарных частиц, включая атомно-молекулярные и надмолекулярные системы, живую материю и её социальный уровень организации. Причем, обязательным условием адаптации является *большая удаленность от термодинамического равновесия, нелинейность, неоднозначность вероятности развития в точках бифуркации*) состояний системы. И одним из условий динамической устойчивости таких систем является качественное разнообразие действующих на нее факторов среды и функциональных структур в самой системе. Например, внутривидовое генетическое разнообразие как фактор сохранения вида, особенно при эволюции в неадекватных условиях среды. Или межвидовое биоразнообразие как основа существования и развития экосистемы, опять же особенно в условиях неадекватных по адаптивной способности системы воздействиях окружающей среды.

Парадигмальный синергетический подход объясняет роль структурно-функционального разнообразия биологически активных веществ в процессе сохранения режима стационарности (гомеостаза) клетки, организма при его адаптации к постоянно изменяющимся условиям внешней среды. А это, по словам Г.Селье, и есть ЖИЗНЬ.

Синергетика как наука впервые в истории естествознания (со времен Ньютона) сводит воедино естественные и гуманитарные науки, динамику и термодинамику, теорию относительности и квантовую механику. Дает совершенно новое понимание «*энтропии*» и «*времени*» в их совмещении.

Применительно к химическому и биологическому уровню организации материи Синергетика является физико-химической основой теории возникновения, эволюции, развития и диссипации всех без исключения биологических систем и большинства наиболее сложно организованных химических (особенно автокаталитических) систем, обеспечивающих процессуальность явлений и жизнедеятельности.

1.3. Ключевые понятия (глоссарий) синергетики

Автопоэзис – (греч.: *αυτός* – сам + *ποιησις* – производство, сооружение, творчество) способ существования и развития сложных структур (формообразований), позволяющий им постоянно производить и достраивать себя. Термин был введён Ф.Варелой и У.Матураной для раскрытия сущности живых систем: их циклической организации, автономии, самодостраивания и сохранения их идентичности в изменяющейся окружающей среде. Под автопоэзисом в биоло-

гии понимают также «самовоспроизводство и самосохранение живых систем в процессе развития природы».

Алгоритм — точное, пунктуальное описание последовательности действий, преобразований, операций, приводящих к необходимому результату.

Аттрактор – (от латинского *attrahere* - притягивать) — означает некоторую совокупность условий, при которых выбор путей движения или эволюции разных систем происходит по сходящимся траекториям, и, в конечном счете, как бы притягивается к одной точке. Наглядно это можно представить в виде конуса бытовой воронки, направляющей движение частиц жидкости или сыпучих тел (например, песка) к своему центру (вершине конуса — горловине воронки) независимо от первоначальных траекторий. Пространство внутри конуса воронки (аттрактора), где любая частица (система), туда попавшая, постепенно смещается в заданном направлении, называют "зоной аттрактора". Различают несколько разновидностей аттрактора, среди которых можно выделить так называемый "странный аттрактор". В большинстве работ по проблемам самоорганизации живых и неживых объектов, включающих методы математического моделирования, теории нелинейной динамики и нелинейных колебаний, под *аттрактором* понимается стремление системы к относительно устойчивому состоянию в фазовом пространстве.

Вместе с тем, вслед за С.П.Курдюмовым и Е.Н.Князевой (2005) в прикладной к биологии и медицине синергетике мы понимаем под термином *аттрактор* устойчивое структурно-функциональное состояние системы, которое как бы «притягивает» (от лат.: *attrahere* – притягивать) к себе всё множество «траекторий» системы, определяемых различными начальными условиями. Если эволюционирующая система попадает в область притяжения аттрактора, то она неизбежно эволюционирует к этому устойчивому состоянию (структуре). Иными словами, аттракторами (особенно на химическом и биологическом уровнях организации материи) мы называем реальные структуры или энергетические области притяжения в открытых нелинейных средах (пространственно распределенных системах), на которые выходят процессы эволюции объектов в этих средах. Такой выход реализуется в результате затухания промежуточных, переходных колебательных процессов системы, процессов поиска системой наиболее выгодного состояния. Подчеркивая это, мы часто употребляем целостное новообразование – «*структура-аттрактор*» или *область-аттрактор*.

Аттрактор странный - один из видов аттракторов (наиболее характерный для самоорганизующихся систем), фазовый портрет которого представляет собой не точку и не предельный цикл (как для устойчивых, равновесных систем), а некоторую ограниченную *область* в пространстве состояний системы, по которой происходят «случайные блуждания». Для таких аттракторов характерно наличие *прогностического горизонта* – характерного времени, в пределах которого может быть предсказано наиболее вероятное поведение системы. Вслед за И.Пригожиным, *странный аттрактор* можно назвать «*привлекающим хаосом*». [Пригожин, Стенгерс, 2003а].Странный аттрактор можно рассматривать как стационарное состояние, но не стянутое к одной точке, а «размазанное» по области фазового пространства (в нашем понимании - и физического пространства). В природе такие системы распространены гораздо чаще,

чем это можно было бы предположить. Пространство странного аттрактора имеет *фрактальную структуру* (см. ниже *фрактал*). Отличительной особенностью странных аттракторов является то, что траектории эволюции самоорганизующихся систем, «притягиваемых ими», представляют собой незатухающие колебания (описываются иррациональными числами, наиболее известное из которых число *Фиббоначи*), организуемые за счёт существования в системе *«отрицательных»* и «*положительных обратных связей».*

При состояниях системы, характеризуемых странным аттрактором, становится невозможным определить их положение и поведение в каждый данный момент, хотя можно быть уверенным, что система находится в зоне аттрактора. С помощью расчетных алгоритмов странного аттрактора наука выходит на описание, например, изменений в климате, прогнозов погодных процессов, движения некоторых небесных тел, поведения многих элементарных частиц, явлений тепловой конвекции и т.д.

Бифуркация (точка бифуркации) - этим понятием обозначается состояние системы, находящейся перед выбором возможных вариантов функционирования или путей эволюции. В математике это означает ветвление решений нелинейного дифференциального уравнения. В точке бифуркации система находится в неравновесном состоянии, где малейшие флуктуации или случайные обстоятельства могут кардинально изменить направление дальнейшего развития, закрывая тем самым возможности движения альтернативными путями. Характеризуя такие состояния, И.Р. Пригожин подчеркивает "уникальность точек бифуркации, в которых состояние системы теряет стабильность и может развиваться в сторону многих различных режимов функционирования" [Пригожин, 1989]. Переход эволюционирующей системы через точку бифуркации (точнее вблизи неё – в «режиме с обострением») означает переход её в неустойчивое состояние, а необратимость качественных изменений системы (бифуркационные изменения) при её переходе через *точку бифуркации* – есть, по сути, причина необратимости так называемой *стрелы времени*. Поскольку проблема выбора режимов функционирования возникает перед любой самоорганизующейся системой, в синергетике приступили к построению и исследованию бифуркационных моделей с тем, чтобы попытаться обнаружить закономерность в ряду случайностей при выборе пути эволюционирования.

Гомеостаз *(синергетическое определение)* – сохранение относительного постоянства фундаментальных параметров метаболизма (обмена веществ) организма, колеблющихся в режиме апериодических изменений, в диапазоне «нормы».

Диссипативный (диссипативные), в переводе с английского – рассеивающие. Этим термином обозначаются открытые нелинейные системы, где преобладают процессы размывания, рассеивания неоднородностей. Происходит перевод (сброс) избытков поступлений прежде всего энергии (иногда вещества) на нижележащие уровни (в более простые формы) или вывод их за пределы системы. Таким образом, д**иссипация** – это процессы рассеяния энергии, трансформации её в менее организованные формы (тепло) в результате диффузии, изменений вязкости, трения, теплопроводности и т.п. То есть диссипация означает переструктурирование "чужого" в "свое" и рассеяние "лишнего" (ино-

родного). "Диссипативные процессы, – указывает И.Р. Пригожин [1989] – ведут не к равновесию, но к формированию диссипативных структур, тождественных процессам, которые из-за взаимной компенсации приводят к равновесию". Функционирование такой непрерывно взаимодействующей с окружающей средой системы как бы противоречит второму закону термодинамики, поэтому для его адекватного описания и объяснения необходимы нетрадиционные подходы, связанные с нелинейным мышлением. Большинство объектов природы (например, планеты как солнце, другие звезды, целые галактики и т.д.) являются диссипативными системами. Таковыми являются и все живые существа, которые могут существовать только на основе такого рода включенности в окружающую среду. Крупные социальные объекты (например, города и целые государства) также можно отнести к диссипативным структурам.

Инвариантность (от латинского invariance неизменный) свойство величин, уравнений, законов оставаться неизменными, сохранять свое качество при определенных преобразованиях пространственных и временных координат.

Информация – поскольку информация всегда связывает источник и результат имеется несколько определений, касающихся ее происхождения (источника), системы восприятия (рецептор) и средства (способа) передачи. У Г.Кастлера информация – это «запомненный выбор одного варианта из нескольких возможных и равноправных» [Кастлер 1967]. Это последовательность кодовых сигналов в системе, содержащей два и более типов кодовых сигналов.

- количество информации (по К.Шеннону):

$$I_N = -N \sum_{i}^{m} P_i \log_2 P_i$$

где: m – число типов кодовых сигналов (букв в алфавите); P_i – частота встречаемости i-ого типа кодового сигнала в сообщении (буквы в языке, на котором написано сообщение),

информации – функция цели, которую преследует *рецептор информации(см. ниже)*. Мера ценности информации (по М.М.Бонгарду и А.А.Харкевичу) вычисляется по формуле:

$V = \log_2 (P/\rho)$

где: ρ - вероятность достижения цели до получения информации (априорная информация), а P – после (апостериорная информация), при этом $0<P<1$, а $-\infty<V< V_{max}$

Мера ценности информации (по В.И.Корогодину):

$V = (P - \rho) / (1 - \rho)$ где: $0<P<1$, а $0<V< 1$

Ценность информации эволюционирует, например, в процессах биологической эволюции, что является предметом динамической теории информации.

- *тезаурус* – информация, содержащаяся в системе на данном уровне, и необходимая для рецепции (или генерации) информации на следующем уровне (предварительная осведомленность).

- рецепция информации – прием системой распознанной (выбранной) информации, которую данная система принимает. В процессе рецепции информации и в результате этого происходит перевод системы в одно определенное состояние, независимо от того, в каком состоянии она находилась раньше.

Если рецепция осуществляется с помощью импульса, энергия которого больше барьера между состояниями, то такая рецепция называется ***силовой*** (распространена в современной электронике).

Суть другого ***параметрического*** способа рецепции информации заключается в том, что на некоторый ограниченный промежуток времени параметры системы изменяются настолько, что она становится моностабильной, т.е. одно из ее возможных состояний становится крайне неустойчивым. При этом, независимо от того, в каком состоянии находилась система, она попадает в устойчивое стабильное состояние. После этого параметры возвращаются к их прежним значениям, система становится мультистабильной, но остаётся в том состоянии, в которое она перешла в результате рецепции информации.

Процессы силовой и параметрической рецепции информации отличаются лишь механизмами переключения: силовое управление системой – изменение динамических переменных – сдвиг изображающей точки в фазовом пространстве; параметрическое управление – изменение параметров системы, при котором точка, отражающая ее состояние (сущность) в фазовом пространстве, остается на месте, но начинает двигаться по другой траектории, задаваемой рецептируемой информацией. Например, адаптация организма - это и есть фактически пример параметрического способа рецепции информации, когда организм, как система со своими относительно постоянными параметрами (гомеостазом), остается самим собой по сущности (изображающая его точка в фазовом пространстве не меняется), но изменяет траекторию развития соответственно рецептированной из среды и переработанной информации.

- генерация информации – выбор сделанный случайно без «подсказки» извне. То есть формирование последовательности кодовых сигналов в самой системе без рецепции какой-либо информации извне.

- запоминание информации – перевод системы в определенное, новое, устойчивое состояние в результате рецепции и переработки информации извне. Например, простейшая запоминающая система – триггер – содержит всего два устойчивых состояния. Свойством запоминания обладают только макроскопические системы, состоящие из многих субсистем. Примером простейшей молекулярной системы, способной к запоминанию – является молекула, которая может находиться в двух различных изомерных состояниях, при условии, что спонтанный переход из одной формы в другую практически невероятен. Например, оптические изомеры, обладающие «левой» и «правой» хиральностью (сахара, большинство аминокислот; макромолекулы – в частности белки – способные существовать в нескольких конформационных состояниях, например прионовые белки [Шкундина, Тер-Аванесян, 2006]). Системы более высокого порядка (клетка, мозг, организм, популяция) также могут быть запоминающими системами, Причём механизм запоминания не всегда генетический. Например, клетка, способная функционировать в двух и более устойчивых состояниях, уже является запоминающим устройством. Переключить триггер из одного состояния в другое можно лишь за счёт внешнего сигнала, что сопряжено с рецепцией и равносильно запоминанию информации.

- **время запоминания информации** – в устойчивых динамических системах оно бесконечно. В реальности возможно спонтанное переключение (т.е.

забывание исходного состояния) за счёт случайных флуктуаций. Вероятность спонтанного переключения в единицу времени **W** зависит от величины флуктуаций и высоты энергетического барьера $\mathbf{F^{\#}}$ между состояниями. В молекулах эта величина составляет 0,5÷1,5 эВ и выше. Переключение совершается, когда энергия флюктуации превышает высоту барьера. Вероятность такого случая пропорциональна величине $\mathbf{\exp\{- F^{\#}/kt\}}$

Итерация (лат. *iteratio* – повторение; закон итерации) – правило, по которому происходит фрактальное преобразование исходного объекта. Другими словами, итерация – это одно из ряда повторений какой-либо математической операции, использующее результат предыдущей аналогичной операции. Например: факториал(!) – $N! = 1*2*3* \ldots *(N-1)*N$, где N – любое целое число, а каждая последующая операция умножения в факториале и есть "итерация».

Когерентность – (от лат. *cohaerentia* – внутренняя связь, связность) – согласованное во времени и пространстве поведение элементов внутри системы. В физике – согласованное протекание во времени и пространстве нескольких колебательных или волновых процессов, разность фаз которых постоянна (например, световые волны), проявляющееся при их сложении. Когерентные волны при сложении либо усиливают друг друга, либо ослабляют (наблюдается интерференция волн). Эффекты возникновения кооперативного, когерентного поведения элементов в системе называют также **синергетическими эффектами**. Когерентное поведение элементов – основа возникновения сложных упорядоченных пространственно-временных структур из динамического хаоса.

Коэволюция – совместная и взаимосогласованная эволюция сложных материальных (вещественных и/или полевых) структур.

Межуровневый интервал - показатель прерывности, указывающий на величину разрыва между пространственными, временными и другими линейными характеристиками частиц, выполняющих схожие функциональные роли в соседствующих структурных уровнях самоорганизации материи (СУСМ). Например, если сравнить СУСМ-2 и СУСМ-4, то это может быть разница в размерах электрона и планеты, протона и звезды, равная 15-и и более порядкам (смотри «*Структурный уровень самоорганизации материи*).

Нелинейная среда (система) – среда (система), в которой развитие процессов во времени и пространстве описывается нелинейными уравнениями. Такая среда (система) способна эволюционировать различными путями, таит в себе бифуркации.

Нелинейность в математическом и физическом смысле – определенный вид математических уравнений, содержащих искомые величины или коэффициенты, зависящие от свойств среды, в степенях, больше единицы. Нелинейные математические уравнения имеют несколько (более одного) качественно различных решений, одно из которых может быть равно нулю. Физический смысл нелинейности заключается в том, что множественность решений соответствует множеству путей эволюции системы (*среды*), описываемой этими нелинейными уравнениями. Причём (по С.П.Курдюмову) изменение характера начального воздействия на *одну и ту же среду* влияет на ход эволюции системы в среде, прежде всего, на ее (т.е. системы) качественные, а не количественные характеристики (например, на пространственную конфигурацию, то-

пологию). При этом в среде (**без изменения её параметров**) появляются разные структуры и области, выступающие в качестве *аттракторов* и определяющие разные пути *эволюции* системы.

Вместе с тем, И.Пригожин «разные пути эволюции связывает, прежде всего, с бифуркациями при изменении *констант среды*. Т.е., пока *количественные* изменения констант не привели к переходу в зону притяжения другого аттрактора *качественный режим движения системы неизменен*». Но если они «перешагнули» некоторое *пороговое* изменение (пусть даже при *сверхслабых* по интенсивности *воздействиях)*, то режим движения системы меняется *качественно*!!! (так осуществляются изменения при химических реакциях, в среде обитания живых организмов, формируются новые пути эволюции, новые структуры, бифуркации, модель брюсселятора и т.п.).

Нелинейность в мировоззренческом смысле – фундаментальный концептуальный узел новой синергетической парадигмы. **Нелинейность** – фундаментальнейшая характеристика открытой системы и предполагает непрерывность выбора альтернатив ее развития. Нелинейная система обязательно многомерна, многовариантна, но она не поддается классическим методам описания (где обычно рассматриваются причинно-следственные отношения для объяснения многовариантности эволюции). Это порождает потребность в выработке таких новых методов, которые отвечали бы условиям задачи прогнозирования. В математике нелинейными называют такие уравнения, которые имеют несколько качественно различных решений. Множеству способов решения задач, связанных с нелинейными уравнениями, соответствует множество путей эволюции, описываемой этими уравнениями. Необходимость анализа подобных ситуаций в познавательной деятельности привела многих ученых к разработке методологии решения эвристических проблем в нелинейных средах. Эта методология получила название **нелинейного мышления.** Таким образом, **нелинейность** означает:

- многовариантность путей эволюции. Существование альтернативных путей развития, в свою очередь, определяет *преддерминированность* развития системы, когда настоящая судьба (состояние) системы является функцией не только ее прошлого, но и будущего, того «грядущего «порядка», который определяется «странным аттрактором», в области притяжения которого система продолжает свое развитие;

- наличие выбора из альтернативных путей и определенного темпа эволюции;

- необратимость эволюционных процессов;

- периодическое чередование различных стадий протекания процессов: усиление и ослабление их интенсивности; стягивания к центру и растекания от него; эволюции и инволюции; интеграции и частичного распада;

- феномены *«разрастания малого»* и *«усиления флуктуаций»*;

- пороговость чувствительности;

- *дискретность путей* эволюции нелинейных систем (сред) - своеобразный *«квантовый эффект»;*

- возможность неожиданных (эмерджентных), не детерминированных предшествующей траекторией развития системы, изменений направления течения процессов.

- трансформация проблемы управляемого развития в проблему *самоуправляемого развития*, в т.ч. *коэволюция природы и человека*;

- новые принципы самоорганизации сложного из простого. Например, самообразование и эволюция фрактальных *диссипативных структур означает* не просто *самоподобие структур*, но и сосуществование структур ***разного возраста*** в одном ***темпомире*** (см. ниже);

- оперирование со сложными системами является функцией оптимальной топографической конфигурации, качественных, а не количественных (силы, энергии) воздействий на систему. Этим, во-первых, объясняется *эффект сверхслабых сил воздействия*, во-вторых, явление ***резонанса*** (см. ниже);

- саму возможность и закономерности протекания быстрых лавинообразных процессов и процессов *нелинейного* самостимулирующего роста, включая их инициацию и уменьшение вероятности диссипации энергии, т.е. появление диссипативных структур («диссипативного порядка» из «динамического хаоса») вблизи моментов максимально интенсивного развития.

Нелинейность процессов делает принципиально ненадежными и недостаточными прогнозы-экстраполяции от наличного, т.к. развитие совершается через случайность выбора пути, особенно вблизи от точек бифуркации, а сама случайность обычно не повторяется вновь. Следовательно, картина процесса на первоначальной или промежуточной стадии может быть полностью противоположной его картине на развитой, асимптотической стадии. Например, то, что растекалось и гасло на периферии, может со временем разгореться и локализоваться у центра. При чем такие бифуркации по времени могут определяться всецело ходом процессов самоструктурализации данной среды, а не изменением её параметров. Наконец могут происходить изменения (вынужденные или спонтанные) самой открытой нелинейной **среды.** А если среда становится другой, то это приводит к качественному изменению состояния всех систем, развивающихся в ней, процессов их коэволюции. На более глубинном уровне происходит переделка, переструктурирование поля возможных путей эволюции среды.

Непрерывность прерывности — свойство, состояние и закономерность бытия материи (определенное соотношение конечного и бесконечного), когда каждый конкретный ее объект (частица) конечен в пространстве и времени, а материальный мир в целом бесконечен по всем своим измерениям.

Неустойчивость вблизи момента (периода) обострения – резкое повышение чувствительности нестационарных (эволюционирующих) структур к малым возмущениям (флуктуациям) на асимптотической стадии, вблизи «конечного» состояния, приводящее к вероятностному хаотическому распаду этих структур.

Неустойчивость по Ляпунову – один из видов неустойчивости, является неустойчивостью по отношению к исходным данным, к начальным возмущениям (отклонениям), которые приводят далее, в процессе эволюции диссипативной системы, к сколь угодно большим различиям, к экспоненциальному «разбе-

ганию» смежных траекторий. Математически описывается комплексными числами.

Неустойчивые системы (среды) – определенный класс систем (сред), поведение которых чрезвычайно чувствительно к малым возмущениям, к хаотическим флуктуациям на микроуровне, соответственно, состояние которых может резко меняться под их влиянием.

Неустойчивость в мировоззренческом смысле является фундаментальной характеристикой эволюционных процессов. *Неустойчивость*, в совокупности с нелинейностью, порождает *динамический хаос* и обусловливает *необратимость процессов во времени* и *возможность свободного выбора* системой *(генерации информации)*. Именно явление неустойчивости лежит в основе возникновения информации (точнее ценной информации). Устойчивость (или неустойчивость) является *внутренним свойством системы*, а не результатом внешних воздействий. Особенность его в том, что проявляется оно только при наличии *малых внешних возмущений*.

Неустойчивость в мировоззренческом смысле **означает:**

- что в моменты неустойчивости *малые флуктуации* в системе могут способствовать трансформации ее в *макроструктуры*;

- переосмысление понятия «причины», поскольку причиной может стать случай (флуктуация). Случай выступает не как результат незнания предистории процесса, а как символ истинного незнания, т.е. принципиальной невозможности учесть исчезающее малые влияния. Именно ***случай (флуктуации)*** становится причиной генерации новой ценной информации;

- ревизию понятия «*абсолютно замкнутая система*», под чем ранее понималось наличие предела незамкнутой системы в случаях, когда внешние воздействия исчезающее малы. В устойчивых системах такое понимание оправданно. В неустойчивых же системах это понятие теряет смысл, поскольку следствия сверхслабых возмущений возрастают во времени, особенно вблизи точек бифуркации, лавинообразно. При этом *сама неустойчивость* является *внутренним свойством системы*, а не эффектом *внешних возмущений.*

- *необратимость процессов во времени*, иными словами, направление (векторность) *стрелы времени*. В классической современной физике фундаментальные законы сохранения связаны с симметрией. Сохранение импульса – следствие симметрии пространства. Сохранение энергии – следствие симметрии обращения (возможности обратного хода) времени. Именно поэтому фундаментальные законы физики формулируются в виде гамильтоновых систем, где обратимость времени гарантирована. Необратимость времени в этой парадигме влечет за собой несохранение энергии, что противоречит всему тому, что мы знаем о нашем мире из классической физики. Введение понятия *неустойчивость* позволяет разрешить это противоречие, т.к. неустойчивость, являясь «причиной» такого нарушения симметрии времени, которое не нарушает закона сохранения энергии и вместе с тем позволяет описывать *диссипативные процессы.* При этом в *энергии* выделяются две составляющие: *свободная* и *связанная.* Первая может переходить во вторую и при этом рассеивается (диссипирует), но не исчезает. Связанная энергия может переходить в свободную лишь *частично, что и составляет суть второго начала термодинамики*;

- ревизию понятия *«бесконечно большого»* (и «*бесконечно малого*») и введение понятия ***«гугол» -*** числа порядка 10^{100} и больше). Считалось, что физически реализуемые (наблюдаемые) величины такими числами выражаться не могут. Фундаментальное значение этих понятий было осознано позже и оказалось, что оно связано с *неустойчивостью.* Т.к. именно в неустойчивых процессах малые начальные отклонения (меньше, чем обратный «*гугол*») приводят к большим последствиям. Пренебрежение этим фактом приводит к тому, что ряд математически строгих теорем приходит в противоречие с не менее фундаментальными законами физики (в частности, со вторым законом термодинамики).

- непременное условие генерации ***новой ценной информации.*** Воспринимать, хранить и передавать информацию можно и в устойчивых процессах (в этих процессах неустойчивость является только помехой). Однако ***создание ценной информации возможно только в условиях неустойчивости!!!***

Обострение (англ. Blow up):

- время обострения – ограниченный, т.е. конечный, промежуток времени, в течение которого процесс сверхбыстро, ассимптотически развивается;

- задача на обострение – некий класс модельных задач для анализа открытых нелинейных систем (сред), в которых предполагается, что процессы развиваются сверхбыстро, т.е. характерные величины (температура, энергия, концентрация, скорость процессов и т.д.) неограниченно возрастают за конечное время;

- режим с обострением – режим, имеющий длительную квазистационарную стадию и стадию сверхбыстрого нарастания процессов в открытых нелинейных средах.

Обратная связь объемная, нелинейная, положительная – механизм саморегулируего самоиндуцирующегося развертывания процессов развития системы, действующий в каждой точке открытой нелинейной среды. Иными словами, механизм ускоренного саморазвития с нарастанием процессов по всему пространству. Такого рода механизм лежит в основе режимов с обострением.

Обратная связь объемная, нелинейная, отрицательная - механизм самодемпферирующей саморегуляции процессов, действующий в каждой точке открытой нелинейной среды, иными словами, механизм ограничения амплитуды колебаний процессов по всему пространству. Такого рода механизм лежит в основе эволюционных стадий развития самоорганизующихся систем.

Онтология - учение о бытии. Система всеобщих понятий бытия, постигаемых, помимо обычных естественнонаучных методов познания, с помощью сверхчувственной и сверхрациональной интуиции.

Открытая система (среда) – определенный вид состояний систем (сред), в которых они обмениваются энергией (в частном случае веществом) и/или информацией с окружающей средой, т.е. имеют *источники* и *стоки* (энергии, информации). Способные к самоорганизации открытые системы, как правило, имеют объемные источники и стоки, а именно источники и стоки в каждой точке системы, а не только через фиксированные каналы. Еще одним свойством открытых систем является возможность управления всеми ресурсами системы из любой ее точки. Так должна выглядеть открытая система в идеале. На прак-

тике же мы встречаемся с целой гаммой переходных состояний: от полной открытости до полной изоляции.

Парадигма - это то, что объединяет членов научного сообщества и, наоборот, научное сообщество состоит из людей, признающих парадигму». Это так называемое циклическое определение парадигмы, данное Т.Куном. Ценным в этом определении является то, что оно не отождествляет парадигму с теорией. Причем, как говорил Т.Кун, наличие в научном сообществе теоретических разногласий еще не говорит об отсутствии в этом сообществе единой парадигмы или о наличии одной или двух парадигм.

Перемешивающий слой - область фазового пространства мультистабильной динамической системы, обладающая следующими свойствами:

- все траектории, исходящие из определенной области начальных условий, в момент времени t_0 попадают в перемешивающий слой;
- все траектории в момент времени Т выходят из перемешивающего слоя и переходят в область мультистабильного динамического режима;
- в области перемешивающего слоя имеет место стохастический режим, где величина СТ много больше 1. $CT= \lim_{\Delta x(t0)\to 0} \ln \Delta x(T)/ \Delta x(t_0) >> 1,$

где $\Delta x(T)$ и $\Delta x(t_0)$ – расхождения траекторий в моменты входа и выхода из перешивающего слоя соответственно. Величина СТ – аналог числа Ляпунова и переходит в него при $T\to\infty$.

«Перемешивающий слой» - необходимый этап развития живых систем, играет ключевую роль при генерации ценной информации, в биологической эволюции, в творчестве и мышлении.

Порядок в физической, экологической, экономической и любой другой системе может быть двух видов: *равновесный* и *неравновесный*. При *равновесном порядке* система находится в равновесии с окружающей средой и её фундаментальные параметры одинаковы с соответствующими параметрами окружающей среды (например, температура, давление, концентрация веществ и др.). При *неравновесном порядке* они различны. Под параметрами, определяющими тип «*порядка»* в физических, а также в химических и биологических системах**,** в первую очередь, понимаются температура, затем давление. Экономические и социальные системы тоже описываются обобщающими параметрами, которые при состояниях равновесия принимают фиксированные значения.

Развитие можно представить как результат антиэнтропийной эволюции в самоорганизации материальных систем. Оно связано с необратимостью некоторых процессов во Вселенной, т.е. накоплением таких качественных и количественных изменений, которые временно как бы изымают часть вещества из кругооборота материи за счет включения его во все более сложные формы движения. Это происходит путем вплетения физических форм движения материи в другие формы или же в физические формы движения на следующем структурном уровне самоорганизации материи (СУСМ).

Рез**она́нс** (фр. *resonance*, от лат. *resono* – откликаюсь) – явление резкого возрастания амплитуды вынужденных колебаний состояния системы, которое наступает в случаях внешних воздействий с частотой, приближающейся к некоторым значениям (резонансным частотам), определяемым свойствами самой системы. Эти свойства выступают в качестве аттракторов для внешних пере-

менных воздействий. Если же внешнее воздействие осуществляется только с фиксированной частотой, достижение резонанса проблематично. При помощи явления резонанса можно выделить и/или усилить даже весьма слабые колебания системы, т.е. состояния системы, первоначально не проявляющиеся. Резонанс – явление, заключающееся в том, что при некоторой частоте вынуждающей силы колебательная система оказывается особенно отзывчивой на действие этой силы. При наличии резонанса между системой и воздействующим фактором среды становится возможным не только переток энергии от одного колебательного процесса к другому, но и параметрическое управление одним колебательным процессом (пусть даже с намного меньшими энергетическими характеристиками) других колебательных процессов со сравнительно более высокими энергетическими характеристиками.

Резонансное возбуждение – соответствие пространственной конфигурации внешнего воздействия собственным (внутренним) структурам открытой нелинейной среды (системы).

Самоорганизация – процессы спонтанного упорядочения (перехода от хаоса к порядку), образования и эволюции структур в открытых, сильно неравновесных и нелинейных средах (системах). **Самоорганизация** – понятие, выражающее способность сложных систем к упорядочению своей внутренней структуры. Самоорганизация в сложных и динамичных открытых системах возможна лишь при наличии достаточно большого числа взаимодействующих элементов. Причем поведение взаимодействующих элементов должно быть кооперативным и когерентным. Это относится и к природе, и к обществу – системам биологическим и социальным. Самоорганизация в открытых нелинейных системах не исключает развития системы, перехода ее в новое качество. Например, организм человека как и другие биологические системы может в процессе самоорганизации перейти из предболезненного состояния в болезнь, а может и выздороветь. Созревание, взросление, старение живых организмов – новые качественные состояния самоорганизации. Семья как микросоциальная система, как и общество в целом, и отдельное государство могут менять свою структуру и качественное состояние в процессе самоорганизации.

Синергетика – новое направление междисциплинарных исследований, использующее нелинейное мышление для выявления общих закономерностей самоорганизации, становления устойчивых «диссипативных структур» в открытых системах естественного и искусственного происхождения. Термин "синергетика" происходит от греческого "синергос"- совместно действующий первоначально введен немецким математиком, физиком и философом Г.Хакеном. Автор термина имел в виду совместные усилия ученых многих областей знания по поиску новых парадигм познания явлений природы, общества и созданию научной картины мира, отвечающей современным задачам. На стыках наук, на путях их интеграции в рамках нелинейного мышления появляется возможность действительно по-новому взглянуть на результаты исследований в астрономии и космологии, физике и *химии,* математике, биологии, других естественных науках, науках о человеке и обществе. При этом происходит не только интеграция научных достижений, связанных с использованием различных теоретико-методологических направлений современности, но и обращение к наиболее

продуктивным идеям всех времен и народов, в частности, к идеям древности как на Востоке, так и на Западе. Таким образом, ***синергетика*** - междисциплинарное направление научных исследований, в рамках которого изучаются процессы перехода от хаоса к порядку и обратно (процессы самоорганизации и самодезорганизации) в открытых, сильно неравновесных и нелинейных средах (системах) самой различной природы и масштаба: физических (от мира элементарных частиц до Вселенной), химических, биологических, социальных.

- ***Синергетическое моделирование*** – моделирование природных, социальных и искусственных процессов с использованием принципов и методов синергетики: интегративности, системогенеза и нелинейности.

- ***Структурный уровень самоорганизации материи (СУСМ)*** - основной элемент физической картины мироустройства в любых изучаемых системах от микро- до макроуровня. Этот элемент позволяет разграничить пространственно-временные, количественные и количественно-качественные характеристики систем. В настоящее время выделяется пять таких СУСМ [Котельников, 2005]:

- *субэлементарный уровень* (СУСМ-1; частицы полей), пространственные значения в пределах от 10^{-37} до 10^{-32} м, временные интервалы от 10^{-45} до 10^{-40} с. В дальнейшем, пространственные значения (пространственные интервалы) обозначаются термином "квант пространства" (сокращенное обозначение пространственных значений, в рамках которых физические формы материи данного класса (уровня) сохраняют свое качество). Соответствующие временные интервалы обозначаются термином "квант времени", который вычисляется путем деления пространственных значений на скорость света;

- *микроуровень* (микромир; СУСМ-2) - элементарные частицы, их комплексы, атомы), квант пространства - $10^{-16} \div 10^{-10}$ м, квант времени $10^{-24} \div 10^{-18}$ с.

- *средний уровень (химический, биологический мир*; СУСМ-3) - молекулы, супрамолекулярные комплексы, биологические, экологические и социальные системы), квант пространства - $10^{-9} \div 10^{6}$м, квант времени $10^{-10} \div 10^{10}$ с.

- *макроуровень* макромир; СУСМ-4) - планеты, планетные системы, звезды, квант пространства - $10^{7} \div 10^{11}$ м, квант времени - $10^{7} \div 10^{12}$ с.

- *мегауровень (*мегамир; СУСМ-5) - галактики и галактические системы, квант пространства — $10^{20} \div 10^{26}$м, квант времени - $10^{12} \div 10^{18}$с.

Существование межуровневого интервала связано с тем, что каждая дискретная физическая форма не может эволюционировать до бесконечности в рамках форм данного класса (уровня). После достижения определенного предела дальнейшее развитие физических форм в пределах одного СУСМ становится невозможным и происходит накопление условий для скачка - перехода к следующему уровню самоорганизации материи, преимущественно по фрактальному принципу. В итоге происходит как бы репликация системы самоорганизации на следующем СУСМ, что связано с возрастанием размерности физических объектов от уровня к уровню.

Возрастание размерности физических постоянных от уровня к уровню, как и "перешагивание" через межуровневый интервал, по-видимому, составляет важную закономерность эволюции форм материи. Поскольку возрастание размерности физических и иных форм происходит во времени, значение времени приобретает свойство относительности (привязанности к определенному мате-

риальному субстрату, системе), и каждому этапу в развитии материального мира, иначе говоря, каждому СУСМ соответствует определенный временной эквивалент – *темпомир.* Можно предположить, что он пропорционален пространственной длительности и массе частиц этого уровня. Например, для определения (измерения) пространства на мегауровне – галактик – человек использует как эквивалент понятие *световой год*. Так, если средняя протяженность частиц микромира приблизительно на 22 порядка меньше объектов макромира, то и процессы в микромире должны протекать быстрее на столько же порядков. Эту разницу в скорости протекания процессов следует рассматривать как межуровневый временной интервал между темпомирами, присущими каждому из СУСМ.

Наблюдаемая последовательность СУСМ позволяет предполагать, что каждый из них является результатом развития предыдущего и что в любой из моментов времени материя на всех уровнях вертикальной структуры находится в различных качественных состояниях (как, к примеру, и разные поколения одновременно живущих на одной территории, т.е. в одной пространственно-временной среде, людей). Предшествующие нашему (СУСМ-3) уровни самоорганизации материи (например, микромир - СУСМ-2) должны быть старше и иметь более долгую по времени историю на величину межуровневого временного интервала.

Так как между СУСМ наблюдаются не только пространственный и временной интервалы, но и интервалы по массе и другим фундаментальным параметрам (например, энергии), есть все основания предполагать, что в чередовании этих интервалов существует взаимосвязь, которая должна принимать форму тенденций и закономерностей. Исследование корреляций между формами проявлений межуровневого интервала дает ключ к разгадке многих явлений природы, позволяет выйти на законы взаимосвязи пространства, времени, массы, движения, скорости, энергии и т.д. Здесь, очевидно, скрыт механизм перехода одних форм движения в другие, механизм действия системообразующих факторов. В принципе все вопросы, связанные с пониманием сущности эволюционных процессов (в том числе и процессов развития биологических форм), упираются в познание механизмов заполнения межуровневого интервала, перехода от одного *темпомира* к другому.

Спектр структур открытой нелинейной среды – множество (набор) относительно устойчивых состояний её организации, к которым, как к аттракторам, стремятся процессы в данной среде. Математически спектр структур определяется спектром собственных функций – решений, соответствующего нелинейного дифференциального уравнения.

Стрела времени - общая направленность природных процессов в их последовательности, охватывающая все структурные уровни самоорганизации материи.

Структура (в открытой нелинейной среде) – локализованный в определенных участках среды процесс, т.е. имеющий определенную геометрическую форму и способный развиваться, трансформироваться в среде или переноситься по среде с сохранением своей формы и *фрактальной* (см. ниже *фрактал, фрактальность*) природы.

Структура диссипативная – структура, возникающая из *хаоса* (см. *хаос* ниже) в результате процесса самоорганизации благодаря рассеянию (*диссипации*) энергии или информации. Образование диссипативных структур идёт за счёт энергии внешней среды и может происходить только в нелинейных процессах в открытых, сильно неравновесных системах, т.е. при условии, когда скорость изменения суммы внутренней и внешней энтропии во времени положительна - $(dS_{внутр}+dS_{внешн.})/dt > 0$ – представление, широко развиваемое в работах И.Пригожина.

Структура нестационарная – эволюционирующая структура, способная к росту, усложнению и подверженная распаду.

Структура сложная – структура, построенная из нескольких простых структур (структур с одним максимумом) «разного возраста».

Структуры разного возраста – структуры, находящиеся на разных этапах эволюции, на разных стадия приближения к моменту обострения.

Темпомир – мир, определяющей характеристикой которого является единый темп (общая скорость) развития всех входящих в него сложных структур. Термин введен С.П.Курдюмовым и Е.Н.Князевой.

Термодинамическая ветвь – состояние теплового хаоса, по которому, согласно второму закону термодинамики, идут процессы в *закрытых* системах. В открытых системах это – один из возможных, самый примитивный, путь её эволюции.

Фазовое пространство (фазовый портрет) – абстрактное математическое многомерное пространство, координатами которого служат независимые параметры, определяющие состояние системы. Фазовый портрет – проекция фазовой диаграммы (траектории поведения точки в n-мерном пространстве). Фазовая диаграмма – характеризует траекторию перемещения точки в системе координат, одна из которых – время, а другие отражают изменения её характеристик (концентраций исходных реагирующих веществ и др.).

Фибоначчи число (Fn; золотая пропорция) – Fn=Fn-1+Fn-2 Числа Fn , образующие последовательность 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55, 89, 144, 233, ... называются «числами Фибоначчи», а сама последовательность - последовательностью Фибоначчи. Суть её в том, что начиная с 1 следующее число получается сложением двух предыдущих. Данная последовательность асимптотически стремится к некоторому иррациональному постоянному соотношению Fn/ Fn-1 в режиме затухающих колебаний вокруг этой величины, равной ***1.61803398875...*** (для краткости обозначаемое коэффициентом 1,**618).** Особые названия этому соотношению начали давать еще до того, как Лука Пачиоли (средневековый математик) назвал его Божественной пропорцией. Среди современных названий этого коэффициента есть такие, как ***Золотое сечение***, *Золотое среднее* и *Отношение вертящихся квадратов*. Иоганн Кеплер назвал это соотношение одним из "сокровищ геометрии". Он говорил, что геометрия владеет двумя сокровищами - **теоремой Пифагора и золотым сечением**. И если первое из этих двух сокровищ можно сравнить с мерой золота, то второе с драгоценным камнем. В алгебре общепринято его обозначение греческой буквой «Ф» (фи). В чем заключается математический и физический (упорядочивающий) смысл золотого сечения?

- Золотое сечение означает такое пропорциональное деление любого отрезка (в пространстве, времени в структурной организации) на неравные части (см. рис. 1), при котором весь отрезок (c) так относится к большей части (b), как сама большая часть (b) относится к меньшей (a); или другими словами, меньшая часть отрезка так относится к большей, как большая ко всему отрезку

$a : b = b : c$ или $c : b = b : a$.

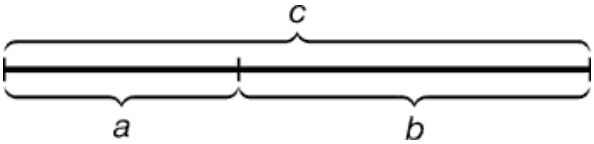


Рис. 1. Геометрическое изображение золотой пропорции

Численное значение Золотого сечения равно числу Фибоначчи **0.618… Как оказалось,** на этой пропорции базируются основные геометрические фигуры.

З*олотое сечение* – гармоническая пропорция. Целое всегда состоит из частей, части разной величины находятся в определенном отношении друг к другу и к целому. Принцип золотого сечения - высшее проявление структурного и функционального совершенства целого и его частей в искусстве, науке, технике и природе. В эстетике искусств эпохи ренессанса (изобразительного искусства, включая живопись, скульптуру, поэзию, музыку, а также архитектуру зданий и ландшафтов) обсуждаются принципы красоты как воплощения физической и духовной гармоничности, ритмичности и созвучности в тесной связи с законами пропорциональности структурно-пространственной и временной организации на микро- и макроуровнях. Человек различает окружающие его предметы по форме. Интерес к форме какого-либо предмета может быть продиктован жизненной необходимостью, а может быть вызван красотой формы. Анализ структуры шедевров всех жанров мирового искусства доказывает, что форма, в основе построения которой лежат сочетание симметрии и золотого сечения, способствует наилучшему зрительному восприятию и появлению ощущения красоты и гармонии и даже формированию особого духовного состояния, подъему настроения, способствует снятию стрессов, отдыху и перезарядке организма человека.

- Пропорции Фибоначчи в природе. Вызывает удивление то, сколько феноменов вокруг нас и в самой природе человека объяснимо с привлечением пропорций Фибоначчи: этим объясняется сингулярность биохимических часов и градиентность циркадианных фаз в биологических процессах и системах, эта пропорция составляет принцип компромиссности фаз (синхронности) в работе разных органов одного организма и компромиссности фаз (при чередовании фазной деятельности) в работе одного органа (например, сердечной мышцы) и, по-видимому, является сущностью (и облигатным признаком) всей и всякой биоритмической деятельности живых и неживых систем и, наконец, эта пропорция работает в музыкотворчестве и объясняет красоту, мелодичность музыкальных произведений и их физиологическую восприимчивость (то есть рецептивность) [*Уинфри,* 1990; *Цветков,* 1997; *Зидермане, 1988;* Красота и мозг, 1995]. Не будет преувеличением сказать, что это не просто игра с числами, а самое важное математическое выражение природных явлений из всех когда-

либо открытых. Присутствие пропорции Золотого сечения замечено везде и значение ее универсально и уникально. Золотая пропорция фигурирует в физике и химии взаимодействий, фибрилляций, волновых и циклических процессов, протекающих *in vivo* и *in vitro*. Она объясняет циклически распространяющиеся волны в активной среде при химических и физических нелинейных (объемных и временных) процессах, объясняет волновую «пульсацию» химических осцилляторов, спиральную конфигурацию ритмически активных биологических сред. Она отмечена в структурно-пространственной организации биомолекул, устроенных наподобие пошаговых винтовых лестниц (РНК, ДНК, цАМФ). Она входит в математические закономерности пространственно-временной организации функциональных взаимодействий на межорганном, межклеточном, межмолекулярном и еще более тонких уровнях коммуникаций.

Приводимые нами ниже примеры из синергетики в медицине, в искусстве и в геофизике показывают некоторые интересные приложения этой математической последовательности. Многие формы живых систем (в виде звезд, спиралей, цилиндров, вороонкообразных, трех- пяти- и шестиугольных призм), расположение ветвлений у деревьев и трав, а также формирование морозных рисунков на стекле связаны с заложенной в их архитектонику формулой с числом Фибоначчи. По-видимому, и **сам принцип фрактальности** (самоподобия, см. ниже) его вездесущность – и **есть проявление числа Золотой симметрии**. А, учитывая, что Золотая пропорция составляет биофизическую суть оптимальной во всех отношениях (энергетическом, биоритмологическом, гемодинамическом) автоматизированной деятельности главного мотора жизни – сердца и обеспечивает «Золотую гармонию» всех элементов (звеньев) кардио- и гемодинамической системы, поистине справедливым будет выражение: «Симметрия - есть частный случай полиморфии» (Цветков, с.39)

Флуктуации – (от латинского *fluctuatio* колебание) обусловленные случайными факторами небольшие колебания (случайные отклонения мгновенных значений) физических и иных величин вокруг средних значений. Служат показателем хаотичности процессов на микроуровне системы, которые при некоторых условиях могут играть роль "пускового механизма" для изменения направления развития системы.

Фрактал (фрактальный объект) – объекты, которые обладают свойствами самоподобия, или масштабной инвариантности. Самоподобными могут быть некоторые фрагменты системы, структуры которых повторяются при разных масштабах.

Понятие фрактала введено в научный обиход Бенуа Мандельбротом. Следуя духу “Начал” Евклида, предложившего три описания *линии*, ни одно из которых не может претендовать на строгое определение с точки зрения современной математики, а именно: длина без ширины; граница двух областей; и «то, что имеет одно измерение», Мандельброт поясняет понятие фрактала как некоего образования, самоподобного или самоаффинного в том или ином смысле. Только такое нарочито широкое пояснение позволяет охватить без видимых досадных пробелов и потерь достаточно мощное множество объектов, достойных называться фракталами. Любая попытка дать более строгое определение, отсекает какой-то достаточно ёмкий класс объектов, непозволительно сужая и обедняя мир фракталов. В этой связи можно вспомнить слова Л.И. Мандельштама, образно сравнившего чрезмерно ограничительные определения на первом этапе существования научной дисциплины с губительным пристрастием заворачивать младенца в колючую проволоку.

Простейшие фракталы, такие, как «канторова пыль», «снежинка Коха», «ковер и губка Серпинского», «кривые дракона» и «кривые Пеано и Гильберта», обладают регулярной, геометрически правильной, структурой. Каждый фрагмент такого геометрически правильного фрактала в точности повторяет

всю конструкцию системы в целом. При менее точном следовании самоаффинности или самоподобию возникают другие, не столь регулярные (например, случайные) фракталы. Их самоаффинность проявляется, например, в сохранении нормального случайного распределения в различных масштабах, возможно, с различными дисперсиями вокруг средних значений. Примерами случайных фракталов могут служить береговые линии, очертания некоторых государственных границ, поры в хлебе и зрелых сырах, границы доменов и зерен в кристаллах и так далее.

Примеры фракталов могут быть как континуальными, так и дискретными. Например, важными свойствами самоподобия обладает дискретная последовательность «Акселя Туэ - Марстона Морса», возникающая в самых различных динамических ситуациях — от символической динамики до чисел Фибоначчи и треугольника Паскаля. Все биологические объекты имеют фрактальную структуру.

Фрактальность - самоподобие. Этим понятием обозначают принцип самоподобия в любых масштабных инвариантностях. Благодаря этому принципу структурирования последующие формы самоорганизации материи напоминают по своему строению предыдущие. Такие явления мы довольно часто наблюдаем в природе. Например, строение Солнечной системы (как и всех звездных систем) в определенной мере подобно строению атома. Однако, размеры Солнечной системы в пространственно-временных масштабах на два десятка порядков больше чем размеры атома. В медицине примером фрактальности может служить картина идеальной электрокардиограммы с безупречной повторяемостью интенсивности и размерности импульсации отделов миокарда, в биологии – структурная клеточная и субклеточная организация клеток какого-либо паренхиматозного органа, стволовые кольца различных деревьев

Фрактальная размерность (D)– дробная размерность (от лат.: *fragere* - ломать, разбивать, раздроблять), являющаяся характеристикой неустойчивого, хаотического поведения систем (сред), описывающихся в частности, странными аттракторами. Фрактальная размерность «канторовой пыли» - фрактала, образующегося при дроблении линии до совокупности точек - $0<D<1$. Фрактальная размерность «толстой линии» - фрактала, образующегося при дроблении отрезка, описывается соотношением $1<D<2$. Фрактальная размерность «толстой плоскости» - $2<D<3$. Фрактальная размерность объекта, образующегося при фрактальном преобразовании объемных структур, - $3<D<4$. Есть основания полагать, что фрактальная размерность нейронных кластеров мозга имеет размерность больше 3.

Хаос (греч. *caos*) – в греческой мифологии это беспредельная первобытная масса, из которой образовалось впоследствии все существующее. В переносном смысле - беспорядок, неразбериха (Энциклопедия Кирилла и Мефодия).

Обычно под хаосом всегда понималось неупорядоченное, случайное, непрогнозируемое поведение элементов системы. Многие годы господствовала теория, утверждавшая, что статистические закономерности определяются только числом степеней свободы: полагали, что хаос – это отражение сложного поведения большого количества частиц, которые, сталкиваясь, создают картину неупорядоченного поведения. Наиболее характерный пример такой картины –

броуновское движение молекул в газовой или жидкой среде, или мелких частиц в воде. Оно отражает хаотические тепловые перемещения громадного числа молекул (частиц), случайным образом ударяющих по другим молекулам (частицам), вынуждая их к случайным блужданиям. Такой процесс оказывается полностью непредсказуемым, недетерминированным, поскольку точно установить последовательность изменений в направлении движения частицы невозможно – мы ведь не знаем, как движутся все без исключения молекулы воды. Из этого следует невозможность выведения таких закономерностей, которые позволяли бы точно прогнозировать каждое последующее изменение траектории частицы по предыдущему ее состоянию. Иными словами, не удается надежно, достоверно связать между собой причину и следствие или, как выражаются специалисты по математической физике, формализовать причинно-следственные связи. Такой вид хаоса можно назвать недетерминированным (НХ). И все же некоторые усредненные характеристики поведения в состоянии недетерминированного хаоса были найдены. Используя аппарат статистической физики, ученые сумели вывести формулы, описывающие кое-какие обобщенные параметры броуновского движения, например, расстояние, пройденное частицей за некоторое время (первым эту задачу решил А. Эйнштейн).

Однако в самые последние годы внимание исследователей все больше сосредоточилось на так называемом детерминированном хаосе (ДХ). Помимо образного представления хаоса как беспорядка, ДХ приобретает структурно-функциональные характеристики при описании поведения динамических диссипативных систем.

Хаос детерминированный (динамический) – представляет собой одно из направлений синергетических исследований, в рамках которого изучаются виды хаоса и различные сценарии перехода к хаосу в детерминированных (динамических системах). *«Динамический хаос»* имеет статус великого открытия. Это понятие играет роль моста между различными науками, является основой их интеграции, в этом смысл синергетики.

Этот вид хаоса порождается не случайным поведением большого количества элементов системы, а внутренней сущностью нелинейных процессов. *Детерминированный хаос* – отнюдь не редкость: всего два упруго сталкивающихся бильярдных шара образуют систему, сложная поведенческая функция которой имеет статистические закономерности, то есть содержит элементы «хаоса». Отталкиваясь друг от друга и от стенок бильярдного стола, шары рассеиваются под разными углами, и через некоторую случайную последовательность соударений их можно рассматривать как неустойчивую динамическую систему с непрогнозируемым поведением. Аналитические решения нелинейных уравнений, описывающих поведение таких систем, как правило, не могут быть получены. Поэтому исследования проводятся с помощью вычислительного эксперимента: на ЭВМ шаг за шагом получают численные значения координат отдельных точек траектории. В фазовом пространстве *детерминированный хаос* отображается непрерывной траекторией, располагающейся во времени без самопересечения (иначе процесс замкнулся бы в цикл) и постепенно заполняющей некоторую область фазового пространства. Таким образом, любую сколь угодно малую зону фазового пространства пересекает бесконечно большое количество

фрактально организованных отрезков траектории. Это и создает в каждой зоне случайную ситуацию – хаос. При этом, несмотря на детерминизм процесса ход его траектории непредсказуем. Другими словами, мы не в состоянии предвидеть или хотя бы грубо охарактеризовать поведение системы на достаточно большом отрезке времени и в первую очередь потому, что принципиально отсутствуют аналитические решения.

Энтропия (от греческого - поворот, превращение) - количественная мера неопределенности ситуации, например, степени упорядоченности системы и ее способности пребывать в данном состоянии. Зависит от способности энергии к превращениям и направленности этих превращений. В физике с помощью понятия энтропии формируется второе начало термодинамики (закон возрастания энтропии), определяющее направление энергетических превращений в сторону максимума. Достижение максимума энтропии характеризует наступление равновесного состояния, при котором невозможны дальнейшие энергетические превращения, так как вся энергия уже превратилась в теплоту, и наступило состояние теплового равновесия (отсюда понятие "тепловой смерти"). Современная физика трактует явление возрастания энтропии как переход от менее вероятных состояний системы к более вероятным.

Эффе́кт ба́бочки — термин в естественных науках, образно обозначающий свойство некоторых хаотичных систем, когда незначительное влияние на систему может иметь большие и непредсказуемые эффекты где-нибудь в другом месте и в другое время.

HS-режим – один из типов развертывания процессов в открытой нелинейной среде, когда отсутствует локализация, но происходит размывание структур. Это развитие системы в форме (виде) неограниченно разбегающейся от центра волны, он имеет место в том случае, если диссипативный размывающий фактор интенсивнее, чем фактор локализации, работа нелинейного источника энергии. Главная характеристика *HS-режима* заключается в том, что он развивается быстрее *S-режима.* Это отражается в названии - «H» означает «higher», более высокий, чем *S-режим*.

LS-режим – определенный тип развертывания процессов в открытой нелинейной среде в режиме с обострением, когда происходит всё более интенсивное развитие процесса во всё более узкой области вблизи максимума. Образно выражаясь, это – «сходящиеся волны горения», причём эффективная область локализации сокращается. Этот режим имеет место тогда, когда фактор, создающий неоднородности в среде (действие нелинейных объемных источников) работает значительно сильнее, чем рассеивающий, размывающий фактор. Главная характеристика *LS-режима* заключается в том, что он развивается медленнее *S-режима.* Это отражается в названии - «*L*» означает «lower», более низкий, чем *S-режим*. «Тепловая энергия» слабее «размазывается» по пространству, чем в случае *S-режима*. *LS-режим* в открытой нелинейной среде имеет ряд качественных различных решений, их неединственность обуславливает спектр структур разной сложности.

S-режим – режим «горения», развития процесса с обострением, когда на асимптотической стадии процесс локализуется и развивается внутри некоторой фундаментальной длины *L*. Название *S-режим* введено по первым буквам фа-

милий авторов работы, где впервые была изучена устойчивость остановившейся тепловой волны в краевой задаче для уравнения нелинейной теплопроводности. Английское «*s*» в названии удачно согласуется с термином «standing wave» - *стоячая волна*.

2. Основные положения синергетики, их физико-химическое и мировоззренческое содержание

2.1. Условия возникновения в системах качественно нового свойства – способности к самоорганизации. *Нелинейность, открытость системы и сильная термодинамическая неравновесность*

Поскольку основной задачей синергетики является изучение условий и механизмов процессов самоорганизации в материальных системах, следует в первую очередь рассмотреть в обобщённом виде, наиболее фундаментальные свойства материальных систем (вещественных, полевых, смешанного типа).

1. Системы возникают, эволюционируют и дезинтегрируются в пространственно-временном континууме.

2. Системы могут быть простыми или сложными, т.е. состоять из нескольких или многих одинаковым или разнородных (фрактальных) частей, которые находятся во взаимодействии друг с другом.

3. Системы могут быть закрытыми или открытыми, т.е. обмениваться с окружающей средой энергией (в частном случае веществом) и/или информацией, иными словами существовать в потоках энергии (вещества) и/или информации.

4. Системы могут стремиться к термодинамическому равновесию, либо существовать вблизи/вдалеке от него за счёт внутренних колебаний или внешних воздействий.

5. Системы могут стать стабильными (устойчивыми) или нестабильными (неустойчивыми).

6. По пространственной организации системы могут быть изотропными или анизотропными

7. Процессы, происходящие в системах, могут быть линейными, либо нелинейными.

8. Структуры и процессы в системах могут быть упорядоченными или хаотическими.

Анализ обширнейшей литературы по критериям феномена самоорганизации в различных системах: физической (от элементарных частиц до Вселенной), химической, биологической, социальной природы позволяет выделить ключевые характеристики систем, являющиеся необходимыми и достаточными условиями возможности протекания в них процессов самоорганизации новых структур (диссипативных структур) – «порядка из хаоса».

Такие системы должны быть:

- сложными;

- открытыми и сильно удаленными от состояния термодинамического равновесия;

- анизотропными по структуре;

- процессы взаимодействия между частями системы и между системой в целом и внешними факторами должны быть нелинейными.

При выполнении этих условий системы становятся нестабильными, в них возникают отрицательные обратные связи (определяющие колебательные процессы) и положительные обратные связи (определяющие способность малых и сверхмалых флуктуаций к разрастанию, а не к нивелированию). Следствием вышеотмеченного являются качественные изменения в этих системах, появление у них новых *эмерджентных* свойств (возникающие в целостной сложной системе и отсутствующие в её составных частях), включая возникновение из *«хаоса» пространственных, временных, пространственно-временных или функциональных «диссипативных» структур, что и означает появление качественно нового свойства – способности к самоорганизации.*

Таким образом, процесс самоорганизации (*образования «диссипативных структур»*) в сложной (*состоящей из большого числа разнородных элементов взаимодействующих между собой по нелинейным законам*), открытой для потоков энергии вовне и внутрь, вещества и информации, сильно неравновесной системе может происходить только из предшествующего состояния «*динамического хаоса»,* благодаря «конкурентной борьбе» слабых и даже сверхслабых флуктуаций внутри системы. В результате этой конкуренции происходит разрастание той из них, которая по своим характеристикам состояния системы более оптимальна *фрактальным* свойствам того «*странного аттрактора*», к которому стремится система после точки бифуркации. В этом заключается роль *«случайности»* в определении траектории развития системы в «режиме с обострением», после точки бифуркации, а также принципиальная детерминистическая непредсказуемость траектории эволюции системы после прохождения ею точки бифуркации, точнее предсказуемость с точностью только до «аттрактора».

Само состояние «*динамического хаоса»*, наличие разнообразных флуктуаций в нём обусловлено *«положительными обратными связями*» в системе, природа которых – *нелинейность* процессов взаимодействия элементов системы между собой и системы в целом с окружающей средой. Поддержание неустойчивого состояния «диссипативной структуры» в режиме динамических колебаний её параметров в рамках данного аттрактора обеспечивается *«отрицательными обратными связями*» в системе, также обусловленными нелинейностью процессов взаимодействия элементов системы между собой и системы в целом с окружающей средой.

Особенно важны следующие свойства таких систем: «динамический (детерминированный) хаос», «нелинейность», «термодинамическая открытость» и сильная удаленность от термодинамического равновесия таких систем. Развитие их идет через неустойчивость, посредством бифуркационных (от лат. *bifurcus*– раздвоение) возбуждений с образованием структур аттракторов (от лат *attrahere* - притягивать). Синергетическое развитие опирается на детерминированный хаос: закономерное и многократное чередование порядка и хаоса.

Разделяют «статистический хаос», несущий разрушение, деструкцию, и «динамический хаос», способный создавать структуры самой невероятной упо-

рядоченности, обладающие многими осями симметрии, многоступенчатой иерархией, тенденцией к усложнению.

Открытость систем означает наличие в них источников и стоков энергии (в частном случае вещества) и информации, без подвода которых самоорганизация прекращается. Порядок нового типа возникает за счёт когерентности – механизма «коммуникации» между частями системы (например, молекулами субклеточными структурами, клетками, биологическими организмами и т.д.). Но связь такого типа может возникать только в сильно неравновесных условиях. Колебания, возникающие за счёт отрицательных обратных связей, направляют эволюцию системы к созданию относительно устойчивых структур.

Нелинейность обеспечивает неустойчивость, многообразие, набор случайностей, возникновение бифуркаций. Небольшая флуктуация в период приближения к бифуркации может стать отправной точкой эволюции в совершенно новом направлении, которое резко изменит всё поведение макроскопической системы.

Синергетическая система (т.е. развивающаяся по законам синергетики) состоит из подсистем самой различной природы: электронов, атомов, молекул, клеток, органов растений, животных или человека, особей в популяции или популяций и видов в экосистеме и т.д.

Под *самоорганизацией* в синергетике понимаются процессы возникновения макроскопически упорядоченных пространственно-временных структур (диссипативных структур) в сложных нелинейных системах, находящихся в далеких от равновесия состояниях, вблизи особых критических точек – точек бифуркации, в окрестности которых системы становятся неустойчивыми. «Механизмами» самоорганизации могут служить изменение управляющих параметров, изменение числа компонент, фазовые переходы и т.д.

Порядок – это состояние системы, в которой между множеством элементов любой природы существуют устойчивые («регулярные») отношения, повторяющиеся в пространстве или во времени, или в том и другом. Хаос – это состояние системы, в которой между множеством элементов нет устойчивых (повторяющихся) отношений.

Таким образом, с позиций синергетики физическая картина мира представляет сложную иерархию открытых, неравновесных, нелинейных и поэтому самоорганизующихся систем, подчиняющихся некоторым универсальным законам эволюции

2.2. Порядок и хаос, механизмы трансформации «динамического хаоса» в «порядок» («диссипативные структуры»). *Случайность и конкуренция флуктуаций, положительные и отрицательные обратные связи. Режимы с обострением (перемешивающий слой), развитие через неустойчивость. Аттракторы*

Упорядоченность и хаос... две крайности, наблюдаемые в реальном мире. Четкая, подчиняющаяся определенному порядку смена событий в окружающем нас пространстве и во времени: движение планет, вращение Земли, появление кометы Галлея на горизонте, размеренный стук маятника, *детерминирован-*

ность целого ряда природных событий, процессов в биологических (развитие зародыша, старение и др.) и химических системах.

С другой стороны, хаотическое метание шарика в рулетке, броуновское движение частицы под случайными ударами соседних частиц, беспорядочные *вихри* турбулентности, образующиеся при течении жидкости с достаточно большой скоростью, случайные события в жизни любой биологической системы, включая жизнь человека.

Когда говорят о *детерминированности некой системы,* имеют в виду, что ее поведение характеризуется однозначной причинно-следственной связью. То есть, зная начальные условия и закон движения системы, можно точно предсказать ее будущее. Именно такое представление о движении во Вселенной характерно для классической, ньютоновской динамики. *Хаос* же, напротив, подразумевает беспорядочный, случайный процесс, когда ход событий нельзя ни предсказать, ни воспроизвести. Что же представляет собой ***детерминированный хаос*** - казалось бы, невозможное объединение двух противоположных понятий?

Простой опыт – шарик, подвешенный на нитке, отклоняют от вертикали и отпускают. Возникают колебания. Если шарик отклонили немного, то его движение описывается линейными уравнениями. Если отклонение сделать достаточно большим – уравнения будут уже нелинейными. Что при этом изменится? В первом случае частота колебаний (и, соответственно, период) не зависит от степени начального отклонения. Во втором – такая зависимость имеет место. Полный аналог механического маятника как колебательной системы - колебательный контур, или "электрический маятник". В простейшем случае он состоит из катушки индуктивности, конденсатора (емкости) и резистора (сопротивления). Если все три указанных элемента линейны, то колебания в контуре эквивалентны колебаниям линейного маятника. Но если, к примеру, емкость нелинейна, период колебаний будет зависеть от их амплитуды.

Динамика колебательного контура определяется двумя переменными, например током в контуре и напряжением на емкости. Если откладывать эти величины вдоль осей X и Y, то каждому состоянию системы будет соответствовать определенная точка на полученной координатной *фазовой* плоскости. Соответственно, если динамическая система определяется «n» переменными, то вместо двумерной фазовой плоскости ей можно поставить в соответствие n-мерное фазовое пространство (рис.2).

Координатами в этом пространстве служат различные параметры, характеризирующие рассматриваемую систему. В механике, например, это положения и скорости всех точек, движение которых мы рассматриваем, и поэтому в современной аналитической механике фазовое пространство одно из основных понятий.

Что дает изображение процессов в фазовом пространстве? Взглянув на «фазовый портрет» любой системы, мы можем увидеть, находится она в состоянии равновесного или неравновесного порядка. Более того, несмотря на их разную физическую сущность, эти два вида порядка можно изобразить на одной и той же диаграмме в виде четких точек, линий и фигур. Можно также нарисовать диаграмму перехода из одного упорядоченного состояния в другое.

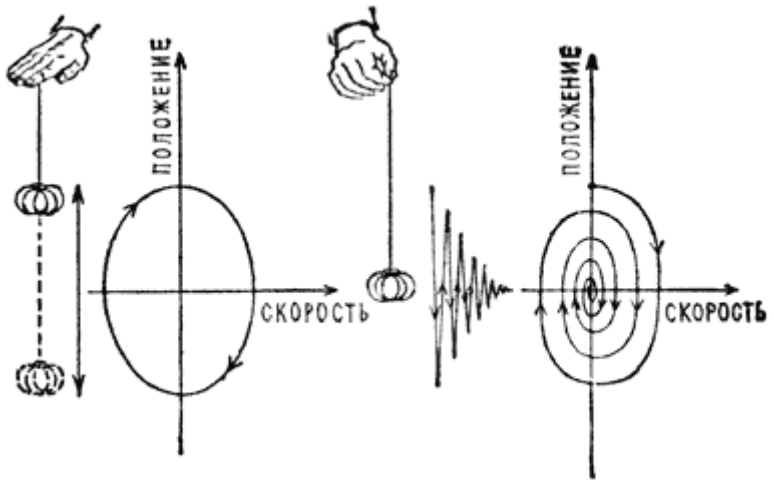


Рис. 2. Фазовое пространство – это, с одной стороны, абстрактное математическое пространство, координатами в котором служат положения и скорости всех точек физической системы, а с другой стороны, оно очень удобно для наглядного описания ее эволюции. Например, движение шарика на абсолютно упругой резинке, в которой нет трения, полностью определяется начальной скоростью и положением шарика (начальными условиями). Каждому мгновенному состоянию такого осциллятора – колебательной системы – отвечает точка на фазовой плоскости. Когда шарик колеблется вверх и вниз без трения, эта точка описывает замкнутую кривую, а если колебания постепенно затухают, то фазовая траектория сходится по спирали к предельной точке, соответствующей остановке шарика. Эта точка неподвижна: если шарик подтолкнуть, его фазовая кривая вернется в ту же точку, которая как бы притягивает все близлежащие траектории. Поэтому ее называют неподвижной притягивающей точкой, или фокусом. Такая притягивающая точка – простейший тип аттрактора.

Теперь начнем воздействовать на маятники внешним периодическим сигналом. Реакция линейной и нелинейной систем будет различной. В первом случае постепенно установятся регулярные периодические колебания с той же частотой, что и частота вынуждающего сигнала. На фазовой плоскости такому движению соответствует замкнутая кривая - *аттрактор* - множество траекторий, характеризующих установившийся процесс.

А всегда ли геометрические образы на фазовой диаграмме будут четкими. Оказывается, что существует класс явлений, противоположных порядку, как по физической сущности, так и по характеру изображения на фазовой диаграмме. Их образы размыты, нечетки, носят случайный, или, как говорят, стохастический характер. Явления, порождающие такие образы, называются хаотическими. Такая картина будет формироваться в случае нелинейного маятника - возникают сложные, непериодические колебания, когда траектория на фазовой плоскости не замкнется за сколь угодно долгое время. При этом поведение ***детерминированной*** системы будет внешне напоминать совершенно ***случайный процесс*** - это и есть явление ***динамического, или детерминированного, хаоса***.

То есть, образ хаоса в фазовом пространстве - ***хаотический аттрактор*** - имеет очень сложную структуру: это ***фрактал.*** В силу необычности свойств его называют также ***странным аттрактором*** .

Почему же система, развивающаяся по вполне определенным законам, ведет себя хаотически? Влияние посторонних источников шума, а также квантовая вероятность в данном случае ни при чем. ***Хаос порождается собственной динамикой нелинейной системы - ее свойством экспоненциально быст-***

ро разводить сколь угодно близкие траектории. В результате форма траекторий очень сильно зависит от начальных условий. Поясним, что это значит, на примере нелинейного колебательного контура, находящегося под воздействием внешнего периодического сигнала. Внесем в нашу систему небольшое возмущение - изменим немного начальный заряд конденсатора. Тогда колебания в возмущенном и невозмущенном контурах, первоначально практически синхронные, очень скоро станут совершенно разными.

Так что же такое ***хаос***?

Когда в июле 1977 года Нью-Йорк внезапно погрузился во тьму, никто даже не предполагал, что причина катастрофы – переход энергетической системы города из равновесного состояния в *хаотическое*, вызванный дисбалансом выработки и потребления энергии. Неожиданно из энергетической системы города выпал крупный потребитель. Система автоматики и диспетчерская служба не успели отключить эквивалентную этому потребителю, по существу, работающую только на него, генерирующую станцию. Образовался разрыв между генерацией энергии и ее потреблением, и в результате энергетическая система перешла из *состояния равновесия в хаотическое*. «Фазовый портрет» системы с одной частотой (в США эта частота равна 60 Гц), которая поддерживается с высокой точностью, превратился в портрет с огромным числом частот – «размылся». Ситуация непрерывно ухудшалась, так как система защиты потребителей от случайных, хаотических «бросков» напряжения и сбоя частоты начала последовательно отключать предприятия от источников энергии. Это была самая настоящая катастрофа – деструкция системы. Такие катастрофы довольно редки, однако практически ежедневно в крупных энергосистемах мира наблюдаются явления не столь опасные, но все же доставляющие немало хлопот. В линиях передачи «гуляют» *случайные, хаотические* частоты, вызванные переменами в режиме работы оборудования и несовершенством систем управления. Они наносят экономике ущерб не меньший, чем потери на сопротивление в линиях передачи – «джоулево тепло», на которое расходуется около 20 процентов вырабатываемой в мире электроэнергии.

Обычно под хаосом всегда понималось неупорядоченное, случайное, непрогнозируемое поведение элементов системы. Многие годы господствовала теория, утверждавшая, что статистические закономерности определяются только числом степеней свободы: полагали, что ***хаос*** – это отражение сложного поведения большого количества частиц, которые, сталкиваясь, создают картину неупорядоченного поведения. Наиболее характерный пример такой картины – броуновское движение мелких частиц в воде. Оно отражает хаотические тепловые перемещения громадного числа молекул воды, случайным образом ударяющих по плавающим в воде частицам, вынуждая их к случайным блужданиям. Такой процесс оказывается полностью непредсказуемым, недетерминированным, поскольку точно установить последовательность изменений в направлении движения частицы невозможно – мы ведь не знаем, как движутся все без исключения молекулы воды. Из этого следует то, что невозможно вывести такие закономерности, которые позволяли бы точно прогнозировать каждое последующее изменение траектории частицы по предыдущему ее состоянию. Иными словами, не удается надежно, достоверно связать между собой причину и следствие - формализовать причинно-следственные связи. Такой вид хаоса можно назвать **недетерминированным** (НХ). И все же некоторые усредненные характеристики поведения в состоянии недетерминированного хаоса были найдены. Использование аппарата статистической физики позволило вывести формулы, описывающие некоторые обобщенные параметры броуновского движе-

ния, например, расстояние, пройденное частицей за некоторое время (первым эту задачу решил А. Эйнштейн).

Однако в самые последние годы внимание исследователей все больше сосредоточилось на так называемом ***детерминированном хаосе*** (ДХ). Этот вид хаоса порождается не случайным поведением большого количества элементов системы, а внутренней сущностью нелинейных процессов. (Именно такой хаос и привел к энергетической катастрофе в Нью-Йорке).

Оказывается, что ***детерминированный хаос*** – отнюдь не редкость: всего два упруго сталкивающихся бильярдных шара образуют систему, сложная поведенческая функция которой имеет статистические закономерности, то есть содержит элементы «хаоса». Отталкиваясь друг от друга и от стенок бильярдного стола, шары рассеиваются под разными углами, и через некоторую последовательность соударений их можно рассматривать как неустойчивую динамическую систему с непрогнозируемым поведением. Аналитические решения нелинейных уравнений, описывающих поведение таких систем, как правило, не могут быть получены. Поэтому исследования проводятся с помощью вычислительного эксперимента: на ЭВМ шаг за шагом получают численные значения координат отдельных точек траектории.

В фазовом пространстве детерминированный хаос отображается непрерывной траекторией, развивающейся во времени *без самопересечения* (иначе процесс замкнулся бы в цикл) и постепенно заполняющей некоторую область фазового пространства. Таким образом, любую сколь угодно малую зону фазового пространства пересекает бесконечно большое количество отрезков траектории. Это и создает в каждой зоне случайную ситуацию – хаос: И вот что удивительно: несмотря на ***детерминизм процесса*** – ведь бильярдные шары полностью подчиняются классической, «школьной» механике, – ***ход его траектории непредсказуем***. Другими словами, мы не в состоянии предвидеть или хотя бы грубо охарактеризовать поведение системы на достаточно большом отрезке времени и в первую очередь потому, что принципиально отсутствуют аналитические решения. То есть, поскольку в реальном физическом эксперименте задать начальные условия можно лишь с конечной точностью, предсказать поведение хаотических систем на длительное время невозможно.

До недавних пор для любой отрасли техники, для любого производства, в том числе в химической промышленности, даже при использовании реакторов проточного типа, было характерно стремление организовывать работу всех аппаратов и устройств в ***устойчивом статическом режиме.*** Порядок, равновесие, устойчивость всегда считались, чуть ли не главными техническими достоинствами. Как тут не опасаться внешнего беспорядка, неопределенности, зыбкости, неизбежных энергетических потерь – этих обязательных спутников неравновесности. Пожалуй, в технике смелее всех оказались строители, которые сумели преодолеть этот психологический барьер и стали закладывать в конструкции башен, высотных зданий, мостов *элемент неопределённости - возможность совершать колебания*. ***(Колебания придают устойчивость, но нужны отрицательные обратные связи)***. Неупорядоченные процессы могут приводить и к катастрофам, например, при неправильном выборе профиля крыльев или хвостового оперения самолетов в полете может возникнуть грoз-

ное явление - флаттер - сочетание крутильных и изгибных неупорядоченных колебаний ***(положительные обратные связи)***. При достижении определенной скорости полета флаттер приводит к разрушению всей конструкции, - в свое время это явление оказалось, пожалуй, самым серьезным препятствием на пути развития реактивной авиации. Впоследствии академик М.В. Келдыш разработал теорию неустойчивых колебаний и методы борьбы с ними, и только его работы позволили справиться с флаттером путем затормаживания - демпфирования - колебаний (***отрицательные обратные связи)***. Благодаря такому демпфированию конструкции самолетов становились *устойчивыми* даже в сложных нестационарных условиях, характерных для аэродинамики. Интересно, что одна из монографий Келдыша, изданная в 1945 году, называется «Шимми переднего колеса трехколёсного шасси». Шимми — это американская разновидность фокстрота, по законам которого и «танцует» колесо. Шимми колеса самолетных шасси при взлетах и посадках тоже приводило к самовозбуждающимся нерегулярным колебаниям и в итоге — к разрушению самолётов. На основе теории Келдыша этот дефект был устранен. Так фундаментальная наука в очередной раз продемонстрировала свою практическую полезность.

Хаос воспринимается как негативный вариант развития событий не только в технике, но и в химико-технологических, биологических или социально-экономических процессах. Так ли это всегда?

В реальной природе протекает множество хаотических процессов, но мы не воспринимаем их как хаос, и наблюдаемый мир кажется нам вполне стабильным. Наше сознание, как правило, интегрирует, обобщает информацию, воспринимаемую органами чувств, и поэтому мы не видим мелких «дрожаний» - ***флуктуаций*** - в окружающем нас мире.

Например, самолет надежно держится в воздушных турбулентных вихрях, и хотя они неупорядочено пульсируют, подъемную силу самолета можно рассчитать с точностью до нескольких килограммов как некоторую среднюю величину. Из космоса на Землю приходят сигналы от спутников и космических объектов, и из гигантского моря хаотических помех удается «выловить» нужную информацию. Собственно, вся радиофизика строится на «разбраковке» по определенным статистическим закономерностям полезных данных и вредных «шумов».

Жизнь человека как биологической системы и как социального субъекта полна вроде бы случайных событий, но из них складываются определенные закономерности, определяющие те или иные варианты *биосоциального* развития человека.

Связаны ли и как именно связаны между собой происходящие в судьбе объекта упорядоченные и хаотические явления и как сформулировать (содержательно и математически строго) правила, которые описывали бы непрерывный переход от строгих закономерностей к хаосу случайного, и наоборот?

Классический пример такого двойственного поведения одного и того же объекта, единой физической системы — это течение жидкости (рис. 3).

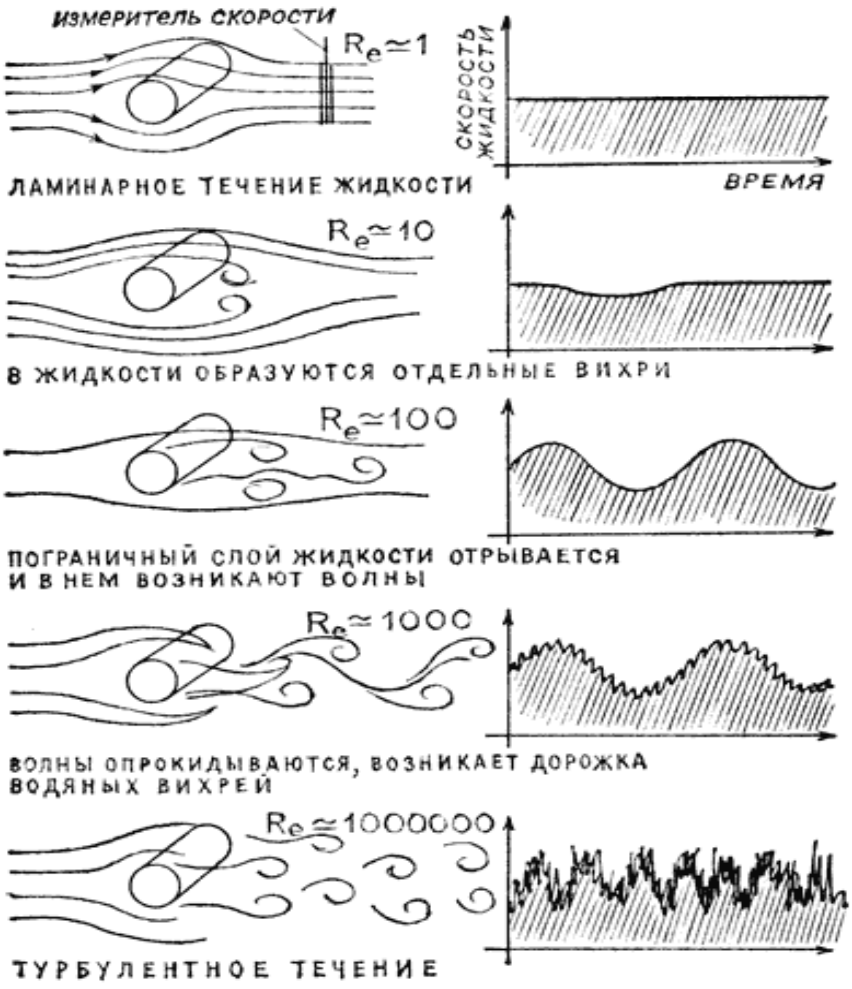


Рис. 3. Так возникает турбулентность. Цилиндр обтекается потоком жидкости, например, движется в ней. Обтекание Удобно характеризовать «числом Рейнольдса» Re, которое пропорционально скорости течения и радиусу цилиндра. При малых числах Рейнольдса жидкость плавно обтекает находящееся в ней тело, а затем, по мере того как скорость течения возрастает, в жидкости образуются вихри. Чем выше скорость натекающего потока (больше число Рейнольдса), тем больше образуется вихрей и тем сложнее, запутаннее становятся траектории частиц жидкости. При развитой турбулентности скорость потока позади тела пульсирует непредсказуемым образом.

Наблюдая движущийся поток воды в условиях, когда мы можем регулировать его скорость, например, в русле плотины или при движении глиссера, мы можем уловить постепенный переход от устойчивого гладкого (ламинарного) течения к неровному, пульсирующему, вихревому (турбулентному). При малых скоростях жидкость течет мерно и плавно - стационарно. Когда же скорость течения возрастает, в потоке начинают образовываться вихри, но и на этой стадии картина все еще остается стационарной. По мере роста скорости вихри все больше увлекаются потоком, и возникает нестационарное течение. Вода неожиданно закручивается в водоворотах и вообще ведет себя так, как будто по собственной прихоти бросается то туда, то сюда. Крупные вихри порождают непредсказуемое, неупорядоченное состояние, и, наконец, структура потока становится полностью турбулентной – *хаотической.*

Чем же объяснить столь сильное различие между ламинарным и турбулентным течениями, в чем тут загадка? К сожалению, несмотря на непрекращающиеся усилия большого числа исследователей из разных стран, никому еще не удалось ни описать бурное, неупорядоченное турбулентное течение, ни найти аналитически, то есть с помощью формул, условия перехода к нему от ламинарного (латинское *lamina* означает «пластинка», «полоска»).

Но тогда возникает вопрос: почему так трудно описать хаотическое турбулентное поведение жидкости математически? Дело в том, что некоторые физические системы (на самом деле их большинство) оказываются очень «чуткими» – они бурно реагируют даже на слабые воздействия. Такие системы назы-

ваются *нелинейными*, так как *их отклик непропорционален силе «возмущающего» воздействия, а часто и вообще непредсказуем*. Например, если чуть-чуть подтолкнуть камень, лежащий на вершине скалы, то он покатится вниз по неизвестной заранее траектории, и эффект от падения камня может быть гораздо больше, чем то воздействие, которому он подвергся. Иными словами, *слабые и сверхслабые возмущения его состояния не затухают, а резко усиливаются*. Правда, камень чувствителен к слабым воздействиям, лишь пока он на вершине скалы, однако существуют физические системы, которые столь же бурно реагируют на внешние возмущения на протяжении длительного времени. Именно такие системы и оказываются хаотическими.

Так и при турбулентности – маленькие вихри-возмущения, непрерывно возникающие в жидкости, не рассасываются (как при ламинарном течении), а постоянно нарастают, пока все движение воды не приобретет сложный, запутанный характер. Соответственно и описание этого движения чрезвычайно сложно: у турбулентного потока слишком много «степеней свободы».

Как показывает пример турбулентности, поведение нелинейной системы трудно предсказать – она «отзывается» на возмущение своего состояния весьма сложным образом и, как правило, неоднозначно. Поэтому, чтобы исследовать нелинейные процессы, обычно приходится использовать так называемый «принцип линеаризации», то есть сводить нелинейную систему с присущим ей неоднозначным откликом – к линейной, которая характеризуется вполне «надежным» предсказуемым поведением. По существу, это – кардинальное упрощение и тем самым *огрубление* сути явления.

Хаотическими могут быть и химические, и биологические, и социальные системы. Например, выявлены совершенно обязательные для сохранения систем в активном функциональном состоянии *элементы хаоса в функционировании нейронов и их сетей* (механизмы мышления, памяти, адаптации нейрорегуляторных систем базируются на этом)*, в динамике электроэнцефалограмм и электрокардиограмм*, т.к. сокращения сердца здорового человека лишены строгой периодичности. При старении и заболеваниях сердца ритм его сокращений приобретает всё более регулярную периодичность, запас гибкости и адаптивности реакций падает. Ретроспективный анализ кардиограмм пациентов с заболеваниями сердца показал, что возникновение строжайшей периодичности в сердечных ритмах является предвестником (за несколько десятков часов) внезапной остановки сердца. Разумеется, патологична и другая крайность – высокая степень хаотизации сокращений вплоть до фибрилляции и прекращения нормальной согласованной работы сердечной мышцы, когда необходима внешняя синхронизация сокращений кардиостимулятором или даже сильным электрическим разрядом.

На наших глазах технический прогресс сопровождается появлением все более сложных систем, например, в энергетике, и гарантирование устойчивости их работы, полного отсутствия сбоев становится все более важной задачей. Сегодня потребовались новые подходы, принципиально новый взгляд на проблему анализа нелинейных процессов, приводящих к непрогнозируемому поведению, к «хаосу». И хотя сущность порядка и хаоса до сих пор не сформулирована, в последние годы появилась надежда разобраться в действии механизмов

непредсказуемости, включая переходы «порядок — хаос» либо «хаос — порядок» (такие переходы и их двунаправленность обозначают П↔Х).

Этому способствовали, прежде всего, два фактора: во-первых, интенсивное использование современных вычислительных средств и, во-вторых, развитие математического аппарата, остававшегося ранее лишь в пределах «чистой теории». Мощные компьютеры позволили получить решения нелинейных уравнений в виде эффектных графических образов — траекторий эволюции динамической системы.

Основы математического аппарата, подходящего для описания «хаоса», были заложены еще в конце XIX века, но получили широкое развитие лишь в наше время. Этому в значительной степени способствовала отечественная математическая школа академика А.Н.Колмогорова в лице члена-корреспондента АН СССР В.И. Арнольда и профессора Я.Г.Синая. В области прикладных исследований большая заслуга принадлежит школам академика А.В.Гапонова-Грехова и члена-корреспондента АН СССР А.С.Монина. В настоящее время формируется новый весьма универсальный подход к анализу нелинейных систем, основанный на классических результатах математиков и физиков.

Порядок в физической, химической, биологической, экологической, социальной, экономической и любой другой системе может быть двух видов: ***равновесный*** и ***неравновесный.*** При равновесном порядке, когда система находится в равновесии со своим окружением, параметры, которые ее характеризуют, одинаковы с теми, которые характеризуют окружающую среду; при неравновесном порядке они различны. Что обычно понимается под такими параметрами?

В физике (и не только в физике) самый главный из них – ***температура***: никакое равновесие невозможно, если внутри рассматриваемой нами системы температура не такая, как у окружения. При этом сразу возникают тепловые потоки, начинается перетекание тепла от горячих тел к холодным, которое будет продолжаться до тех пор, пока температура не установится на едином для всех тел (как в системе, так и ее окружении) уровне. Так, выключенный электрический утюг быстро приобретает температуру комнаты – «окружающей среды»: между ним – системой – и окружением устанавливается равновесие. Другой важный параметр, характеризующий физическую систему, – ***давление***. При равновесном порядке давление внутри системы должно быть равно давлению на нее со стороны окружения. Экономические и социальные системы также описываются обобщающими параметрами, которые при равновесии принимают фиксированные значения.

На первый взгляд равновесный порядок более «стабилен», чем неравновесный. В самой природе равновесного порядка заложено противодействие любым возмущениям состояния системы (такое «упрямство» в термодинамике называется принципом Ле-Шателье).

Способность возвращаться к исходному состоянию – непременное свойство саморегулирующихся систем. И хотя «**саморегулирование**» – термин сравнительно недавний (возник он, по существу, вместе с кибернетикой) саморегулирующиеся процессы встречаются в природе сплошь и рядом. Пожалуй,

самый поразительный пример такого процесса – природный ядерный реактор, который проработал примерно полмиллиона лет «без остановки на ремонт».

В 1972 году на урановом месторождении Окло в африканской республике Габон был проведен изотопный анализ руд. Это была скорее формальность, «рутина», чем серьезное научное исследование. Но вдруг неожиданно для всех результаты оказались необычными: концентрация изотопа Уран-235 оказалась намного ниже естественной – в некоторых местах обеднение («выгорание») урана достигало 50 процентов. В то же время исследователи обнаружили огромный избыток таких изотопов (неодима, рутения, ксенона и других), которые обычно возникают при реакции деления урана-235. Феномен Окло породил множество гипотез, и одна из простейших среди них (и потому наиболее правдоподобная) приводит к фантастическому на первый взгляд выводу: около двух миллиардов лет тому назад в Окло был пущен атомный реактор, проработавший примерно пятьсот тысячелетий. Пришельцы? Совсем не обязательно.

Для работы реактора нужен замедлитель нейтронов, например, вода. Она могла случайно скопиться в месторождениях с высокой концентрацией ^{235}U и запустить ядерный котел. А потом началось саморегулирование - с увеличением мощности реактора выделялось много тепла и поднималась температура; вода испарялась, замедляющий нейтроны слой становился тоньше, и мощность реактора падала; тогда вода скапливалась вновь, и цикл регулирования повторялся.

Природа ***неравновесного порядка*** другая. Этот вид порядка существует только при условии подачи энергии (или питательной массы) извне, т.к. *неравновесность* – неодинаковость параметров системы и среды – вызывает потоки тепла и массы. Поэтому для поддержания порядка требуется компенсировать потери, к которым приводят необратимые «выравнивающие» потоки. Другими словами, нужны дополнительные энергетические затраты. Если подпитку энергией прекратить, то система «*свалится»* в состояние *равновесного порядка*. Потери, связанные с перетеканием тепла или массы, называются ***диссипативными*,** поскольку их физическая сущность – *рассеяние энергии* - ее *диссипация*. Создается парадоксальная ситуация: ***в условиях диссипации, традиционно воспринимаемой как проявление распада структур и их неустойчивости, возникает упорядоченность*!!!**

Мы редко задумываемся над тем, что человеческий организм существует в состоянии неравновесного порядка, когда энергетические потери компенсируются за счет энергии топлива (пищи) и окислителя (кислорода воздуха). Когда же жизненный путь организма заканчивается, он переходит в состояние полного равновесия с окружающей средой (равновесный порядок).

Примером образования диссипативных структур из хаоса в физических системах является образование «ячеек Бенара» (рис.4).

Если налить на сковороду тонкий слой какой-нибудь вязкой жидкости (например, растительного масла) и нагревать сковороду на огне, поддерживая температуру масляной поверхности постоянной, то при слабом нагреве – малых тепловых потоках – жидкость остается спокойной и неподвижной. Это типичная картина состояния, близкого к равновесному порядку. Если сделать огонь побольше, увеличивая тепловой поток, то через некоторое время – совершенно неожиданно – вся поверхность масла преображается: она разбивается на правильные шестигранные или цилиндрические ячейки. Структура на сковороде становится очень похожей на пчелиные соты. Это замечательное превращение называется явлением Бенара, по имени французского исследователя, одним из первых изучившего конвективную неустойчивость жидкости. Если и дальше увеличивать тепловой поток, то ячейки разрушаются – происходит переход от порядка к хаосу (П→Х). Но самое удивительное заключается в том,

что при еще больших тепловых потоках наблюдается чередование переходов: Х→П→Х→П→...!

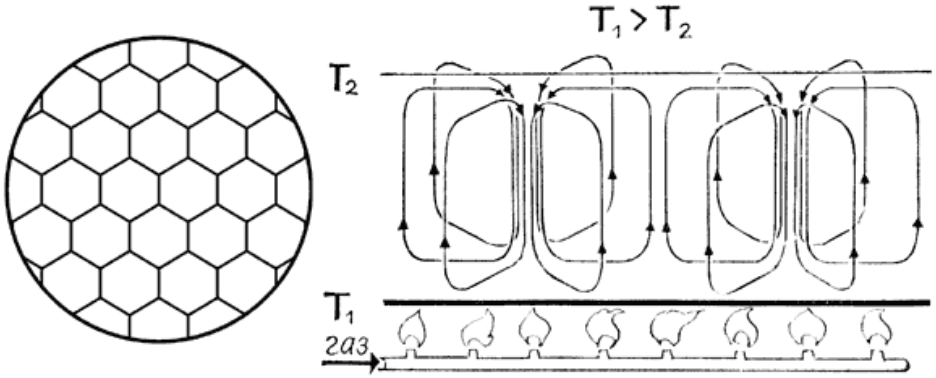


Рис.4. Конвективные ячейки Бенара. В 1900 году была опубликована статья французского исследователя Бенара с фотографией структуры, по виду напоминавшей пчелиные соты. При нагревании снизу слоя ртути, налитой в плоский широкий сосуд, весь слой неожиданно распадался на одинаковые вертикальные шестигранные призмы, которые впоследствии были названы ячейками Бенара. В центральной части каждой ячейки жидкость поднимается, а вблизи вертикальных граней опускается. Иными словами, в сосуде возникают направленные потоки, которые поднимают нагретую жидкость (с температурой T_1) вверх, а холодную (с температурой T_2) опускают вниз.

При анализе этого процесса в качестве параметра, который показывает, когда на сковороде будет «порядок» и когда «хаос», то есть определяющего «зону» порядка или хаоса, выбирается так называемый критерий Рэлея, пропорциональный разности температур вверх по слою масла. Этот параметр называют управляющим, поскольку он «управляет» переводом системы из одного состояния в другое. При критических значениях критерия Рэлея (в точках бифуркации) и наблюдаются переходы «порядок – хаос».

Нелинейные уравнения, которыми описывается образование и разрушение структур Бенара, называются уравнениями Лоренца. Они связывают между собой координаты фазового пространства: скорости потоков в слое, температуру и управляющий параметр.

Процессы, происходящие в сосуде, могут быть зафиксированы, например, киносъемкой и сопоставлены с результатами вычислительного эксперимента. На рис. 5«а», «б» и «в» показано именно такое сопоставление. Совпадение результатов физического и вычислительного экспериментов поразительно!

Посмотрим, как явление Бенара описывается на языке аттракторов. Мы уже говорили, что при увеличении теплового потока зоны порядка и хаоса чередуются. Вот как это происходит. Все начинается с равновесного порядка. При слабом нагреве, когда перепад температуры от сковородки вверх по слою жидкости невелик, в ней почти нет конвективных потоков. И тогда, независимо от того, в каком состоянии «система» – жидкость на сковородке – была вначале (как говорят математики, независимо от начальных условий), в ней сохраняется равновесный порядок.

Сделав пламя под сковородкой немного побольше – увеличив подачу тепла, мы увидим, что жидкость начнет постепенно перемешиваться – возникнет конвекция. Нижние слои нагреются и станут легче, а верхние останутся холодными и тяжелыми. Равновесие таких слоев неустойчиво, и поэтому система переходит от равновесного порядка к неравновесному. Немного прибавив огня

под сковородкой, мы увидим ячейки Бенара или, как теперь часто говорят, попросту «бенары» (на геометрическом языке фазового пространства этому явлению соответствует аттрактор типа «устойчивого фокуса»).

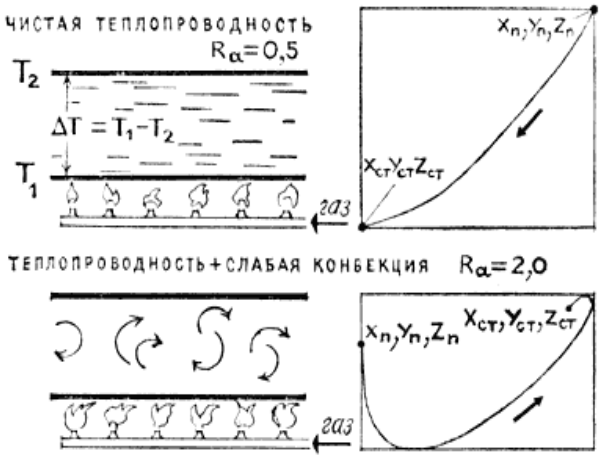


Рис. 5а. Переходы от порядка к хаосу на примере явления Бенара. Управляющим параметром, который играет роль «ручки регулировки», здесь служит так называемый критерий Рэлея (Re), пропорциональный разности температур вверх по слою жидкости. «Вращение» этой регулирующей ручки соответствует большему или меньшему нагреву жидкости. При слабом нагреве (Re < 1) в слое нет конвективных потоков, и динамическая система, образом которой служит изображающая точка в фазовом пространстве, стремится к состоянию равновесного порядка. С увеличением разности температур между сковородкой и внешней поверхностью жидкости (Re ≈ 1) возникают малые конвективные токи. Это состояние соответствует неравновесному порядку.

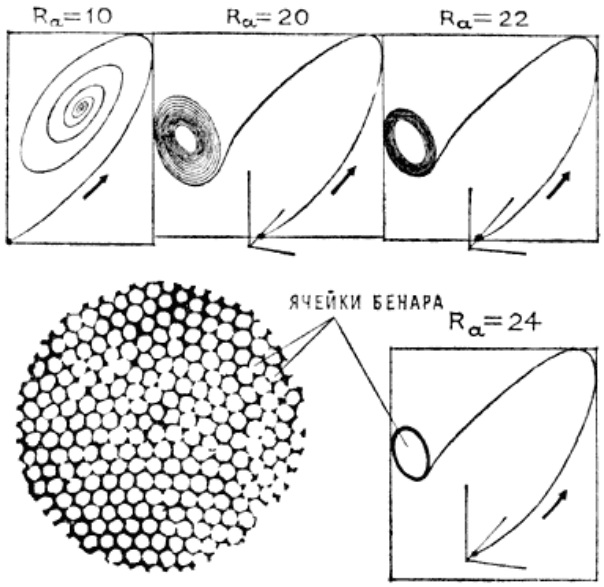


Рис. 5б. «Вращая» дальше ручку регулировки (Re ≈ 10...20), мы приходим к неравновесному порядку с аттрактором типа устойчивого фокуса – это в вычислительном эксперименте, на экране дисплея или на графопостроителе. А в физическом эксперименте отчетливо наблюдаются ячейки Бенара.

Продолжая нагревать жидкость на сковородке, мы вскоре сможем наблюдать разрушение бенаров. Этот процесс напоминает кипение – очередной переход от порядка к хаосу (в фазовом пространстве появился «странный аттрактор»).

Хорошо известным примером практического использования перехода «хаос – порядок» служит лазер. Однако этот пример не единственный. На рис. 6 представлены известные сегодня области фундаментальных и прикладных наук, в которых изучаются и наблюдаются переходы «*порядок – хаос*» и «*хаос – порядок*», в частности, *самоорганизующиеся структуры* (внешний круг). В среднем круге расположены эффекты и понятия, заимствованные синергетикой у смежных научных дисциплин, а во внутреннем круге различным секторам соответствуют те новые пути и закономерности, которые могут быть использова-

ны в каждой данной области знания благодаря обобщениям, сделанным синергетикой.

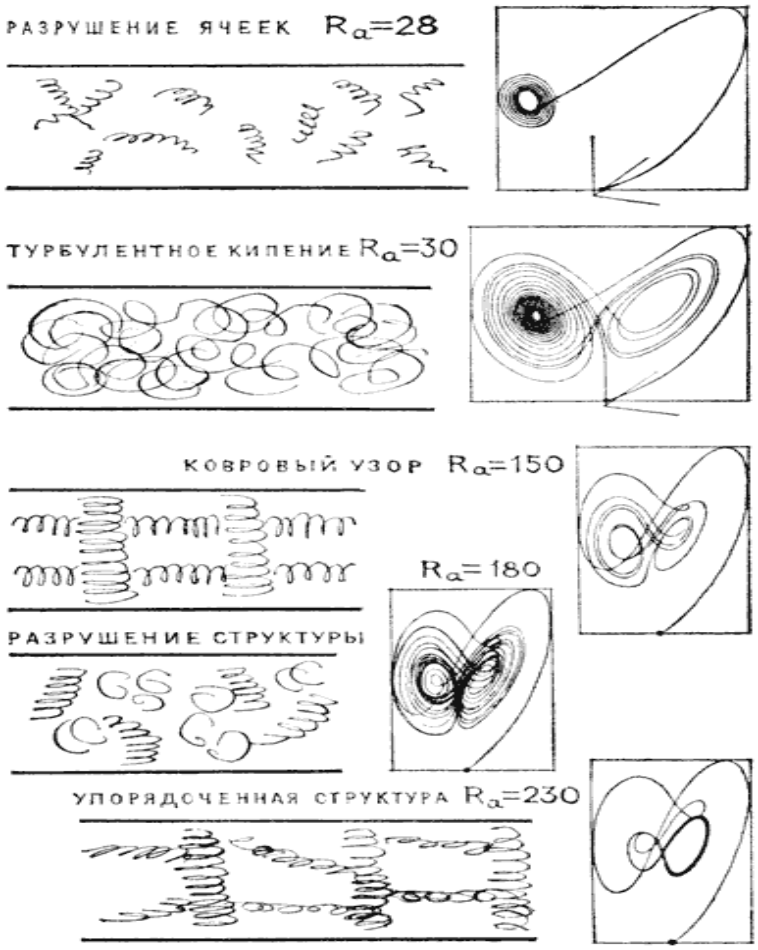


Рис. 5в. Интересна динамика процесса с ростом числа Рэлея. Расстояния между «оборотами» фазовой траектории (их обычно называют ветвями) постепенно сокращаются, и в конце концов изменяется характер аттрактора – фокус переходит в предельный цикл, который потому и называется предельным, что служит пограничной кривой между зонами устойчивости и неустойчивости; теперь даже при очень малом увеличении управляющего параметра начинают образовываться турбулентные вихри. Порядок переходит в хаос. В вычислительном эксперименте возникает неустойчивый фокус, а затем появляется странный аттрактор. В физическом эксперименте ячейки Бенара разрушаются, этот процесс напоминает кипение.

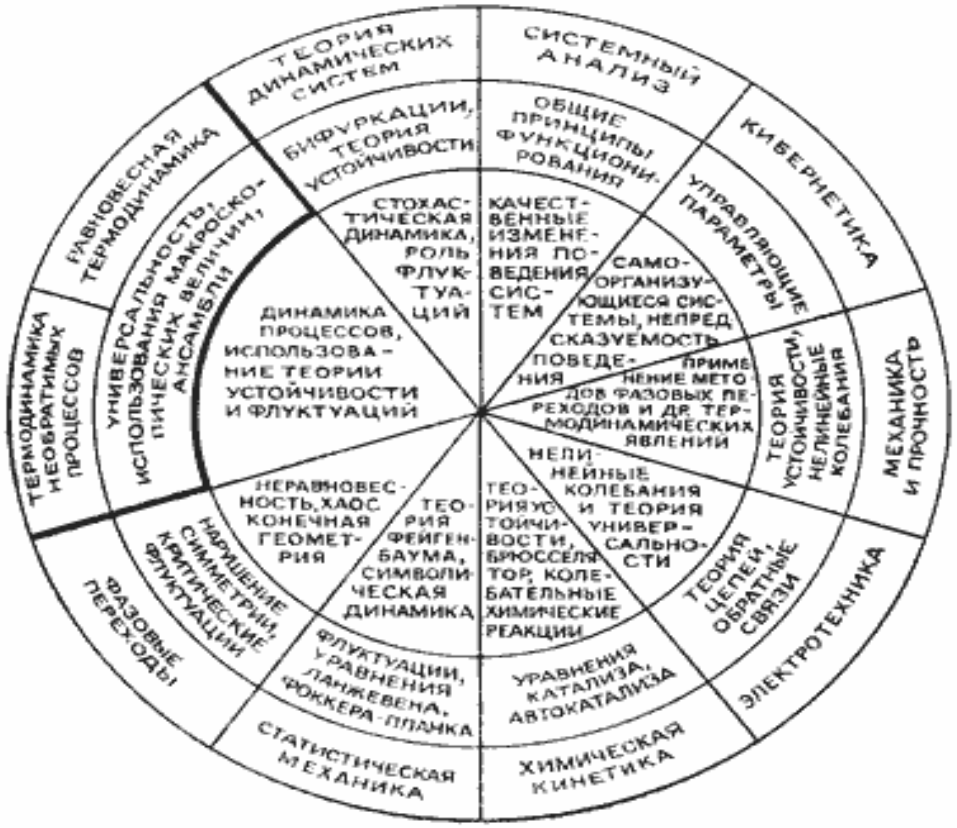


Рис. 6. Известные области фундаментальных и прикладных наук в которых изучаются и наблюдаются переходы «порядок – хаос» и «хаос – порядок».

Сегодня поиски исследователей – главным образом математиков – направлены на то, чтобы выявить все типы нелинейных уравнений, решение которых приводит к детерминированному хаосу. Активный интерес к нему вызван тем, что одни и те же его закономерности могут проявляться в самых разных природных явлениях и технических процессах: при турбулентности в потоках, неустойчивости электронных и электрических сетей, ***при взаимодействии видов в живой природе, при химических реакциях***, в человеческом обществе. Отсюда следует фундаментальная значимость **хаоса** – его изучение может привести к созданию мощного математического аппарата, обладающего большой общностью и обширными возможностями для приложений.

Каков же механизм самоорганизации в состоянии «динамического хаоса» «диссипативных структур»? Анализ показывает, что **таким механизмом является процесс «разрастания флуктуаций», «случайностей», «отклонений».**

Даже очень малые отклонения, которые, как правило, всегда имеют место, быстро нарастают, и далее происходит выход на один из неоднородных устойчивых стационаров. Такие отклонения, называемые *флуктуациями*, всегда есть в физических, химических, биологических, социальных системах. Расчеты на ЭВМ показывают, что вносимые флуктуации в отличие от равновесных процессов, изучаемых классической термодинамикой, определяют всю дальнейшую судьбу нелинейной системы. Термодинамическая ветвь здесь неустойчива. Такой процесс можно пояснить следующим примером. Представим себе маленький шарик в желобе, форма которого показана на рис. 7.

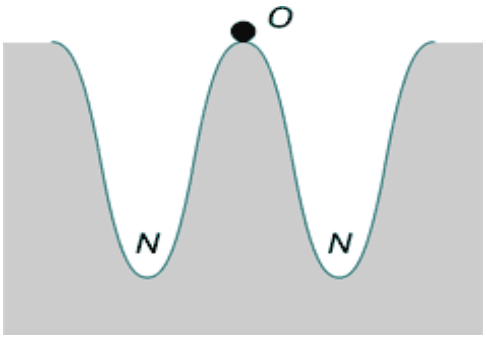


Рис. 7. Неустойчивое состояние равновесия (точка *O*). Флуктуация выводит шарик из равновесия; в точках *N* – устойчивое состояние равновесия.

Если поставить его на вершину горба, в точку «О», то в соответствии с законами механики он может оставаться на вершине (это тоже стационарное решение уравнений, описывающих движение шарика), но даже малейшие флуктуации выведут его из равновесия и он начнет двигаться. Постепенно из-за трения энергия шарика будет уменьшаться, и, в конце концов, он остановится на дне желоба в одной из точек *N*. В какой именно точке он окажется, зависит от знака флуктуации, которая вывела шарик из равновесия. Роль точки «О» играла термодинамическая ветвь, роль равновесных положений *N* – стационарные устойчивые решения. Можно сказать, что причиной возникновения структур являются внутренние свойства системы, а поводом – вносимые флюктуации. Такое поведение характерно для многих нелинейных неравновесных систем.

Флуктуации можно учесть, добавив в правую часть нелинейного уравнения случайные функции. Они могут отражать процессы, в детали которых на нашем уровне описания мы не вникаем. Отвлекаясь от их конкретного вида, приведем простейший пример случайной функции. Бросаем монету с интервалом времени Δt и считаем, что если в момент времени t выпадает «орел», то $F(t)$

= α, α << 1 до момента ($t+\Delta t$), если «решка» – $F(t) = -\alpha$; В момент времени ($t+\Delta t$) мы опять бросаем монету. Возможный вид функции, полученной таким образом, показан на рис. 8.

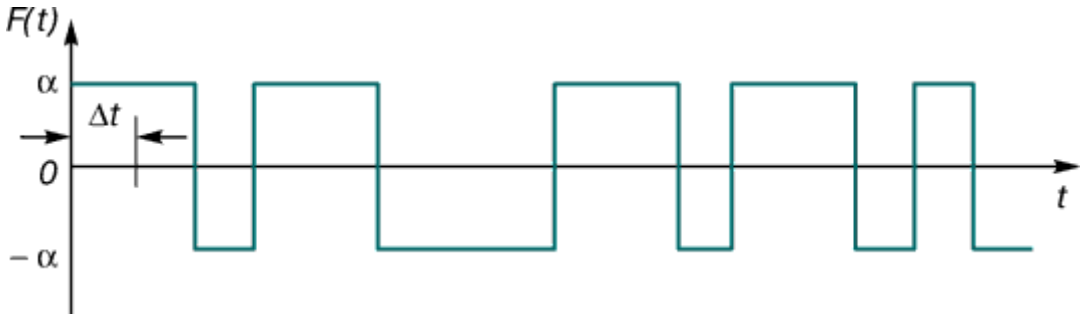


Рис. 8. Возможный вид случайной функции $F(t)$.

«Возможный» потому, что точно неизвестно, когда выпадает «орел», а когда «решка». Функция действительно случайная, и, бросая монету, любой исследователь может получить функцию нисколько не хуже нарисованной здесь.

Возможно, в необходимости учитывать флуктуации, которые, нарастая, могут изменить основные характеристики процессов, и кроется одно из важных отличий сложных систем от простых. Даже слабое воздействие на нелинейную систему в окрестности, например, точки «О» (см.рис.8) может определить ее дальнейшую судьбу, в то время как вдали от неё влияние этого воздействия не ощущается. Здесь мы сталкиваемся с ***резонансным возбуждением*** – воздействием, согласованным с внутренними свойствами нелинейной системы и сильно влияющим на нее.

По-видимому, в общем случае дело обстоит так: большинство реальных систем описывается нелинейными уравнениями. Если линеаризовать уравнения на небольшом отрезке, получаются линейные соотношения, с которыми обычно и работают ученые. Но **этот прием не годится** в том случае, когда воздействия на систему очень интенсивны, а также **если система открыта и далека от равновесия, т.е. как раз в тех случаях, которые в современной науке и технике представляют наибольший интерес.** Их понимание безусловно требует нелинейного анализа, более сложного, трудоемкого, но дающего более полную и глубокую картину изучаемых явлений.

Почему *фазовое пространство* оказалось таким удобным приемом для изучения хаоса? Прежде всего, потому, что оно позволяет представить поведение нелинейной, «хаотической» системы в наглядной геометрической форме. Так, поведение большинства нелинейных систем в фазовом пространстве определяется некоторой зоной в нем, называемой аттрактором (от английского *to attract* – притягивать). В эту зону в конечном итоге «притягиваются» траектории, изображающие ход процесса.

Как выяснили математики, существуют два вида аттракторов: первый связан с *неравновесным порядком* и отображается в фазовом пространстве точкой («*фокус*»), либо замкнутой кривой («*предельный цикл*»), второй – с образованием *детерминированного хаоса* и отображается ограниченной областью фазового пространства, заполненной непрерывно развивающейся во времени траекторией («*странный аттрактор*»).

Для аттракторов первого вида траектории процесса развиваются следующим образом. 1. Если система устойчива, траектория исходит из начальной точки и заканчивается либо фокусом (устойчивый фокус), либо предельным циклом (устойчивый предельный цикл). 2. Если система неустойчива, траектория начинается либо фокусом (неустойчивый фокус), либо предельным циклом (неустойчивый предельный цикл) и постепенно удаляется от своего аттрактора.

Если же процесс отображается «странным аттрактором», то траектория его эволюции начинается из начальной точки и постепенно заполняет некоторую область фазового пространства. Так что переходы «порядок – хаос» в терминах аттракции означают переход от аттрактора первого вида (либо фокус, либо предельный цикл) к аттрактору второго вида («странный аттрактор»; рис.9).

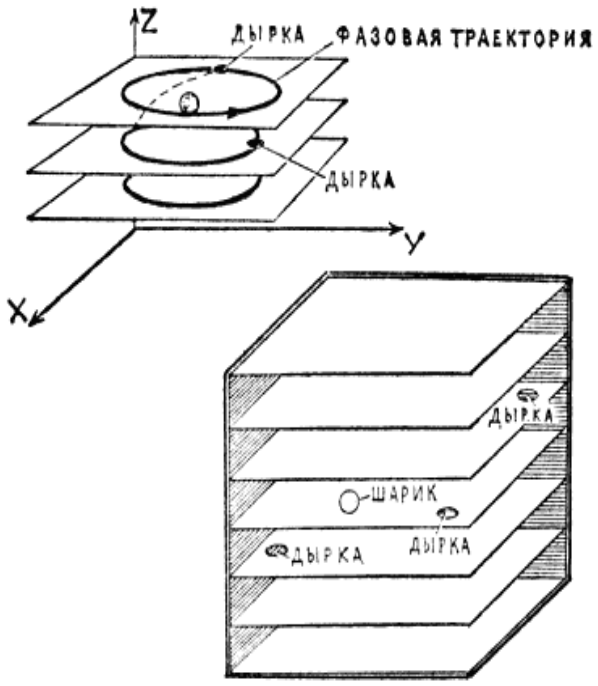


Рис. 9. Странный аттрактор – абстрактное понятие, введенное для описания хаотического состояния. Универсального и наглядного образа странного аттрактора, к сожалению, не существует. Можно, однако, сконструировать детскую игрушку, представляющую собой многослойный лабиринт (трехмерное фазовое пространство), по которому бегает шарик (изображающая точка). В плоскостях между слоями имеются дырки, натыкаясь на которые шарик проваливается вниз. Однако эти дырки не находятся на одной вертикали, и поэтому шарик не может проскочить через всю структуру насквозь. Чтобы его траектория прошла с верхней плоскости до нижней, шарик должен описывать причудливые орбиты, пока не наткнется на отверстие, ведущее в соседнюю плоскость. Такая игрушка – грубая модель странного аттрактора.

2.3. «Странные аттракторы» в открытых нелинейных средах. Фрактальная структура странных аттракторов

Первым, кто обнаружил «странные аттракторы» при математическом описании реальных физических процессов был Эдвард Нортон ЛОРЕНЦ (Edward Norton Lorenz) [23.05.1917-16.04.2008] — американский математик и метеоролог, один из основоположников Теории Хаоса, автор Эффекта бабочки и названного в его честь Аттрактора Лоренца). Он прославился своими исследованиями в области теории хаоса, в рамках которой он открыл так называемый "эффект бабочки", описывающий чувствительную зависимость поведения системы от начальных условий. В 1961 году Э.Лоренц занимался численными исследованиями метеосистем, в частности моделированием конвекционных токов в атмосфере. Он написал программу для решения следующей системы дифференциальных уравнений (1):

$$dx/dt = s(-x + y); \quad dy/dt = rx - y - xz; \quad dz/dt = -bz + xy \qquad (1)$$

В дальнейших расчетах параметры s, r и b постоянны и принимают значения s = -10, r = 28 и b = 8/3.

Согласно описанию эксперимента, принадлежащему самому Лоренцу, он вычислял значения решения в течение длительного времени, а затем остановил счет. Его заинтересовала некоторая особенность решения, которая возникала где-то в середине интервала счета, и поэтому он повторил вычисления с этого момента. Результаты повторного счета, очевидно, совпали бы с результатами первоначального счета, если бы начальные значения для повторного счета в точности были равны полученным ранее значениям для этого момента времени. Лоренц слегка изменил эти значения, уменьшив число верных десятичных знаков. Ошибки (*флуктуации*), введенные таким образом, были крайне невелики. Но самое неожиданное было впереди. Вновь сосчитанное решение некоторое время хорошо согласовывалось со старым. Однако по мере счета *расхождение возрастало,* и постепенно стало ясно, что *новое решение вовсе не напоминает старое*. Лоренц вновь повторял и проверял вычисления (вероятно, не доверяя компьютеру), прежде чем осознал важность эксперимента. То, что он наблюдал, теперь называется *существенной зависимостью от начальных условий* – основной чертой, присущей хаотической динамике. Существенную зависимость иногда называют «*эффектом бабочки*», т.к. свое открытие Э.Лоренц иллюстрировал примером бабочки из Бразилии, взмах крыла которой вызывает цепочку событий, приводящих к сложным климатическим изменениям и урагану в Техасе. Такой термин обозначает невозможность делать долгосрочные прогнозы погоды.

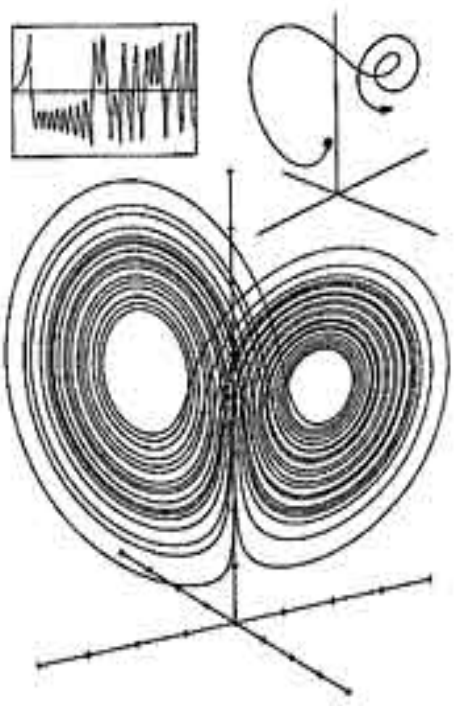


Рис. 10. «Странный аттрактор» Лоренца.

Это магическое изображение *(внизу)*, напоминающее маску совы или крылья бабочки, стало эмблемой первых исследователей хаоса. Оно раскрывает тонкую структуру, таящуюся в беспорядочном потоке информации. Изменение значений любой переменной может быть показано графически в зависимости от времени *(сверху)*. Чтобы продемонстрировать меняющееся соотношение между тремя переменными, достаточно предположить, что в каждый момент времени три переменных фиксируют нахождение точки в трехмерном пространстве; по мере изменения системы перемещение точки описывает непрерывную линию. Поскольку состояние системы никогда точно не повторяется, траектория не пересекает сама себя, образуя лишь новые и новые петли. Движение в аттракторе абстрактно, тем не менее, оно передает особенности движения реальных систем. Например, переход от одного из «крыльев» аттрактора к другому соответствует началу обратного хода водяного колеса или изменению направления вращения жидкости при конвекции.

В общем виде, сказанное означает, что детерминированно хаотические системы чувствительны к малым воздействиям. В хаотическом мире трудно

предсказать, какие вариации возникнут в данное время и в данном месте, ошибки (флуктуации) и неопределённости нарастают экспоненциально с течением времени, так что небольшие различия в начальных условиях могут породить огромные различия в конечном явлении, поэтому прогнозирование поведения системы становится невозможным.

Именно Лоренс, занимаясь исследованиями точного прогнозирования погоды, впервые представил хаос в виде ***СТРАННОГО АТТРАКТОРА***, где непредсказуемость хаоса объясняется существенной зависимостью прогноза от начальных условий, и где даже самые малые ошибки при измерении параметров исследуемого объекта в начале пути, впоследствии могут привести к глобально неверным предсказаниям и действиям. Т.е., среда (система) в которой развиваются хаотические процессы, – это совсем другая среда, со своими законами и непериодическими возмущениями. Изучая ее, Э.Лоренс понял, что «… *любая непериодичная физическая система непредсказуема*». Как наука, так и жизнь учит, что цепь событий может иметь критическую точку, в которой небольшие изменения приобретают особую значимость. Суть хаоса в том, что такие точки находятся везде, распространяются повсюду. В системах, подобных погоде, сильная зависимость от начальных условий представляет собой неизбежное следствие пересечения малого с великим.

Коллеги Лоренца были изумлены тем, что он соединил в своей миниатюрной модели погоды апериодичность и сильную зависимость от начальных условий, что подтверждали его двенадцать уравнений, просчитанных с поразительной трудоспособностью не один десяток раз. Как может подобное многообразие, такая непредсказуемость – в чистом виде хаос! – возникнуть из простой детерминистской системы?

Лоренц, отложив на время занятия погодой, стал искать более простые способы воспроизведения сложного поведения объектов. Один из них был найден в виде системы из трех нелинейных, т. е. выражающих не прямую пропорциональную зависимость, уравнений. Линейные соотношения изображаются прямой линией на графике, и они достаточно просты. Линейные уравнения всегда разрешимы, что делает их подходящими для учебников. Линейные системы обладают неоспоримым достоинством: можно рассматривать отдельные уравнения как порознь, так и вместе.

Нелинейные системы в общем виде *не могут быть решены*. Рассматривая жидкостные и механические системы, специалисты обычно стараются исключить нелинейные элементы, на пример, трение. Если пренебречь им, можно получить простую линейную зависимость между ускорением хоккейной шайбы и силой, придающей ей это ускорение. Приняв в расчет трение, мы усложним формулу, поскольку сила будет меняться в зависимости от скорости движения шайбы. Из-за этой сложной изменчивости рассчитать нелинейность весьма непросто. Вместе с тем она порождает многообразные виды поведения объектов, не наблюдаемые в линейных системах.

В динамике жидкостей все сводится к нелинейному дифференциальному уравнению Навье-Стокса, удивительно емкому и определяющему связь между скоростью, давлением, плотностью и вязкостью жидкости. Природу этих связей зачастую невозможно уловить, ибо исследовать поведение нелинейного урав-

нения все равно, что блуждать по лабиринту, стены которого перестраиваются с каждым вашим шагом. Как сказал фон Нейман, «характер уравнения... меняется одновременно во всех релевантных отношениях; меняется как порядок, так и степень. Отсюда могут проистекать большие математические сложности». Другими словами, «… мир был бы совсем иным и хаос не казался бы столь необходимым, если бы в уравнении Навье-Стокса не таился демон нелинейности».

Особый вид движения жидкости породил три уравнения Лоренца, которые описывают течение газа или жидкости, известное как *конвекция*. В атмосфере конвекция как бы перемешивает воздух, нагретый при соприкосновении с теплой почвой. Можно заметить, как мерцающие конвекционные волны поднимаются, подобно привидениям, над раскаленным асфальтом или другими поверхностями, излучающими теплоту. Лоренц испытывал искреннюю радость, рассказывая о конвекции горячего кофе в чашке. По его утверждению, это один из бесчисленных гидродинамических процессов в нашей Вселенной, поведение которых нам, вероятно, захочется предугадать. Как, например, вычислить, насколько быстро остывает чашка кофе? Если напиток не слишком горячий, теплота рассеется без всякого гидродинамического движения, и жидкость перейдет в стабильное состояние. Однако если кофе горячий, конвекция повлечет перемещение жидкости с большей температурой со дна чашки на поверхность, где температура ниже. Этот процесс наблюдается особенно отчетливо, если в чашку с кофе капнуть немного сливок – тогда видишь, сколь сложно кружение жидкости. Впрочем, будущее состояние подобной системы очевидно: движение неизбежно прекратится, поскольку теплота рассеется, а перемещение частиц жидкости будет замедлено трением. Как поясняет Лоренц, «у нас могут быть трудности с определением температуры кофе через минуту, но предсказать ее значение через час нам уже гораздо легче». Формулы движения, определяющие изменение температуры кофе в чашке, должны отражать будущее состояние этой гидродинамической системы. Они должны учитывать эффект рассеивания, при котором температура жидкости стремится к комнатной, а скорость движения жидкости – к нулю.

Оказалось, что система Лоренца имеет аналоги в реальном мире, даже не отражая полностью процесс конвекции. К примеру, уравнения Лоренца достаточно точно описывают функционирование уже вышедшей из употребления электрической динамо-машины, предшественницы современных генераторов, где ток течет через диск, вращающийся в магнитном поле. В определенных условиях динамо-машина может дать обратный ход (!). Некоторые ученые, ознакомившись с уравнениями Лоренца, предположили, что, быть может, поведение динамо прольет свет на другой специфический феномен — *магнитное поле Земли*. Известно, что так называемая геодинамо-машина давала о себе знать много раз в истории планеты. Интервалы между этими явлениями казались странными и необъяснимыми. Столкнувшись с подобной неупорядоченностью (хаотичностью и непредсказуемостью) природного явления, теоретики, как правило, искали решение вне рамок конкретной системы, выдвигая предположения вроде гипотезы метеоритных дождей.

Другой системой, вполне точно описываемой уравнениями Лоренца, является водяное колесо определенного типа, механический аналог вращающихся конвекционных кругов. Вода постоянно льется с вершины колеса в емкости, закрепленные на его ободе, а из каждой емкости она вытекает через небольшое отверстие. В том случае, когда поток воды мал, верхние емкости заполняются недостаточно быстро для преодоления трения. Если же скорость водяной струи велика, колесо начинает поворачиваться под воздействием веса жидкости и вращение становится непрерывным. Однако, коль скоро струя сильна, черпаки,

полные воды, некоторое время колеблются внизу, а затем начинают стремиться в другую сторону, таким образом, замедляя движение, а затем и совсем останавливая колесо; более того, в дальнейшем колесо меняет направление движения на противоположное, поворачиваясь сначала по часовой стрелке, а потом против нее. Интуиция подсказала Лоренцу, что за длительный период времени при неизменном потоке воды система обретет устойчивое состояние. Колесо будет или равномерно вращаться, или постоянно колебаться в двух противоположных направлениях, покачиваясь через определенные неизменные промежутки времени сначала вперед, затем назад. Но Лоренц обнаружил еще одно обстоятельство. Движение данной системы полностью описывалось тремя уравнениями с тремя переменными. Компьютер ученого распечатал меняющиеся значения этих переменных в следующем виде: 0-10-0; 4-12-0; 9-20-0; 16-36-2; 30-66-7; 54-115-24; 93-192-74. Числа в наборе сначала увеличивались, затем уменьшались по мере отсчета временных интервалов: пять, сто, тысяча...

Чтобы наглядно изобразить полученные результаты, Лоренц использовал каждый набор из трех чисел в качестве координаты точки в трехмерном пространстве. Таким образом, последовательность чисел воспроизводила последовательность точек, образующих непрерывную линию, которая фиксировала поведение системы. Эта линия должна была, начиная с определенной точки, расположиться параллельно осям координат, что означало бы достижение системой устойчивости при стабилизации скорости и температуры. Был возможен и второй вариант – формирование петли, повторяющейся вновь и вновь и сигнализирующей о переходе системы в периодически повторяющееся состояние.

Но Лоренц не обнаружил ни того, ни другого. Вместо ожидаемого эффекта появилось нечто бесконечно запутанное, всегда расположенное в определенных границах, но никогда не повторявшееся. Изгибы линии приобретали странные, весьма характерные очертания, что-то похожее на два крыла бабочки или на двойную спираль в трехмерном пространстве. И эта форма свидетельствовала о полной неупорядоченности, поскольку ни одна из точек или их комбинаций не повторялась. Более того, оказалось, что эта форма ***(«странный аттрактор») имеет фрактальную структуру.*** Т.е. даже наиболее простые модели хаотической динамики, к которым относится знаменитое и вездесущее ФРАКТАЛЬНОЕ множество Мандельброта и сопутствующие ему множества Жюлиа – ДИСКРЕТНЫ, а их размерность, например, Хаусдорфа - Безиковича отлична от топологической размерности и является дробной !!! **При фрактальном подходе хаос перестает быть синонимом беспорядка и обретает тонкую структуру.**

2.4. Фракталы. Хаотические, динамические фракталы как механизм самоорганизации, возникновения порядка из хаоса

Важное значение для синергетического миропонимания имеет понятие фрактальности (самоподобия). Фракталами обозначают явления масштабной инвариантности, когда последующие формы самоорганизации материальных и социальных систем напоминают по своему строению предыдущие. Такие явления мы довольно часто наблюдаем в природе. Например, наукой давно подме-

чено, что строение Солнечной системы (как и всех звездных систем) в определенной мере подобно строению атома, но в больших на два десятка порядков пространственно-временных масштабах.

Фрактальные аналогии в синергетике являются одним из методов познания природных и социальных явлений, поскольку часто служат основой для построения научных гипотез и теорий. Например, сходство очертаний обращенных друг к другу частей материков (например, Африки и Южной Америки) послужило основанием для выдвижения гипотезы об их происхождении, как известно, затем подтвердившейся. Синергетика, пользуясь данным методом, дает объяснение, почему на тех или иных этапах эволюционного развития повторяются определенные структуры (например, вихревые, спиральные, цилиндровые, трех-, пяти-звездочные), раскрывает их роль в процессах самоорганизации в нелинейных системах различных масштабов. История человеческого общества также дает немало поводов для размышлений на тему фракталов.

Так, что же такое фрактал? Этот термин принадлежит Бенуа Мандельброту (именно он в 1975 году впервые ввел понятие фрактала – от латинского слова *fractus*, сломанный камень, расколотый, нерегулярный). В трех своих книгах ("Фрактальные объекты: форма, случай и размерность", изд-во Фламмарион, 1975; "Фракталы: форма, случай и размерность", изд-во Фриман, 1977; "Фрактальная геометрия природы", изд-во Фримен, 1977 и последующие издания) Б.Мандельброт предложил изумленному миру по существу **новую, неевклидову геометрию** – неевклидову не в смысле отказа от аксиомы параллельности, принятой в традиционной евклидовой геометрии, и в замене ее другой аксиомой, как это было сделано в геометрии Я.И.Лобачевского–Я.Бойяи, а **в смысле отказа от требования гладкости линий, площадей и ограничиваемых ими объектов**, что неявно подразумевалось в "Началах". Б.Мандельброт создал неевклидову геометрию негладких, шероховатых, зазубренных, изъеденных ходами и отверстиями, шершавых и т.п. объектов, своего рода математических «кошмаров» и парий (*т.к. такие объекты в принципе не дифференцируются),* по молчаливому уговору «изгонявшихся» из рассмотрения в пользу более благообразных усредненных, сглаженных, отполированных, спрямленных форм объектов. Оказалось, что даже простейшие из фракталов – геометрически самоподобные фракталы – обладают непривычными свойствами. Например, «снежинка фон Коха» (рис. 11) обладает периметром бесконечной длины, хотя ограничивает конечную площадь. Кроме того, она такая «колючая», что ни в одной точке контура к ней нельзя провести касательную.

Между тем именно "неправильные" объекты составляют подавляющее большинство объектов в природе. Сам Б. Мандельброт охарактеризовал созданную им теорию как морфологию бесформенного. "Фрактальная геометрия природы" Б.Мандельброта открывается следующими словами:

"Почему геометрию часто называют "холодной" и "сухой"? Одна из причин заключается в ее неспособности описать форму облака, горы, береговой линии или дерева. Облака - не сферы, горы - не конусы, береговые линии - не окружности, древесная кора не гладкая, молния распространяется не по прямой. В более общем плане я утверждаю, что многие объекты в Природе настолько иррегулярные и фрагментированы, что по сравнению с Евклидом - термин, ко-

торый в этой работе означает всю стандартную геометрию, - Природа обладает не просто большей сложностью, а сложностью совершенно иного уровня. Число различных масштабов длины природных объектов для всех практических целей бесконечно" [Mandelbrot, 1982].

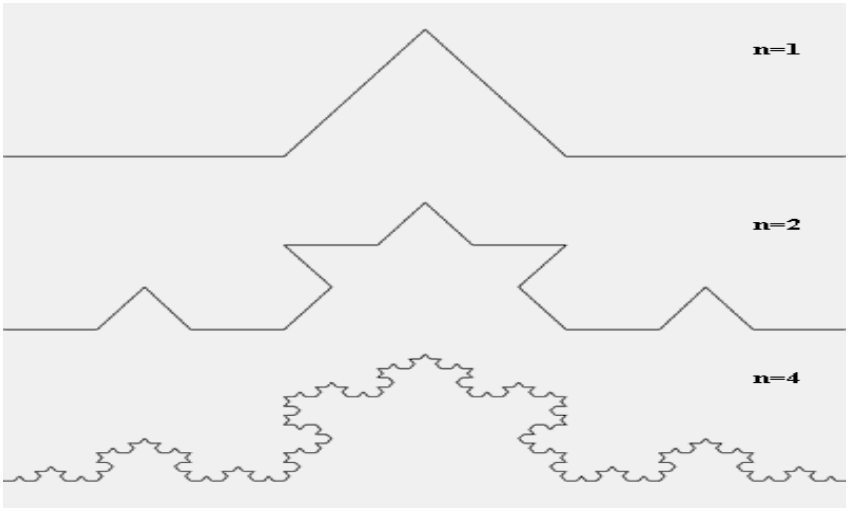


Рис.11. Кривая Коха – типичный геометрический фрактал. Процесс её построения выглядит следующим образом: берётся единичный отрезок, делится на три равные части и средний интервал заменяется равносторонним треугольником без этого сегмента, В результате образуется ломаная, состоящая из четырех звеньев, длиной в 1/3 от первоначальной линии, как изображено вверху (n=1) На следующем шаге повторяем операцию, соединив четыре таких ломаных линии, как изображено на рис.в середине (n=2) и т. д… Соединенные далее по такой схеме четыре или более линий и составляют кривую Коха, изображенную внизу рисунка (n=4). Свойства: кривая Коха нигде не дифференцируема (не имеет касательной) и не спрямляема, хотя всюду непрерывна; она не имеет самопересечений; кривая Коха имеет промежуточную (т. е. не целую) Хаусдорфову размерность, которая равна ln4/ln3 ≈1,261, поскольку она состоит из четырёх равных частей, каждая из которых подобна всей кривой с коэффициентом подобия 1/3. Три копии кривой Коха, расположенные на сторонах правильного треугольника, образуют замкнутую кривую, называемую *снежинкой Коха*, а если построить кривую на сторонах квадрата, при этом, проводя построение "внутрь" квадрата, получим кривую, называемую "Крест Коха".

Фракталы вокруг нас повсюду, и в очертаниях гор, и в извилистой линии морского берега. Некоторые из фракталов непрерывно меняются, подобно движущимся облакам или мерцающему пламени («динамические или флуктуирующие фракталы»), в то время как другие, подобно деревьям или нашим сосудистым системам, сохраняют структуру, приобретенную в процессе эволюции. Мандельброт обратил внимание на то, что при всей своей очевидности ускользало от его предшественников, хотя встречалось на каждом шагу и буквально "лежало на поверхности": контуры, поверхности и объемы окружающих нас предметов не так ровны, гладки и совершенны, как принято думать. В действительности они неровны, шершавы, изъязвлены множеством отверстий самой причудливой формы, пронизаны трещинами и порами, покрыты сетью морщин, царапин и кракелюр.

Оказывается, почти все природные образования имеют фрактальную структуру. Что это значит? Если посмотреть на фрактальный объект в целом, затем на его часть в увеличенном масштабе, потом на часть этой части и т. п.,

то нетрудно увидеть, что они выглядят одинаково. Точнее, полностью самоподобны только идеальные математические фракталы – их форма воспроизводится на различных масштабах. Природные же, в частности биологические структуры, являются *квазифракталами, стохастическими или «хаотическими фракталами»*. Повторяемость их структуры в разном масштабе почти одинакова, она неполная и неточная – это «обрубленные фракталы» или ***«хаотические фракталы»***. Все природные ***квазифрактальные структуры*** – это след как результат, структурная запись, порождающих их хаотических природных процессов. Фрактальная геометрия природы (неживой и живой) – фактически геометрия ХАОСА, а структурные квазифракталы – это пространственные аналоги хаотических нелинейных процессов. В свою очередь, хаотические процессы также характеризуются повторением своей структуры при изменениях масштаба, т.е. статистическим самоподобием и реальной КВАЗИФРАКТАЛЬНОСТЬЮ ВО ВРЕМЕНИ! Например, математики П.Бак и К.Чен (1991) рассматривают фракталы как мгновенные «срезы» самоорганизующихся критических процессов, своеобразные пространственные «отпечатки» самоорганизующейся критичности, в структуре которых отсутствует строгое самоподобие.

Справедливо отметить, что открытие фракталов произвело революцию не только в геометрии, но и в физике, химии, биологии. Фрактальные алгоритмы нашли применение и в информационных технологиях, например, для синтеза трехмерных компьютерных изображений природных ландшафтов, для сжатия (компрессии) данных. Понятие фрактала тесно связано с уже рассмотренным нами явлением хаоса в динамических системах.

Особый тип хаотических фракталов составляют «***фрактальные кластеры***» – новый класс физических объектов, плотность которых уменьшается по мере роста, с увеличением размера кластера. Исследование фрактальных кластеров также оказалось очень перспективным не только в физике, но и в химии, и в биологии. В химии, в связи с описанием парадоксальных свойств супрамолекулярных систем – переходных между химическими и биологическими (*см. раздел, посвященный синергетике сверхмалых концентраций и доз*); в биологии – в связи с развитием фрактально-синергетического подхода в решению проблем физико-химической биологии возникновения жизни и сознания, эпигенетической памяти и функционирования нейросетей, самоорганизации морфологических структур биологических систем и др. Феномен фрактальных кластеров с большой вероятностью может быть обнаружен и в геофизических системах и в некоторых биосоциальных системах, как природно обусловленных структурно-функциональных образованиях.

При математическом моделировании объектов самой разной природы велико прикладное значение фрактальной геометрии, которая описывает не только самоаффинные геометрически правильные объекты со статической, застывшей симметрией, но и многочисленные объекты ***нелинейной динамики типа странных аттракторов***, хаотических траекторий в зазорах между торами Колмогорова-Арнольдам Мозера, гомоклиники и т.д., ***сочетает статичность геометрических форм с динамикой.***

В арсенале современной математики Мандельброт логически нашел удобную количественную меру неидеальности объектов - извилистости конту-

ра, морщинистости поверхности, трещиноватости и пористости объема. Ранее её рассчитали два математика - Феликс Хаусдорф (1868- 1942) и Абрам Самойлович Безикович (1891-1970). Ныне она носит сочетанное имя своих создателей – размерность Хаусдорфа-Безиковича.

Применительно к идеальным объектам классической евклидовой геометрии она давала те же численные значения, что и известная задолго до нее так называемая «топологическая размерность» (иначе говоря, она была равна нулю для точки, единице - для гладкой плавной линии, двум – для фигуры и поверхности, трем – для тел и пространств. Но, совпадая со старой, топологической, размерностью на идеальных объектах, новая размерность обладала более тонкой чувствительностью ко всякого рода несовершенствам реальных объектов, позволяя различать и индивидуализировать то, что прежде было безлико и неразличимо. Так, отрезок прямой, отрезок синусоиды и самый причудливый меандр неразличимы с точки зрения топологической размерности – все они имеют топологическую размерность, равную единице, тогда как величины их размерности Хаусдорфа-Безиковича различны, что *позволяет количественно выражать степень извилистости,* т.к. она может принимать не только целые, как топологическая размерность, но и дробные значения. Равная единице для прямой линии (бесконечной, полубесконечной или для конечного отрезка), размерность Хаусдорфа-Безиковича увеличивается по мере возрастания извилистости линии: она становится равной 1,02 для слегка извилистой линии; 1,15 - для более извилистой; 1,53 – для очень извилистой и т. д. При этом, возрастая по значению, размерность Хаусдорфа-Безиковича не меняется скачком, как ведет себя в таком случае топологическая размерность.

Одним из классических примеров расчёта фрактальной размерности на практике является решение задачи, связанной с оценкой изрезанности береговой линии. Размерность фрактала можно вычислить, пользуясь размерностью Хаусдорфа-Безиковича, определение которой исходит из простого факта. Если мы увеличим масштаб рассмотрения некоего отрезка в 2 раза, его кажущаяся длина увеличится в 2 раза. Если увеличим масштаб рассмотрения квадрата таким же образом (так, чтобы его линейные размеры выросли в 2 раза), его кажущийся размер увеличится в 4 раза. При аналогичном увеличении масштаба рассмотрения куба, его кажущийся размер вырастет в 8 раз. Тогда для вычисления размерности Хаусдорфа-Безиковича можно воспользоваться следующей формулой (2):

$$D\ (\text{размерность}) = log(s) / log(z) \qquad (2)$$

где s — изменение размера, z — изменение приближения.

Для отрезка размерность будет равна $log2 / log2 = 1$, для квадрата: $log4 / log2 = 2$, для куба: $log8 / log2 = 3$. Тогда фрактальность изрезанной (например, береговой линии) можно вычислить следующим образом. Фрактальная структура (в данном случае береговая линия) заключается в сеть квадратов всё меньшего размера. N(L) – число квадратов со стороной L, необходимых для покрытия фрактальной структуры. Тогда, применяя формулу (2), получим:

$$D = \lim_{L \to 0} [\ln N(L)/\ln L] \qquad (3)$$

Анализируя данные, полученные Ричардсоном, Мандельброт привел свои оценки фрактальной размерности Хаусдорфа-Безиковича для нескольких береговых линий. Они колебались от почти единицы для сравнительно гладкого (взгляните на любую карту!) южного побережья Африки до 1,3 - для западного побережья Великобритании и рекордно высокой отметки 1,52 - для изрезанного фьордами побережья Норвегии.

Предложен ещё один способ определения фрактальной размерности: вокруг каждой точки структуры проводится окружность радиусом R. Тогда при L – расстояние между точками по прямой; a - размер ломаной линии; D – фрактальная размерность:

$$L \approx a(R/a)^D \qquad (4)$$

Т.е. упрощенно можно представить фрактальную размерность как отношение длины измеряемого контура к длине мерки, или, иными словами, фрактальная размерность представляет собой показатель меры (степени) заполненности ПРОСТРАНСТВА фрактальной структурой. Таким образом, фрактальная размерность – топологический инвариант каждой фрактальной структуры, особый вид симметрии – как бы симметрия фрактала относительно масштаба измерения. Словом, фрактальная линия *выходит* за пределы одномерного пространства, вторгаясь в двумерное, её дробная размерность $1<D_{\text{фрактальной линии}}<2$.

Точно также фрактальная плоскость «частично выходит» в трёхмерное пространство $2<D_{\text{фрактальной плоскости}}<3$. Можно предположить, что $3<D_{\text{фрактального обёма}}<4$. Например, расчётная фрактальная размерность кровеносной системы человека составляет ≈3,4, а фрактальная размерность человеческого мозга – от 3,2 до 3,8 (в зависимости от степени изрезанности поверхности мозга – образно говоря, в зависимости «от количества и качества извилин», а не от массы мозга). Это не противоречит факту трёхмерной топологической размерности пространства, в которое эти объемные структурные физиологические системы вписаны.

Именно для того, чтобы особо подчеркнуть способность размерности Хаусдорфа-Безиковича принимать дробные, нецелые, значения, Мандельброт и придумал свой неологизм, назвав ее ***фрактальной размерностью***. Итак, фрактальная размерность (не только Хаусдорфа-Безиковича, но и любая другая) – это размерность, способная принимать не обязательно целые значения. Фрактал – это объект, характеризующийся фрактальной (дробной) размерностью, а фрактальность, соответственно, – свойство объекта быть фракталом или размерности быть фрактальной.

Вопрос о том, является ли какой-либо предмет гладким или фрактальным, сам по себе лишен смысла. Ответ на подобный вопрос зависит от остроты зрения наблюдателя или от разрешающей способности прибора, которым он пользуется для оценки, то есть от того, насколько мелкие детали различает наблюдатель. Образно выражаясь, гладкая поверхность высочайшего класса обработки при соответствующем увеличении будет выглядеть, как горный ландшафт, подвергшийся интенсивной бомбардировке **метеоритами (имеет прямое отношение к нанотехнологиям в материаловедении).**

Относительно и само понятие *размерности*. Бенуа Мандельброт иллюстрирует это следующим примером.

Клубок шерсти кажется мухе с большего расстояния *точкой* (топологическая размерность 0). Подлетев поближе, муха видит "*большую точку*" - диск (топологическая размерность 2). С еще более близкого расстояния муха видит, что перед ней *шар* (топологическая размерность 3). Во всех случаях все неровности сглаживаются из-за большого расстояния, и размерность Хаусдорфа-Безиковича совпадает с топологической размерностью. Подлетев совсем близко, муха видит перед собой клубок гладких ниток, то есть хитрым образом сложенную пространственную кривую (топологическая размерность которой равна 1). И лишь сев на клубок, муха видит пушинки, обрамляющие нить, то есть ощущает *фрактальность* шерстяной нити.

Какова же "истинная" размерность клубка шерсти? Да ее просто не существует: все зависит от точки зрения наблюдателя, разрешающей способности его глаз или используемого прибора.

Появление фракталов позволило (точнее, по-видимому, позволило) разрешить еще одну загадку, издавна мучившую физиков: почему в большинстве эмпирических формул, в изобилии встречающихся в любом инженерном справочнике, показатели степеней в различных зависимостях такие "некрасивые", то есть выражаются необъяснимо странными, с точки зрения традиционной физики, дробными числами типа 1,1378... или 2,9315…? Ответ, по-видимому, надлежит искать в том, что при разрешениях, достижимых в технике, в игру вступает фрактальность среды, поверхности и т. д., не принимавшаяся во внимание физиками, но вполне ощутимая на эмпирическом уровне для инженеров.

Число публикаций о фракталах, фрактальной геометрии и фрактальной физике (влиянии фрактальной структуры среды на протекающие в ней процессы и свойства фрактальных объектов) возрастает во всем мире экспоненциально. Столь большой и не ослабевающий интерес объясняется не столько своеобразной модой и новизной, но и принципиально новыми возможностями, которые фрактальность открывает перед современными науками о природе и обществе.

Не менее необычна и увлекательна физика фракталов. Фрактальные среды обладают настолько сложной геометрией, что многие процессы протекают в них не так, как в обычных сплошных средах. Например, средний квадрат расстояния, на которое удаляется от исходной точки случайно блуждающая частица (математическая модель совершенно пьяного гуляки, делающего очередной шаг с равной вероятностью в любую сторону), пропорционален времени, если речь идет об обычной, сплошной среде. Во фрактальной среде это не так. Даже на глаз, без всяких расчетов, видно, что случайно блуждающая частица будет удаляться от места старта медленнее, так как далеко не все направления для нее доступны: извилистый канал выбирает из множества ранее доступных направлений лишь малое подмножество разрешенных направлений. Средний квадрат расстояния для фрактальной среды оказывается пропорциональным некоторой дробной степени времени, показатель которой связан с фрактальной размерностью среды.

Это, в частности, означает, что диффузия во фрактальной среде происходит не так, как в обычной, сплошной среде. Множество препятствий (узких мест, крутых поворотов и тупиков) затрудняют продвижение частиц и замедляют диффузию. Лауреат Нобелевской премии Де Жен сравнил частицу, блуж-

дающую в фрактальной среде, с муравьем в лабиринте. Трудно приходится муравью. Отсюда и дробные показатели в различных зависимостях. Замедление диффузии в фракталах столь существенно, что она перестает удовлетворять классическому закону Фика и - как следствие - уравнению диффузии. Не спасает положения и попытка ввести переменный коэффициент диффузии, зависящий от концентрации частиц.

Возникает новое, интегрально-дифференциальное уравнение, содержащее новый необычный объект - производную (по времени) дробного порядка, связанного с фрактальной размерностью среды. Впрочем, причудливость фрактальной геометрии в какой-то мере подготавливает нас к тому, что и физика происходящих в фрактальной среде процессов, в частности диффузии, должна описываться необычными средствами.

Барабан, натянутый на гладкий или фрактальный контур, звучит поразному, и это различие можно использовать для диагностики характера контура и определения его фрактальной размерности. Звуковая палитра современных композиторов может быть значительно расширена за счет звучания электронных инструментов, имеющих различные фрактальные характеристики.

Метеорологи научились определять по фрактальной размерности изображения на экране радара скорость восходящих потоков в облаках, что позволяет с большим упреждением выдавать штормовые предупреждения морякам и летчикам.

Фрактальные свойства - не блажь и не плод досужей фантазии математиков. Изучая их, мы учимся различать и предсказывать важные особенности окружающих нас предметов и явлений, которые прежде, если и не игнорировались полностью, то оценивались лишь приблизительно, качественно, на глаз, как в выше приведенном примере муха оценивает клубок шерсти на большом расстоянии. Например, сравнивая фрактальные размерности сложных сигналов, записанных на энцефалограмме, или шумов в сердце, медики могут диагностировать некоторые тяжелые заболевания на ранней стадии, когда больному еще можно помочь.

Тому подтверждение - недавно опубликованные в США результаты оригинального исследования, ставшие своего рода научной сенсацией, ибо из них следовал вывод, опровергающий представления, укоренившиеся в медицине за последние, по крайней мере, 50 лет. Поиск вёлся там, где никто никогда не искал - изучались фрактальные свойства ***физиологических систем.*** Два доцента Гарвардского университета, Эри Л.Голдбергер, Дейвид Р. Ригни, и профессор физики Университета Северного Техаса Бруст Дж.Уэст искали периодичные закономерности, которые могли бы служить индикаторами развивающихся заболеваний, в частности сердечных. При этом они опирались на ***общепризнанную концепцию гомеостаза, согласно которой все физиологические системы организма стремятся возвратиться в состояние устойчивого равновесия***, как только перестаёт действовать фактор, выводящий их из этого состояния. С такой позиции объясняются, например, нарушения сердечного ритма у старых и больных людей - ослабленному организму труднее поддерживать стабильность сокращений сердечной мышцы. Поэтому считалось: *чем ярче выражена аритмия, тем вернее перспектива внезапной остановки сердца*. Хотя

кардиологам известны происходящие даже у здоровых людей значительные изменения частоты пульса в продолжение дня: от 40 (иногда от 20) до 180 ударов в минуту. Согласно концепции гомеостаза подобные вариации - просто ответные реакции на изменения в окружающей среде. Экспериментаторы, обследовав в течение суток добровольцев, отличавшихся "*космическим*" здоровьем и защищённых, насколько возможно, от внешних раздражителей, получили на первый взгляд совершенно случайный, нерегулярный график сердечных сокращений, не несший никакой информации о предмете их поиска - периодичных закономерностях. Однако, проанализированный в различных временных масштабах, он неожиданно "*заговорил*" (рис. 12).

Так, на участке кривой, соответствующей нескольким часам, обнаружились более быстрые флуктуации, диапазон и последовательность которых походили на более медленные флуктуации исходного часового графика. В минутном масштабе находились ещё более быстрые флуктуации, которые также соответствовали характеристикам исходной кривой. ***Флуктуации выглядели подобными самим себе, так же как ветки геометрического фрактала***. Предписанное теорией стремление к гомеостатической стабильности не наблюдалось. Динамическая система вела себя неравномерно даже без изменений со стороны внешних раздражителей.

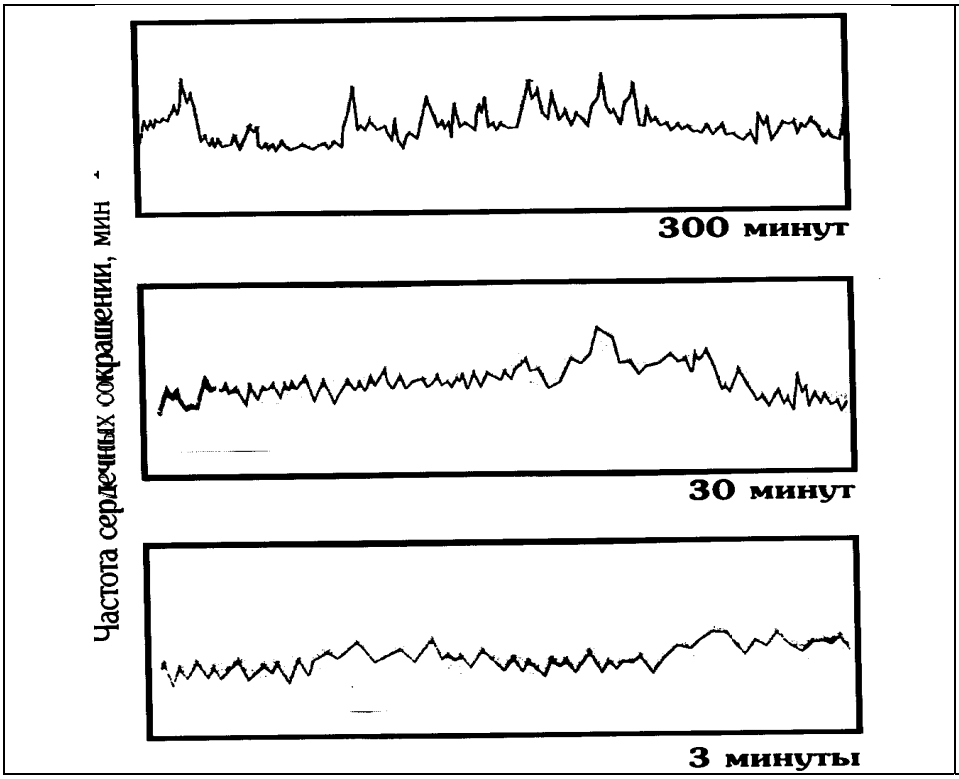


Рис. 12. Когда сердечный ритм здорового человека регистрируется в интервалах 300, 30 и 3 минуты, быстрые флуктуации выглядят почти так же, как. медленные.

Итак, если *кардиограмма - фрактальная кривая*, то, во-первых, причиной её самоподобия в отсутствие внешних раздражителей должно быть устройство и условия жизнедеятельности самого организма, а, во-вторых, ***признаком здоровья становился не стабильный сердечный ритм, а повторяющиеся в разных масштабах «скачки» амплитуды сердечных сокращений.*** Подтверждение первого вывода напрашивалось само собой. Ведь сердце снабжается кровью с помощью ***фракталоподобной структуры артерий и вен***. В самом серд-

це ветвящиеся сухожилия прикрепляют митральный и трехстворчатый клапаны к мышцам. Наконец, фрактальная организация прослеживается в картине разветвления некоторых сердечных мышечных волокон и в так называемой системе Гиса, передающей электрические сигналы от предсердий к желудочкам (рис.13).

Если ещё учесть, что управляющие "механизмом" сердца нервные клетки с их расходящимися на всё более мелкие волокна отростками-дендритами являют пример типичного фрактала, то наблюдение гарвардцев и техасца становится вполне объяснимым.

Второй вывод требовал экспериментального подтверждения. И через несколько месяцев, проведенных учёными в клинике возле кардиографов, доказательства были получены.

Тогда-то и *окрепли сомнения в абсолютной справедливости положений теории гомеостаза.* Полученные графики оказались красноречивее любых слов. На одном из них сердечный ритм почти стабилен. Получен он за 13 часов до ***... остановки сердца***. На другом, заметна его явная упорядоченность, произошедшая за 8 суток до внезапной смерти от сердечной недостаточности. И, наоборот, *кривая сердцебиения здорового человека отличается "болезненной" хаотичностью.*

Получалось, что вопреки сложившимся представлениям ***беспорядок означал жизнь***, а ***выраженная стабильность предрекала близкую смерть***. Но почему природа противоречит здравому смыслу, предпочитая рациональному порядку непредсказуемый хаос? Вероятно, потому, что, с её точки зрения, ***хаос и есть вершина рациональности***. Ведь хаотическая динамика даёт организму много функциональных преимуществ. Благодаря этому он способен работать в широком диапазоне условий и, легко перестраиваясь, адаптироваться к изменениям. Пластичность любой функциональной системы позволяет учитывать требования постоянно изменяющейся внешней среды. Динамику "случайности" обеспечивают фрактальные структуры, обладающие к тому же и значительным «запасом прочности». Под запасом прочности имеется в виду не чисто количественный уровень адаптационной способности, а ее многоуровневость и неоднородность в пространственно-временном континууме. Это важно при трактовке переходных состояний, например, в медицине «здоровье – болезнь»

Физиологам ещё предстоит лучше понять то, каким образом эволюция приводит к возникновению фрактальных структур и как динамические процессы в организме порождают наблюдаемые признаки хаоса. В недалеком будущем благодаря изучению фракталов, возможно, возникнут более тонкие методы анализа различных нарушений функций организма при старении, заболеваниях, употреблении лекарственных препаратов с побочным действием.

Выводом из вышесказанного может служить следующее утверждение: «фракталы неисчерпаемы, как неисчерпаемы их приложения в науке, технике, литературе и искусстве». С появлением фракталов со всей очевидностью стала ясна ограниченность описания природы с помощью гладких кривых, поверхностей и гиперповерхностей. Окружающий нас мир гораздо разнообразнее, и в нем оказалось немало объектов, допускающих фрактальное описание и не укладывающихся в жесткие рамки евклидовых линий и поверхностей.

Не следует забывать, однако, о том, что и фракталы - не более чем упрощенная модель реальности, применимая к достаточно широкому, но все же ограниченному кругу предметов и явлений, и не претендует и не может претендовать на роль своеобразного универсального ключа к описанию природы. Как сказал Дж. Б. С. Холдейн, "*мир устроен не только причудливей, чем мы думаем, но и причудливей, чем мы можем предполагать*".

Самоподобие фрактальных структур является результатом реитерации функции с обратной связью (самореферентная обратная связь), оно определяет связь ближнего (локального) и дальнего (глобального) порядков (см. понятие «*Структурный уровень самоорганизации материи*») и даёт возможность сжатого математического описания структур и процессов (прежде всего, самоорганизации) ещё недавно недоступных такому описанию и пониманию.

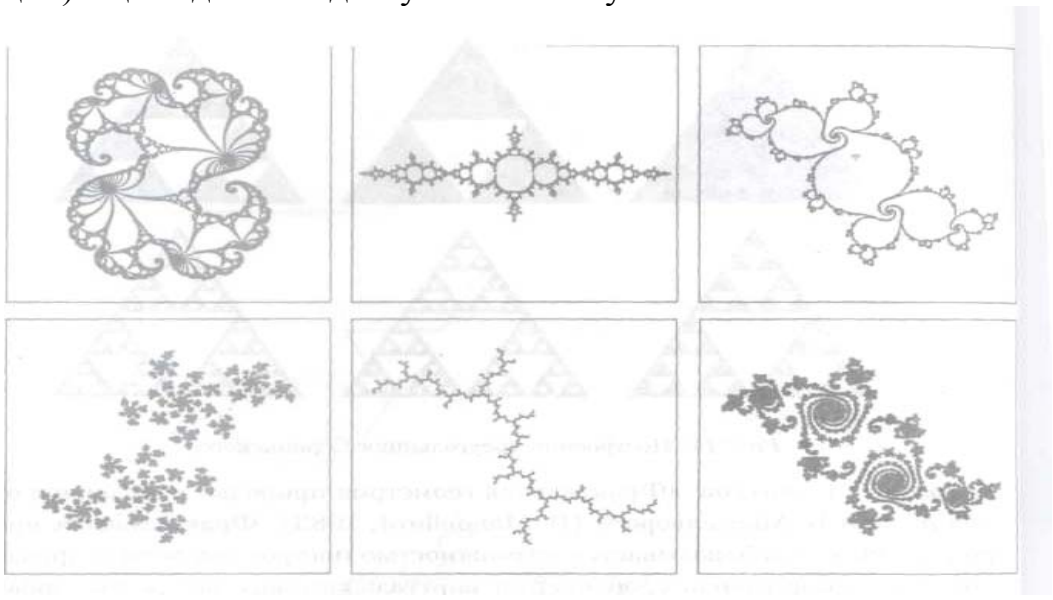


Рис.14. Примеры множеств Жюлиа

Наиболее известны множества Жюлиа (рис.14) и Мандельброта (рис.15) – нелинейные квадратичные фракталы, комплексные динамические системы, генерируемые бесконечным повторением (итерацией) алгебраических функций.

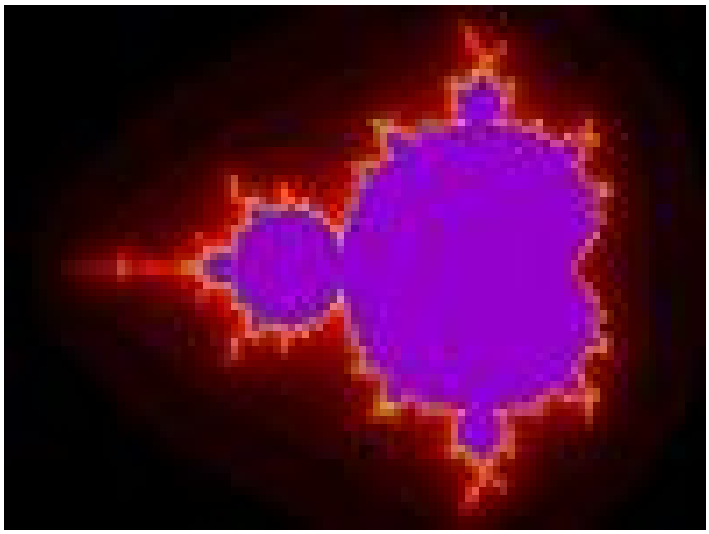


Рис.15. Множество Мандельброта

В конце 70-ых годов XX века Мандельброт, изучая иттерационные (решения квадратных и тригонометрических уравнений, обнаружил, что простейшие нелинейные фракталы задаются квадратичными функциями и предложил описывать совокупность фракталов в виде итерации (5), которая получила название алгоритм Мандельброта:

$$Z_{n+1} \rightarrow Z^2_n + C \quad (5)$$

где «→» означает итерацию, Z_n и Z_{n+1} члены последовательности комплексных чисел, C – некое ***произвольное*** *комплексное число.*

Точки данной последовательности, каждый последующий член которой является квадратом предыдущей плюс некое слагаемое, будут лежать не на прямой, а в плоскости. Предсказать путём анализа место каждой точки невозможно, но его можно вычислить. Оказалось, что алгоритм Мандельброта описывает все множества Жюлиа, если в иттерационном процессе (5) зафиксировать значение «C» и изменять «Z_0». С другой стороны, фиксация «Z_0» при изменяющихся значениях «C» позволяет получить всё фрактальное множество Мандельброта.

Формула для вычисления множества Мандельброта (6):

$$Z_{n+1} = [\ c(z^2 + 1)^2] / [z(z^2 - 1)^2] \quad (6)$$

Эти числа отображаются точками на координатной плоскости где формируется пространственно-временной образ множества, при этом наблюдается воспроизведение одной и той же основной структуры множества Мандельброта (см. рис.15) с появлением множества копий в разных масштабах, но без полного повторения окружающих структур, без строго самоподобия, с развертыванием бесконечных вариаций и появлением весьма нетривиальных картин (рис.16). Множество Мандельброта оказывается вместилищем изображений множества Жюлиа.

Таким образом, простой алгоритм построения раскрывается при бесконечном повторении как генератор разнообразных причудливых форм, многие из которых напоминают биологические. Основная фигура (рис. 15) – это множество точек, не выходящих за её пределы (точек – «пленников»). На границах множеств точек-«пленников» и точек-«беглецов» располагаются множества Жюлиа (рис.14) и наблюдается наиболее разнообразный морфогенез. Преобразования, происходящие при развертывании множества Мандельброта, можно представить в виде каскада бифуркаций (рис.17) с последовательным удвоением числа решений и нарастанием неопределенности – невозможности точного прогнозирования положения отдельной точки. Поэтому ***множество Мандельброта – визуализация образа детерминированного хаоса.***

Итак, ***сложные формы, сильно напоминающие биологические, могут быть созданы без генов, по простому рекурсивному (с обратной связью) алгоритму, выполняющему роль генетических правил!***

Следует отметить, что значительная часть реально встречающихся в природе «фракталов Мандельброта» структурирована величинами **0,618** и **1,618**,

являющихся «**отталкивающими аттракторами**» в том смысле, что геометрические орбиты всех достаточно близких к ней точек, получаемых при итерациях, удаляются от неё, т.к. $|f'(z)|>1$). И эти величины – аттракторы известны как **соотношения Фибоначчи** или пропорция **«золотое сечение».** Их можно получить как корни уравнения (5) при условии, что Z является неподвижной точкой (т.е. f(z)=z или $z=z^2+C$) [Кроновер, 2000]) и при «С»= –1. В целом для данной иттерации можно показать, что при сохранении «Z» и «С» в области действительных чисел (т.е. С≤0,25) в процессе уменьшения «С» при его значении «-0,75» меняется аттрактный характер «Z». Из «притягивающего» аттрактора точка «Z» (геометрические орбиты всех достаточно близких к ней точек, получаемых при итерациях, притягиваются к ней, т.к. $|f'(z)|<1$), трансформируется в «отталкивающий».

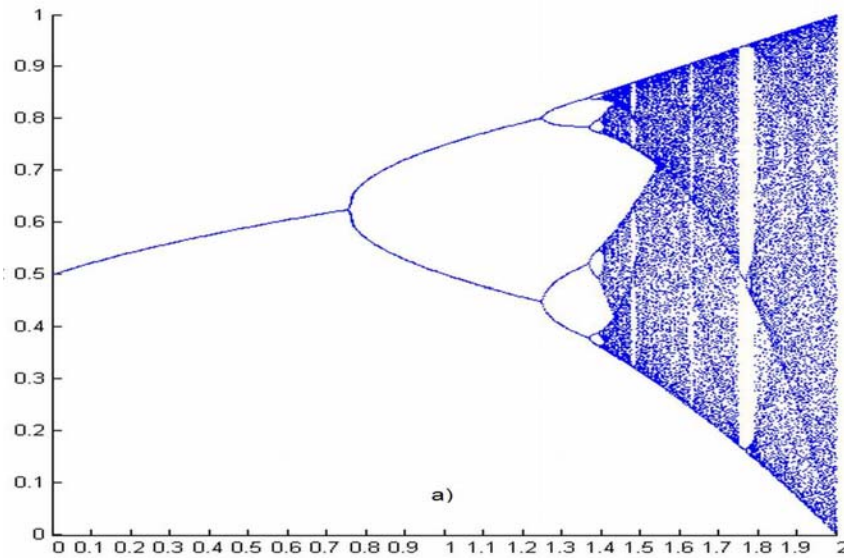


Рис.17. Сценарий удвоения периода Фейгенбаума (является самоподобным фракталом в любом масштабе)

В то же время функция «$f^{(2)} = (z^2-1)^2-1$» дает пару «притягивающих» неподвижных точек (z=0 и –1). Это сочетание приводят к появлению цикла с периодом 2 для *f*. То есть система точек претерпевает бифуркацию удвоения периода, когда проходит через значение «-0,75». Следующие точки бифуркации возникают при *C*=-1,25. Когда *C* становится меньше этого значения, аттрактор вновь становится «притягивающим» с периодом 4, возникает новая бифуркация.

По мере убывания *C* аттрактор продолжает изменять свой характер (возникают новые бифуркации): при *C*=-1,4 он становится «отталкивающим» с периодом 8; при *C*=-1,75 - вновь «притягивающим» с периодом 16 и т.д. То есть появляется хаос с помощью удвоения периода, но из него рождается диссипативный порядок. Эти итерации фракталов, приводящие к получению хаоса с помощью удвоения периода и возникновению из него порядка в цепи бифуркаций, как показал Фейгенбаум (см. рис.17), во-первых, являются универсальными. Во-вторых, могут быть описаны и как $Z_{n+1} = CZ_n(1-Z)$, и в тригонометрической форме. Например, как $Z_{n+1} = C\sin(\pi Z_n)$ или $Z_{n+1} = C\, Z_n^2 \sin(\pi Z_n)$.

Итерации фрактала Мандельброта в двухмерном и в трёхмерном пространстве представляют собой комплекс винтовых форм и спиралей (см. рис.16). Вблизи границ областей возникают явления конкуренции за «облада-

ние» приграничным пространством, **там происходит переход «от хаоса к порядку», смена состояний «нахождения снаружи» на состояние «нахождение внутри» и обратно**.

Этот переход и представляет наибольший интерес, проявляя зависимость с обратной связью, когда одна и та же операция выполняется снова и снова, а результат одной становится начальным значением для следующей и порождает бесконечное переплетение подобных структурных элементов различных размеров и сечений. Кроме того, всё четче вырисовывается зависимость самого направления ***пространственной*** эволюции фрактала (от хаоса к диссипативным структурам через череду бифуркаций), его аттракторного характера в зависимости от начальных условий, особенно вблизи точек бифуркаций, т.е. в эволюционных «режимах с обострением».

Оказалось, что именно алгоритмом Мандельброта пользуется природа, создавая свои шедевры – фракталы **«золотой пропорции»** – от клеточного генома, с его чередующимися фракталами из последовательностей пуриновых и пиримидиновых оснований, комплементарно взаимодействующих в молекуле ДНК, до любого биологического организма и биологической популяции, от строения химического вещества до строения вселенной, от развития отдельных культурных навыков до глобальных социальных и экономических процессов в обществе. Более того, структура этой самоорганизации не статична, а постоянно изменяется в пространстве.

Однако классическая теория динамических фракталов описывает их эволюцию в пространстве, но не учитывает возможности ***флуктуаций*** *о*тдельных элементов (фрагментов) геометрических фигур относительно друг друга (без разрушения целостности структуры) ***во времени***.

Известно, что ***биохимические*** и с***упрамолекулярнохимические*** взаимодействия обусловлены индуцированной комплементарностью не только в пространстве, но и **во времени** трехмерных структур (конформаций) биологически активных веществ (БАВ) и супрамолекулярных комплексов, то есть их структурно-временной взаимной дополнительностью по типу «рука-перчатка». А биофизические – резонансом (также во времени и пространстве) частот внешних излучений частотам собственных колебаний конформаций БАВ. Примерами первых являются взаимодействия «фермент - субстрат», «антиген - антитело», «белок переносчик - переносимое вещество» (например «гемоглобин-кислород»), «лиганд - рецептор», в том числе «гормон - рецептор», «нейрохимический медиатор - рецептор», «ДНК – ДНК-полимеразный комплекс», «рибосома – м-РНК – аминоацил-т-РНК» и т.д. Примерами вторых – взаимодействие кванта света с системой хлорофилла; γ-кванта с белками с образованием долгоживущих возбужденных состояний белков – «поляритонов» с последующим вторичным биогенным излучением; действие электромагнитных или магнитных полей на конформации белков, липидных или водных кластеров. В свою очередь, изменение конформации за счёт перераспределения системы слабых взаимодействий может являться источником излучений, например биолюминесценция с участием люцифераз.

В качестве трёхмерных пространственно-временных структур, образованных слабыми взаимодействиями могут выступать и межмолекулярные образо-

вания, например, кластеры воды (водородные связи), липидные комплексы мицелл либо клеточных мембран (гидрофобные взаимодействия).

При этом биологическая активность различных БАВ, супрамолекулярных комплексов, в том числе и при сверхнизких концентрациях, кластеров воды, определяется не просто химическими формулами молекул, но их пространственными структурами, обусловленными слабыми внутримолекулярными взаимодействиями (водородными связями, гидрофобными взаимодействиями). Главной особенностью этих структур (геометрических форм) является сочетание прочности линейных связей между атомами (от одно- до двухмерных геометрических форм), обуславливающих прочность первичных структур (в нуклеиновых кислотах, белках, жирных кислотах, олиго- и полисахаридных молекулах; атомов кислорода и водорода в молекулах воды) с **относительной подвижностью в пространстве и времени** их внутри- либо межмолекулярных трехмерных геометрических форм (конформаций). Это является свидетельством того, что для этих систем характерны состояния **пространственно-временного динамического хаоса, определяющего их способность к фрактальной самоорганизации – образованию диссипативных структур, свойства которых зависят только от характеристик параметрических воздействий внешней для них среды**. Причём основополагающим параметром процессов их самоорганизации является «золотая пропорция», вытекающая из ряда чисел Фибоначчи.

2.5. Числа Фибоначчи. Золотая пропорция.

Природа величины «золотой пропорции» вытекает из простой математической модели итерации чисел Фибоначчи (ЧФ). Это ряд чисел, начиная с 1, в котором каждое из последующих равно сумме двух предыдущих: 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55, 89, 144, 233, 377, 610, 987 и т.д до ∞. При этом отношения значений чисел «*(n+1)/n*» и «*n/(n+1)*» в ряду Фибоначчи дают ряды затухающих колебаний при асимптотическом приближении к иррациональным числам 1,6180339… или 0,6180339… - значениям «золотого соотношения» (рис. 18).

Последовательность Фибоначчи имеет любопытные особенности, одна из которых - почти постоянная взаимосвязь между числами. Следует обратить внимание, как значение соотношений колеблются вокруг величины 0,618… (или 1,618…), причем размах флуктуаций постепенно сужается; а также на величины: 1,00; 0,5; 0,67. Чем выше числа, тем более они приближаются к величине **0,618** и **1,618**. Отношение любого числа к следующему за ним через одно приближается к 0,382, а к предшествующему через одно - 2,618. Например: 13/34=0,382; 34/13=2,615. Удивительной ***особенностью последовательности Фибоначчи*** является то, что Fn-1/ Fn (1 : 1.618..) = **0.618… с точностью до бесконечного знака после запятой**. А Fn-2/Fn = 0,382….. ; Fn/Fn-2 = **2.618** и т.д.

Подбирая таким образом соотношения, получаем основной набор коэффициентов Фибоначчи: **4,235; 2,615; 1,618; 0,618; 0,382; 0,236**. Упомянем также **0.5**. Все они играют особую роль в природе и в технике.

Как уже отмечалось, **золотое сечение** - это такое пропорциональное деление отрезка на неравные части, при котором весь отрезок (с) так относится к

большей части (b), как сама большая часть (b) относится к меньшей (a); или другими словами, меньший отрезок так относится к большему, как больший ко всему (см. рис. 1). $a : b = b : c$ или $c : b = b : a$.

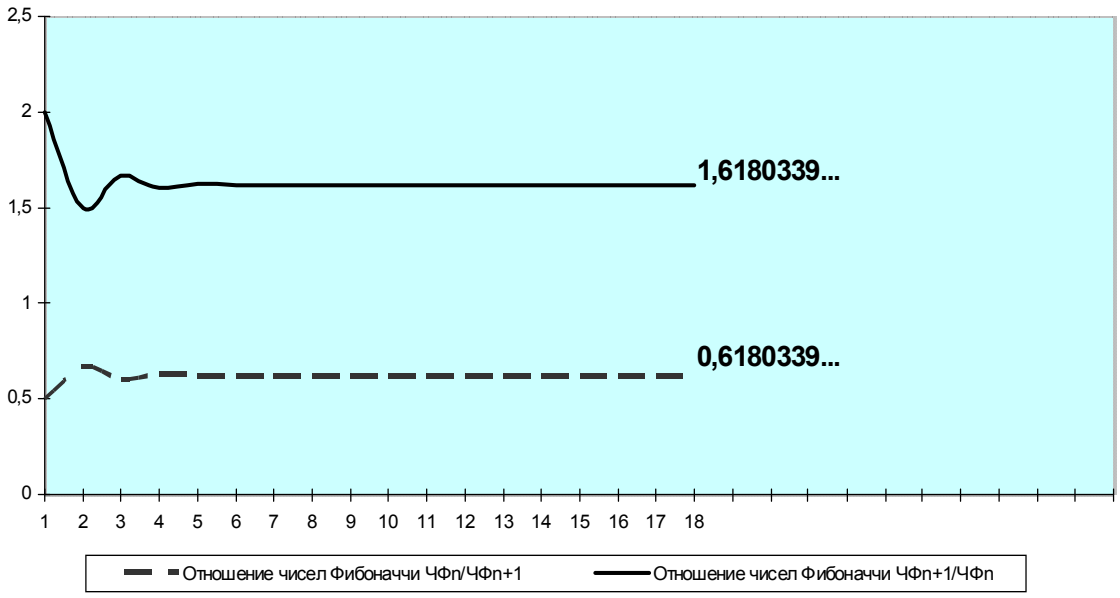


Рис.18. Ряды отношений чисел Фибоначчи n/(n+1) и (n+1)/n, дающие золотую пропорцию

Численное значение Золотого сечения равно числу Фибоначчи **0.618…** На этой пропорции базируются основные геометрические фигуры. Прямоугольник с таким отношением сторон называется **золотым прямоугольником**. Он обладает следующими свойствами: если от него отрезать квадрат, то останется вновь золотой прямоугольник, этот процесс можно продолжать до бесконечности, а если провести диагональ первого и второго прямоугольника, то точка их пересечения будет принадлежать всем получаемым золотым прямоугольникам.

Есть и **золотой треугольник** (рис.19). Это равнобедренный треугольник, у которого отношение длины боковой стороны к длине основания равняется 1,618.

Золотой кубоид - это прямоугольный параллелепипед с ребрами, имеющими длины 1.618, 1 и 0.618.

В **звездчатом пятиугольнике** каждая из пяти линий, составляющих эту фигуру, делит другую в отношении **золотого сечения**, а концы звезды являются **золотыми треугольниками** (рис.20).

В дошедшей до нас античной литературе золотое деление впервые упоминается в "Началах" Евклида. Во 2-й книге "Начал" дается геометрическое построение золотого деления. После Евклида исследованием золотого деления занимались Гипсикл (II в. до н.э.), Папп (III в. н.э.) и др. В средневековой Европе с золотым делением познакомились по арабским переводам "Начал" Евклида. Переводчик Дж.Кампано из Наварры (III в.) сделал к переводу комментарии. Секреты золотого деления ревностно оберегались, хранились в строгой тайне. Они были известны только посвященным.

В эпоху Возрождения усиливается интерес к золотому делению среди ученых и художников в связи с его применением как в геометрии, так и в искусстве, особенно в архитектуре. Леонардо да Винчи, художник и ученый, видел, что у итальянских художников эмпирический опыт большой, а знаний не достает. Он задумал и начал писать книгу по геомет-

рии, но в это время (в 1494 г.) появилась книга крупнейшего математика и популярного педагога, являвшегося близким другом или знакомым многих архитекторов, художников, ваятелей, а также техников и инженеров, монаха Луки Пачоли («Сумма арифметики, геометрии, учения о пропорциях и отношениях»), и Леонардо оставил свою затею. По мнению современников и историков науки, Лука Пачоли был настоящим светилом, величайшим математиком Италии в период между Фибоначчи и Галилеем. Лука Пачоли был учеником и вдохновленным продолжателем знаменитого художника и математика Пьеро делла Франческа, написавшего две книги, одна из которых называлась "О перспективе в живописи". Его считают творцом начертательной геометрии.

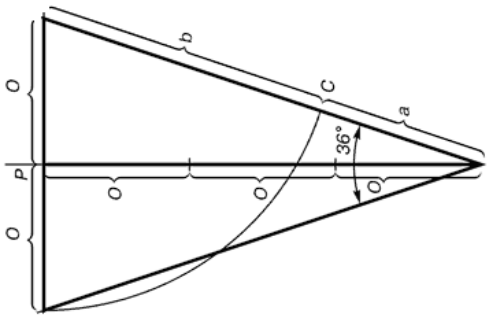


Рис. 19. Золотой треугольник

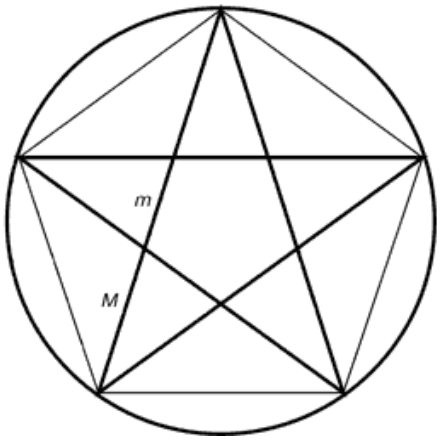


Рис. 20. Построение правильного пятиугольника и пентаграммы

Лука Пачоли прекрасно понимал значение науки для искусства. В 1496 г по приглашению герцога Милана Людовико Моро он приезжает в Милан, где возглавляет в университете кафедру математики и читает лекции по математике, тогда же и начинает писать свою новую работу. В Милане Лука Пачоли подружился с Леонардо да Винчи, который в то время работал при дворе Моро и который создал иллюстрации к его будущему сочинению. В 1509 г. в Венеции был издан трактат Луки Пачоли "О Божественной пропорции". Трактат был посвящен правителю Милана и явился восторженным гимном золотой пропорции. Среди многих достоинств золотой пропорции монах Лука Пачоли не преминул назвать и ее "божественную суть" как выражение божественного триединства бог сын, бог отец и бог дух святой (под чем подразумевалось, что малый отрезок есть олицетворение бога сына, больший отрезок – бога отца, а весь отрезок – бога духа святого).

Леонардо да Винчи также много внимания уделял изучению принципа золотого деления. Он производил сечения стереометрического тела, образованного правильными пятиугольниками, и каждый раз получал прямоугольники с отношениями сторон, соответствующим золотому делению. Поэтому он дал этому делению название *золотое сечение*. Таким оно и остаётся до сих пор как самое популярное название принципа. Эта схема архитектоники тела человека отражает его совершенство и является символом (брэндом) многих поколений изданий по искусству и эстетике искусства.

В то же время на севере Европы, в Германии, над теми же проблемами трудился Альбрехт Дюрер. Он делает наброски введения к первому варианту трактата о пропорциях. Дюрер пишет. "*Необходимо, чтобы тот, кто что-либо умеет, обучил этому других, которые в этом нуждаются. Это я и вознамерился сделать*".

Судя по одному из писем Дюрера, он встречался с Лукой Пачоли во время пребывания в Италии. А.Дюрер подробно разрабатывает **теорию пропорций человеческого тела. Важное место в своей системе соотношений Дюрер отводил золотому сечению**. **Рост человека делится в золотых пропорциях линией пояса, а также линией, проведенной через кончики средних пальцев опущенных рук, нижняя часть лица - ртом** и т.д. (рис.21). Известен пропорциональный циркуль Дюрера.

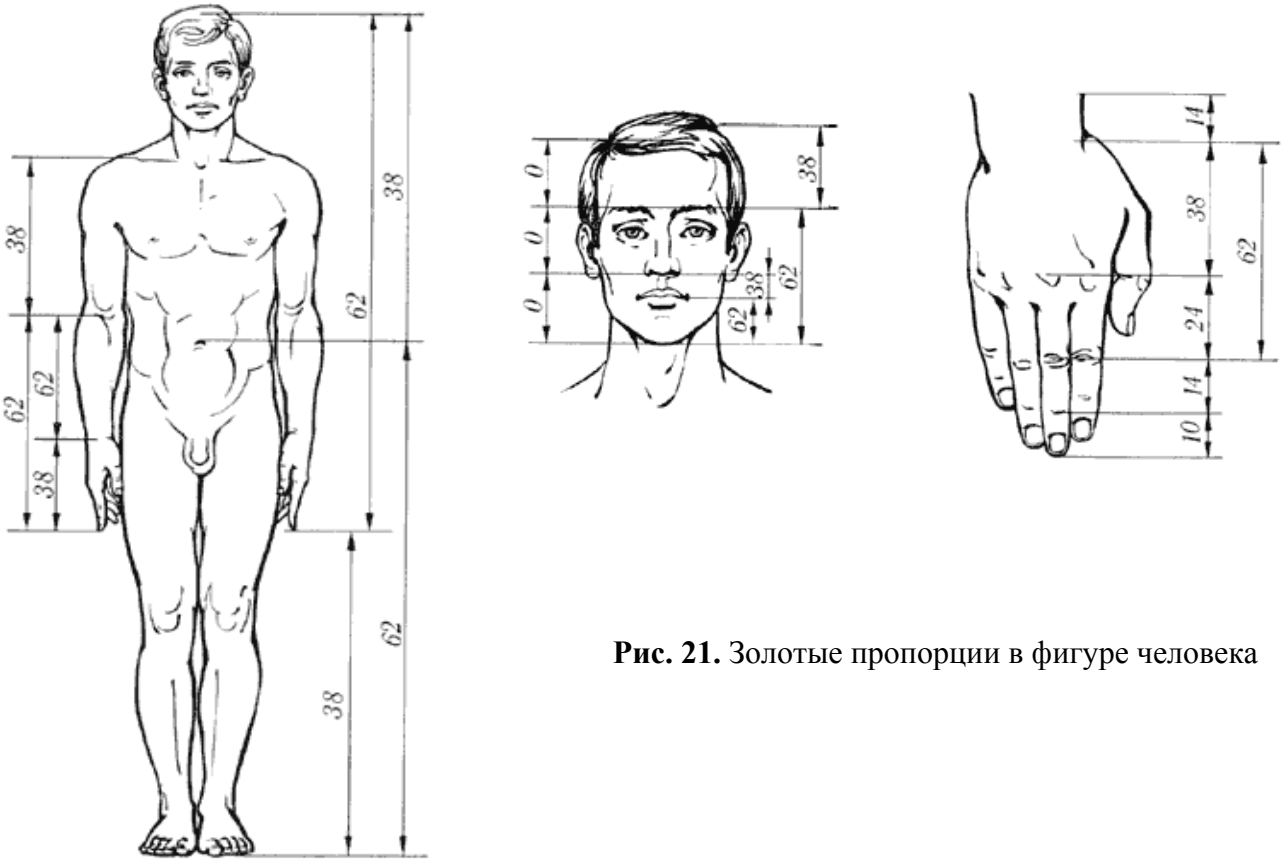


Рис. 21. Золотые пропорции в фигуре человека

Великий астроном XVI в. Иоган Кеплер назвал золотое сечение одним из сокровищ не только геометрии. Он первый обращает внимание на **значение золотой пропорции для ботаники (рост растений и их строение).**

В последующие века правило золотой пропорции превратилось в академический канон и, когда со временем в искусстве началась борьба с академической рутиной, в пылу борьбы "вместе с водой выплеснули и ребенка". Вновь "открыто" золотое сечение было в середине XIX в. В 1855 г. немецкий исследователь золотого сечения профессор Цейзинг опубликовал свой труд "Эстетические исследования". Он **абсолютизировал пропорцию золотого сечения, объявив ее универсальной для всех явлений природы и искусства**.

Цейзинг проделал колоссальную работу. Он измерил около двух тысяч человеческих тел и пришел к выводу, что золотое сечение выражает средний статистический закон. Деление тела точкой пупа - важнейший показатель золотого сечения. Пропорции мужского тела колеблются в пределах среднего отношения 13:8 = 1,625 и несколько ближе подходят к золотому сечению, чем пропорции женского тела, в отношении которого среднее значение пропорции выражается в соотношении 8:5 = 1,6. У новорожденного пропорция составляет отношение 1:1, к 13 годам она равна 1,6, а к 21 году равняется пропорциям взрослого мужчины. Пропорции золотого сечения проявляются и в отношении других частей тела - длина плеча, предплечья и кисти, кисти и пальцев и т.д.

Справедливость своей теории Цейзинг проверял на греческих статуях. Наиболее подробно он разработал пропорции скульптуры Аполлона Бельведерского. Далее подверглись исследованию греческие вазы, архитектурные сооружения различных эпох, растения, животные, птичьи яйца, музыкальные тона, стихотворные размеры. Цейзинг дал определение золотому сечению, показал, как оно выражается в отрезках прямой и в цифрах. Когда цифры, выражающие длины отрезков, были получены, Цейзинг увидел, что они составляют **ряд Фибоначчи**, который можно продолжать до бесконечности в одну и в другую сторону. Следующая его книга имела название "Золотое деление как основной морфологический закон в природе и искусстве". В 1876 г. в России была издана небольшая книжка, по объему скорее брошюра, с изложением этого труда Цейзинга.

В конце XIX – начале XX вв. появилось немало чисто формалистических теории о применении золотого сечения в произведениях искусства и архитектуры.

В исследованиях многих авторов, посвященных эстетике творчества Леонардо да Винчи [Wollf, 1901], подчеркивается, что у Леонардо была своя теория искусства. И в этой теории значительное место и роль он отводил пропорциям. Как видно и в его разрозненных заметках, и в трактате «О живописи» сила эстетической теории Леонардо, по мнению И.Вольфа, состоит «не в метафизической сложности», а в пылком стремлении «достичь сферы общезначимых истин» и в «здоровом в своей основе материализме» [Wollf, 1901]. Его материализм, учение о гармонии, - пишет А.Ф.Лосев (с.420-422) включает и самую яркую чувственность, и ее математические формы, и ее личностную углубленность, и ее божественность. Как именно представляет Леонардо подражание прекрасной природе в искусстве? Прежде всего, для этого необходимо *понимать* красоту природы «посредством разума». А критерием красоты является не количество и качество, а «гармоническая пропорциональность» в природе и совершенная пространственная организация картинной плоскости – в искусстве. Его математизм, его учение о гармонии, подобно пифагорейцам, состоит в признании им *гармонии* и *числа* как сущности мира – подчеркивает А.Ф.Лосев в анализе эстетики творчества и теории искусств Леонардо. А отсюда следует и его требование от учеников упорной тренировки правильного видения характерных деталей, «чтобы глаз привык», требование максимальной подчиненности числовой структуре и жестким законам пространственной конструкции природы (при внешней видимости свободы и естественности изображенного в его произведениях). Следование этому главному правилу позволяло достигнуть виртуозного совершенства и божественной возвышенности в его работах. Даже личность он трактует как функцию пространства. Более того, опираясь на исследование Вольфа, Лосев подчеркивает, что в мировоззрении Леонардо, несмотря на глубокую религиозность, велико признание роли науки в искусстве вплоть до отождествления живописи с геометрией. Он понимает и называет живопись наукой и даже полемически заостряет в трактате свой этот тезис. Считает живопись матерью астрономии, поскольку живопись строго научна и в ней, как в геометрии, началом является точка, продолжением – линия, за нею – плоскость, на которой изображаются тела. Это соответствует философии эстетики эпохи Ренессанса, а именно: искусство математично.

Однако, все вышесказанное не содержит конкретных формализованных выражений функциональных зависимостей в изобразительном искусстве, кроме обобщающих заключений о гармоничности в искусстве подобно примату гармонии не только объемной природы, но и даже «чистого пространства».

Более детально математический анализ разновидностей (*агрегатного*, *системного)* пространства, присущих соответственно античному периоду и современной живописи проводился в отношении работ художников эпохи Раннего Возрождения. В античных философских школах родились понятие «мыслящий художник», учение о «зрительной пирамиде» и весь дальнейший математический структурализм искусства с возрожденческой детализацией и математизацией естествознания, упирающиеся корнями в идеи платонизма Показательны рассуждения того времени в духе базисной теории платонизма (все материально, но понимание зависит от идеи), которые образно подытожил А.Ф. Лосев: «…вода и камень отличаются друг от друга не материей (свойством материальности), но разной структурой материи, разным смыслом материи, разными идеями той или другой материальной вещи». А идеи – вещь

преходящая, динамически развиваемая (как и парадигмы мышления). Этот пример демонстрирует, по мнению Лосева, удобство теории платонизма для развития самых разнообразных мировоззрений (добавим: и парадигм). Синергетическая парадигма просматривается уже тогда, когда начал формироваться системный взгляд в изобразительном искусстве и изучение соотношений в координатах плоскости, в плоском пространстве. Лосев сообщает, что уже в первой половине XVII в. немецкий математик и филолог В. Шикхардт убеждал художников в том, что даже самая прямая линия «вовсе не идет прямо» (т.е. не строго линейна). О подобных «ошибках зрения» говорилось в трудах Аристотеля, Диогена Лаэрция, Витрувия. Уже в период античности разрабатывалась математическая конструктивная *теория перспективы*, в то время как само понятие и научная концепция перспективы отстаивались в горячей борьбе художниками разных школ и поколений. Разбирая эстетическую и техническую сущность перспективы в изображениях художников Ренессанса Э. Пановский, крупнейший искусствовед и эстетик мирового уровня, как его называет А.Ф.Лосев, полагает, что психофизиологическое пространство никоим образом не бесконечно, не постоянно и не гомогенно. Так, впечатление перспективы создается благодаря определенным геометрическим приемам (пропорциям). У Амброджио Лоренцетти в его картине «Благовещение» отмечена математическая точность линий пересечения фигур на пространстве, создающая образы разной удаленности изображенных на картине тел, как бы «глубинное» пространство. Античные живописцы, сообщает Лосев, строили свои изображения вокруг *центра проекции* в самой картине.

Общим законам пропорциональности, присутствующим и работающим в природе, придавалось первостепенное значение во все века. В антологии эстетики Ренессанса, составленной В.П.Шестаковым, сообщается, что Винченцо Данти – выдающийся скульптор, архитектор и инженер,в результате изучения и размышлений над произведениями Микеланджело Буонарроти и художников из его окружения, создал 15 книг «Трактата о пропорциях», первая и единственная из них вышла в свет в 1567 г. [Шестаков, 1980] Все теоретические положения он иллюстрировал примерами из произведений Микеланджело. Он трактует понятие *пропорция* очень широко и для своих выводов об общих положениях и правилах гармонии и соответствия в строении одушевленных и неодушевленных предметов, особенно в строении человеческого тела, много анатомировал. Вот основные положения его учения [цитир. по В.П.Шестакову, 1980, Стр. 443-455]:

«Порядок (в небесных, т.е. божественных), естественных, искусственных строениях есть истинное свойство всех совершенных пропорций …и их первопричина».

«Человек с головы до ног находится в движении и не имеет устойчивых пропорций. В детстве и отрочестве человек растет постепенно и пропорционально вплоть до юности, а в старости уменьшается быстрей, чем нам хотелось бы. Детство имеет свои пропорции, не свойственные отрочеству, а отрочество – свои, не подходящие для юности. – и так от одной ступени к другой. Из-за такой переменчивости нельзя определить точные и устойчивые количественные мерки…. Ибо ни одна часть человеческого тела не имеет отчетливой точки, либо линии (ежели, к примеру, необходимо измерить руку или кисть, а в кисли пальцы».

«Есть закономерность, познание которой позволит применить ее ко всем возрастам и ко всем позициям, расположениям и жестам при совершенном изображении человеческой фигуры. Она происходит из качества….*Все неживые тела обладают подлинной красотой, **когда совершенно соответствуют своему назначению**, но нашему взору не всякая красота представляется пропорциональной (курсив – наш)»*

И наконец, «для достижения совершенства в искусстве необходимо наличие совершенной идеи, рук мастера и материала – каждого в отдельности и всех трех вкупе».

С развитием дизайна и технической эстетики действие закона золотого сечения распространилось на конструирование машин, мебели и т.д.

Пропорции Фибоначчи в природе, в звукопередаче, в музыкотворчестве, в биоритмах. Вызывает удивление то, сколько постоянных можно вычислить с помощью последовательности Фибоначчи, и как ее члены проявляются в огромном количестве сочетаний. Однако не будет преувеличением сказать, что это не просто игра с числами, а самое важное математическое выра-

жение природных явлений из всех когда-либо открытых. Приводимые ниже примеры показывают некоторые интересные приложения этой математической последовательности.

Раковина закручена по спирали. Если ее развернуть, то получается длина, немного уступающая длине змеи. Небольшая десятисантиметровая раковина имеет спираль длиной 35см. Спирали очень распространены в природе. Форма спирально завитой раковины привлекла внимание Архимеда (рис.22). Он изучал ее и вывел уравнение спирали. Спираль, вычерченная по этому уравнению, называется его именем. Увеличение ее шага всегда равномерно. В настоящее время спираль Архимеда широко применяется в технике.

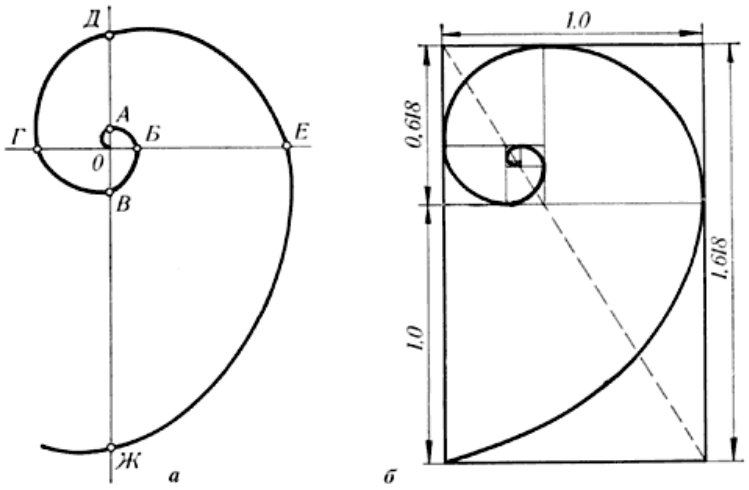


Рис. 22. Спираль Архимеда

ОБ:ОА=ОВ:ОБ=ОГ:ОВ=...=1.618; (ОБ+ОГ):(ОВ+ОА)=...=1.618	

Растения и животные. Еще Гете подчеркивал тенденцию природы к спиральности. Винтообразное и спиралевидное расположение листьев на ветках деревьев подметили давно. Спираль увидели в расположении семян подсолнечника, в шишках сосны, ананасах, кактусах и т.д. Совместная работа ботаников и математиков пролила свет на эти удивительные явления природы. Выяснилось, что в расположении листьев на ветке семян подсолнечника, шишек сосны проявляет себя **ряд Фибоначчи**, а стало быть, проявляет себя закон золотого сечения. Паук плетет паутину спиралеобразно. Спиралью закручивается ураган. Испуганное стадо северных оленей разбегается по спирали. Молекула ДНК закручена двойной спиралью. Гете называл спираль **"кривой жизни".**

Среди придорожных трав растет ничем не примечательное растение - цикорий. Приглядимся к нему внимательно (рис.23). От основного стебля образовался отросток. Тут же расположился первый листок. Отросток делает сильный выброс в пространство, останавливается, выпускает листок, но уже короче первого, снова делает выброс в пространство, но уже меньшей силы, выпускает листок еще меньшего размера и снова выброс. Если расстояние до первого выброса (*а*) принять за 100 единиц, то от первого до второго (*в*) оно равно 62 единицам, третий (с) – 38,от третьего до четвертого – 24 и т.д. Длина лепестков тоже подчинена золотой пропорции. В росте, завоевании пространства растение

сохраняло определенные пропорции. Импульсы его роста постепенно уменьшались в пропорции золотого сечения: 1,6129 – 1,631 – 1,593

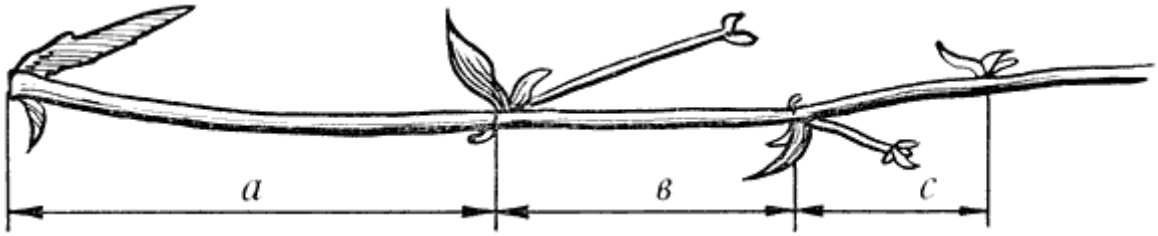


Рис. 23. Цикорий

В ящерице с первого взгляда улавливаются приятные для нашего глаза пропорции - длина ее хвоста так относится к длине остального тела, как 62 к 38 (рис.24).

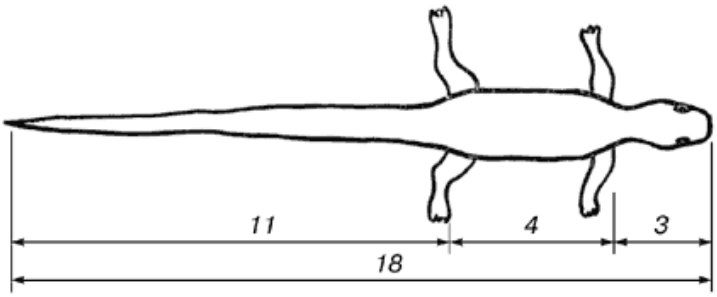


Рис. 24. Ящерица живородящая

И в растительном, и в животном мире (рис. 25) настойчиво пробивается формообразующая тенденция природы - симметрия относительно направления роста и движения. Здесь золотое сечение проявляется в пропорциях частей перпендикулярно к направлению роста.

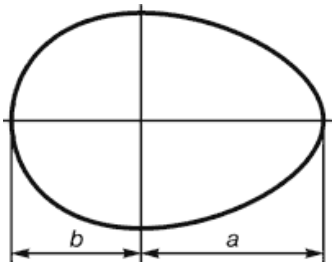


Рис. 25. Яйцо птицы

Природа осуществила деление на симметричные части и золотые пропорции. В частях проявляется повторение строения целого.

Великий **Гете,** поэт, естествоиспытатель и художник (он рисовал и писал акварелью), мечтал о создании единого учения о форме, образовании и преобразовании органических тел. Это он **ввел в научный обиход термин морфология**.

Пьер Кюри в начале нашего столетия сформулировал ряд глубоких идей симметрии. Он утверждал, что нельзя рассматривать симметрию какого-либо тела, не учитывая симметрию окружающей среды.

Все сведения о физиологических особенностях живых существ «хранятся» в огромной (например, длина ДНК человека около 2м), но свёрнутой до микроскопических размеров молекуле ДНК, строение которой также содержит в себе закон золотой пропорции. Молекула ДНК состоит из двух вертикально

переплетенных между собой спиралей. Длина каждой из этих спиралей составляет **34** ангстрема, ширина 21 ангстрема. 21 и 34 - это цифры, следующие друг за другом в последовательности чисел Фибоначчи, то есть соотношение длины и ширины логарифмической спирали молекулы ДНК несет в себе формулу золотого сечения **1:1,618.**

Установлено, что переход из твердого состояния в жидкое происходит тогда, когда нарушаются пропорции «золотого сечения» в соотношении определенных частиц

Известно, что максимальная громкость звука, которая вызывает болевые ощущения, равна 130 децибелам. Если разделить этот интервал в золотой пропорции, т.е. на величину 1,618, то получим 80 децибел, которые характерны для громкости человеческого крика. Если теперь 80 децибел разделить в золотой пропорции, то получим 50 децибел, что соответствует громкости человеческой речи. Наконец, если разделить 50 децибел на золотую пропорцию, взятую в квадрате (2,618), то получим 20 децибел, что соответствует шепоту человека. Таким образом, все характерные параметры громкости звука голоса человека взаимосвязаны через операции умножение/деление на золотую пропорцию.

В физике, химии и биологии закономерности золотой симметрии проявляются в энергетических переходах элементарных частиц, присутствуют в строении некоторых химических соединений, в планетарных и космических системах, в генных структурах живых организмов. Эти закономерности, как указано выше, есть в строении отдельных органов человека и тела в целом, а также проявляются в биоритмах и функционировании головного мозга и зрительного восприятия.

Как для студентов, так и для будущих специалистов - биологов и химиков и педагогов, большой интерес может представлять **пример соблюдения «золотой пропорции»** не только в морфологической структуре тела человека, но и **в самоорганизующемся процессе его онтогенетического физического и духовного развития, а также в переходных этапах развития со сменой моделей поведения.**

В психологии отмечены переломные моменты, кризисы, перевороты, знаменующие на жизненном пути человека преобразования структуры и функций души – своего рода *точки бифуркации*. Если человек успешно их преодолел, то становится способным решать задачи нового класса, о которых раньше даже не задумывался. Наличие этапов коренных изменений дает основание рассматривать время жизни в качестве решающего фактора развития духовных качеств. Ведь природа отмеряет нам время не щедро, не «сколько будет, столько и будет», а ровно столько, чтобы процесс развития материализовался: в структурах тела, в чувствах, мышлении и психомоторике (пока они не приобретут гармонию, необходимую для возникновения и запуска механизма творчества); в структуре энергопотенциала и творческого потенциала человека.

Рост и развитие тела нельзя остановить: ребенок становится взрослым человеком. С механизмом же творческого развития и становления личности не так все просто. Эти процессы можно ускорить или затормозить, остановить и даже изменить их направление. Как понимается смысл жизненного пути в обыденном сознании? Обыватель видит его так: у подножия - рождение, на верши-

не - расцвет сил, затем всё идет под горку. Мудрец же скажет: все намного сложнее. Восхождение он разделяет на периоды: детство, отрочество, юность... и каждый из периодов – это замкнутые, целостные этапы жизни.

Чтобы выяснить, как осуществляется механизм творческого развития, воспользуемся свойствами ряда чисел Фибоначчи и «золотой пропорцией». Не только строение человеческого тела, но и стадии его развития происходят соответственно данной пропорции, разделяя нашу жизнь на этапы с теми или иными доминантами механизма творчества.

Числа Фибоначчи делят нашу жизнь на этапы по количеству прожитых лет:

- 0 - начало отсчета - ребенок родился. У него еще отсутствуют мышление и оперативный энергопотенциал. Он находится в начале новой жизни, новой гармонии;

- к 1 году ребенок овладел ходьбой и осваивает ближайшее окружение;

- в 2 года понимает речь и действует, пользуясь словесными указаниями;

- в 3 года действует посредством слова, задает вопросы;

- 5 лет - «возраст грации» - гармония психомоторики, памяти, воображения и чувств, которые уже позволяют ребенку охватить мир во всей его целостности;

- в 8 лет на передний план выходят чувства. Им служит воображение, а мышление силами своей критичности направлено на поддержку внутренней и внешней гармонии жизни;

в 13 лет начинает работать механизм, направленный на превращение приобретенного в процессе наследования материала, развивая свой собственный талант;

- к 21 году механизм творчества достигает состояния гармонии и делаются попытки выполнять талантливую работу;

к 34 годам – формируется гармония мышления, чувств, воображения и психомоторики: рождается способность к гениальной работе;

- 55 лет - в этом возрасте, при условии сохраненной гармонии души и тела, человек готов стать творцом. И так далее...

Какую же роль играют числа Фибоначчи в нелинейном процессе развития человека? Образно выражаясь, они играют роль своеобразных засечек и могут быть сравнимы с плотинами на жизненном пути. Эти плотины ожидают каждого из нас. Прежде всего, необходимо преодолеть каждую их них, а потом терпеливо поднимать свой уровень развития, пока в один прекрасный день эта плотина не развалится, открывая свободному течению путь к следующей.

Теперь, когда обозначен смысл этих узловых точек возрастного развития, попробуем расшифровать, как все это происходит.

В 1 год ребенок овладевает ходьбой. До этого он познавал мир созерцая, лобной частью мозга. Теперь же он познает мир руками - исключительная привилегия человека - овладевает пространством и осваивает территорию, на которой живет.

2 года – понимает слово и действует в соответствии с его значением. Это значит, что:

- ребенок усваивает минимальное количество слов - смыслов и образов действий;

- пока что не отделяет себя от окружающей среды и составляет с ней единое целостное, поэтому действует по чужому указанию. В этом возрасте он самый послушный и приятный для родителей. Из человека чувственного ребенок превращается в человека познающего.

- *3 года* – действует и общается при помощи собственного слова. Он учится быть самостоятельно действующей личностью. Отсюда он:

- сознательно противостоит среде и родителям, воспитателям в детском саду и т.д.;

- осознает свой суверенитет и борется за самостоятельность;

- старается подчинить своей воле близких и хорошо знакомых людей. Теперь для ребенка слово – это действие. С этого начинается действующий человек.

5 лет - «возраст грации». Ребенок – олицетворение гармонии. Игры, танцы, ловкие движения – все насыщено гармонией, которой человек старается овладеть собственными силами. Гармоничная психомоторика содействует приведению к новому состоянию. Ребенок направлен на психомоторную активность, стремится к максимально активным действиям.

Материализация продуктов работы чувствительности осуществляется посредством:

- способности к отображению окружающей среды и себя как части этого мира (мы слышим, видим, прикасаемся, нюхаем и т.д. – все органы чувств работают на этот процесс);

- способности к проектированию внешнего мира, в том числе и себя самого в нем (создание второй природы, гипотез, планов – сделать завтра то и другое, построить новую машину, решить проблему), силами критичности мышления, чувств и воображения;

- способности к созиданию второй, рукотворной природы, продуктов деятельности (реализация задуманного, конкретные умственные или психомоторные действия с конкретными предметами и процессами).

По достижении 5-летнего возраста механизм функционирования воображения выходит вперед и начинает доминировать над остальными. Ребенок выполняет гигантскую работу, создавая фантастические образы, и живет в мире сказок и мифов. Гипертрофированность воображения ребенка вызывает у взрослых удивление, потому что воображение никак не соответствует действительности.

8 лет – на передний план выходят чувства и возникают собственные мерки чувств (познавательных, нравственных, эстетических), когда ребенок безошибочно:

- оценивает известное и неизвестное;

- учится отличать моральное от аморального, нравственное от безнравственного, а прекрасное – от того, что угрожает жизни, гармонию от хаоса.

13 лет – начинает работать механизм творческого развития . Но это не значит, что он работает на полную мощность. На первый план выходит один из элементов механизма, а все остальные содействуют его работе. Если и в этом возрастном периоде развития сохраняется гармония, которая почти все время перестраивает свою структуру, то отрок безболезненно доберется до следующей «плотины», незаметно для себя преодолеет её и будет жить в возрасте революционера. В возрасте революционера отрок должен будет сделать новый шаг вперед: отделиться от ближайшего социума и жить в нем гармоничной жизнью и деятельностью. Не каждый может решить эту задачу, возникающую перед каждым из нас.

21 год. Если революционер успешно преодолел первую гармоничную вершину жизни, то его механизм таланта способен выполнять талантливую работу. Чувства (познавательные, моральные или эстетические) иногда затмевают мышление, но, в общем, все элементы работают слаженно: чувства открыты миру, а логическое мышление способно с этой вершины называть и находить меры вещей. Механизм творчества, развиваясь нормально, достигает состояния, позволяющего получать определенные плоды. В этом возрасте вперед выходит механизм функционирования чувственной сферы. По мере того, как воображение и его продукты оцениваются чувствами и мышлением, между ними возникает антагонизм. Побеждают чувства. Эта способность постепенно набирает мощность, и отрок начинает ею пользоваться.

34 года – уравновешенность и гармоничность, продуктивная действенность таланта. Гармония мышления, чувств и воображения, психомоторики, которая пополняется оптимальным энергопотенциалом – рождается возможность исполнять гениальную работу.

55 лет человек может стать творцом. Третья гармоничная вершина жизни: мышление подчиняет себе силу чувств.

Числа Фибоначчи – это временные вехи на потенциальном пути развития человека. Пройдет ли человек этот путь в соответствии с ними, без остановок, зависит от родителей и учителей, образовательной системы, а дальше – от него самого и от того, как человек будет познавать и преодолевать самого себя.

На этом жизненном самоорганизующемся пути человек открывает 7 предметов отношений:

1. От дня рождения до 2-х лет - открытие физического и предметного мира ближайшего окружения.

2. От 2-х до 3-х лет - открытие себя: «Я - Сам».

3. От 3-х до 5-ти лет – развитие речи, действенный мир слов, гармонии и системы «Я - Ты».

4. От 5-ти до 8-ми лет – открытие мира чужих мыслей, чувств и образов - системы «Я - Мы».

5. От 8 до 13 лет – открытие мира задач и проблем, решенных гениями и талантами человечества - системы «Я - Духовность».

6. От 13 до 21 года – открытие способностей самостоятельно решать всем известные задачи, когда мысли, чувства и воображение начинают активно работать, возникает система «Я — Ноосфера».

7. От 21 до 34 лет – открытие способности создавать новый мир или его фрагменты - осознание самоконцепции «Я - Творец».

Жизненный путь имеет пространственно-временную структуру. Он состоит из возрастных и индивидуальных фаз, определяемых по многим параметрам жизни. Человек овладевает в определенной мере обстоятельствами своей жизни, становится творцом своей истории и творцом истории общества. Подлинно творческое отношение к жизни, однако, появляется далеко не сразу и не у всякого человека. Между фазами жизненного пути существуют генетические связи и это обусловливает закономерный его характер. Отсюда следует, что в принципе можно предсказывать лучше - прогнозировать будущее развитие на основе знания об особенностях ранних его фаз.

2.6. Философские и культурологические аспекты синергетики, общий смысл комплекса синергетических идей

Новизна синергетического подхода

1. **Хаос выступает** и как разрушитель, и как **созидатель**. Через него может осуществляться конструктивное развитие. Понятие «хаос» оказалось гораздо более глубоким, чем представлялось ранее.

2. Развитие происходит через случайный выбор в точке бифуркации одного из возможных путей дальнейшей эволюции. Причем определяющим в этот момент (период) могут стать воздействия сверхслабой интенсивности. Следовательно, ***случайности (флуктуации) встроены в механизм эволюции, и невозможно установить жесткий контроль над процессами, которые испытывают бифуркационные изменения***. Варианты развития системы можно предвидеть (*с точностью до аттрактора, но не до траектории*), но какой именно будет выбран, предсказать невозможно.

Самоорганизация в термодинамически открытых системах предполагает выполнение следующих условий:

1. Система должна быть открытой и находиться достаточно далеко от термодинамического равновесия.

2. Необходимо чтобы порядок возникал, благодаря **флуктуациям,** которые сначала осуществляют, а затем усиливают его (принцип образования порядка через флуктуации),

3. Изменения, появляющиеся в системе, не устраняются, а напротив, накапливаются и усиливаются, что и приводит к появлению нового порядка и структуры (*наличие положительной обратной связи*).

4. Достижение системой некоторого критического состояния способно обеспечить достаточно густую сеть (структуру) взаимодействий элементов системы и возникновение кооперативного поведения этих элементов.

3. Физическая термодинамическая синергетическая модель мира

3.1. Наиболее общие свойства пространства, связанные с движением в нем материальных систем:

Эволюционно химическая и биологическая формы движения материи формировались на основе физической формы её движения во Вселенной, возникшей в результате «Большого взрыва» и развивающейся в континууме пространства-времени. Поэтому, считаем уместным в данном учебном пособии начать изложение синергетического подхода применительно к химической и биологической формам организации материи с физической термодинамической и геометрической синергетических моделей мира.

В соответствии с общей теорией относительности А.Энштейна при движении массы происходит искривление пространства-времени *(«В поле тяготения (малой пространственной протяженности) все происходит так, как в пространстве без тяготения, если в нем вместо "инерциальной" системы отсчета ввести систему, ускоренную относительно нее. Данный принцип позволяет трактовать тяготение как* ***искривление*** *пространства-времени»).* Т.е. реальное физическое пространство представляется не линейным, а искривлённым за счет движения масс. По-видимому, эта искривленность пространства является физической основой, природой аттрактности пространства при движении материальных объектов.

Иными словами, причиной «луночности» физического (а не только фазового математического) пространства, появления в нём физических (а не только математических) «странных аттракторов» является, по-видимому, то, что в соответствии с общей теорией относительности, при движении массы происходит искривление пространства-времени.

Тела в гравитационном поле движутся по геодезическим линиям, если на них не действуют другие (негравитационные) силы. Уравнение геодезической линии в искривленном пространстве-времени записывается в виде (7):

$$\frac{d^2x^\mu}{ds^2} + \Gamma^\mu_{\nu\rho}\frac{dx^\nu}{ds}\frac{dx^\rho}{ds} = 0 \qquad (7)$$

где ds - координата, измеряемая вдоль геодезической линии,

- величины $\Gamma^\mu_{\nu\rho}$ называются символами Кристофеля (μ, ν, ρ) меняются от 0 до 3);

x^μ, x^υ, x^ρ - компоненты четырехмерного вектора пространства-времени (x^0, x^1, x^2, x^3), где (x^1, x^2, x^3) = r, - обычный трехмерный пространственный вектор, а x^0=ct (c- скорость света, t- время).

Искривление пространства-времени характеризуется символами Кристофеля. При равенстве всех символов Кристофеля нулю (соответствует отсутствию гравитационного поля) уравнение геодезической линии переходит в уравнение прямой $\vec{a} = 0$, где $\vec{a} = d^2x/ds^2$ - ускорение тела, то есть мы получаем первый закон Ньютона. В приближении Ньютона геодезическими линиями являются прямые.

Одним из интересных крайних следствий общей теории относительности, зависимости кривизны пространства от массы материи в нём, является существование *черных дыр*. Решение уравнений Эйнштейна (7), в пустоте, в случае

изолированного сферически-симметричного источника поля массы M называется решением Шварцшильда. В этом случае ускорение свободного падения «g» имеет вид (8):

$$g = \frac{GM}{r^2\sqrt{1-\frac{2GM}{c^2 r}}} \qquad (8)$$

где G- гравитационная постоянная, c- скорость света, r- расстояние до источника.

Это выражение отличается от Ньютоновского выражения для ускорения корнем в знаменателе. Величина G стремится к бесконечности, когда r стремится к r_g (9):

$$r_g = \frac{2MG}{c^2} \qquad (9)$$

Величина r_g называется гравитационным радиусом (гравитационный радиус Солнца $r_{g\Theta} \approx 3$ км, гравитационный радиус Земли $r_{g\Theta} \approx 0{,}9$ см). Сфера радиуса r_g называется сферой Шварцшильда. Вторая космическая скорость в теории Ньютона дается выражением (10):

$$V_2 = \sqrt{\frac{2MG}{r}} \qquad (10)$$

Следовательно, при $r = r_g$ величина v_2 становится равной скорости света. Если сферическое тело массой m сожмется до размеров, меньших r_g , то свет не сможет выйти из-под сферы Шварцшильда. Такие объекты получили названия черных дыр (термин "черная дыра" был введен Дж. Уилером [Wheeler, 1968]). Теоретическая астрофизика предсказывает возникновение черных дыр в конце эволюции массивных звезд; возможно существование черных дыр и другого происхождения (реликтовые черные дыры - остатки после "большого взрыва"). На данный момент астрономы наблюдают объекты, которые представляют из себя двойные звездные системы, в состав которых (как предполагается) входят черные дыры.

3.2. Термодинамические аспекты самоорганизации систем в физическом пространстве

Рассмотренный аспект общей теории относительности указывает на то, что одно из основных условий самоорганизации – *нелинейность* – по самой своей природе присуще системе движущихся вещественных тел. Далее, попытаемся рассмотреть, почему двумя другими ключевыми условиями самоорганизации являются термодинамическая открытость и сильная неравновесность таких систем.

Одним из универсальных инструментов для описания функционирующих систем (в частности, химических систем, биологических объектов) является применение вероятностного подхода с использованием обобщенного понятия энтропии. Это понятие широко используется в термодинамике для определения меры рассеяния энергии неравновесной термодинамической системой и в статистической физике в качестве меры вероятности пребывания системы в данном состоянии. В 1949 году понятие энтропии было введено Шенноном в теорию информации как мера неопределенности исхода эксперимента. Оказалось,

что понятие энтропии является одним из фундаментальных свойств любых систем с вероятностным поведением, обеспечивая новые уровни понимания в теории кодирования информации, лингвистике, обработке изображений, статистике, биологии.

Энтропия непосредственно связана с понятием информации, которое математически характеризует взаимосвязь различных событий и приобретает все большее значение при исследовании функционирования биологических объектов. Признана необходимость при описании функционирования биологической системы, являющейся открытой диссипативной структурой, учитывать процессы обмена с окружающей средой как материей и энергией, так и информацией. Влияние внешней информации на биосистему может быть оценено через изменение энтропии состояния.

В соответствии с концепциями Нобелевского лауреата И. Пригожина в процессе роста и развития организма происходит уменьшение скорости продуцирования энтропии, отнесенной к единице массы объекта. При достижении *квази*стационарного состояния суммарное изменение энтропии можно считать равным нулю, что соответствует взаимной компенсации всех процессов, связанных с поступлением, удалением и превращением вещества, энергии и информации. И.Пригожин сформулировал основное свойство *квази*стационарного состояния открытых систем: при фиксированных внешних параметрах скорость продукции энтропии, обусловленная протеканием необратимых процессов, постоянна во времени и минимальная по величине $dS/dt \rightarrow min$. Таким образом, согласно теореме Пригожина, *квази*стационарное состояние характеризуется минимальным рассеянием энтропии, что для живых систем можно сформулировать следующим образом: *поддержание гомеостаза требует минимального потребления энергии, т.е. организм стремится работать в самом экономном энергетическом режиме.* Отклонение от *квази*стационарного состояния - заболевание - связано с дополнительными энергетическими затратами по компенсации врожденных или приобретенных биологических дефектов, связано с ростом энтропии. В динамической системе может быть несколько *квази*стационарных состояний, отличающихся уровнем продукции энтропии dS_k/dt. Состояние такой системы может быть описано в виде набора энергетических уровней (рис. 26), некоторые из которых устойчивы (уровни 1 и 4), другие нестабильны (уровни 2, 3, 5).

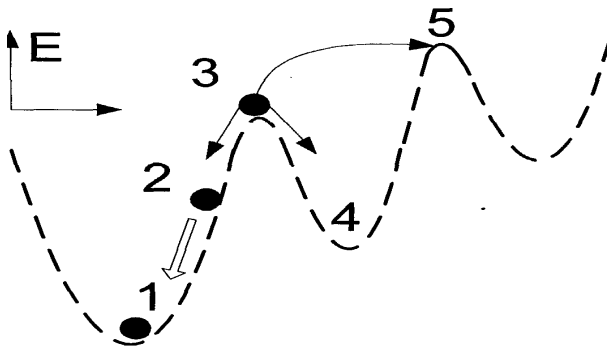


Рис. 26. Энергетические состояния динамической системы

В теоретические модели классической равновесной термодинамики время как параметр не входит. Однако уже в теорию *линейной термодинамики неравновесных процессов* (ЛТНП) входит параметр внутреннего производства энтропии $P = dS_i/dt$ (скорость внутреннего изменения энтропии). ЛТНП представляет собой приближение, которое справедливо только *вблизи* равновесного состояния. В ЛНТП вводятся понятия «*поток*» и «*сила*». Сила – это интенсивный фактор, например разность давлений; поток – экстенсивный фактор. ЛНТП, например, позволяет установить взаимосвязь между двумя сопряженными потоками для системы в состоянии близком к равновесию, так называемое соотношение взаимности Онзагера. Изменение энтропии dS складывается из энтропии dS_i (*i - internal*), возникающей внутри системы, и из энтро$_{п}$ии dS_e (*e – external*), передаваемой вместе с теплотой из окружающей среды $dS = dS_i – dS_e$

В *равновесной* системе критерием осуществимости процесса является возрастание энтропии в изолированной системе или другими словами внутреннее возрастание энтропии $dS_i>0$

В *неравновесной* системе, вблизи состояния равновесия, согласно ЛНТП, критерием осуществимости процесса является увеличение «производства энтропии» (P), $d_iP >0$ или $dS_i/dt>0$.

1. Когда система закрыта (нет обмена веществом и энергией с окружающей средой) и стремится к термодинамическому равновесию, то свободная энергия $\Delta G> \varepsilon_{критич.i}$ (рис. 27) и поэтому статистическая система, состоящая из n частиц, хаотически движущихся в изолированной ячейке пространства «не чувствует» его кривизны, связанной с движением их масс.

Даже, если в этой системе происходят взаимодействия между ними (например, химические), связанные с изменением (уменьшением) их внутренней энергии ΔH, то благодаря уменьшению ΔH выделяется тепло (Q), за счёт которого, во-первых, повышается температура (T^oK), во-вторых, увеличивается внутренняя энтропия системы $\Delta S_{внутр}$. Поэтому $\Delta G=\Delta H-T*\Delta S_{внутр}$, как известно, в самопроизвольных процессах <0.

То есть, даже в случаях перераспределения свободной энергии в термодинамически закрытых системах между энтальпией и энтропией протекание процессов в ней не приводит к уменьшению общей энергии системы, она не становится $\leq\varepsilon_{критиич.i}$. Рабочим критерием осуществимости (самопроизвольности протекания) процесса в такой системе является: $\mathbf{\Delta S_{внутр}>0}$. Система просто стремится к термодинамическому равновесию, связанному с переходом энтальпии через тепло в энтропию. В таких системах принципиально не могут происходить процессы самоорганизации, возникать диссипативные структуры (ДС).

2. При небольших отклонениях от термодинамического равновесия (в *линейных*, термодинамически неравновесных процессах) критерием осуществимости процесса (критерием устойчивости стационарного состояния в изолированной системе) становится «избыточное производство энтропии»: $\mathbf{(dS_{внутр}+dS_{внешн.})/dt >0}$, где $S_{внешн}$ – энтропия, передаваемая вместе с энергией (например, теплотой) из окружающей среды.

Рис. 27. Диаграмма процессов в закрытой системе в состоянии термодинамического равновесия

Уменьшение ΔH также приводит к выделению тепла (Q). Повышается температура. При этом растёт не просто $\Delta S_{внутр}+\Delta S_{внешн.}$, а скорость её производства - $(dS_{внутр}+dS_{внешн.})/dt>0$, так как система не находится в термодинамическом равновесии, а скорость изменения энтропии остается *линейной* функцией $\Delta S_{источников\ поступления\ энергии\ в\ систему}$ и $\Delta S_{стоков\ энергии\ из\ системы}$, которые изменяются линейно со временем и близки. Т.е., ΔG становится = $\Delta H-T*\Delta S_{внутр}$ и остаётся < 0.

При этом макросистема в термодинамическом отношении разделяется на ограниченное число микросистем, в каждой из которых «работают» закономерности линейной термодинамики неравновесных процессов (рис. 28) и поскольку свободная энергия статистической системы (ΔG), состоящей из *n* частиц, хаотически движущихся в относительно изолированных ячейках пространства продолжает быть больше $\varepsilon_{критич.i}$ (см. рис. 28), то она продолжает «не чувствовать» кривизну пространства, связанную с движением их масс. Поэтому, в таких системах также принципиально не могут происходить процессы самоорганизации, возникать диссипативные структуры (ДС).

3. При значительной удаленности от термодинамического равновесия и открытости системы, ΔG становится функцией соотношения интенсивности процессов «объемных источников» ($I_{источник}$) и «стоков» ($I_{сток}$) энергии**.** В зависимости от этого соотношения, $dI_{источник}/t$, $dI_{сток}/t$ возможен ряд вариантов (траекторий) развития системы **(**рис.12).

А) $\Delta G\ (\Delta S)_{стоков} > \Delta G\ (\Delta S)_{объемных\ источников}$. При этом ΔG системы становится $<\varepsilon_{кр}$. Т.е. система начинает «чувствовать» кривизну пространства, связанную с движением масс. Система входит в зону притяжения одного из пространственных аттракторов.

Если при этом $\Delta G_{стоков}>>\Delta G_{объемных\ источников}$, система переходит в состояние 1 **(**см. рис. 29**) –** стремится к термодинамическому равновесию;

Если $\Delta G\ (\Delta S)_{стоков} \approx \Delta G\ (\Delta S)_{объемных\ источников}$, система переходит в состояние 2 **(**см. рис. 29**)** – устойчивое стационарное состояние, в нелинейном пространстве, устойчивые нелинейные стационарные автоколебания за счёт образования отрицательных обратных связей – возможно образование ДС. Либо за счёт $(dS_{внутр}/dt)_{автокатализ} \approx I_{стоков}$

Б) $\Delta G\ (\Delta S)_{стоков} < \Delta G\ (\Delta S)_{объемных\ источников}$. Переход системы в перемешивающий слой через режим с обострением – формирование динамического хаоса – состояние 3 (см. рис. 29). Либо за счёт положительных обратных связей, из-за нелинейности пространства при автоколебаниях ($\Delta S_{внутр}>0>I_{объемных\ стоков}$), либо за счёт ($\Delta S_{стоков}<<\Delta S_{объемных\ источников}$).

Далее по мере увеличения $\Delta G\ (\Delta S)_{объемных\ источников}$ выход в новую точку бифуркации из перемешивающего слоя - 4 (см. рис. 29) и формирование новой ДС - 5 (см. рис. 29), стремящейся к новому аттрактору.

Рассмотренная модель показывает, что для объяснения явления самоорганизации материи (в том числе и *в химических, и в биологических системах)*, следует использовать *нелинейную термодинамику неравновесных процессов*.

Элементы системы за счёт снижения ΔH (выделения Q), повышения T и $\Delta S/\Delta t$, (даже при самопроизвольном протекании процессов ($\downarrow \Delta G = \Delta H - T(\Delta S_{внутр} - \Delta S_{сток})/\Delta t$) **из-за линейности и соизмеримости притока и СТОКА энергии** всегда обладают энергией $\varepsilon > \varepsilon_{критич}$, поэтому **«не чувствуют»** нелинейности пространства

Если линейный сток немного больше притока макросистема разделяется на ограниченное число подсистем, в каждой из которых $\varepsilon > \varepsilon_{критич}$

Рис. 28. Диаграмма линейно термодинамически неравновесных процессов (ЛТНП)

3.3. Образ открытой среды

Как было показано выше, системы, способные к самоорганизации – это *термодинамические открытые сильно неравновесные и нелинейные системы*. Открытость системы означает наличие потоков через систему, обмена с окружающей средой энергией и информацией. Причём, объёмные источники и стоки *энергии* со средой должны существовать в каждой точке пространства системы, а не только на её границах.

Проявлениями открытости системы по энергетическим потокам являются её обмен с окружающей средой веществом, энергией полей (излучений и, как будет показано позже – и информацией), так как простые преобразования известного уравнения 2-го закона Ньютона $F=m{\cdot}a$, $(F{\cdot}dx=m{\cdot}a{\cdot}dx$, $E=m{\cdot}V^2$, *(при условии* $\lim V=C \quad E=m{\cdot}C^2$*)* приводит к выражению связывающему энергию поля (*излучения*) с энергией вещества (*массы*) через квадрат скорости движения материи в пространстве (11):

$$\varepsilon_{h\nu} = (dX/dt)^2 \cdot \varepsilon_m \qquad (11)$$

Частным следствием из этого вывода является то, что любые биологические системы (*начиная с клетки и заканчивая экосистемами*) и самоорганизующиеся (например, *автоколебательные, автокаталитические*) химические системы являются открытыми в каждой точке пространства не только для потоков вещества, но и излучений, характеризующихся частотами резонансными с частотами собственных автоколебаний в этих системах.

При этом образование структур может происходить только при диссипации (рассеянии) энергии, поэтому самоорганизующиеся в таких системах структуры и получили название диссипативных структур (ДС). То есть, *при отсутствии диссипации энергии система самопроизвольно возникнуть не может!* «Диссипация энергии в среде с нелинейными источниками играет роль резца, которым *«скульптор»* постепенно, но целенаправленно отсекает всё лишнее от каменной глыбы».

Так как диссипативные процессы (рассеяние) – *макроскопическое* проявление хаоса, то *хаос на микроуровне* – это уже не фактор *разрушения*, а сила, выводящая *на аттрактор*, на тенденцию *самоструктурирования* нелинейной системы.

Таким образом, во-первых, создание структур в открытой нелинейной среде – есть следствие «эффекта локализации». Во-вторых, «эффект локализации» (внутренней и спонтанной), в свою очередь, – есть следствие сильной неравновесности, открытости и *нелинейности* системы. Последнее указывает на неравноценность, для процессов самоорганизации, роли источников и стоков энергии:

- на ***стоках*** образуются ***стационарные диссипативные структуры***;

- ***нелинейность источников энергии***, через эффект локализации, приводит к самоорганизации нестационарных, ***эволюционирующих структур***!

По-видимому, в этом заключается отличие в процессах самоорганизации в неживой и живой природе!!!

3.4. Режимы с обострением

Из понятия нелинейности вытекает также представление о возможности (на определенных стадиях) *сверхбыстрого развития процессов*. Основа его – *нелинейная положительная обратная связь*. (Это является одной из обобщающих идей синергетики).

Известно, что «*отрицательная обратная связь*» дает эффект стабилизации системы (процесса), сдерживает амплитуду колебаний её параметров в определенном интервале величин, заставляет систему при достижении максимальных отклонений от состояния равновесия вновь к нему стремиться, подавляет возникающие микрофлуктуации, не даёт им развиваться с переходом на макроуровень.

В биологических системах отрицательная обратная связь формирует ***гомеостаз*** *как интервал колебаний (периодичных и обязательно,* ***апериодичных****) значений жизнеобеспечивающих физиологических параметров организма, в котором, благодаря наличию элементов* ***хаоса (апериодичности)*** *сохраняется адаптивный потенциал соответствующей системы и организма в целом.*

На первый взгляд кажется, что «*положительная обратная связь*» приводит лишь к разрушению, к раскачке, к удалению системы от равновесия за пределами допустимых амплитуд колебаний, к неустойчивости. *На самом деле, «нелинейная положительная обратная связь» в каждой точке среды (объёмная) – важнейший элемент в моделях автокаталитических процессов самой различной природы*, в том числе, при действии малых и сверхмалых концентраций веществ (доз излучений), при структурно-функциональных перестройках водных и нейронных систем, при действии биокатализаторов-ферментов и др.

Именно, *«нелинейные положительные обратные связи»* в системе является механизмом трансформации траектории её развития в стадию «динамического хаоса», создания в системе «шума», «новых степеней свободы» благодаря которым и возможна успешная конкуренция возникающих микрофлуктуаций с существующими в системе «диссипативными структурами», переходом их (микрофлуктуаций) на макроуровень, приводящий к возникновению новых «диссипативных структур» из «хаоса».

Например, для химической реакции это означает:

$V_{(A \to B)} = f([B]^{в})$, при $в > 1$.

где «В», могут быть свободные радикалы или активирующиеся молекулы катализатора (фермента).

Автокатализ данного типа может наблюдаться при структурно-функциональных перестройках в различных супрахимических системах: в жидких кристаллах, в кластерах воды и липидов клеточных мембран (например, при действии на нейроны возбудителя коровьего бешенства – прионовых белков), а также при кооперативных межклеточных взаимодействиях в организмах и организмов в популяции и экосистеме, в процессах социальной организации в обществе, в потоках капитала (финансов) и т.д.

Само локальное изменение состояния среды влияет на действие нелинейного источника в данной точке пространства среды (производство вещества, рост капитала и т.д.). Объёмная *«нелинейная положительная обратная связь»* означает ускоренный самоподстёгивающийся рост по всему пространству среды. По отношению к существующей диссипативной структуре *«нелинейная положительная обратная связь»* оказывает негативное воздействие, приводя к очень быстрому её распаду. Вместе с тем, в целом, она имеет и позитивные аспекты, т.к. может служить источником быстрого развития.

Периоды на траектории развития открытых, сильно неравновесных, нелинейных систем, в рамках которых действуют «положительные обратные связи, называются ***режимами с обострением***. Это режимы сверхбыстрого нарастания процессов в открытых нелинейных средах, при которых характерные величины (температура, энергия, капитал и др.) *неограниченно возрастают за конечное время* - «время обострения» - конечный (ограниченный) промежуток времени, в течение которого процесс сверхбыстро (асимптотически) развивается вплоть до достижения бесконечных (∞) значений.

Как отмечалось выше, механизм, лежащий в основе режимов с обострением – это широкий класс нелинейных положительных обратных связей.

Решения модельных задач на обострения дают подчас неожиданные результаты.

Один из наиболее парадоксальных из них заключается в том, что «режимы с обострением могут приводить (при определенных условиях) к локализации, к образованию «***нестационарных диссипативных структур***» [Князева, Курдюмов, 2005]. Локализация оказывается возможной на нелинейных источниках *без стоков*, в то время как основное внимание исследователей направлено на образование стационарных структур на стоках. (Например, модель «большой взрыв», приводящий к образованию диссипативной структуры (ДС) – «Вселенная»).

Следует подчеркнуть, что только часть «времени обострения» необходима для проявления свойства «локализации» (самоорганизации ДС). При этом этот δt необходим для возрастания Δf, например не в миллиарды раз, не до ∞, а всего лишь на один порядок. А это уже вполне конкретные реальные времена и за идеализированной задачей встают вполне реальные процессы.

В ряде модельных задач рассматриваются идеальные случаи, когда реальный источник не успевает «выгореть» за конкретное время обострения (первоначальные области применения этой математической модели - «физика плазмы» и лазерный термоядерный синтез; к настоящему времени эта модель исследуется уже в более 60 различных типах задач), открывается своеобразный и парадоксальный мир сверхбыстрых процессов.

Есть все основания предположить эффективность данного подхода при решении классических физических задач, связанных с процессами сжатия, кумуляции, кавитации, коллапсов. *Возможны новые подходы к задачам химической кинетики,* метереологии (катастрофическим явлениям в атмосфере Земли), *экологии и биологии (росту и вымиранию биологических популяций и экосистем, нейрофизиологии (моделирование распространения сигналов по нейрон-*

ным сетям), эпидемиологии (вспышки инфекционных заболеваний), экономике (феномены бурного экономического роста) и т.д.

В целом, можно заключить, что **х**отя всё в Мире в общем устойчиво, но всё устойчиво лишь относительно, до определенной степени, на некоторой, пусть и длительной стадии развития. Сложноорганизованные системы имеют тенденцию распадаться, достигая своего развитого состояния. Устойчивость вырастает из неустойчивости, в результате неустойчивости, ибо начало, рождение нового структурного образования, связано со случайностью, флуктуациями, хаосом, неустойчивостью. А устойчивость, в конце концов, рано или поздно оборачивается неустойчивостью. Стадии устойчивости и неустойчивости, оформления структур и их разрушения сменяют друг друга.

При определенных условиях, когда работа источника интенсивнее диссипативного размывающего неоднородности фактора устанавливается режим ***локализации***, оформления структур в открытой нелинейной среде – ***LS-режим***. Он держит ***хаос в определенной форме***.

Но оказывается, развитые локализованные структуры ***неустойчивы к хаотическим флуктуациям на микроуровне.*** Малые возмущения рассинхронизируют темп развития процессов внутри разных фрагментов сложной структуры и она начинает распадаться.

Процесса распада можно избежать, если в период протекания процесса в «режиме с обострением» происходит перескок на иной противоположный режим за счёт хаоса, флуктуаций. Это – ***HS-режим***, «режим неограниченно разбегающейся волны», возобновления процессов по старым следам. Распад (хотя бы частичный) заменяется объединением, максимальное развитие неоднородностей – их размыванием, сглаживанием.

Существование двух противоположных по смыслу и дополняющих друг друга режимов развития процессов – фундаментальный результат, полученный для широкого класса уравнений. И уже известна причина возможных колебаний, ***периодических переключений*** этих режимов – ***сильная нелинейность***.

То есть, *сильная нелинейность объёмных источников системы (среды),* независимо от конкретной природы размывающих факторов, *приводит к чередованию во времени названных режимов.* Можно отметить, что такой механизм ритмической смены состояний системы глубоко аналогичен китайскому символу ИНЬ-ЯН.

Разные начальные воздействия (внешние или внутренние, вынужденные или спонтанные) приводят к различию моментов обострения (времени жизни или максимального развития) одновременно существующих структур (систем). Это означает, что эти структуры (системы) в Мире имеют разные темпы развития, живут в разных ***темпомирах***.

Каким образом строится сложное эволюционное целое, происходит объединение простых структур разного возраста в сложные? При каком объединении частей в целое можно ускорить темп развития? Как «считать» информацию о прошлом и будущем структуры из характера её пространственной организации в настоящем? Как возможно «самовсплывание» структур «памяти» системы? Как происходит встреча темпомиров? Всё это также является предметом *синергетических* исследований.

Существование не жестко заданной траектории развития системы, а «*поля путей*» её развития иллюстрирует особого рода детерминизм. Открытая, сильно неравновесная, нелинейная система не жестко следует «предписанным» ей путям, а совершает блуждание по полю возможного, актуализирует, выводит на поверхность (всякий раз случайно) лишь один из этих путей. То есть, в реальной картине бытия присутствует и момент противоположный детерминизму – случайность, неустойчивость.

«Случайность, отдельные малые флуктуации могут играть существенную роль, определяющую судьбу системы вблизи моментов бифуркации. То есть, для определения места случайности в картине мира мы должны «ждать» эти моменты бифуркации» [Пригожин, 2002; Пригожин, Стенгерс, 2003, 2005]. Неустойчивость – состояние системы вблизи точки бифуркации, когда система совершает «выбор» дальнейшего пути развития, а *флуктуации* предстают как *механизмы* запускающие *неустойчивости*.

О неустойчивости иного рода говорят Е.Н.Князева и С.П.Курдюмов [1992; 2005]: «Малое случайное воздействие отнюдь не всегда существенно в механизмах самоорганизации системы. Необходимым условием является развитие процесса с обострением, в основе механизма которого лежит нелинейная, положительная обратная связь. Т.е. не любая случайность существенна и одинакова по последствиям для огромного класса задач – задач о структурной неустойчивости или *резонансном* воздействии. Под *неустойчивостью* понимаются режимы сверхбыстрого нарастания, развития процессов с нелинейной положительной обратной связью (например, автокатализ). *Неустойчивость – это вероятностный характер распада сложноорганизованных структур вблизи момента обострения».*

В процессах самоорганизации открытых нелинейных систем обнаруживается двойственная, ***амбивалентная природа хаоса***. С одной стороны, он разрушителен (*сложные системы в развитых состояниях могут быть чувствительными к малым хаотическим флуктуациям на микроуровне*). С другой стороны, ***хаос*** конструктивен, созидателен (сам хаос может быть защитой от хаоса: механизмом вывода на структуры-аттракторы эволюции, механизмом согласования темпов эволюции при объединении простых структур в сложные, а также механизмом переключения, смены различных режимов развития системы).

Хаос конструктивен через свою разрушительность и благодаря ей, разрушителен на базе конструктивности и через неё. Разрушая, он строит, а строя, приводит к разрушению.

3.5. Фрактальная структура физических систем и их способность к самоорганизации

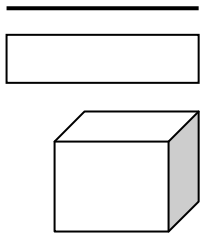
Как уже отмечалось, по современным представлениям окружающий нас мир представляет собой совокупность различных систем, существующих в самых различных масштабах пространства и времени. Системы, стремящиеся к состоянию термодинамического равновесия, либо уже находящиеся в нём или в стационарном состоянии; устойчивые или неустойчивые, термодинамически

закрытые или открытые. В этом отношении, с одной стороны, вся наша Вселенная, а с другой, элементарные частицы, не говоря уже о биологических организмах или социуме, являются системами. Вместе с тем, лишь в некоторых из них и только при определенных условиях могут протекать процессы самоорганизации, возникать диссипативные структуры [Николис, Пригожин, 2003; Пригожин, Стенгерс, 2003; Чернавский, 2004; Князева, Курдюмов, 1992; 2002].

Мы попытались, не вводя новых постулатов в парадигму современной науки, исходя из самых общих физических понятий, вывести критерии и минимизировать условия появления нового качества систем – способности к самоорганизации, к появлению в них динамических структур (стремящихся к распаду в процессе своей эволюции, т.е. диссипативных). Какие свойства, качества являются общими для всех без исключения материальных систем, существующих во Вселенной, независимо от того являются они вещественными или волновыми (полевыми); представляют собой физические (от галактических, космических, звездных, планетарных систем до элементарных частиц), химические, биологические или социальные системы? По-видимому, это то, что они существуют, движутся, развиваются в континууме *пространства-времени* [Кулаков, 2004].

Вероятно, само появление континуума пространства-времени - есть следствие движения материи. Пространство может быть заполнено энергией в форме вещества (частицы с ненулевой массой покоя), либо энергией в невещественной форме (виртуальные частицы с нулевой массой покоя; поля различной природы, вакуум). Возможно сама энергия – есть мера движения материи в возникающем при этом движении континууме пространства-времени. Главное в нашем рассмотрении то, что у пространства, в разных его выражениях и формах есть одно обобщающее свойство – наличие ***топологии*** (геометрической формы), включая его фундаментальное свойство – ***мерность*** [Николис, Пригожин, 2003, Князева, Курдюмов, 2002]. Само R-мерное пространство при R>0 структурировано. Мы хорошо знаем, что:

- 0-мерное пространство - точка, не имеющая структуры;
- 1-мерное пространство – прямая; (L)
- 2-мерное пространство - плоскость; (S)
- 3-мерное пространство - некий объём (V)



Причём каждый уровень целочисленной мерности пространства - собственно его структура - появляется при ***движении*** элемента пространства предыдущей мерности в новом направлении на расстояние соизмеримое с размерами соответствующей структуры. Например, прямая появляется при прямолинейном движении точки. Плоскость – при прямолинейном движении прямой в направлении не совпадающим с направлением её протяженности. Объём – при прямолинейном движении плоскости в области пространства вне её самой.

А какое пространство (какой мерности), какие структуры появляются в нём при движении элемента предыдущей мерности на расстояние намного

меньшее, чем размеры соответствующей структуры, при движении, приводящем к её дроблению, то есть к усложнению структуры?

Рассмотрим это на примере простейшей пространственной структуры, образующейся при движении точки *C* по прямой *AB* в области её Δ-окрестности (Δ<<L; рис. 30).

При перемещении точки *C* строго по прямой *AB* в положения C_1, C_2, C_3, C_4 никаких новых структур в 1-мерном пространстве не образуется.

Структуры, в виде ломанных линий ($AC_1'B$), ($AC_2'B$), ($AC_3'B$) или ($AC_4'B$), появляются при движении точки *C* в Δ-окрестности линии *AB* (см. рис.30). Причём, мерность этих структур становится дробной, а именно 2>R>1. Мерность структур, образующихся при итерациях, показанных на рис. 30, можно рассчитать по формуле (12) [Николис, Пригожин, 2003; Кроновер, 2000; Стромберг, 1999; Mandelbrot, 1982]:

$$R=\lim_{\Delta\to 0}(\ln N_\Delta/\ln M_\Delta) \qquad \textit{при количестве итераций «n»} \to \infty \qquad (12)$$

где, N_Δ - число уменьшенных копий отрезков ломаных линий, образующихся при «n» итерациях, умноженных на их длины (рис.2);

M_Δ - количество частей, на которые дробятся отрезки при каждой итерации.

Соответственно, при движении линии вблизи некоей плоскости с образованием ломаной плоскости мерность структуры становится: 3>R>2. При движении плоскости вблизи некоего объёма с образованием ломанного объема мерность структуры становится 4>R>3.

Вернёмся к рассматриваемому простейшему примеру. При продолжении дробления любой из ломанных линий L' - *($AC_1'B$), ($AC_2'B$), ($AC_3'B$)* или *($AC_4'B$),* по данному по данному итерационному закону мы будем получать классические простейшие фрактальные структуры (рис. 31), для которых, помимо дробной мерности, характерно то, что, при $\Delta<<L$ *и* $\delta\to 0$ длина ломанной линии *L'* (с мерностью $1<R<2$) стремится к бесконечности, притом, что длина *L* остаётся конечной величиной. Поскольку положение точки C_i' флуктуирует, образующийся фрактал является «***флуктуирующим фракталом***» [Кроновер, 2000].

Каким же количественным параметром можно характеризовать свойства образующейся структуры - ломаной линии (AC_JB), не зависящим от её абсолютных характеристик [Кулаков, 2004]? По-видимому, только соотношением длин отрезков AC_J и C_JB, обозначив их как отношение «меньшего отрезка» к «большему» при каждой итерации.

Так как $\Delta<<L$, то отношение AC_J/C_JB стремится к *a/b*. Следовательно, количественными мерами образующейся случайной фрактальной структуры могут быть отношения $f_1=a/b$ *и* $f_2=b/a$, зависящие только от координаты точки *C*, делящей отрезок *AB* на два случайных отрезка, где ***a*** – всегда меньший, а ***b*** – больший отрезки. Зависимости величин этих отношений от длины меньшего отрезка (***a***) показаны на рис. 32 (для удобства длина отрезка *AB* принята за 1).

Тогда $\mathbf{f_1=a/b= a/(1-a)}$ и $\mathbf{f_2=b/a= (1-a)/a}$.

При $f_1=f_2$ ***a/(1-a)= (1-a)/a*** или (***1-a)=a***; ***a=0,5***

Расчёт по формуле (12) мерности ломанной кривой, образующейся при итерациях приведенных на рис. 31, показывает, что он изменяется от *1,5* (при $a=b=0,5$) до *1,694…* (при $a \to 0$).

При образовании ломаной линии – случайной фрактальной структуры с мерностью ($1<R<2$) в этом пространстве между отрезками возникают энергетические взаимодействия, так как простые преобразования уравнения *(F=ma)* приводят к уравнению (11), которое, как уже отмечалось, связывает трансформации энергии со скоростью изменения положения отрезков друг относительно друга, т.е. с изменениями геометрии среды (структур).

В общем виде система является термодинамически открытой и допустим, что функция «f_1» характеризует «приток энергии» в систему (структуру) при изменении её геометрических характеристик, а функция «f_2» - сток энергии.

Тогда, анализ изменений функций «f_1» и «f_2» от величины «***a***» показывает, что в такой системе может быть только одно устойчивое состояние, при котором $f_1=f_2$ - $a=0,5$. Этому состоянию соответствует либо термодинамическое равновесие в энергетически закрытой системе, либо стационарное состояние в открытой системе, но при условии точного равенства энергий «притока» и «стока». То есть, при этом условии усложнение геометрии пространства (структуры системы) идёт линейно с образованием при каждой итерации одного устойчивого состояния при делении отрезка пополам. Образующиеся при этом линейные «случайные» фрактальные структуры будут стремиться к таким итерациям, когда деление отрезка на ломаную линию будет происходить строго посредине. Самоорганизация невозможна, так как система, эволюционируя в это устойчивое состояние, самопроизвольно не сможет из него выйти.

А что произойдёт с этой системой, её случайной фрактальной структурой при условии, что она становится термодинамически открытой, т.е. когда $E_{притока} \neq E_{стока}$?

Вариант 1. При $E_{притока}<E_{стока}$ функция f_2 (рис. 33) увеличивается на единицу, при сохранении функции f_1. Такая ситуация невозможна, т.к. функции f_1 и f_2 не будут иметь точек пересечения. Аналитически это вытекает из того, что положительный корень уравнения $f_1=f_2$ $a/(1-a) =[(1-a)/a]+1;$ $a=0,618…$ выходит за пределы исходных граничных условий $0<a<0,5$ (значение $b=0,381967…$ также выходит за пределы исходных граничных условий $0,5<в<1$). Физический смысл этой ситуации заключается в том, что если изначально «закрытая» система (или открытая система, но в которой $E_{притока}=E_{стока}$) теряет энергии больше, чем получает, то через какое-то время (возможно очень короткое) в ней прекратится движение, она как *система прекратит своё существование*.

Вариант 2. При условии $E_{притока}>E_{стока}$ взаиморасположение f_1 и f_2 (рис. 32) трансформируется в их взаиморасположение, приведённое на рис. 33.

При этом (при каждой итерации) возникают по два выделенных стационарных состояния, при которых $f_1=f_2$. Это корни уравнения: $[a/(1-a)]+1= (1-a)/a,$ в пределах $0<a<0,5$ и $0,5<в<1$. Аналитическое решение даёт только одну пару корней - иррациональные числа $a=0,381967…$ и $b=0,618033…$

То есть, ***при случайных фракталообразованиях в термодинамически открытой и неравновесной системе (при наличии периодов, когда $E_{притока}>E_{стока}$), при наличии анизотропии в образующихся структурах (отрезки***

«больший» и «меньший») в системе появляются два стационарных, но неустойчивых (т.к. корни «a» и «b» иррациональные числа) и в принципе недостижимых состояния.

Дальнейшие итерации по алгоритму (13) дают набор случайных фракталов:

$$Z_{n+1} = Z_n \text{ (разделение в соотношении } 0{,}381967\ldots/0{,}618033\ldots) \qquad (13)$$

Причём каждая итерация идёт через точку бифуркации (см. рис. 33). Геометрия среды становится не просто фрактальной, а *нелинейной***.** При постоянном итерационном правиле, из случайных (казалось бы, *хаотических)* итераций фрактальной геометрии развивается *закономерность,* повторяемость при итерациях, возникает «диссипативный порядок» («диссипативные структуры»), хотя набор возможных форм бесконечен («динамический хаос»).

С точки зрения энергетики появляются условия возникновения *«динамического хаоса»* (в области $0{,}381967\ldots < a < 0{,}5$ при $E_{притока} > E_{стока}$, появляются «положительные обратные связи»; см. рис. 33) и «*диссипативных структур*» (в области $0{,}381967\ldots < a < 0{,}5$, при $2 > E_{притока} > E_{стока}$; либо в области $0{,}333\ldots < a < 0{,}381967\ldots$ при $E_{притока} < E_{стока} < 2$; появляются «отрицательные обратные связи»; см. рис. 33). Возникает точка «бифуркации» (при $a = 0{,}5$) и две геометрические области пространства, «притягивающие» к себе иные типы развития геометрий случайных фракталов - «аттракторы» среды, которые в тоже время остаются недостижимыми (т.к. эти области «притяжения» сходятся к иррациональным величинам *a* и *b*). При этом очевидной становится сама фрактальная природа этих «аттракторов» пространства, а, следовательно, их дробная мерность, следствием которой является то, что длина фрактала (ломаной линии; L') увеличивается с каждой итерацией и при стремлении числа итераций (n) к «∞», «L'» также стремится к «∞» (при сохранении длины отрезка «L» постоянной и равной 1) [Николис, Пригожин, 2003]. То есть размерность фрактала (R) становится $1 < R < 2$.

Соответственно, при итерациях по данному алгоритму с плоскостями (R=2) возникают *самоорганизующиеся* «ломанные плоскости» (R>2), площадь которых стремится к «∞» в рамках ограниченной площади в двухмерном пространстве. Итерации по данному алгоритму с объёмами (R=3), по-видимому, будут приводить к возникновению *самоорганизующихся* «ломанных объёмных структур» (R>3, *«странные аттракторы» среды* [Князева, Курдюмов, 1992, 2002])), объём которых стремится к «∞» в рамках ограниченного объёма в трёхмерном пространстве.

Вышерассмотренные представления позволяют выделить (минимизировать) необходимые и достаточные условия (критерии) для самоорганизации систем в реальном физическом пространстве. По-видимому, они заключаются, во-первых, в том, что системы (и само пространство) должны быть ***термодинамически открытыми и существенно неравновесными*** (обмениваться со средой энергией в форме вещества и/или излучений). Во-вторых, системы (и само пространство) должны быть ***анизотропными фрактальными***, то есть состоять из структур, случайных фракталов. Все остальные условия самоорганизации, включая нелинейность системы, возникновение положительных и отри-

цательных обратных связей, наличие точек бифуркации и режимов с обострением вблизи них, резкое усиление влияния сверхмалых концентраций веществ и доз физических факторов в выборе траектории эволюции системы вблизи точек бифуркации и т.д., оказываются следствиями этих двух.

Предлагаемая геометрическая модель самоорганизации систем позволяет по-новому подойти к разработке способов коррекции процессов самоорганизации в системах неживой, включая водные системы, и, особенно, живой природы через влияние на структуру пространства и вещества сверхслабыми воздействиями [Бурлакова и др, 2003; Кершенгольц, Чернобровкина и др, 2004].

4. Самоорганизация в химических системах

Для объяснения явления самоорганизации материи (особенно в химических системах) следует вернуться к использованию основных положений *нелинейной термодинамики неравновесных процессов* [Стромберг, 1999].

В теоретические модели классической равновесной термодинамики время как параметр не входит. Однако уже в теорию *линейной термодинамики неравновесных процессов* (ЛТНП) входит параметр внутреннего производства энтропии $\boldsymbol{P = dS_i/dt}$ (скорость внутреннего изменения энтропии). ЛТНП представляет собой приближение, которое справедливо только *вблизи* равновесного состояния. В ЛНТП вводятся понятия «***поток***» и «***сила***». Сила – это интенсивный фактор, например разность давлений; поток – экстенсивный фактор. ЛНТП, например, позволяет установить взаимосвязь между двумя сопряженными потоками для системы в состоянии близком к равновесию, так называемое соотношение взаимности Онзагера. Изменение энтропии *dS* складывается из энтропии $\boldsymbol{dS_i}$ (*i - internal*), возникающей внутри системы, и из энтропии ***dSe*** (*e – external*), передаваемой вместе с теплотой из окружающей среды. $\boldsymbol{dS = dS_i - dSe}$

В *равновесной* системе критерием осуществимости процесса является возрастание энтропии в изолированной системе или другими словами внутреннее возрастание энтропии $\boldsymbol{dS_i > 0}$

В *неравновесной* системе, вблизи состояния равновесия, согласно ЛНТП, критерием осуществимости процесса является увеличение «***производства энтропии***» (Р), $\boldsymbol{d_iP > 0}$ или $\boldsymbol{dS_i/dt > 0}$.

Явления самоорганизации материи наблюдаются при состояниях системы *далеких от равновесия*, поэтому для их рассмотрения следует использовать *нелинейную термодинамику неравновесных процессов (НТНП)*.

Нелинейные дифференциальные уравнения, как правило, не имеют стандартных методов решения. Вместе с тем, при рассмотрении процессов самоорганизации материи часто важно иметь сведения только о *типе устойчивости (или неустойчивости*) стационарных состояний далеких от равновесия при разных значения заданных постоянных параметров. Эти сведения можно получить и косвенным путем, не имея аналитического решения нелинейных дифференциальных уравнений с помощью двух подходов: термодинамического и нелинейно-динамического (опирающегося на представления теории колебаний и теории устойчивости).

В НТНП критерием устойчивости стационарного состояния в изолированной системе является так называемое избыточное производство энтропии. Если производство энтропии «*P*» для данного стационарного состояния (изолированной) системы разложить в ряд Тейлора,

$P = Po + \delta P + 1/2\delta^2 P$

то $1/2\delta^2 P = \delta_x P$ и есть избыточное производство энтропии.

Причем, если $\delta_x P > 0$, то стационарное состояние устойчиво, а если $\delta_x P < 0$, то стационарное состояние неустойчиво.

Заключение об устойчивости стационарного состояния системы далекой от равновесия можно также получить на основе нелинейной динамики с использованием так называемых *«критериев устойчивости Ляпунова».*

Сущность этого подхода состоит в том, что рассматривают небольшое возмущение (отклонение) от стационарного состояния. Если стационарное состояние *устойчиво*, то возмущение с течением времени уменьшается, пока система не вернётся в исходное стационарное состояние. Если стационарное состояние *неустойчиво*, то после возникновения возмущение будет нарастать со временем, пока система не придёт в новое устойчивое стационарное состояние. Третий вариант развития событий – когда после возмущения система придет в колебательное состояние с постоянной амплитудой (автоколебания). Возможен еще ряд вариантов.

Между типом устойчивости стационарного состояния (далекого от состояния равновесия и описываемого системой нелинейных дифференциальных уравнений) и фазовым портретом имеется определенное соответствие. Поэтому фазовый портрет системы (уравнение траектории изображающей точки на плоскости) получить сравнительно просто. Если рассматривать небольшое возмущение, то выражения для двух нелинейных дифференциальных уравнений, описывающих стационарное состояние при наличии возмущения в системе с двумя степенями свободы (например, *концентрации двух исходных веществ «А» и «В»*), можно разложить в ряд Тейлора и с достаточно хорошим приближением ограничиться линейным слагаемым, отбросив другие, содержащие переменные величины в степенях выше первой (т.е. с большей степенью малости). Таким образом, для описания возмущения получаем два линейных дифференциальных уравнения, которые легко решаются стандартными методами. Полученное аналитическое выражение и является приближенным выражением для фазового портрета системы. *А по виду уравнения изменения возмущения с течением времени, вблизи стационарного состояния, можно определить вид его устойчивости, даже не решая системы из двух нелинейных дифференциальных уравнений.*

4.1. Модель *брюсселятора*. Структурно-функциональное разнообразие элементов сложной открытой, сильно неравновесной нелинейной системы (включая биоразнообразие) как основа сохранения её способности к самоорганизации

Модель *брюсселятора* – автоколебательной (самоорганизующееся) химической реакции была разработана И.Пригожиным, бельгийский физикохимиком русского происхождения.

В 1977 году он был удостоен Нобелевской премии по химии за работы в области неравновесной термодинамики. Эта модель явилась теоретической основой описания известной автоколебательной химической реакции Белоусова-Жаботинского (РБЖ). С середины 40-х годов XX века И.Р.Пригожин, работая над проблемами неравновесной термодинамики, установил, что процессы, протекающие в химических системах, далеких от равновесия, могут трансформироваться во временны′е и пространственные структуры. Система становится чувствительной к своим собственным флуктуациям (случайным отклонениям от среднего значения), которые могут превратиться в фактор, направляющий эволюцию системы (порядок через флуктуации). Главное внимание уделялось изучению того, как диссипация порождает порядок во времени и пространстве. В 1971 году была опубликована первая его работа по теории диссипативных структур "Thermodynamic Theory of Structure, Stability and Fluctuations". И. Пригожин вместе со своими сотрудниками разработал упрощенную теоретическую модель для описания феномена самоорганизации, который можно наблюдать за порогом химической нестабильности. Эта модель и была названа "брюсселятором" в соответствии с именем Брюссельской научной школы, где она была разработана Уравнения реакции-диффизии составляют ядро математической модели, первоначально предназначенной для описания определенного типа химической нестабильности и образования временных структур (осцилляций процессов во времени) - химических часов. Наиболее известный пример такого рода нестабильности - реакция Белоусова-Жаботинского, исследованная в России в начале 60-х годов .

Изучение закономерностей эволюции открытых неравновесных систем и спонтанного возникновения в них порядка (их самоорганизации), несмотря на происходящее в них рассеяние (диссипацию) энергии, точнее - благодаря ему, привело И. Пригожина к созданию теории диссипативных структур - одного из направлений общего междисциплинарного направления науки, называемого в России, вслед за немецким физиком Германом Хакеном, синергетикой.

Будучи увлеченным, разносторонним и универсально мыслящим ученым, И. Пригожин предпринимал попытки навести мосты между естественными и гуманитарными науками. От конкретной модели сложного поведения в химии И. Пригожин продвигался к глубоким мировоззренческим обобщениям о смене научной парадигмы и радикальных изменениях в видении Мира. Благодаря его работам, эволюционная синергетическая парадигма охватила всю химию, а также существенные части биологии и социальных наук. Происходит открытие нового мира необратимости, внутренней случайности и сложности.

И. Пригожин развивал философию нестабильности. Особое внимание он уделял рассмотрению проблемы времени, происхождению стрелы времени, природе необратимости. Сущность происходящей в наши дни научной революции состоит, с его точки зрения, в том, что современная наука о сложном опровергает детерминизм и настаивает на том, что креативность проявляется на любом уровне природной организации. Природа содержит нестабильность как существенный элемент. Как правило, имеет место не единичная бифуркация, приводящая к приобретению новых качеств динамической системой при малом изменении ее параметров, а целые их каскады. В результате возникают новые непредсказуемые макроструктуры, поэтому мы не можем прогнозировать, что произойдет - будущее открыто. Это означает, что даже фундаментальные естественные науки становятся науками историческими, в них появляется темпоральный, зависящий от времени элемент, наступает "конец определенностей". Т.е., Мир находится в становлении, участниками которого являемся мы сами. Мы призваны вести диалог с природой; тем самым человеческая креативность встраивается в креативность природы в целом. Мы живем в эпоху флуктуаций и бифуркаций, когда индивидуальные действия являются существенными. Поэтому конец определенностей в науке означает начало особой ответственности человека за судьбы природы и человечества!

Почему этим работам уделяется большое внимание? Оглядимся вокруг. Можно сказать, что современная техника невозможна без колебательных, периодических и близких к ним нестационарных процессов. Ими удобно управлять, они позволяют в огромное число раз усиливать слабые сигналы, у них

масса других достоинств. Может быть, по тому же пути шла природа, создавая сложные самоорганизующиеся системы? Не похож ли механизм «*биологических часов» на колебательные процессы в модели брюсселятора*? Эти вопросы пока ждут ответов.

Другая причина интереса к модели *брюсселятора* состоит в том, что она отражает общие черты многих систем, где возникают структуры и возможны явления самоорганизации. Необходимые условия такого поведения обычно формулируют следующим образом:

1. Система является термодинамически открытой, т.е. возможен обмен энергией, веществом и т.д. с окружающей средой.

2. Макроскопические процессы происходят согласованно (кооперативно, когерентно). В рассмотренных нами примерах такое согласование обеспечивали диффузионные процессы.

3. Отклонения от равновесия превышают критическое значение, т.е. рассматриваются состояния, лежащие вне термодинамической ветви.

4. Процессы рассматриваются в таком диапазоне параметров, когда для их описания необходимы нелинейные математические модели

Модель включает химическую реакцию $A + B \rightarrow D + E$, протекающую в четыре стадии:

$$A \xrightarrow{k_1} X \qquad (14)$$

$$B + X \xrightarrow{k_3} Y + D \quad - \textit{кросс-катализ} \qquad (15)$$

$$2X + Y \xrightarrow{k_2} 3X \quad - \textit{автокатализ} \qquad (16)$$

$$X \xrightarrow{k_4} E \qquad (17)$$

Кинетический анализ данной модели даёт следующие выражения для скоростей изменения концентраций промежуточных соединений «*X*» и «*Y*»:

$$dX/dt = k_1 [A] - k_3 [B][X] + k_2 [X]^2[Y] - k_4[X] \qquad (18)$$

$$dY/dt = k_3 [B][X] - k_2 [X]^2[Y] \qquad (19)$$

Введём обозначения: $A = k_1[A]$; $B = k_3[B]/k_4$; $Y = k_2[Y]/(k_4)^2$; $X = k_4[X]$, с учётом которых выражения (18) и (19) преобразуются в (20) и (21):

$$\boldsymbol{dX/dt} \equiv X' = A - BX + X^2Y - X = \boldsymbol{A - X(B+1) + X^2Y} \qquad (20)$$

$$\boldsymbol{dY/dt} \equiv Y' = \boldsymbol{BX - X^2Y} \qquad (21)$$

Сложение уравнений (20) и (21) позволяет получить уравнения (22) и (23):

$$Y' + X' = A - XB - X + X^2Y + BX - X^2Y = A - X \qquad (22)$$

$$\boldsymbol{Y' = -X' - X + A} \qquad (23)$$

Рассчитаем параметры, включающие стационарные концентрации промежуточных соединений «X_0» и «Y_0» через соответствующие параметры, включающие концентрации исходных веществ «A» и «B». Как известно, усло-

вие стационарности: $dX/dt = dY/dt = 0$. Тогда, из уравнений (20) и (21), получаем:

$A - X(B+1) + X^2Y = 0$ (24)

$BX - X^2Y = 0 \quad \Rightarrow \quad BX = X^2Y$ (25)

Подставляя (25) в (24), получаем:

$A - XB - X + BX = 0$ или $\boldsymbol{X_0=A;\quad Y_0 = B/A}$ (26)

Для того чтобы выяснить, являются ли стационарные состояния «X_0» и «Y_0» промежуточных соединений устойчивыми или неустойчивыми введём небольшие отклонения (возмущения, флуктуации) «X» и «Y» от их стационарных концентраций - «*x*» и «*y*»: $X=X_0+x;\ Y=Y_0+y$ и $X'= x';\ Y'= y'$

$X' = A - (B+1)(X_0+ x) + (X_0 + x)^2(Y_0 + y)$ (27)

Подставляя выражения для X_0 и Y_0 из уравнения (26) в уравнение (27), получаем:

$X'= A - (B+1)(A+ x) + (A + x)^2(B/A + y)$ (28)

Проведя алгебраические преобразования уравнения (28) и отбрасывая слагаемые с величинами флуктуаций в степени больше «1», получаем:

$X'=A - AB - Bx - A - x + AB + 2B\,x + B/A\,\cancel{x^2} + A^2y + 2A\,\cancel{x\,y} + \cancel{x^2y}$ или

$\boldsymbol{X'= (B-1)\,x + A^2y}$ (29)

Соответственно из уравнения (21) рассчитаем Y' через отклонения *x* и *y*:

$\mathbf{Y'}= B(X_{стац} +x) - (X_{стац} +x)^2(Y_{стац} +y) = B(A+x) - (A+x)^2(B/A +y) =$

$= AB+ Bx- AB- A^2y - 2Bx= \mathbf{- Bx- A^2y}$ (30)

Для того чтобы установить, является ли стационарное состояние устойчивым или нет, а также, для того чтобы предвидеть в каком интервале исходных концентраций «A» и «B» можно ожидать появление колебательного режима в модели брюсселятора используем следующий графический приём. Изменение величины возмущений «*x*» и «*y*» во времени рассмотрим как изображение движущейся точки в трёхмерном фазовом пространстве (*X, Y, t*). Для упрощения графического изображения рассмотрим проекцию этой траектории на плоскость (*X, Y*) или (*x*, *y*). Математическое аналитическое выражение этого фазового портрета получим, поделив *X'/ Y'* (уравнения 29 на 30 или 20 на 21):

$\mathbf{dX/dY=[Bx-x+A^2y]/[-Bx-A^2y]}$ или $\mathbf{dX/dY=[A–X(B+1)+X^2Y]/[BX–X^2Y]}$ (31)

Уравнение (31) описывает наклон фазовой траектории в каждой точке фазового портрета.

Для того чтобы найти вид фазового портрета в координатах (*X, Y*) вблизи стационарного состояния (X_o, Y_0) после возникновения небольшого возмущения, нужно решить систему обыкновенных дифференциальных уравнений первого порядка (29) и (30), беря вторую производную уравнения (29):

$x''= (B-1)\,x' + A^2y'$

y' находим, складывая уравнения (29) и (30):

$\mathbf{X'+ Y' = (B-1)\,x + A^2y - Bx- A^2y =-x}$ или $Y'= y' = -(x'+x)$

Соответственно,

$x''= B\,x'- x'+A^2(-x'- x)= -x'(A^2-B+1)- A^2x$

или:

$$x''+x'(A^2-B+1)+A^2x=0 \qquad (32)$$

Введя следующие обозначения: $x = G_1 e^{pt}$; $x'=pG_1 e^{pt}$; $x''= p^2G_1e^{pt}$, получим:

$$p^2x + px(A^2 - B+1) + A^2x = 0 \quad \text{или}$$

$$p^2 + p(A^2-B+1) + A^2 = 0 \qquad (33)$$

Корни уравнения (33):

$$P_{1,2} = - (1/2) \{(A^2 - B+1) \pm [(A^2 - B+1)^2 - 4A^2]^{1/2}\}$$

Введём $T = -(A^2 - B+1)$, тогда:

$$P_{1,2} = 0,5 [T \pm (T^2 - 4A^2)^{1/2}] \qquad (34)$$

В зависимости от значений концентрации исходных веществ *A* и *B* (соответственно значений *T* и *A*), их знака, корни P_1 и P_2 могут иметь одинаковые или разные знаки, быть действительными или мнимыми числами. Эти качественные различия в решениях уравнения отражаются на форме фазового портрета, на устойчивости стационарного состояния (табл. 1).

Между видом фазового портрета, устойчивостью стационарного состояния и возможностью возникновения концентрационных колебаний в химической реакции существует определенная зависимость. Это позволяет, не решая уравнения *dX/dY*, выяснить, в какой области концентраций исходных веществ могут возникать концентрационные колебания, т.к.

$$x = G_{11} e^{p1t} + G_{12} e^{p2t} \qquad y = G_{21} e^{p1t} + G_{22} e^{p2t} \qquad (35)$$

где, как уже отмечалось, $P_{1,2} = 0,5 [T \pm (T^2 - 4A^2)^{1/2}]$

Для каждого момента времени «t» мы можем по уравнениям (35) найти значения «X» и «Y» и нанести точки с координатами (X_0+x) и (Y_0+y) в разные промежутки времени на фазовую плоскость (X, Y). В результате получим 6 типов фазовых траекторий, которые отражают 6 типов изменений во времени величин возмущений, происходящих в системе, находящейся до этого в стационарном состоянии (X_0, Y_0) (рис. 34).

Таблица 1.

	Неустойчивость системы (T>0; A^2–B+1 <0)	**Устойчивость системы (T<0; A^2–B+1>0)**
Фокус: решения комплексные числа, $T^2 < 4A^2$	**Г** A^2+1<B; $(A+1)^2$ >B или Компл. числа с положит. Действительной частью **A^2+1 <B< $(A+1)^2$** Фокус с раскручивающейся спиралью. Через некоторое время амплитуда колебаний достигнет const из-за нелинейности уравнений X' и Y' (при больших возмущениях), т.е. **это – автоколебания в неустойчивом стационарном состоянии**	**В** A^2+1>B и $(A+1)^2$ >B или B>$(A-1)^2$. Компл. числа с отрицат. Действительной частью **A^2+1>B>$(A-1)^2$** Скручивающаяся спираль. Периодические затухающие колебания приближающиеся к стационарному устойчивому состоянию

Узел: решения действительные числа, $T^2 > 4A^2$	**Б** $A^2–B+1<0$; $-A^2+B-1>2A$; **$B>(A+1)^2$** Действительные положительные числа. Неустойчивое состояние. Система удаляется от стационарного состояния, совершая апериодическое самовозбуждающееся движение	***А*** $A^2–B+1>0$; $B>(A+1)^2$ или **$B< (A-1)^2$** Действительные отрицательные числа. Апериодические затухающие колебания, асимптотически приближающиеся к устойчивому стационарному состоянию
Центр: решения действительные числа, $T = 0$	***Д*** $A^2–B+1=0$ и одновременно $A^2–B+1<0$ Действительные числа с разными знаками. **Это невозможно.** A^2 может быть больше или равен нулю, но не меньше нуля.	**Е** Чисто мнимые числа без действительной части $A^2–B+1>0$ и $A^2–B+1=0$; **$B = A^2+1$; $P_{1,2} = \pm Ai$** Фазовое состояние – **устойчивый центр**. Фазовая траектория накручивается на предельный цикл, имеющий форму элипса – **незатухающие колебания**

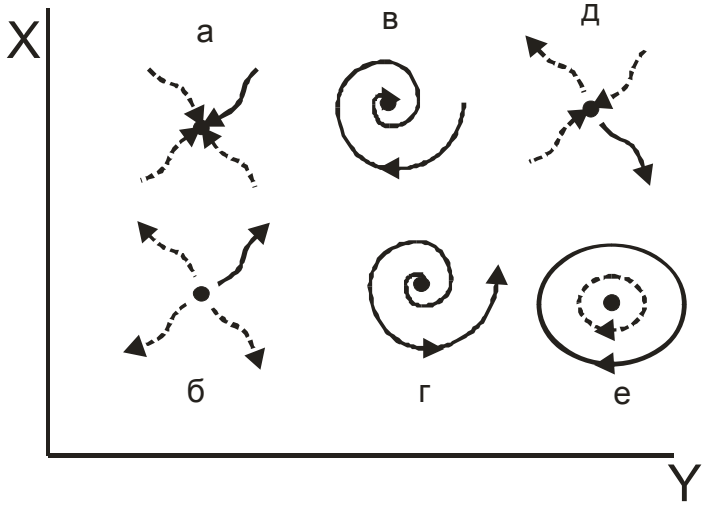


Рис. 34. Фазовый портрет системы в координатах (X, Y) с двумя степенями свободы, соответствующий различным видам отклонения от стационарного состояния и его различной устойчивости

а – устойчивый узел *б – неустойчивый узел* *в – устойчивый фокус*
г – неустойчивый фокус *д – седло* *е - устойчивый центр*

Анализ таблицы 1 показывает, что как только концентрация *B* переходит некий критический порог и входит в диапазон $(A^2+1)<B<(A+1)^2$ или $B= A^2+1$ стационарное состояние системы ($X_0=A$; $Y_0=B/A$) становится неустойчивым фокусом (либо центром) и система, выходя из этого фокуса выходит или «наматывается» на предельный цикл. Концентрации *X* и *Y* начинают колебаться с отчетливо выраженной периодичностью. Период колебаний зависит от кинетических постоянных, т.е. свойств катализатора (применительно к биохимическим системам - свойств ферментов) и граничных условий наложенных на всю систему (температуры, концентрации веществ *A* и *B*, и т.д.). Т.е. *за критическим порогом система под действием флуктуаций спонтанно покидает стационарное состояние и при любых начальных условиях стремится выйти на*

предельный цикл (аттрактор), периодическое движение по которому устойчиво, до тех пор пока сохраняется условие $A^2+1 < B < (A+1)^2$ *или* $B = A^2+1$.

Иными словами, пока система находится в данной полосе фазового пространства в координатах *A* и *B* она сохраняет способность к автоколебаниям, т.е. ширина этой полосы фазового пространства определяет способность системы сохраняться в состоянии саморегуляции – её адаптивный потенциал.

При выходе параметров системы за пределы этого интервала она скачкообразно либо стремится к состоянию равновесия – состояния *а* или *в*, либо входит в режим самовозбуждающихся апериодических колебаний, выходит из режима саморегуляции, саморазрушается (рис. 35).

В свою очередь ширина полосы фазового пространства, в которой система находится в состоянии саморегуляции, зависит не только от концентраций исходных веществ [A] и [B[, но и от каталитических параметров всех реакций данной системы (k_1, k_2, k_3, k_4 *– уравнения 14-17*), т.к. параметры *A, B, X* и *Y* включают эти константы (*обозначения перед уравнениями 20-21*), т.е. от:

- структурно-функционального разнообразия изоформ катализаторов, в частности ферментов (их каталитических параметров), а также структурного разнообразия низкомолекулярных веществ обладающих способностью модифицировать конформацию и активность этих катализаторов (регуляторных энзимов);

- разнообразия внешних факторов, определяющих разнообразие граничных условий наложенных на всю систему (не только температуры и концентрации веществ *A* и *B*, но и свойств других веществ, находящихся в сфере реакции, а также самой среды реакции).

Таким образом, структурно-функциональное разнообразие БАВ (или физических воздействий – информационных полей) также будет влиять на способность системы автокаталитических химических реакций находиться в полосе фазового пространства, в которой система находится в состоянии саморегуляции.

Причём, их энергия не будет играть существенной роли в этом процессе, т.к. само их присутствие на уровне «флуктуаций» достаточно для запуска процесса «блуждания» системы по полю возможных траекторий (см. рис. 34 и 35) . Важна их способность варьировать каталитические параметры соответствующих катализаторов (энзимов), что и будет определять ширину полосы $A^2+1<B<(A+1)^2$ и $B=A^2+1$ фазового пространства в координатах «A, B», при нахождении в которой системы химических (биохимических) реакций сохраняется ее способность к саморегуляции, находясь вдали от состояния равновесия, что является количественной мерой ее адаптивного потенциала.

Причем активность БАВ (или соответствующих физических раздражителей) пропорциональна не только их концентрации, но и способности менять конформации супрамолекулярных кластеров внутри- и межклеточной воды, т.е. организовывать «голографические копии» собственных структур из кластеров воды.

Рассмотренная модель показывает, что механизмом самоорганизации в системах являются автоколебательные процессы в открытой, сильно неравновесной, нелинейной системе, возникающие за счёт «отрица-

тельных» и «положительных» обратных связей. В свою очередь, механизм автоколебаний – разнообразие флуктуирующих параметров элементов системы ответственных за автоколебания, не только концентраций, но и каталитических констант.

По-видимому, в этом заключается основной механизм вклада структурно-функционального разнообразия биоактивных молекул (прежде всего энзимо-регуляторного действия) в формирование устойчивости биосистем не только в условиях действия на них экстремальных факторов среды, но и в «спокойных» условиях, благодаря сохранению траекторий развития биосистемы в режиме самоорганизации. Вне этого режима биосистема существовать не может.

Вероятно, этот вывод можно распространить и на два другие уровни организации биосистем:

- внутрипопуляционное разнообразие индивидуумов и межпопуляционное разнообразие в рамках вида – фактор устойчивости популяций (вида), благодаря сохранению траекторий развития популяции (вида) в режиме самоорганизации;

- разнообразие видов и экоформ в экосистеме – фактор устойчивости экосистемы, благодаря сохранению траекторий её развития в режиме самоорганизации.

4.2. Модель процессов естественного отбора и эволюции в системе химических автокатализаторов (химическая модель процессов спонтанного самозарождения жизни в режиме реального времени)

Данная модель процессов естественного отбора и эволюции в системе катализаторов была разработана академиком В.Н.Пармоном [2002]. Исходное положение модели - физико-химическое определение понятия «Живые системы».

Живые системы – это самоорганизующиеся диссипативные структуры, которые существуют только в неравновесных условиях, обеспечиваемых потоками вещества и энергии через систему, содержащие гиперциклы (системы автокаталитических реакций) и обладающие, благодаря этому, механизмом запоминания и передачи информации. Это определение позволяет сформулировать основные физико-химические критерии существования живых систем:

- фазовая обособленность живых систем;

- функционирование этих систем за счёт обмена веществом и энергией с окружающей средой;

- способность живых систем к конкурентоспособной репликации, т.е. воспроизводству себе подобных (своей конкурентоспособной информации);

- способность живых систем к необратимой прогрессивной эволюции (естественному отбору).

Так чем же отличаются живые системы от неживых?

Реальным качественным отличием живых систем от систем неживой природы является способность живых систем к прогрессивной и необратимой эволюции, приводящей в результате естественного отбора всё к более сложным объектам, сохраняющим все перечисленные атрибуты живых объектов. Меха-

низмом, как отмечалось выше, является способность сохранять траектории своей эволюции в режиме ***автоколебательной самоорганизации за счёт флуктуаций,*** в том числе, ***каталитических параметров ферментов***.

Главная загадка зарождения жизни на сегодня – откуда взялись первые функционирующие молекулы РНК – наиболее примитивные из известных хранителей и переносчиков биологической информации

С позиций физико-химической биологии ключевым является вопрос – возможно ли найти системы проще, чем РНК и ДНК, которые могли бы хранить свою химическую предысторию и обеспечивать только однонаправленную (поступательную) эволюцию своих свойств за счёт химических изменений в носителях информации о такой предыстории?

Рассмотрим модель возникновения естественного отбора (прогрессивной эволюции автокатализаторов – *Xi*) в системе, содержащей невзаимодействующие, но конкурирующие за один и тот же вид «пищи» (*R*) автокатализаторы, при уменьшении объёма пищевой ниши. На рис. 36 приведена кинетическая схема нелинейного размножения молекул автокатализаторов *Xi* в реакциях превращения субстрата *R* в продукт *P*.

$$R + X_i \underset{k_{-1}}{\overset{k_1}{\rightleftarrows}} 2X_i$$

$$X_i \xrightarrow{k_2} P$$

Рис.36. Кинетическая схема нелинейного «размножения» молекул автокатализаторов *Xi* в реакциях превращения субстрата *R* в продукт *P*.

В стационарных условиях скорость изменения концентрации автокатализатора *Xi* выражается уравнением (36) и равна нулю.

$$\frac{dX_i}{dt} = k_1[R][X_i] - k_{-1}[X_i]^2 - k_2[X_i] = 0 \qquad (36)$$

Квадратное уравнение (36) имеет при [R] < R_{kpi} – одно решение: $\left(\overline{X_i}\right)_2 = 0$, а при [R] > R_{kpi} – два решения, причем только $(X_i)_1$ – устойчиво к флуктуациям.

$$\left(\overline{X_i}\right)_1 = \frac{k_1}{k_{-1}} \cdot \left([R] - \frac{k_2}{k_{-1}}\right) = \alpha_i\left([R] - R_{kpi}\right)$$

$$\left(\overline{X_i}\right)_2 = 0$$

Графическое изображение аналитических решений кинетических уравнений, представленных на рис. 36, приведены на рис.37.

Видно, что основной особенностью таких автокаталитических систем является то, что, попав на ветвь $(X_i)_2$=0, даже в условиях [R]>R_{kpi}, они не могут перейти на устойчивую ветвь $(X_i)_1$, пока не появится «затравка» автокатализатора X_i (флуктуация, с точки зрения структурно-функционального разнообразия автокатализаторов), хотя бы в виде одной молекулы

Т.е. при уменьшении концентрации пищи *R* ниже критического уровня R_{kpi} происходит полное вымирание автокатализатора X_i и его невозможно восстановить даже увеличив концентрацию «пищи» больше R_{kpi}

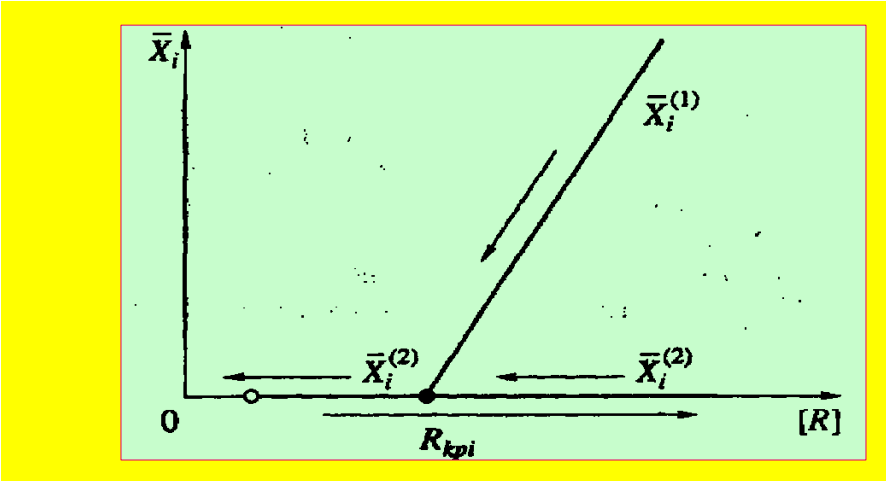


Рис.37. Зависимость стационарной концентрации автокатализатора Xi от концентрации пищи R. Точка R_{kpi} - точка бифуркации.

Стрелками показана эволюция стационарных концентраций автокатализатора при изменении R вблизи точки бифуркации. Светлый кружок на оси [R] обозначает точки, после достижения которой предполагается увеличение концентрации пищи.

Если в системе присутствует не один, а несколько типов автокатализаторов с разными значениями R_{kpi} , то при уменьшении концентрации пищи R ниже критических значений произойдет последовательное «вымирание» тех автокатализаторов, для которых R_{kpi} , оказывается выше значения текущей концентрации пищи (рис. 38).

Т.е. произойдёт последовательное и необратимое (*в связи с исчезновением «затравок» в виде единичных молекул)* вымирание всех катализаторов с наибольшими значениями R_{kpi} (k_2/k_1). Таким образом, преимущество получают автокатализаторы, для которых максимальна разница $k_1 >> k_2$).

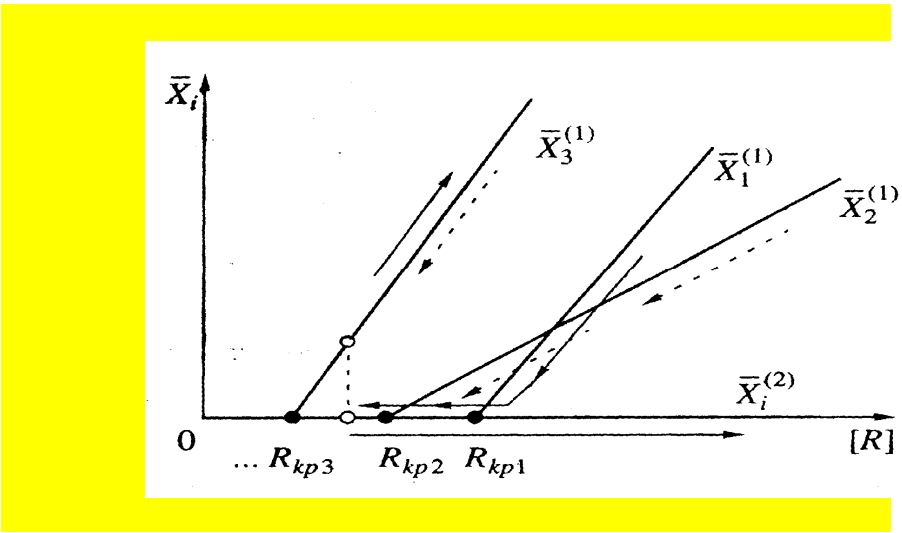


Рис.38. Зависимость стационарной концентрации автокатализаторов *Xi* от концентрации пищи *R* в системе с несколькими автокатализаторами.

После того, как концентрация пищи уменьшилась до значения, обозначенного светлым кружком, новый рост концентрации пищи способен восстановить только «популяцию» автокатализатора X_3.

Следовательно, в системе идёт строго однонаправленный (в сторону $k_1 >> k_2$) **естественный отбор популяции автокатализаторов**. Это соответствует

прототипу биологической памяти. Физико-химическим, термодинамическим критерием такого отбора оказывается стационарный химический потенциал автокатализаторов, а не просто их концентрация или масса. Способностью к описанному естественному отбору обладают и более сложные автокаталитические системы, включающие и не автокаталитические реакции метаболизма и ассимиляции пищи (37):

$$\begin{aligned} &R \leftrightarrow R_i, \\ &R_i + X_i \leftrightarrow 2X_i \\ &X_i \leftrightarrow Y_i \\ &Y_i \leftrightarrow P \end{aligned} \qquad (37)$$

где R_i – промежуточные продукты ассимиляции;
X_i и Y_i – промежуточные продукты метаболизма автокатализаторов

Той же способностью к естественному отбору обладают и системы с замедленным автокатализом, в которых автокаталитическая репликация осуществляется, например, по схеме (38) через образование промежуточных соединений *Zi:*

$$\begin{aligned} &R + Xi \leftrightarrow Zi + Xi \\ &Zi \leftrightarrow Xi \\ &Xi \leftrightarrow P \end{aligned} \qquad (38)$$

Способностью к естественному отбору с несколько более сложными свойствами обладают и системы с неидеальной репликацией, в которой автокатализатор *Xi* может породить не только себе подобный, но и другой автокатализатор X_J (39):

$$\begin{aligned} &Ri + Xi \leftrightarrow 2Xi \\ &Ri + Xi \leftrightarrow Xi + X_J \\ &Ri + X_J \leftrightarrow 2X_J \\ &Ri + X_J \leftrightarrow Xi + X_J \end{aligned} \qquad (39)$$

При детерминированном направлении химической эволюции автокатализаторов некоторые их свойства могут оказаться следствием закрепления результата случайного события (*например, определенной хиральности у популяции автокатализаторов, выигравшей конкуренцию на достаточно ранней стадии естественного отбора*), при условии, что отношение константы скорости «смерти» автокатализатора к константе скорости его размножения (k_2/k_1) ***стремится к 0.***

Следствием рассмотренной модели является следующее утверждение: «Сильные воздействия на систему абиогенных (относительно простых) химических молекул, содержащихся в условиях Протоземли (*радиация, УФ-излучения, электрический разряд*) могли приводить к существенному, но лишь к кратковременному её отклонению от термодинамического равновесного стационарного состояния, поэтому являлись факторами инициировавшими не сам процесс естественного отбора, а лишь «мутации», обеспечивающие возможность появления новых объектов для такого отбора (с минимальным *Rkpi* = k_2/k_1)»! Это означает, что на молекулярном уровне естественный отбор возмо-

жен лишь в случае **«одномоментного»** благоприобретения дополнительных свойств, способствующих уменьшению «фактора эволюции» автокатализаторов $R_{kpi} = k_2/k_1$!

Для рассмотрения возможных сценариев и даже моделирования возникновения феномена ЖИЗНИ на Земле в абиогенных системах наиболее важен вопрос о том, «*какая именно из абиогенных автокаталитических систем могла функционировать в природных условиях Протоземли и дать старт для пребиотического естественного отбора?»*

Наиболее подходящим кандидатом на эту роль является автокаталитическая реакция синтеза сахаров по Бутлерову, протекающая *в присутствии ионов магния, кальция, воды, ионов ОН¯, **затравки моносахарида,** при комнатной температуре* (40):

$$n\ CH_2O \rightarrow (CH_2O)_n \quad \text{в том числе рибоза} \qquad (40)$$

Одним из продуктов этой реакции является D-рибоза – незаменимый элемент РНК. Реакция Бутлерова происходит без образования молекул воды, поэтому высокомолекулярные продукты такого синтеза не подвержены гидролизу, в отличие от полипептидов и белков.

Тогда последовательность химических реакций в условиях Протоземли, приведшую к возникновению не только первичных живых систем, но и отбора между ними, можно представить следующим образом.

Основные компоненты протоатмосферы Земли: NH_3, CH_4, H_2O, CO_2.

Между ними могут протекать простейшие реакции, в том числе (и прежде всего) реакция образования формальдегида (41), а также цианистого водорода (41’):

$$CH_4 + H_2O \rightarrow CH_2O + 2H_2 \quad (Ni,\ Fe,\ лава,\ > 700^oC) \qquad (41)$$

$$CH_4 + NH_3 \text{ --- термокат. реакция} \rightarrow HCN + 3H_2 \qquad (41’)$$

Формальдегид, вступая в реакцию Бутлерова (40) даёт начало семейству автокатализаторов – простых сахаров. В процессе описанного выше отбора «побеждает» рибоза. А цианистый водород в реакции последовательной пентамеризации – образует азотистое основание аденин (42):

$$5\ HCN \rightarrow \text{Аденин} \qquad (42)$$

Рибоза легко реагирует с неорганическими фосфатами подстилающих пород, образуя рибозилфосфаты, которые уже могут конденсироваться с образованием олигорибозилфосфатов (42):

Рибоза + фосфаты → Фосфаты сахаров **(в т.ч. Рибозилфосфат) (43)**

Рибозилфосфат и олигорибозилфосфаты могут конденсироваться с образующимися в реакции (42) азотистыми основанием, например аденином, с образованием нуклеотидов, олигонуклеотидов и их производных, например, АТФ (44):

Рибозилфосфат + Аденин → АТФ + Нуклеотиды (44)

Наконец, при конденсации нуклеотидов образовывались первичные **рибозимы** (45), проявляющие свойства и первичных нуклеиновых кислот, и катализаторов (прообразов белковых катализаторов – ферментов):

Олигосахариды + N- и P-содержащие фрагменты → первичные рибозимы (45)

Эти химические реакции образования и «естественного отбора» автокатализаторов, по-видимому, и могли лежать в основе абиогенного этапа возникновения и дальнейшей эволюции живой материи. В таблице 2 приведен сравнительный анализ следствий из существующих теорий возникновения жизни и естественного отбора и предлагаемой, показывающий основные преимущества последней.

Таким образом, данная физико-химическая синергетическая модель протекания процесса абиогенного этапа возникновения биологически активных молекул и их последующей эволюции вплоть до появления первичной протоклетки позволяет существенно упростить многие сложные для объяснения условия появления жизни, а также дать уточненное физико-химического определение понятия «ЖИЗНЬ»: «Жизнь» - это фазово-обособленная форма существования функционирующих автокатализаторов, способных к химическим мутациям и претерпевших достаточно большую эволюцию за счёт естественного отбора» [Пармон, 2002].

Таблица 2.

Сравнительный анализ следствий из существующих теорий возникновения жизни и естественного отбора и предлагаемой модели

Существующая точка зрения	Результат анализа
1. Для прогрессивного естественного отбора за счёт мутаций необходимы ДНК и/или РНК.	1. Первичный прогрессивный естественный отбор может происходить без ДНК и РНК
2. «Пребиотический бульон был «жирным» (концентрированным в отношении исходных соединений для системы биомолекул).	2. Для инициирования пребиотического естественного отбора бульон должен быть «тощим». Достаточно образования единичных молекул автокатализатора.
3. Живой организм обязательно является «диссипативной структурой» (некоторые нелинейные стадии химических превращений метаболического цикла должны быть необратимыми)	3. Причиной возникновения диссипативных структур на ранних стадиях эволюции предшественников живых организмов являются внутренние свойства системы, а поводом – вносимые флуктуации (кинетически необратимой должна быть только стадия «смерти»).
4. Даже примитивные пребиотические структуры в природе должны были образовываться из сложным органических молекул.	4. Для начала естественного отбора достаточно было наличия простейшего соединения – формальдегида.
5. Даже примитивные пребиотические процессы – это термодинамически затрудненная поликонденсация органических молекул в одном растворе	5. Образование формальдегида и сахаров в воде не претерпевает термодинамических затруднений.

4.3. Диссипативные среды и их влияние на химические, биохимические и биологические процессы посредством систем слабых взаимодействий.

Вода как самоорганизующаяся среда и среда для самоорганизации биохимических, биологических и глобальных геосферных и биосферных систем. Резонанс и комплементарность

Все химические, включая биохимические, процессы протекают не в пустоте, а в химических средах гидрофильной (водные), либо гидрофобной (липофильной; липидные слои мембран) природы. Являются ли сами эти среды (прежде всего водная) самоорганизующимися системами и как эта их фундаментальная способность может влиять на протекание химических, биохимических и биологических процессов?

Хорошо известно, что вода играет в жизни всех живых существ основополагающую роль. Но так уж получилось, что до самого последнего времени были справедливы слова Альберта Сент-Дьёрди о том, что биология и медицина забыли о воде или никогда не знали о ней, точнее «биология еще не открыла воду».

Вместе с тем, ежедневное потребление человеком питьевой воды составляет в среднем около 2л/сутки. Вода является самой важной составляющей человеческого организма, как и любого другого животного, растения, в общем, всех живых существ. Содержание воды в организме новорожденного составляет 97%, с возрастом снижаясь до 70-75% (рис. 39).

В частности, в структурах мозга содержание воды составляет около 85%. А в тканях медузы содержание воды составляет 99,9%, больше чем в морской воде (96,8%), в которой они обитают. Как это может быть? На первый взгляд непонятно.

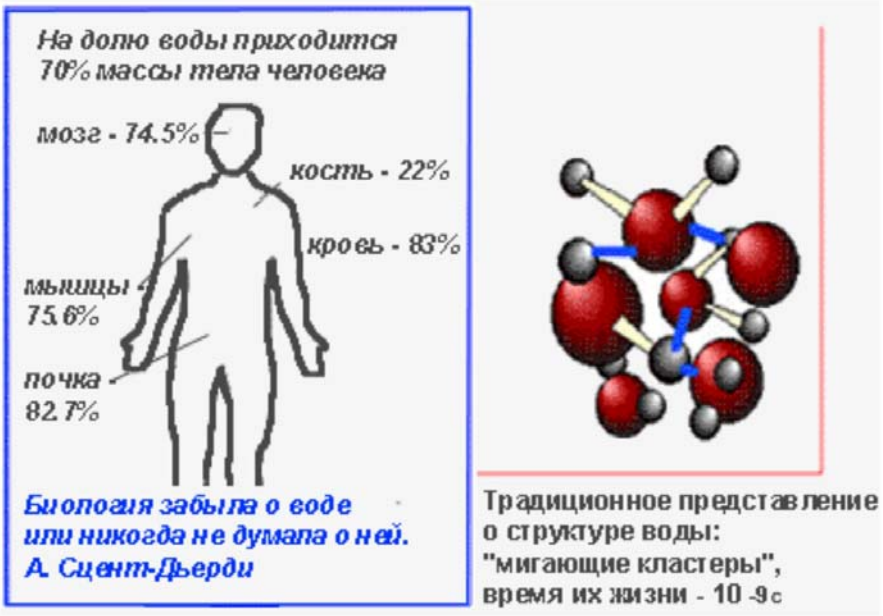


Рис 39. Вода – реакционная среда процессов жизнедеятельности или субстанция их порождающая?

При этом, несмотря на одинаковую молекулярную формулу «H_2O», структура и физико-химические свойства воды, содержащейся в живых системах, существенно отличаются от аналогичных показателей воды, которую мы используем каждый день.

В то же время, биохимия, как и биология, и медицина очень мало знают о воде. Например, хорошо известна биохимическая система самоорганизующихся регуляторных взаимодействий, опосредующая внешние воздействия на открытую клеточную систему (рис. 40).

Рецепторы воспринимают молекулярные сигналы внешней среды в виде различного рода гормонов (нейромедиаторов на постсинаптических мембранах нейронов), затем включается каскад разнообразных регуляторных факторов, механизмов, вплоть до изменения экспрессии генов в клетках, которые в результате тем или иным образом реагируют на внешние воздействия. Но из приведенной схемы, которая, хорошо иллюстрирует представления сегодняшней биохимии, может сложиться впечатление, что все многочисленные взаимодействия и структурированные компоненты живой клетки функционируют в некой инертной среде. Тогда возникает вопрос, что является своего рода организующей средой для всех этих взаимодействий? И как функционирует эта организующая среда?

В любом учебнике биохимии подразумевается, что, конечно – это жидкая среда, что, конечно, все эти молекулы не витают независимо друг от друга, хотя предполагается, что они всего-навсего диффундируют в водной среде.

И только в последнее время стало приниматься во внимание то, что действительно все эти взаимодействия молекул друг с другом осуществляются не в некой абстрактной воде как в совокупности громадного числа молекул H_2O, а что сама ***вода****, как многоуровневая структурированная субстанция, играет важнейшую роль в том, что происходит в живой клетке и в любом организме. Более того,* ***вода****, скорее всего, является главным рецептором того, что происходит во внешней среде и в процессе самоорганизации собственных структур организует все надмолекулярные комплексы и биохимические процессы в клетке*.

За последние 10–15 лет стало появляться все больше и больше данных о том, что вода на самом деле вовсе не представляет собой некий газ со слабо связанными друг с другом отдельными частицами H_20, которые на исчезающе малые промежутки времени ($\approx 10^{-9}$ сек) слипаются друг с другом с участием водородных связей, образуя так называемые мигающие кластеры (рис. 39), а затем вновь рассыпаются. Так как время жизни таких структур воды до последнего времени считалось чрезвычайно малым, то, естественно, не предполагалось, что вода может играть какую-то важную структурно-организующую роль. Стало появляться все больше и больше физико-химических данных, которые свидетельствуют о том, что в жидкой воде существуют много самых разнообразных устойчивых структур, которые можно назвать кластерами.

Известно большое количество различных теорий и моделей, объясняющих структуру и свойства воды. Общим в них является представление о водородных связях как об основном факторе, определяющем образование структурированных агломератов. Вода (пространственная модель молеку-

лы представлена на рис.41А) - кооперативная система, в ней существуют цепные образования водородных связей. И всякое воздействие на воду распространяется эстафетным путем на десятки и сотни тысяч межатомных расстояний.

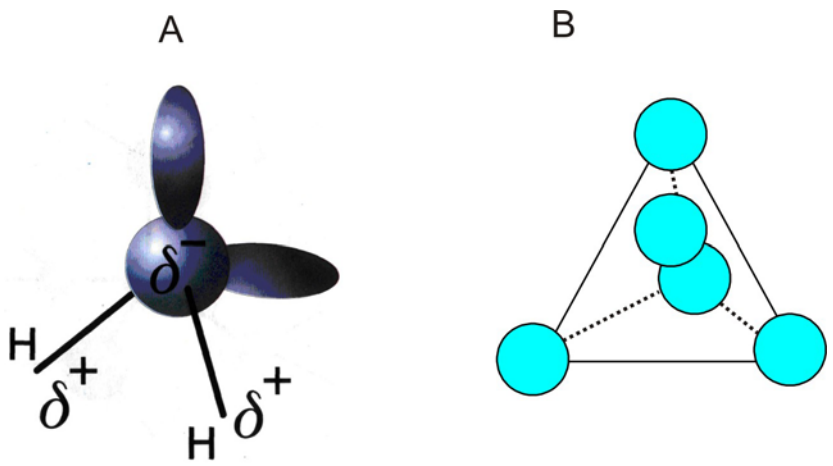


Рис. 41. Молекула воды. Обозначения δ^+ и δ^- отражают распределение зарядов, характеризующих свойства полярности молекулы воды, а «лепестки» обозначают электронные облака двух неподелённых электронов атома кислорода.

Необычные и неповторимые свойства воды объясняются способностью её молекул образовывать межмолекулярные ассоциаты не только за счет ориентационных, индукционных и дисперсионных взаимодействий (сил Ван-дер-Ваальса), но и за счет водородных связей, энергия которых (10-40 кДж/моль) заметно превосходит силы Ван-дер-Ваальса (1-4 кДж/моль). Образование водородной связи обязано ничтожно малому размеру положительно поляризованного атома водорода и его способности глубоко внедряться в электронную оболочку соседнего (ковалентно с ним не связанного) отрицательно поляризованного атома, например, кислорода соседней молекулы воды.

В литературе, посвященной *квантовой химии,* приводятся много разнообразных структур водных кластеров, начиная с кластеров, которые включают в себя пять (рис. 41В) или шесть молекул воды и т.д. На рис. 42 приведена иерархия довольно устойчивых кластеров воды, рассчитанная английским физико-химиком Мартином Чаплиным.

Блокируясь друг с другом они могут достигать громадных размеров, включающих в себя сотни молекул воды [цитир. по Воейкову, 1997, 2003].

Американский химик К.Джордан предложил свои варианты «квантов воды», состоящих из шести её молекул (цитир. по [Воейкову, 2003]). Эти кластеры могут объединяться друг с другом и со «свободными» молекулами воды за счет экспонированных на их поверхности водородных связей. Интересной особенностью этой модели является то, что из нее автоматически следует, что свободно растущие кристаллы воды, хорошо известные нам снежинки, должны обладать 6-лучевой симметрией.

Одна из наиболее известных кластерных моделей воды, приводимая в большинстве учебников по физической химии, - модель Фрэнка и Уэна, названная «дрожащая гроздь» (*flickering cluster*; рис. 43). В соответствии с ней во-

дородные связи в жидкой воде непрерывно образуются и рвутся, причем эти процессы протекают кооперативно в пределах короткоживущих групп молекул воды (мерцающих кластеров, или дрожащих гроздей), время жизни которых колеблется в диапазоне от 10^{-8} до 10^{-9} сек.

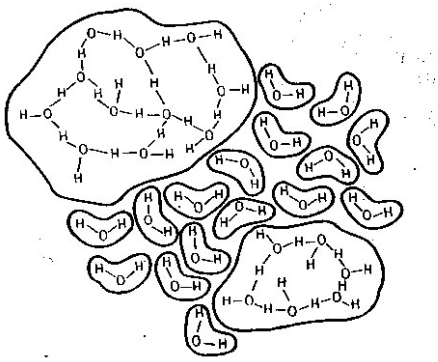


Рис. 43. Схематическое изображение связанных друг с другом молекул в кластерах (очерченные области), между которыми находятся свободные молекулы воды.

В дальнейшем эта модель развита Немети и Шерага. Соответственно их представлениям в один кластер входит 57 молекул воды, что позднее было доказано С.В.Зениным (рис. 44А). Согласно статистическим расчетам, в стандартных условиях (при 20-25^{o}С и 1 атм.) около 30% всех молекул воды находятся в свободном состоянии, 30% приходится на случайные ассоциаты, не имеющие упорядоченной структуры и 40% входят в состав кластеров.

Кластер - это структура объемная, в которой каждая молекула воды может быть связана с другими молекулами одной, двумя или тремя водородными связями. При этом возникает некие кооперативные образования, подобные представленным на рис. 41В, 42 или 44. Кооперативные - в том смысле, что если за счет теплового движения одна молекула воды «выскочит» из этих структур, то кластеры не распадаются, т.к. в них еще много водородных связей, которые смогут «удержать» структуру кластера, несмотря на то, что каждая из водородных связей довольно слабая. Когда этих слабых связей много, они поддерживают друг друга, кластер приобретает высокую устойчивость. Поэтому, вероятность того, что какая-то молекула воды займет место «выскочившей, прежде, чем кластер развалится, на несколько порядков выше вероятности того, что развалится весь соответствующий кластер. И чем больше молекул объединяются в такие структуры, тем более стабильными являются эти кластеры. Когда появляются такие гигантские кластеры - это уже **полимолекулы воды**, *они обладают высокой устойчивостью принципиально отличными химическими и физико-химическими свойствами, чем одна молекула воды.*

Существуют и другие модели, описывающие иерархию весьма устойчивых структур воды. Так, согласно гипотезе С.В.Зенина [1994], вода представляет собой иерархию правильных объемных структур, в основе которых лежит правильный тетраэдр, состоящий из пяти молекул воды (см. рис. 41В), при взаимодействии которых образуется структура второго порядка - кристаллоподобный "квант воды", состоящий из 57 ее молекул (см. рис. 44А). Эта структура энергетически выгодна. Она может трансформироваться с высвобождением отдельных молекул воды, например, при высоких концентрациях спиртов и подобных им полярных органических молекул, или под воздействием электромагнитных излучений высокой интенсивности и др.

«Кванты» воды могут взаимодействовать друг с другом за счет свободных водородных связей, экспонированных наружу из вершин и граней «кванта». При этом возможно образование уже двух типов структур третьего порядка, которые по модели Зенина практически не способны к взаимодействию за счет образования водородных связей, например, ромбической структуры, состоящей из 912 молекул воды (рис. 44Б).

Вместе с тем, на различных гранях таких структур формируются домены с избытком положительного, или отрицательного зарядов, либо незаряженные области. Их взаимодействие друг с другом за счёт более сильных, чем водородные связи электростатических притяжений, либо гидрофобных взаимодействий незаряженных доменов, приводит к появлению структур высшего порядка. Завершением построения еще более сложной и укрупненной «ячейки воды» служит вывод на поверхность конгломератов нейтральных по заряду граней. Тем самым процесс «прилипания» или разрастания ячейки воды из структурных элементов ограничивается естественным путем вследствие создания нейтральной оболочки (рис. 44В).

Наивысшим из известных уровней структурирования воды является образование, обнаруживаемое даже при помощи контрастно-фазового микроскопа (рис. 45).

Несмотря на то, что разные модели представляют отличающиеся по своей геометрии кластеры, суть их сводится к тому, что молекулы воды способны объединяться *самопроизвольно* с образованием полимеров. Но классический полимер - это молекула, все атомы которой объединены ковалентными связями, а не водородными, которые до недавнего времени считались чисто электростатическими.

В 1999 г. было экспериментально показано, что водородная связь между молекулами воды в кристаллах льда имеет частично (на 10%) ковалентный характер. Это обстоятельство «разрешает», по меньшей мере, десяти процентам молекул воды объединяться в достаточно долгоживущие полимеры. А если в водном объеме есть полимеры воды, то даже слабые воздействия на такую, даже «абсолютно чистую воду, а тем более ее растворы, могут иметь важные последствия.

Например, известно, что под действием внешних физических факторов слабой интенсивности (*акустические воздействия, растяжение, пропускание через тонкие отверстия и т.д.*) полимеры, в зависимости от их строения и условий среды, способны «рваться», благодаря тому, что система связей в длинной молекуле полимера способна выступать в качестве аккумулятора низкоэнергетических квантов с концентрацией их на отдельных связях. Эти разрывы приводят либо к образованию новых беспорядочных связей между «обрывками» полимера, либо к его дроблению с уменьшением молекулярной массы. Такие процессы служат, в частности, причиной старения полимеров. Редко уточняют, что фрагментация полимеров при подобных воздействиях - явление нетривиальное.

Так, например, интактные молекулы ДНК, составленных из сотен тысяч и миллионов мономеров-нуклеотидов, могут легко распадаться на более мелкие фрагменты от простого перемешивания препарата палочкой. При этом, чем

меньше размеры фрагмента, тем более высокой плотности требуется энергия для его дальнейшего дробления.

Во всех случаях - и в длинных, и в коротких полимерах разрываются химически идентичные ковалентные связи. Следовательно, если для разрыва ковалентной связи между двумя атомами в малой молекуле необходимо приложить энергию, эквивалентную энергии кванта ультрафиолетового излучения - или, по меньшей мере, видимого света, то такая же связь в полимере может разорваться при воздействии на него всего лишь механических колебаний. В первом случае частота колебаний соответствует величинам порядка 10^{15}Гц, во втором - герцам - килогерцам. Значит, *молекула полимера может выступать в роли своеобразного трансформатора энергии низкой плотности в энергию высокой плотности. Образно говоря, полимеры способны превращать тепло в свет.*

Как отмечает В.Л.Воейков [1997; 2003], кластер воды, обладая свойствами своего рода «водного полимера», также способен аккумулировать кванты энергии низкой плотности, трансформируя их в высокоэнергетический квант, например, энергию слабых внешних воздействий - в световую. По-видимому, в этом заключается механизм способности воды (возможно, всех биологических систем, состоящих на ≈90% из воды) к генерации вторичных свечений (биогенных излучений) при действии на неё электромагнитных импульсов описанной как «эффект Кирлиан» (рис. 46).

Соответственно, регистрация параметров вторичного свечения воды может быть методом исследования трансформации структуры её кластеров при внешних воздействиях физической или химической природы [Коротков, 2001].

Структурное разнообразие кластеров воды зависит не только от количества молекул в них (уровня структурообразования, но и от их конформации. М.Чаплин посчитал, что один и тот же кластер, состоящий из 280 молекул воды (см. рис. 42), может находиться в двух различных конформациях: «разбухшей» и «сжатой». Соответственно, эти конформационные состояния будут различаться по плотности и по занимаемому объему. Изменение свойств воды, в зависимости от температуры, давления, других физических или химических воздействий, оказываемых на воду, по М.Чаплину может быть связано с тем, какая доля водных кластеров при этом находится в «разбухшей», а какая в «сжатой» конформации.

Как уже отмечалось, в настоящее время существуют несколько десятков теорий строения воды, в том числе С.Зенина [1994], М.Чаплина, Н.Бульенкова [1991, 2003] и другие. В них предлагаются разные варианты строения кластеров воды, но это не означает, что они не соответствуют действительности. Наоборот, такое разнообразие строения кластеров воды и их динамические переходы указывают на то, что их самоорганизация протекает в рамках очень большого числа аттракторов. Вместе с тем, все эти модели имеют одну общую черту - количество молекул воды, включаемых в них на разных уровнях структурообразования, описывается рядом чисел Фибоначчи.

Особенно ярко этот феномен проявляется в рамках модели строения кластеров воды по С.Зенину, в которой количество молекул воды в кластерах на всех пяти уровнях структурообразования определяется синергетическим

универсальным масштабно-инвариантным сценарием перехода от «хаоса» к «порядку» и обратно во фрактальных системах — *каскадом удвоения периода Фейгенбаума* [Кроновер, 2000]. Этот универсальный сценарий в Природе проявляется в процессах *самоорганизации* материальных систем, устойчивые состояния которых количественно описываются определенными *числами Фиббоначчи* (*ЧФ*), находящимися по отношению друг к другу в «золотой пропорции»: φ=1,618... (табл. 3). *ЧФ*, как уже отмечалось выше, представляют собой ряд чисел, начиная с единицы, каждое из которых является суммой двух предыдущих.

Причём отклонение числа молекул воды в реальном кластере от соответствующего *ЧФ* (*идеальный фрактал*) обратно пропорционально устойчивости данного кластера.

Найденная закономерность позволяет интерпретировать «золотую пропорцию» как меру пространственно-временной энергетической устойчивости водной системы и использовать ее для расчета «эффективной длины стороны» кластеров воды ($L_{расчет}$).

Таким образом, водная среда представляет собой, своего рода, иерархически организованный жидкий кристалл. Если перекодирование, т. е. переход к другому взаимному расположению структурных элементов воды оказывается для системы энергетически выгодным, то в новом состоянии отражается кодирующее действие вещества или физического фактора, вызвавшего эту перестройку [Гапочка, 2000; Лобышев, 2000].

Таблица 3.

Соотношение уровней структурной организации воды с числами Фибоначчи и эффективной длиной стороны кластера

Количество молекул воды в реальном кла-	Номер *ЧФ*	Значение *ЧФ* («*n*») или	Отклонение количества молекул	*ф* отношение *ЧФ* <<(n+1)/n»	$L_{расчет}$ (эфф. длина стороны кластера),
5	4	5	0	1,50000	0,96
57	9	55	3,6	1,619048	4,7
912	15	987	7,6	1,618037	23
22800	22	28657	20,4	1,618033985	165
526 224	28	514 229	2,3	1,618033989	»1190

Используя «эффект Кирлиан», мы определили размеры водных кластеров относительно устойчивых даже при механохимических воздействиях в прямом эксперименте по ультрафильтрации воды через фильтры с размером пор в диапазоне 3÷1500 нм (см табл. 3), регистрируя степень структурированности ультрафильтрованной воды по параметру интенсивности её вторичного свечения ($I_{втор.свеч}$). Результаты, представленные на рис. 47 показывают, что размеры относительно устойчивых водных кластеров составляют ≈ 5, 22 и 1200 нм, что очень хорошо согласуется с нашими расчётными данными, приведенными в табл. 3.

В 1990 году физики Г. А. Домрачев и Д. А. Селивановский сформулировали гипотезу о существовании механохимических реакций радикальной диссоциации воды. Они исходили из того, что жидкая вода представляет собой динамически нестабильную полимерную систему и что, по аналогии с механохимическими реакциями в полимерах, при механических воздействиях на воду поглощенная водой энергия, необходимая для разрыва *H-OH,* локализуется в микромасштабной области структуры жидкой воды. Поскольку диссоциация молекул воды и реакции с участием радикалов $H\cdot$ и $OH\cdot$ происходят в ассоциированном (кластерном) состоянии жидкой воды, радикалы могут иметь громадные (десятки секунд и более) продолжительности жизни до гибели в результате реакций рекомбинации. При этом открывается путь для осуществления реакций радикалов с различными растворенными в воде акцепторами. Оказывается возможным протекание реакций, обычно требующих больших затрат энергии, таких как окисление атмосферного азота с образованием нитратов и аммиачных соединений, образование углеводородов и других органических соединений, например, аминокислот.

Водный кластер с линейными размерами ≈165 нм не проявляется на ультрафильтрограмме, по-видимому, по той причине, что обладает низкой устойчивостью к механохимическим воздействиям при ультрафильтрации, т.к. отклонение количества молекул воды в нём от соответствующего ЧФ составляет более 20% (см. табл. 3).

Предположения Домрачева и Селивановского о возможности механодиссоциации воды полностью подтвердились в эксперименте. В самое последнее время появились работы зарубежных исследователей, из которых следует, что при определенных условиях разложение воды с образованием в конечном итоге водорода и кислорода, а на промежуточных этапах - свободных радикалов, осуществляется при весьма мягких воздействиях на нее. В 1998 г. были опубликованы две работы японских авторов, в которых сообщалось о каталитическом разложении воды оксидом меди в одном случае при ее умеренном освещении видимым светом, а в другом - просто при ее механическом перемешивании. При этом выход газообразного водорода был очень велик. Рассчитав эффективность механодиссоциации воды в гидросфере, авторы пришли к чрезвычайно важному выводу о происхождении в атмосфере Земли кислорода, связав его с диссоциацией воды.

Если это так, то доминирующая ныне догма о том, что кислород атмосферы - исключительно продукт биологического фотосинтеза несостоятельна. Прежде всего, осуществление радикальной диссоциации воды дает старт процессам разложения воды на кислород и водород. Распад H_2O_2 происходит в природе с выделением кислорода и воды (кроме случая биохимического окисления, когда фермент пероксидаза катализирует окисление органических веществ с помощью H_2O_2). Общее количество пероксида водорода в природе, по-видимому, остается примерно на одном уровне. Это означает, что приток H_2O_2 сбалансирован его потерями. Из общего количества H_2O_2, которое генерируется в природе каждый год, половина образуется при рекомбинации гидроксил-радикалов. Остальное количество H_2O_2 образуется путем ступенчатого захвата двумя атомами водорода молекулы свободного кислорода атмосферы. Эта часть пероксида водорода при распаде лишь возвращает в атмосферу Земли кислород, потраченный на реакцию нейтрализации атомарного водорода. Эта

модель позволяет оценить количество молекулярного кислорода, которое пополняет ежегодно атмосферу Земли за счет действия механохимической диссоциации воды в гидросфере. Оно составляет $1.2*10^{11}$ моль/год. Для сравнения, общая масса O_2, пополняющего ежегодно атмосферу Земли за счет фотолиза паров воды в атмосфере равна $2*10^{10}$ моль/год.

Считается, что количество O_2 в атмосфере равно $4*10^{19}$ моль. В таком случае механохимическое разложение жидкой воды должно обеспечивает полное обновление (или создание заново) кислородной атмосферы Земли примерно за $3*10^8$ лет (если не учитывать «стока» кислорода в природе за счет процессов выветривания), т. е. за срок более чем в 10 раз меньший по сравнению с возрастом Земли. Для сравнения, фотолитический процесс образования кислородной атмосферы Земли требует $2*10^9$ лет, т. е. временного периода, сравнимого с возрастом нашей планеты ($4*10^9$ лет). Кроме того, уместно отметить, что гипотеза о фотолизе воды, как изначальном механизме появления свободного кислорода, вообще вряд ли состоятельна, т. к. при фотолизе процесс диссоциации воды имеет неустранимую отрицательную обратную связь, а именно, даже небольшое количество фотолитического кислорода, превратившись под действием того же УФ-излучения в озон, останавливает эту реакцию. Озон полностью поглощает излучение, необходимое для фотолиза воды.

Таким образом, сценарий возникновения кислородной атмосферы нашей планеты, весьма вероятно, связан с появлением на поверхности Земли воды и согласуется с известными представлениями В.И.Вернадского, который полагал существование и поддержание кислородной атмосферы Земли почти столь же древним феноменом, как и образование окисленной оболочки Земли.

Обсуждаемый механизм механохимического разложения воды согласуется и с гипотезой изначально гидридной Земли, сформулированной Владимиром Николаевичем Лариным. В соответствии с ней известный непрерывный поток водорода из недр Земли является транспортом и для кислорода. Кислород, в свою очередь, принимал участие в создании окисленной внешней оболочки Земли, в том числе вод океана. В соответствии с нашими представлениями после того, как образовавшаяся окисленная оболочка Земли достигла некоторой определенной толщины, образование и поддержание кислородной атмосферы происходило за счет механохимического разложения жидкой воды. Оценки действия механохимического механизма радикальной диссоциации воды показывают важность, а возможно, и единственность **(!)** этого механизма в создании первичной кислородной атмосферы Земли и в регулировании её состояния в настоящее время. Образующийся на поверхности Земли «избыточный» кислород, в свою очередь, вновь связывается в различных реакциях. Прежде всего, он реагирует в верхних слоях атмосферы (в термосфере, т. е. выше 120 км), вновь образуя воду. Этот сток кислорода осуществляется благодаря существованию водородного потока из недр гидридной Земли. Кроме того, кислород участвует, по-видимому, в постепенном увеличении массы окисленной земной коры. Это происходит при погружении части внешних, обогащенных кислородом слоев земной коры, в зонах конвергенции в нижние слои оболочки Земли, а также при процессах выветривания недоокисленных горных пород и постоянно попадающего на Землю недоокисленного космического материала. Общее

количество кислорода в атмосфере лимитируется, очевидно, гравитационными свойствами Земли, её тепловым режимом и мощностью потока водорода из недр Земли.

Кроме того, в ходе радикальной диссоциации воды гидроксил-радикалы и атомарный водород вступают в реакции с азотом атмосферы, растворенным в воде, образуя NO_x и NH_y - главные источники азота аминокислот. Радикальная диссоциация воды приводит к гидрированию углеродистых, карбидных, карбоксидных веществ, имеющихся в природе, атомарным водородом с образованием формальдегида (при реакциях, подобных фотосинтезу, с растворенным в воде CO_2) и целой гаммы углеводородных продуктов. Например, известен механохимический процесс гидрирования углерода (графита) в присутствии воды (цитир. по [Воейков, 2003]).

Таким образом, вода является сложной самоорганизующейся системой, в которой присутствуют стабильные кластерные «полимерные» фрагменты, имеющие различную структуру и разное число молекул воды, входящих в их состав.

В воде также присутствует «неструктурированная» («свободная», «диффузная») вода, происходят постоянные переходы молекул воды из «свободного» в кластерированное состояние и наоборот, что позволяет считать воду динамической фрактальной системой. Состояние воды в каждый данный момент времени (степень её кластеризации) будет зависеть от различных физических, физико-химических и химических воздействий оказываемых на неё, а механохимические, свободнорадикальные химические реакции *кластерированной* воды играют определяющую роль в биологической эволюции.

Итак, вода – центральный персонаж во всех процессах, обеспечивающих жизнь любого организма.

Объединяя, отмеченное выше, в части механизмов самоорганизации на добиологическом (химическом) этапе эволюции систем и самоорганизации сред (прежде всего водных) протекания биохимических процессов, можно предложить следующее определение понятия «***живые системы***». **Это - «*диссипативные нелинейные фрактальные структуры воды, ограниченные диссипативными нелинейными фрактальными структурами липидов, взаимоуправляемые нуклеиновыми кислотами* (ДНК, реже РНК) *и продуктами их трансляции (одновременно, инструментами реализации управляющей функции генетической информации) – белками*».**

Нарушения нативной структурной организации воды, точнее соотношения различных структурных организаций и динамических характеристик может служить одной из основных причин возникновения самых разнообразных заболеваний. *Значит, предотвращение болезней или излечение уже заболевшего требует не менее внимательного отношения к водной основе организма, чем к состоянию его "твердых" молекул, ибо нормальная работа всех клеток, органов и тканей возможна только тогда, когда вода и "твердые" включения в ней функционируют согласованно.*

Важнейшим свойством воды является ее необычайно высокая чувствительность к различным физическим низкоэнергетическим воздействиям за счет наличия системы слабых водородных связей, способных пе-

рестраиваться под действием разнообразных внешних факторов, без больших затрат энергии. К настоящему времени проблема влияния факторов среды (физических, химических, психических), в том числе в области сверхмалых интенсивностей, на объекты живой и неживой природы привлекает всё возрастающее внимание [Бурлакова и др., 2003]. Это относится к *«негерастратической»* энергетике, медицине, радиоэкологии, химии и физике, биологии, сельскому хозяйству, психологии и др.

Известно влияние сверхслабых (сравнимых с геомагнитными) переменных магнитных полей (с частотами 0.01-200Гц) на свойства водных растворов, воды и льда, изменения которых сохраняются после обработки магнитным полем в течение нескольких часов, а также чувствительность человека к изменениям магнитных полей малой интенсивности [Киселев и др, 1990]. Акустические волны, распространяющиеся в морской воде в присутствии внешнего магнитного поля (естественного поля Земли или искусственного магнитного поля измерительного комплекса) индуцируют электрическое и магнитное поля такой же частоты, какую имеет акустическая волна [Алмазов, 2001].

Действие сверхмалых и малых возмущений физической природы на степень структурированности воды мы исследовали на примере таких факторов, как напряженность геомагнитного поля, природа и частотные характеристики электромагнитных (в световом диапазоне) и акустических колебаний.

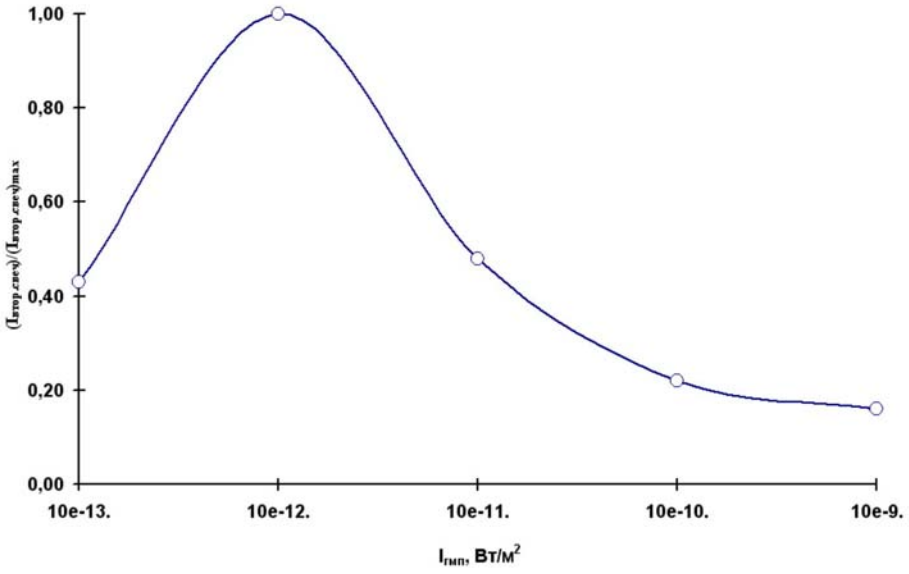


Рис. 48. Зависимость интенсивности вторичного свечения воды от интенсивности геомагнитного поля

Из данных, приведённых на рис.48, видно, что максимальные значения степени структурированности воды наблюдаются при напряженности геомагнитного поля (ГМП) порядка 10^{-12} Вт/м^2, что соответствует уровню слабых геомагнитных возмущений, тогда как в остальном диапазоне значений интенсивностей ГМП наблюдается увеличение доли диффузной воды. Данный факт имеет большое физико-химическое значение, характеризуя воду как пространственную флуктуирующую диссипативную систему, находящуюся под управляющим воздействием внешних физических факторов.

Способность воды к омагничиванию была открыта ещё в 20-е годы XX века академиком Коанда (румынским физиком, работающим в США), но лишь в 80-е – 90-е годы XX века российским ученым, доктором технических наук

Ю.С. Потаповым были созданы энергетические установки с рабочим телом – водой, способные извлекать энергию из геомагнитного поля Земли при её прокачивании через контуры с различной напряженностью дополнительного искусственного магнитного поля. Эти автономные установки (КТЭС-1 ÷ КТЭС-5) могут генерировать тепловые мощности от 5 до 260 кВт и электрические мощности – от 4 до 800 кВт. Принцип действия генераторов Ю.С.Потапова можно объяснить на основе рис.48. Если мы прокачиваем воду по замкнутому контуру из области воздействия на неё магнитного поля с интенсивностью 10^{-10} или 10^{-13} Вт/м^2 в область магнитного поля с интенсивностью 10^{-12} Вт/м^2, то степень структурирования воды возрастает, в её структурах образуется большое количество новых водородных связей, выделяющаяся энергия через теплообменник может передаваться на другой контур генератора тепла либо затрачиваться на работу электрического генератора. При попадании соответствующего объема воды вновь в область действия магнитного поля с интенсивностью 10^{-10} или 10^{-13} Вт/м^2 часть водородных связей вновь разрывается за счёт поглощения энергии внешнего магнитного поля. Таким образом, при циркуляции воды по данному контуру и происходит извлечение энергии из внешнего магнитного поля с трансформацией её либо в тепловую, либо в электрическую энергию.

Вода и напрямую может быть источником электрической энергии не только в технических генераторах, но и для живых организмов [Воейков, 2008; Стехин, 2008]. Так согласно утверждению В.Л. Воейкова «Дыхание воды – основа живого состояния и жизненных функций».

Согласно 1-ому принципу устойчивого неравновесия Э.С.Бауэра, на котором построена его общая теория живой материи «Все и только живые системы никогда не бывают в равновесии и постоянно выполняют за счёт своей свободной энергии работу против равновесия, требуемого законами физики и химии при существующих внешних условиях». Уже отмечалось, что во всех известных живых системах вода абсолютно доминирует по молярному содержанию, а у некоторых гидробионтов её содержание выше, чем просто в морской воде (97%), например у медуз достигает 99,9%. Особое структурно-функциональное «живой воды» обеспечивается её взаимодействием с биополимерными структурами, на что давно указывали Д.А.Насонов, А.С.Трошин, Г.Линг, А.Сцент-Дьёрди.

В начале XXI века Дж.Поллак обнаружил, что у гидрофильных поверхностей формируются толстые (*700-800 слоев; десятки и сотни микрон*) оболочки пограничной, поляризованной воды. Её свойства настолько отличны от свойств объемной воды (по вязкости, плотности, температуре замерзания), что пограничная вода должна считаться особой агрегатной фазой жидкой воды. Одна из важнейших её особенностей – подвижное (возбужденное) состояние в ней электронов, благодаря чему она обладает электронно-донорными свойствами

Её поверхность отрицательно заряжена по сравнению с объёмной водой - $\Delta \approx 0{,}15$в ($\lambda_{\text{поглощения}}$ = 270 нМ). Такая вода может выступать в роли эффективного восстановителя при наличии адекватного акцептора электронов, например, растворённого кислорода (46 и 46’):

$$O_2 + 4e + 4H^+ \rightarrow 2H_2O + 8\ ev\ (h\nu) \qquad (46)$$
$$\text{или } 4O_2 + 4e + 4H^+ \rightarrow 2H_2O + 3O_2 + 8ev\ (h\nu) \qquad (46')$$

Т.е., вода - источник свободных электронов, а окислительно-восстановительный процесс между водой поверхностной и объемной может служить источником свободной энергии для выполнения той или иной полезной работы.

Так как электрон (*e-)* в пограничной воде возбужден, по сравнению с водой объёмной, то процесс получения энергии из разности потенциалов между объемной и поверхностной водой можно представить следующим образом (47):

$$2H_20^*_{\text{пограничная}} \rightarrow 4e\text{-} \rightarrow \text{на } O_2 \rightarrow \text{АФК} \rightarrow 2H_20 + \text{энергия} \qquad (47)$$
$$\downarrow$$
$$4H^+$$
$$2H_20^*_{\text{пограничная}} + O_2 \rightarrow O_2 + 2H_20_{\text{объёмная}} + \text{структурная энергия} \qquad (47')$$
(например, n $h\nu$; *Polak, 2001-2004 г)*

Т.е., за счёт распада части структурированной пограничной воды, которая вновь образуется, по-видимому, за счёт энергии гравитации и геомагнитного поля Земли. Часть полученной свободной энергии может направляться на активацию, присутствующих в объемной воде молекул CO_2, N_2 и других, а также на инициацию реакций, в которых образуются органические молекулы и полимеры, формирующие новые домены пограничной воды.

Таким образом, данная водная система и протекающие в ней процессы отвечают всем трём принципам теоретической биологии Бауэра – принципу устойчивого неравновесия, работы системных сил и увеличения внешней работы, из которых следуют все известные жизненные проявления, включая способность живых систем реагировать на факторы сверхнизкой интенсивности. Тогда те водные системы, в которых одновременно присутствуют водная фаза в возбужденном и в основном состояниях (т.е. пограничная и объёмная вода), кислород и включения над которыми может совершаться работа, отвечают критерию живого состояния по Бауэру. Условием для функционирования такой системы является наличие внешней энергии для поддержания воды в жидком состоянии, а не в состоянии льда, и не её избыток, превращающий всю воду в газ. Это же условие необходимо и для спонтанного возникновения и существования живых систем во всех известным нам на Земле формах.

Следует обратить внимание и на образование в уравнении (47) активных форм кислорода (АФК), включая перекись и набор свободных радикалов на основе кислорода (R*) [Ягужинский и др., 2008]. Причём АФК выступают не как токсичные продукты свободнорадикальных процессов, а как **управляющие параметры в биосистемах.** По-видимому, это произошло ещё на самых ранних этапах биологической эволюции возможно даже на абиогенном её этапе, т.к. этот процесс являлся не только эволюционно первичным источником энергии (см. реакция 46 и 46'), но благодаря тому, что скорости свободно радикальных реакций ($V_{\text{свободнорадикальных реакций}}$) близки к скоростям ферментативных реакций ($V_{\text{ферментативных реакций}}$). А так как время жизни кислородсодержащих свободных радикалов обратно пропорционально скорости потребления кислорода, то, по-

видимому, этот временной параметр является одним из определяющих масштаб биологического времени для различных биосистем.

Причём реакция образования активных форм кислорода в воде при действии внешних факторов (кавитации, лазерного облучения, геомагнитного поля и т.д.) становится автоколебательной (аналог известной автоколебательной реакции Белоусова-Жаботинского - РБЖ), т.е. самоорганизующейся, т.к. протекает в открытой системе, является сильно нелинейной и содержит нелинейные стадии (стадии размножения АФК). Примером может быть Реакция Брускова (48) или реакция, схема которой приведена на рис.49.

$$2O_2 \xrightarrow{\text{КАВИТАЦИЯ}} 2O_2^* \qquad (48)$$

$2O_2^* + 2OH^-_{(\text{из воды})} \rightarrow 2^*O_2^- + 2^*OH \rightarrow H_2O_2$, далее разложение перекиси и т.д.

Экспериментально показано, что люминесценция при лазерном облучении воды в течение 2 минут, генерирует её свечение в режиме периодических и апериодических колебаний в течение более 6 часов. Внешние по отношению к биологическим системам АФК, генерируемые в воде при действии физических управляющих параметров среды выступают и как регуляторы управляющих гормональных систем, например гипоталамуса, и как ритмоводители процессов старения, мутагенеза (в том числе и канцерогенеза). Например, реакция (49)

$$\text{Гуанин}_{\text{ДНК}} \xrightarrow{\text{Тепло + АФК в воде}} \text{8-оксогуанин} \qquad (49)$$

Причём, если рассматривать не чистую воду, а основные природные водные среды, в которых зарождалась и существует жизнь – например, морскую воду (ее аналогом в животных организмах – можно рассматривать кровь), содержащую в первую очередь два вида солей: NaCl и $NaHCO_3$, то следует отметить, что они дают неаддитивный эффект по продукции АФК (супероксидрадикалам, H_2O_2, гидроксильным свободным радикалам) в морской воде, особенно при тепловом воздействии (50):

$$2O_2^{\#} + 2OH^-_{\text{из воды}} \rightarrow 2^*O_2^- + 2^*OH \rightarrow H_2O_2 \qquad (50)$$

(Одно из возможных объяснений этого феномена будет приведено ниже на рис. 58).

Влияние поляризованного светового излучения (400÷730 нм) на воду и 0,0005% водно-спиртовую смесь (эндогенная концентрация этанола в крови человека) показало, что разные диапазоны длин электромагнитных волн (в световом диапазоне) оказывают различное влияние на степень структурированности воды и водно-спиртовых растворов (рис.50).

В частности, влияние диапазона длин волн 605-730нм (красный) и 500-560нм (желтый) приводит к повышению структурированности воды и снижению структурированности водно-спиртовых кластеров, способствуя выходу молекул воды из водно-спиртовых кластеров, их разрушению.

Исследования влияния акустических воздействий различной частоты (25÷17700 Гц) на изменения структурированности водных и водно-спиртовых

смесей (0,0005% и 0,01%) также позволили выделить несколько акустических частот (100, 175, 2700, 3200 Гц), воздействие которых приводит к высвобождению воды из водно-спиртовых кластеров (рис. 51А и Б).

Два последние отмеченные факта могут иметь большое значение при создании новейших биофизических (световых и акустических) медицинских технологий в наркологии, обеспечивающих детоксикацию организма при алкогольной интоксикации и лечение алкогольных зависимостей.

Интересные результаты по влиянию акустических воздействий на надмолекулярную структуру воды получены японским исследователем Э.Масару [2005]. По его словам, «… в мире природы все прекрасно продумано и все находится в равновесии. Если звук рождается, то должен существовать тот главный слушатель, для которого этот звук предназначен, и слушатель этот – вода. Вода настолько чувствительна к уникальным частотам, испускаемым всем, что только существует в мире, что фактически вода отражает весь этот внешний мир…». На рис. 52 представлены фотографии кристаллов воды, изменяющей свою структуру под влиянием музыкальных произведений разного жанра.

Исследованиями профессора В.В.Цетлина с сотрудниками [2008] в Институте медико-биологических проблем РАН показано, что кластерные структуры воды способны переструктурироваться (трансформироваться в другие диссипативные структуры) даже при изменениях гравитационного поля.

Многие исследователи отмечали невоспроизводимость различных химических и биохимических реакций в воде, что списывали на счёт ошибок аналитиков. Одним из первых подметивших закономерный характер таких расхождений и их связь с состоянием мирового пространства был Бортельс (1951 г.).

Наибольший вклад в эту область исследований внесли итальянец Дж.Пиккарди (1962), японец Таката (1951), российский биофизик С.Э.Шноль. А.Л. Чижевским было доказано, что в жизни человека и окружающей среды ведущую роль играют природные циклы и ритмы, связанные с цикличностью глобальных космических процессов. Особую роль в этом Чижевский придавал ВОДНОЙ СРЕДЕ ОРГАНИЗМА, замечая, что по чувствительности с водой не могут сравниться никакие известные техногенные приборы. Александр Леонидович отметил влияние активации ВОДЫ космическим электромагнитным излучением на скорость химических и биохимических реакций в ней.

В экспериментах В.В.Цетлина с соавторами измерялись электрические токи в электродном промежутке (в электрохимической ячейке) при непрерывном временном режиме (круглосуточный мониторинг). Такой режим позволил обнаружить суточные вариации тока. Их особенность – существенное различие величины и формы временной зависимости токов в период от заката до рассвета и в дневное время.

В ночное время токи достигали минимума ≈ в 4-6 часов утра местного времени, затем ток плавно возрастал, переходя в сектор дневной части суток. В весенне-летнее время зависимость тока имела два экстремума – в 10-11 часов и в 18-20 часов. В зимнее время имелся только один экстремум в 9-11 часов. Соотношение между max и min значениями токов варьировали в 1,5-2,5 раза. Картина токов испытывала флуктуации, вызванные, вероятно, не до конца выясненными космофизическими и гелиофизическими причинами (рис. 53).

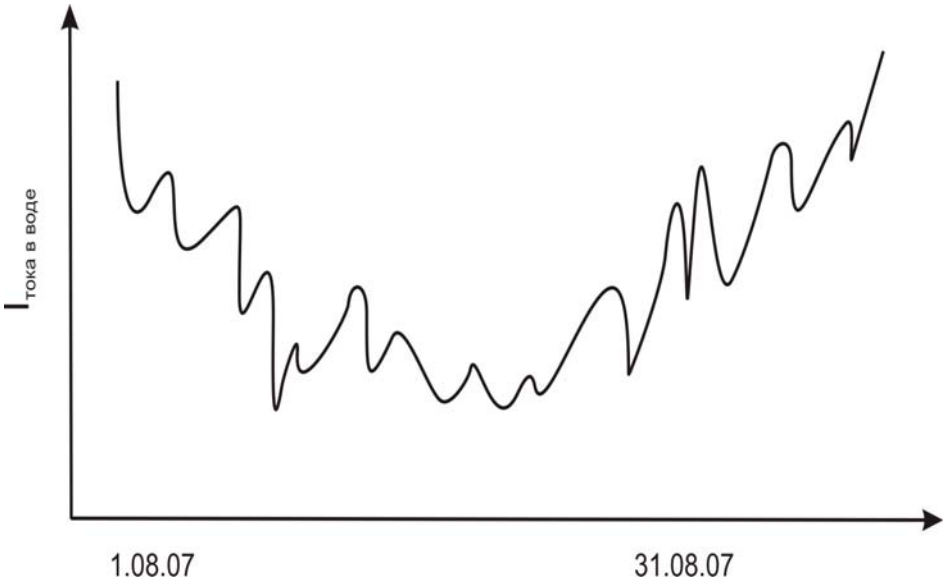


Рис.53. Схематическая динамика эффектов колебаний гравитационного поля Земли на физико-химические свойства воды [Цейтлин, 2008]

Причём было установлено, что основной агент такого действия на физико-химические свойства воды - флуктуации гравитации (различные ритмы, вплоть до часовых, причина которых вериальные колебания движения материковых плит). Максимальные амплитуды колебаний соответствовали приближениям землетрясений (предложен метод прогнозирования землетрясений). Предположено, что в этом заключается причина высокой чувствительности метеопатов и к гравитационным колебаниям. Солнечные затмения также приводили к увеличению амплитуды колебаний.

Объяснение обнаруженным феноменам изменений картины токов в водных ячейках было дано на основании водной модели, заключающейся в активации водных супрахимических систем, обусловленной поглощением электромагнитного и гравитационного излучения окружающего пространства (ограниченного поверхностью Земли и ионосферы), мощность которого сопоставима с мощностью энерговыделения ионизирующего излучения в сверхмалых дозах. Вообще КОСМОС – источник сверхмалых доз! Например, минимум солнечной активности соответствует максимуму роста микроорганизмов при разнице около 4 порядков (рис. 54).

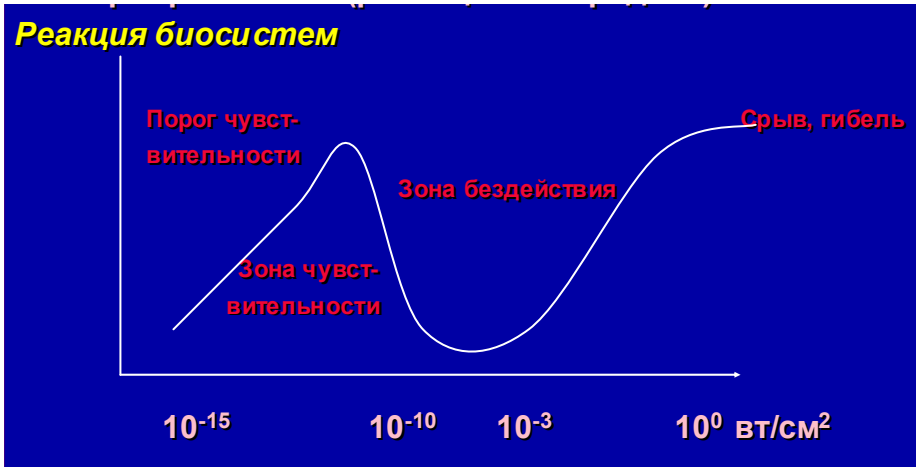


Рис.54. Реакции биосистем на примере некоторых штаммов микроорганизмов на изменения интенсивности солнечной активности.

Интереснейшие результаты изучения сверхтонкой структуры воды были получены С.М.Першиным в работах, проведенных в США и России. Было показано, что молекула воды может находиться в двух спиновых состояниях, обусловленных направлениями вращения атомов водорода (рис. 55). Причём оказалось, что в газовой фазе соотношение [орто-вода] / [пара-вод] составляет 3:1. В жидкой воде больше пара-воды. Белок, ДНК связывают только пара-воду, а денатурация снимает все различия. Причина этого, по-видимому, в том, что орто-вода являясь более возбужденной молекулой, претерпевает более интенсивное вращение.

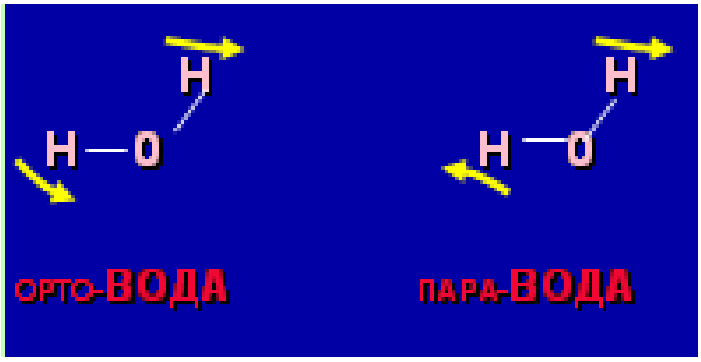


Рис.55. Структуры сверхтонких спиновых состояний орто- и пара-воды

Следует подчеркнуть, что внутри всех этих водных кластеров, организованных на различных структурных уровнях (октаэдра, додекаэдра, гигантского икосаэдра и т.д.) есть полости, в которые могут входить отдельные ионы, молекулы растворенных газов, различных органических соединений и т.д. Особенно хорошо это видно на рис.45. Причём химические включения (как и вышеотмеченные физические воздействия) немного перестраивают структуру кластеров воды за счёт перераспределения системы водородных связей. Энергии перехода в эти новые состояния водных кластеров не высоки (они могут составлять энергии 2-3 водородных связей). Такой энергией могут обладать даже химические вещества в низких и сверхнизких концентрациях, слабые электромагнитные или акустические колебания и т.д.). Но за счёт эффекта ***кооперативности в системе водородных связей*** уменьшение свободной энергии водных кластеров в измененном состоянии могут составлять достаточно большие величины, поэтому, те воздействия, которые обладают энергией достаточной для трансформаций кластеров воды при таких переходах «запоминаются», особенно при невысоких температурах в диапазоне +4 ÷ +16^{o}C, при которых энергии диффузии не хватает для быстрого разрушения измененной кластерной структуры воды.

Механизм таких перестроек водных кластеров можно сравнить с известным в синергетике механизмом самоорганизации путём перехода «хаоса» в состояние новой диссипативной структуры, благодаря тому, что определенные флуктуации (например, измененные структуры кластеров воды) в режимах с обострением», вблизи точек «бифуркации» получают преимущество и кооперативным образом перестраивают весь «хаос» («шум») по своему образу и подобию [Чернавский, 2004; Князева, Курдюмов, 2005]. **В виде таких кластерных перестроек вода «запоминает» оказываемые на её структуру воздействия**. Т.е. длительность и сложность динамики переходных процессов позволяют рассматривать *воду и водные растворы как*

неравновесные системы, способные к самоорганизации и, вследствие этого, чувствительные к слабым физическим воздействиям самой различной природы.

И это открывает путь к пониманию как целого ряда, совершенно невероятных со стандартной точки зрения явлений, связанных со свойствами воды (о них мы будем говорить чуть позже), так и механизмов формирования измененных состояний биосистем, имеющих большое значение, в том числе, и в медицине!

При внесении в воду ионов, перестроенную вокруг иона кластерную структуру воды можно разделить на три слоя (рис. 56). В первом, внутреннем слое молекулы воды прочно взаимно ориентированны на поверхности иона (первичная гидратная оболочка), так что структура кластера существенно более упорядочена, чем в самой воде. В следующем слое (вторичная гидратная оболочка) ион разрывает связи между отдельными молекулами воды, и правильная структура разрушается. Во внешнем слое структура «связанной» воды постепенно переходит структуру «свободной» воды.

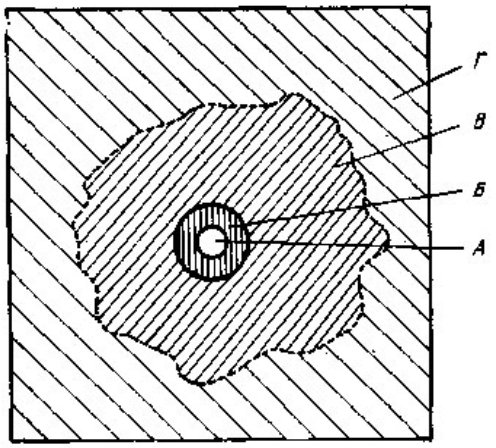


Рис. 56. Схематическое изображение гидратационных сфер иона.

А – ион; Б – первичная гидратационная оболочка;

В – вторичная гидратационная оболочка (вода с нарушенной структурой);

Г – вода с ненарушенной структурой.

Наши исследования степени структурированности истинных водных растворов неорганических солей по параметру $I_{втор.свеч}$ показали, что она определяется абсолютной концентрацией ионов в растворе, с учетом изменений степени диссоциации солей в диапазоне концентраций $10^{-4} \div 10^{-1}$М, квадратом заряда ионов (Z) и квадратным корнем из их радиуса (R) (рис. 57), т.е. параметрами, характеризующими гидратные оболочки, образующиеся вокруг ионов и описывается эмпирическим уравнением (51):

$$I_{втор.свеч} = k_* \left[C_{катион} * Z^2_{катион} * (R_{катион})^{1/2} + C_{анион} * Z^2_{анион} * (R_{анион})^{1/2}\right] \qquad (51)$$

Более того, проведенный расчёт показал, что в образование первых двух слоёв гидратной оболочки воды даже таких маленьких по размерам однозарядных ионов как Na^+ или K^+ в их разбавленных растворах может вовлекаться до 300-500 тысяч молекул воды.

То, что степень структурированности воды в её растворах и смесях, нелинейно зависит от концентрации растворенных в ней веществ, определяет многие необычные физико-химические и биологические их свойства. Например, нами выявлено, что изменение концентрации NaCl в диапазоне его высоких

биогенных концентраций - 0,3÷3,8% также вызывает нелинейное изменение степени структурированности воды (рис. 58).

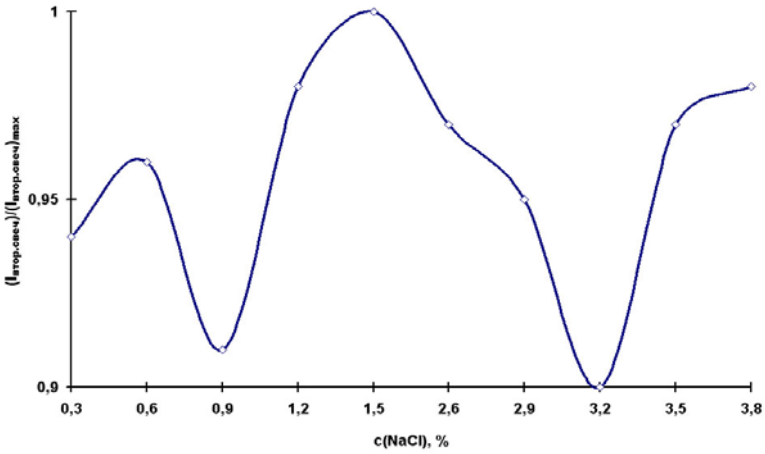


Рис. 58. Зависимость $I_{втор.свеч}$ растворов NaCl от концентрации соли.

Нормирование проведено по отношению к максимальному значению $I_{втор.\ свеч}$

Причем при значениях, близких к физиологической концентрации электролитов в крови (0,9% NaCl) и к средней минерализации мирового океана (3,2%), наблюдается снижение степени структурированности воды в растворах, т.е. повышение доли свободной воды, не вовлеченной в гидратные оболочки ионов. Наличие этих экстремумов, по-видимому, имеет глубокий биологический смысл, отражающий роль изменений степени структурированности воды, как внутриорганизменной, так и воды внешней среды, в процессах организации и жизнедеятельности живых систем.

О роли процессов самоорганизации в липидных средах во внутри- и межклеточных регуляторных процессах, в механизмах действия сверхмалых концентраций веществ на биообъекты будет сказано в следующем параграфе.

Новейшая информация об эффектах структурированной воды на физическом, физико-химическом и биологическом уровнях содержится в монографии сотрудников Института экологии человека и гигиены окружающей среды РАМН «Структурированная вода: нелинейные эффекты» [Стехин, Яковлева, 2008]. Приведём только названия основных глав:

- «Исследование кооперативного поведения структурированной воды во внешней среде», включая вопросы «коллективные эффекты самоорганизации воды под действием внешних факторов», Динамические состояния электронов в коллективных структурах ассоциированной воды», «физическая сущность активации жидкофазных систем».

- «Исследование процессов самоорганизации ассоциированных состояний воды в открытой, динамически изменяющейся среде», включая вопросы «анализ поведения ассоциированной воды под действием внешних физических полей», «динамические состояния активных «клеточных» структур жидкости в вихревых электромагнитных полях», влияние вторичных полеиндуцированных коллективных эффектов на процессы активации среды», «физические основы электромагнитной активации сред и потоков», «изменения термодинамических и физико-химических свойств **объемной и ассоциированной** воды в процессах её активации», «оценка структурированности воды криофизическим капиллярным методом».

- «Динамические изменения и когерентные эффекты взаимодействия структурированной воды под действием электрофизических факторов внешней среды»

включая вопросы «роль геомагнитного поля Земли в биосферных процессах», «когерентные состояния воды во внешних взаимодействиях», «взаимодействие надмолекулярных структур жидкости и микроорганизмов в локальном геомагнитном поле», «**квантовые эффекты взаимодействия микроорганизмов во внешней среде**», «исследование физико-химических процессов самоиндукции активных форм кислорода в слабоминерализованных водных растворах металлов переменной валентности», «**изменение равновесных состояний воды под влиянием вариаций естественного геомагнитного поля**», «резонансные электромагнитные свойства протиевой воды и динамические изменения концентрации активных форм кислорода в ней», «исследование зарядовой и спиновой динамики, индуцируемой аппаратом «Гравито» на основе вихревого движения жидкости».

- «Оценка влияния зарядовых и структурных изменений в воде на организмы, включая вопросы «исследование биологического действия внешних локальеых полей, физически активированных и протиевых вод на растительные тест-объекты», «действие активированных вод на микроорганизмы», «оценка влияния изменения изотопного состава воды и биологической активности активированных вод на гидробионты», «**механизмы электронного регулирования начальных стадий клеточного метаболизма**» и «использование активированной воды для восстановления электронного баланса в биологических системах».

Одним из практических выводов применения модели нелинейно динамических процессов в жидкофазных структурированных средах на примере воды является вывод о том, что в соответствующих природных системах имеется огромный запас потенциальной тепловой энергии и для запуска процессов её преобразования достаточно создать только некие критические условия (перевести систему, содержащую структурированную воду атмосферы, гидросферы в состояние динамического хаоса). В природных системах такие критические условия возникают при температурах, близких к точкам фазовых переходов полиморфных льдов (при положительных температурах – это льды VI и VII типов структур), из которых состоит метастабильная фаза воды – так называемая структурированная вода. Основными температурными точками, при которых возникают фазовые неустойчивости и которые соответствуют критическим условиям формирования опасных природных процессов являются +26,8^{o}C; +0,4; -20 и -41^{o}C. Точке +26,8^{o}C соответствуют условия образования тропических циклонов. Точке +0,4 и -20^{o}C – критические точки грозообразования в тропиках и средних широтах; -41^{o}C – точка фронтогенеза. Эта модель уже очень эффективно используется в климатологии, гидрометереологии и в целях разработки технологий управления погодой!

На данные критические температурные точки приходятся и основные техногенные катастрофы, особенно в авиации и горнодобывающей промышленности.

Биосферная роль процессов нелинейной трансформации рассеянных видов энергии огромна. Она заключается не только в авторегулировании биосферы и, в частности, регулировании температурных диапазонов необходимых для поддержания условий существования всего живого на Земле, но и, главным образом, в том, что сверхтекучее состояние среды, в первую очередь, воды, является необходимым условием поддержания когерентности и негэтропийного со-

стояния в организмах. Регулирующая роль сверхтекучего состояния электронов в биосфере Земли (**благодаря структурированию воды!**) проявляется посредством нелокальных во времени и пространстве изменений состояния геосферы и живых организмов, когда бифуркационные переходы растягиваются во времени и сглаживаются в распределенных состояниях волновых пакетов электронов, **обобщенных благодаря образованию нелинейно структурированной воды**!

Именно в свойствах нелокальности многих геосферных процессов заключается одна из основных причин противоречивости их интерпретации. Так достоверно известно и практически используются геофизические и биологические предвестники землетрясения и цунами. Например, за сутки до прихода цунами в Юго-Восточной Азии в декабре 2005 года все животные покинули прибрежные районы. Известно также, что **за 12 часов до Чернобыльской катастрофы многие жители наблюдали светящийся плазменный столб над 4-м энергоблоком**. Подобных примеров масса. Их объединяет общее свойство – данные «предвестники» связаны не с «подготовкой» опасного природного (или техногенного) явления, а являются **нелокальными во времени откликами самого явления.** Это является ярким примером тезиса И.Пригожина, С.П.Курдюмова, Е.Н.Князевой «… ***в самоорганизующихся системах будущее временит настоящее*** …»)!

Тезис о регулирующей роли сверхтекучих электронов в биосфере Земли и живых организмах (благодаря **структурированию воды!)** имеет и ещё одно важное следствие. Нарушение нормальных геофизических условий, прежде всего концентрации сверхтекучих электронов в геосфере Земли, влечет за собой катастрофические изменения. Последние 30 лет в истории человечества, освоившего новейшие «электрические и электронные» технологии, указывают на возрастание опасных природных процессов и **изменение климата.** Конечно, вклад парниковых газов, точнее функционирования карбонатно-метановой химической самоорганизующейся системы глобального климата в открытой, сильно неравновесной и нелинейной системе «Мировой океан-атмосфера-литосфера» (об этом подробнее в параграфе 4.5.), безусловно, имеет место. Но необходимо также понимать, что основная причина деградации биосферы Земли и всего живого на Земле связана с изменением нормального состояния геомагнитного поля Земли, целиком определяемого сверхтекучей компонентой геосферы планеты. Освоенные промышленностью и энергетикой «электростатические машины» являются более значимым фактором для процессов диссипирования геомагнитной энергии, чем даже парниковые газы.

Более того, в настоящее время освоены электрические технологии регулирования метеопроцессов с потребляемой мощностью не более нескольких киловатт (**сверхслабые воздействия в точках бифуркации климатической системы!!!**), которые могут формировать в геосфере Земли гигантские атмосферные вихри, изменять океанические течения и температуру воды океанических течений в высоких широтах формировать длительные засухи и обильные выпадения осадков. Неконтролируемое использование данных технологий грозит глобальными непредсказуемыми последствиями, в том числе истощением атмосферы Земли, испарением воды в тропиках, наступлением пустынь, рас-

ширением континентов, инициирующих цепи катаклизмов и др. Это, к сожелению, не фантазии, а реальные факты. Важно понять, что за многими опасными природными явлениями кроется не только неконтролируемое воздействие техносферы на геомагнитное поле Земли и глобальную систему структурированной воды, но и целенаправленная деятельность отдельных групп людей, изучивших основы процессов самоорганизации в данных природных системах!!!

Особая роль отводится **изменению состояния сверхтекучих электронов в воде,** которые обеспечивают поддержание когерентности и негэнтропии в организме. Возможность управления данными состояниями позволяет осуществлять **разработку методов регулирования и поддержания метаболических процессов в организме, как в профилактических, так и в лечебных целях**, не только при постоянном или дозированном потреблении зарядово- и структурно-измененной воды, но и при помощи новейших биофизических технологий, позволяющих изменять (нормализовать при патологиях) нелинейные динамические процессы переструктурирования воды в самом организме, в том числе в структурах центральной нервной системы, в синапсах (об этом подробнее в главе 7).

Кроме медицинских целей, регулирование состояния сверхтекучих электронов воды (состояния структурированности воды) может быть использовано при изготовлении строительных материалов (бетоны, асфальтовые покрытия, полимерные и аморфные материалы и т.д.), а также для восстановления энергетического состояния геосферы в домах повышенной этажности, что позволит снизить риск заболевания людей.

При этом надо понимать, что исследования когерентных состояний воды, как матрицы жизни, находятся в начальной стадии и необходима разработка методологической базы для оценки **электрических, магнитных и электромагнитных параметров структур когерентной воды, имеющей наноразмерные величины.** Кроме того, необходимо разрабатывать технологии управления полевым состоянием макроскопических квантовых систем. Сложность решения данных проблем заключается в динамической изменчивости квантовых состояний ассоциированной воды, связанной, как уже отмечалось, с высокой чувствительностью закрепленных на ней электромагнитных вихрей к внешним воздействиям.

Успешное решение проблем управления квантовыми состояниями наносистем когерентной воды позволит совершить весьма значительный рывок не только в сфере малозатратных технологий, но и существенно продвинуться в решении проблем безопасности жизни, нелекарственных способов борьбы с болезнями цивилизации, продления активной жизни человека.

4.4. Синергетические механизмы действия сверхмалых концентраций веществ и доз излучений. *Критерии, необычные эффекты действия сверхмалых доз физических и химических факторов среды на самоорганизующиеся системы. Примеры в химии, биохимии, биотехнологии, физиологии и медицине.*

Новые представления о структуре воды позволяют объяснить целый ряд феноменальных явлений, в первую очередь эффекты сверхмалых концентраций химических веществ и доз физических раздражителей на биологические системы [Бурлакова, 2003].

В середине 80-х годов XX века французский иммунолог Жак Бенвинисте изучал влияние антииммуноглобулинов Е (анти-IgE) на процессы дегрануляции базофилов крови [Benveniste et a, 1988]. Стандартные представления о механизмах действия белковой иммунорегуляторной молекулы на клетку заключаются в том, что она, соединяясь со специфическим рецептором на клеточной поверхности, включает одну из цепочек событий, представленных на рис. 40. Это приводит к соответствующей физиологической реакции клеток. Соответственно, чем больше концентрация таких белковых регуляторов, тем выше скорость этих реакций. Чем ниже их концентрация, тем меньше базофилов будет реагировать. Однако, по каким-то причинам сотрудники лаборатории Бенвинисте допустили использование концентраций анти-IgE ниже тех, которые вообще могли бы вызвать какой-либо эффект, но эффект они продолжали наблюдать.

Они брали растворы белковых молекул анти-IgE и разводили их вплоть до концентраций ниже числа Авогадро (до $10^{-30} \div 10^{-40}$ М), что означало содержание одной молекулы анти-IgE в объеме $1{,}67*10^{6} \div 1{,}67*10^{16}$ л воды. Т.е. в пробирке с клетками белкового регулятора анти-IgE практически не было, а дегрануляция базофилов происходила как показано на рис. 59.

График на рис. 59 составлен по многим точкам, и видно, что по мере увеличения разведений эффект то возникает, то пропадает в то время как в среде, содержащей базофилы, уже никаких следов исходных молекул анти-IgE нет. *За это открытие, которое было опубликовано в журнале Nature, Бенвинисте шельмовали в течение 15 лет: он был отлучен от занятий наукой в ведущих биологических и медицинских учреждениях Франции, где он работал и даже номинировался на Нобелевскую премию до того, как ему «страшно не повезло», и он сделал это открытие. И только в начале XXI в. результаты и самого автора стали признавать.*

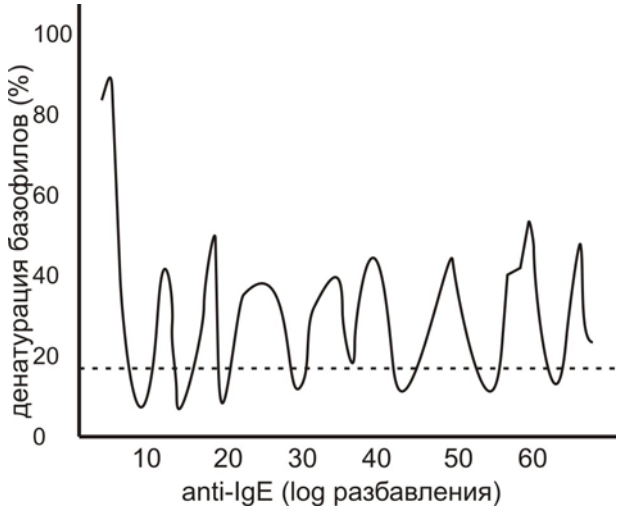


Рис. 59. Дегрануляция базофилов в ответ на добавление к ним последовательных десятичных разведений анти-IgE антисыворотки (по Ж. Бенвенисте).

В последние годы очень много говорят о наномире и нанотехнологиях. То, что сегодня понимается под нанотехнологиями – это перестановки атомов и

молекул в структурах твёрдого тела, приводящие к появлению совершенно новых свойств материалов и технических систем.

А что в отношении нанотехнологий в области физики и химии жидких или жидко-кристаллических сред? Неопровержима истина: *наномир с его необычными свойствами существует и в жидких средах.* Межмолекулярные структуры существуют и в этом мире, но в отличие из твердого тела они флуктуируют с очень высокими скоростями, т.к. молекулы связаны между собой слабыми взаимодействиями к которым относятся, в частности, водородные связи и гидрофобные взаимодействия.. Например, как уже отмечалось, время жизни надмолекулярных структур в чистой воде составляет 10^{-7}–10^{-11}сек. Скорость перемещения отдельных молекул липидов в двойном липидном слое клеточных мембран составляет около 10^6 перескоков/сек. Однако, введение в жидкие среды молекул БАВ на порядки увеличивает время жизни этих самоорганизующихся диссипативных кластерных структур- билипидных слоев.

Поэтому, если для твердых тел понятие «наномир» относится к размерам долгоживущих структур, то в жидкостях критериями наномира, по-видимому, следует считать **сверхнизкие концентрации БАВ либо низкоинтенсивных физических факторов**, влияющих на время жизни надмолекулярных структур и детали их объёмных конформаций.

А поскольку живые организмы, клетки, межклеточные жидкости как раз представляют собой жидкие либо жидко-кристаллические среды, то действие сверхнизких концентраций БАВ или низкоинтенсивных физических факторов можно рассматривать **как наноэффекты и бионанотехнологии.**

Многие закономерности и эффекты действия сверхнизких концентраций БАВ либо низкоинтенсивных физических факторов на живые организмы хорошо объясняются законами самоорганизации (синергетики) в наномире.

Ещё в 80-ые и 90-ые годы XX века целым рядом исследователей, в первую очередь коллективом авторов под руководством Е.Б. Бурлаковой [Бурлакова, 2003] в Институте химической физики АН СССР (позднее – Институт биохимической физики РАН) была разработана теория «*действия сверхмалых доз биологически активных веществ и низкоинтенсивных физических факторов на биологические объекты*».

Многие положения этой теории нашли и продолжают находить подтверждение не только в экспериментальной химической и биомедицинской науке, но и на практике – в окружающем нас мире тонких взаимодействий и рефлексий, их диагностике и, что особенно важно в физиологии и в практической медицине, а именно, в новых подходах к управлению процессами и состояниями здорового или больного организма [Эпштейн, 2008].

Во-первых, что такое сверхмалые концентрации биоактивных веществ? Существуют ли пределы концентраций, определяющие биоактивность веществ и собственно их свойство биоактивности? Существуют ли взаимодействия (аддитивные, конкурентные, синергетические) при целенаправленных сочетаниях или случайных встречах БАВ в средах?

В рамках рассматриваемой нами теории *сверхмалые* - это концентрации меньше 10^{-13}-10^{-14} М. При этом, очевидно, на клетку приходится менее 1 молекулы БАВ, поэтому все известные модели и попытки объяснения механизмов

регуляторного влияния БАВ на системы клетки, основанные на понятиях взаимодействия БАВ с активным (аллостерическим) центром фермента или мембранным (цитоплазматическим) рецептором недействительны. Тем более, что при концентрациях ниже 10^{-15} М перестаёт работать *закон действующих масс* Вант-Гоффа и в определённой степени теряется смысл понятия «концентрация».

Во-вторых, Что такое сверхмалые дозы (СМД) физических факторов? Общей дефиниции СМД физических факторов пока не найдено. Вместе с тем, научный совет по атомной энергии при ООН рекомендует называть малыми дозами ионизирующего излучения дозы менее 200 мГр (20 рентген), а малыми мощностями доз – 1,5 мГр/мин и ниже. В радиобиологической литературе иногда встречается определение малых доз радиации как таких доз, начиная с которых происходит изменение знака эффекта на противоположный, например переход от ингибирования клеточного роста к стимулированию.

В обзоре Ю.Б.Кудряшова с соавторами (1999) особое внимание уделено анализу сведений о высокой чувствительности организма человека и животных к электромагнитным излучениям (ЭМИ) очень низких интенсивностей (в т.ч. радиации) (рис. 60). Результаты исследований биологических эффектов действия неионизирующих ЭМИ (ЭМИНИ) в диапазоне интенсивностей $10^{-14} \div 10^{4}$ Вт/м^2 рассмотрены с позиций «тепловых» и «нетепловых» механизмов. Например, для электромагнитных полей (ЭМП) отмечено существование большого – более 11 порядков – интервала доз физических воздействий, в котором величина биологического ответа практически не зависит от интенсивности поля [Кудряшов и др., 1999].

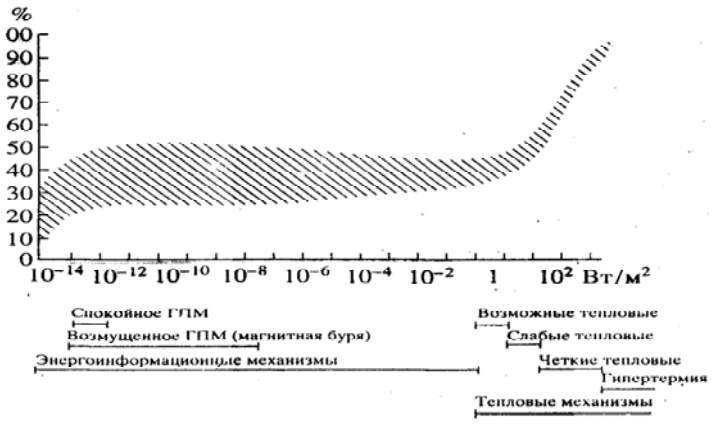


Рис.60. Характер зависимости среднестатистических биологических эффектов от интенсивности ЭМП. По оси абсцисс – плотность потока энергии Вт/м2; по оси ординат – величина биологических эффектов, %

Исследования Г.Ф.Плеханова позволили автору сформулировать следующую концепцию действия ЭМИНИ на биологические объекты: «Любые биологические системы организма в реальных условиях непрерывно изменяют свой функциональный уровень, величина которого является результирующей сложной суперпозиции различных динамических неравновесных процессов и случайных возмущений с различными законами распределения. Это приводит к разнонаправленному отклонению (вариации) величины реакций системы отно-

сительно среднего значения, т.е. к асимметрии… Влияние ЭМИНИ в зависимости от их характеристик заключается в дестабилизации изначально асимметрично направленных биологических процессов и сдвиге при этом всего уровня ответных реакций в сторону менее жесткой границы флюктуирующих параметров. Это приводит к тому, что в структуре ответной реакции биологического объекта на воздействие излучения среднестатистическое отклонение от контрольных значений чаще всего лежит в пределах от единиц до десятков процентов от максимума и редко превышает 50%» (Плеханов, 1990).

А.С.Пресманом (1997) сформулирована концепция «неспецифического действия» ЭМИНИ в диапазоне, в котором наблюдаемые биологические эффекты не связаны с энергетическими характеристиками излучений. Суть предполагаемого энергоинформационного механизма сформулирована следующим образом: «Поглощаемая системой энергия, существенно не повышая её общий уровень, **является одновременно носителем информации, действующей как сигнал, который вызывает ответную реакцию за счет собственных энергетических ресурсов системы.** При этом возможно суммирование низкоинтенсивных сигналов, приводящее к изменению регуляции и формированию зависящих от параметров ЭМИ ответных реакций».

В проявлениях влияния на клеточный метаболизм сверхмалые дозы БАВ и физические факторы низкой интенсивности обнаруживают много общих особенностей, которые касаются как формальных признаков (дозовые зависимости), так и показателей биологической активности! Природа этого феномена, по-видимому, связана с общностью критических мишеней, например *клеточных и субклеточных мембран или структурных флуктуаций надмолекулярных комплексов воды*, а также с особенностями кинетики реакций, в которых важнейшую роль играют слабые взаимодействия!

Следует также подчеркнуть, что уровень биологической организации, на котором проявляется действие сверхмалых доз (СМД) биологически активных веществ, также весьма разнообразен - от макромолекул, клеток, органов и тканей до животных, растительных организмов и даже популяций. Т.е., получение эффекта при действии вещества в концентрациях 10^{-13}- 10^{-17} М и ниже нельзя связать (и ограничить) с какой-то определенной структурой вещества или ступенью биологической организации. В то же время это не означает, что эффект наблюдается при сверхмалых дозах любого биологически активного вещества на любом биологическом объекте.

Основные положения теории «*действия сверхмалых доз биологически активных веществ и низкоинтенсивных физических факторов на биологические объекты*» и парадоксальные эффекты сверхмалых доз и концентраций сводятся к следующему.

1. Немонотонный полимодальный характер зависимости «доза-реакция» (для физических воздействий; рис. 61) или «концентрация-реакция» (для БАВ; рис. 62), усиление реакции (эффекта) с понижением интенсивности воздействия в определенных интервалах мощности (доз) или концентраций. В большинстве случаев максимумы активности наблюдаются в определенных интервалах доз, разделенных между собой так называемой - «мертвой зоной». Для большинства

веществ максимумы активности в диапазоне сверхмалых доз кратны концентрациям 10^{-9}М [Коновалов и др., 2008; Бурлакова и др., 2008].

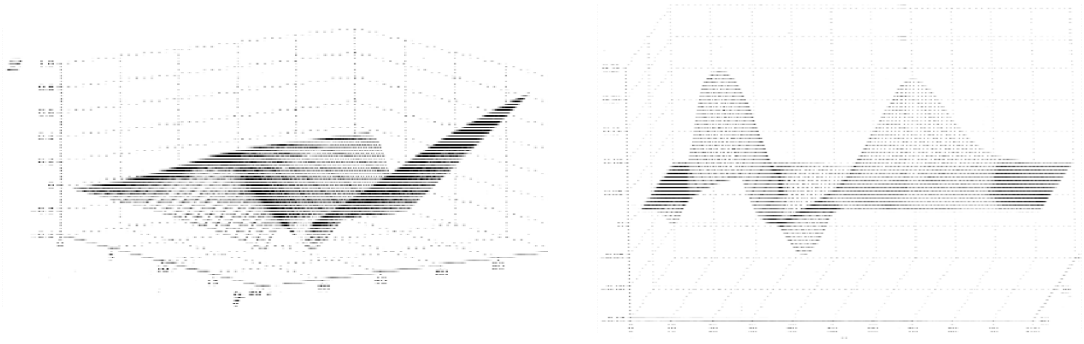


Рис. 61. Графическое изображение площади «доза – эффект» для разных значений параметров.

По оси x – значения параметров; по оси y – доза; по оси z – величина результирующего эффекта. Все параметры в усл. ед.

В 1983 г. сотрудники Института биохимической физики вместе с коллегами из Института психологии, изучая влияние антиоксидантов на электрическую активность изолированного нейрона виноградной улитки, получили весьма неожиданный результат. Первоначальная доза препарата (10^{-3}М) была не только активной для нейрона, но и довольно токсичной, поэтому пришлось перейти на менее концентрированный раствор. Доза на четыре порядка ниже первоначальной оказалась не только менее токсичной, но и более эффективной. Дальнейшее уменьшение концентрации привело к росту эффекта, он достигал максимума (при 10^{-15} М), затем снижался до уровня (при 10^{-17} М), практически совпадающего с контрольными результатами. Аналогичные закономерности впоследствии были зарегистрированы в экспериментах на животных при введении им холиномиметика ареколина.

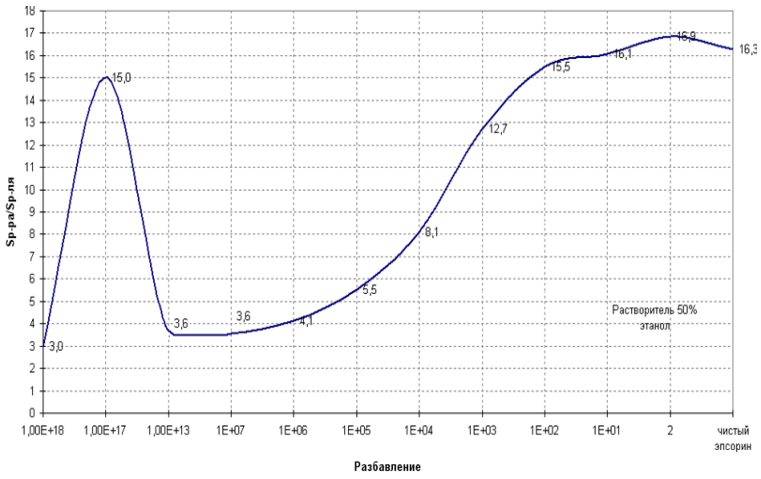


Рис.62. Зависимость площади свечения раствора БАВ от степени разбавления.

Ось абсцисс логарифмическая. Например, обозначение «1E+07» означает разбавление в 10^7 раз

По оси ординат отложено отношение площади кирлиановского свечения БАВ, разбавленного 50%-ным этанолом в соответствующее число раз по отношению к площади свечения растворителя (50%-ного этанола).

Обнаруженный эффект изучали при использовании широкого спектра воздействующих факторов: противоопухолевых и антиметастатических агентов, радиозащитных препаратов, ингибиторов и стимуляторов роста растений,

нейротропных препаратов разных классов, гормонов, адаптогенов, иммуномодуляторов, детоксикантов, антиоксидантов, а также физических факторов — ионизирующего и неионизирующего излучения. Уровень биологической организации, на котором проявляется действие сверхмалых доз (СМД) биологически активных веществ, также весьма разнообразен - от макромолекул, клеток, органов и тканей до животных, растительных организмов и даже популяций. Это не означает, что эффект наблюдался при сверхмалых дозах любого биологически активного вещества на любом биологическом объекте. Следует подчеркнуть, что получение эффекта при действии вещества в концентрациях 10^{-13}-10^{-17} М и ниже нельзя связать с какой-то определенной структурой вещества или ступенью биологической организации.

Результаты проведенных исследовании указывают на то, что речь идет не об особенностях действия одного какого-то препарата или ответа одного какого-то биологического объекта, а принципиально новых закономерностях взаимодействия биологических объектов со сверхмалыми дозами биологически активных веществ. Каждому из этих веществ может соответствовать специфическая мишень, свой механизм усиления, присущие только ему особенности метаболизма, однако при сверхнизких дозах вещества демонстрируют и ряд общих закономерностей. В последние годы все больше ученых обращается к проблеме эффекта СМД, расширился спектр биообъектов, на которых проводятся эти исследования, возросло число химических веществ и физических факторов, для которых обнаружена активность в сверхмалых дозах.

Иногда в дозовой зависимости обнаруживается стадия «перемены знака», эффект ингибирования по мере уменьшения дозы в диапазоне СМД сменяется активацией, затем вновь ингибированием. Известны случаи, когда эффект в очень большом интервале доз не зависит от неё. Например, г**ербицид** из класса гидропероксидов не менял свою активность в интервале концентраций от 10^{-13} до 10^{-7}М. Подобные зависимости обнаружены для многих фармацевтических препаратов: п**ироцетама, антиметастатических препаратов (эфазола, лонидамина и др.). Это имеет большое практическое значение.**

Здесь уместно привести следующую аналогию: «разная реакция организма на запах мяса (СМД) и на его наличие на столе. Разделение «сигнала» и действия». Одно дело информация о чём-то, а другое сам процесс поглощения».

Предлагаемое объяснение [Бурлакова и др., 2003] природы нелинейной бимодальной зависимости эффекта от дозы/концентрации основывается на представлениях о том, что существует разрыв между дозами/концентрациями, вызывающими повреждения в биообъектах и инициирующими системы их восстановления/адаптации (антиоксидантной защиты, репарации ДНК, апоптоза и др.). В связи с этим, пока системы восстановления (или адаптации) не работают с полной интенсивностью, биоэффект нарастает с увеличением доз. Затем, по мере усиления процессов восстановления, или сохраняется на том же уровне, или уменьшается вплоть до элиминирования, или может сменить свой знак и вновь нарастает с увеличением дозы, когда повреждения в биообъектах превалируют над восстановлением.

2. Изменение чувствительности (*как правило, её увеличение*) биообъекта к действию разнообразных раздражителей (*эндогенных или экзогенных*) на фоне предшествующего воздействия в сверхмалой дозе (СМД; рис. 63). Причём раздражитель и предшествующее воздействие в СМД могут быть одной или разной природы!

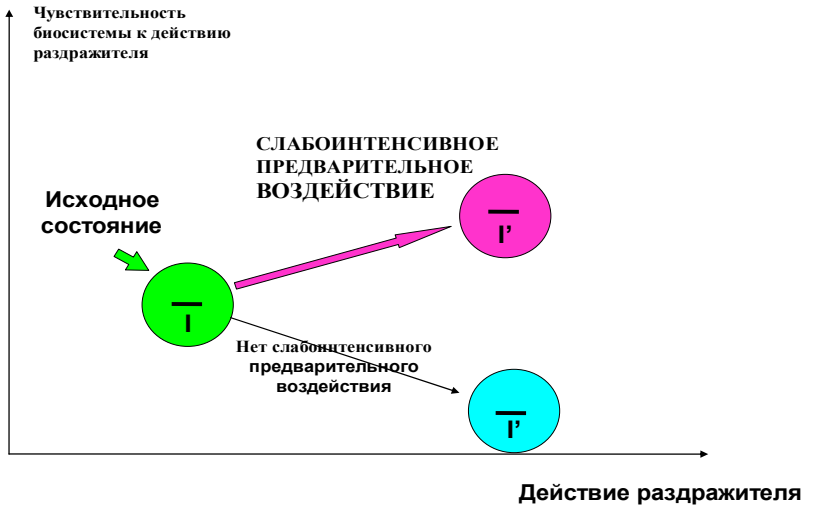


Рис. 63. Схема увеличения чувствительности биологической системы к действию разнообразных по природе воздействий (как эндо-, так и экзогенных) на фоне первичного действия любого раздражителя в сверхмалой дозе

На этом основано получение эффекта синергизма при действии двух противоопухолевых агентов, один из которых вводился в СМД и повышение активности выше аддитивной для гербицидных препаратов, когда один из них применялся в СМД. Это также имеет большое практическое значение.

В первую очередь подобные закономерности получены для малых доз ионизирующих излучений, но близкие закономерности получены и для неионизирующего излучения [Григорьев, 1997].

Возможность существования отдаленных последствий постоянного облучения слабыми электромагнитными полями (ЭМП) для здоровья людей, стала особенно актуальна в последние годы в связи с бурным развитием систем связи, телевидения и радиовещания, хотя история проблемы намного дольше. В обосновании Международной научной программы ВОЗ по биологическому действию ЭМП (1996-2005 гг.) сказано: ***"Предполагается, что медицинские последствия, такие как заболевания раком, изменения в поведении, потеря памяти, болезни Паркинсона и Альцгеймера, СПИД, детский синдром внезапной смерти (добавим, и болезнями зависимости) и многие другие состояния, включая повышение уровня самоубийств, являются результатом воздействия электромагнитных полей"*** [Григорьев, 2000].

Приведем некоторые примеры, демонстрирующие эффективность слабых ЭМП в результате увеличения чувствительности биообъекта к ним. Воздействие слабых постоянного и переменного магнитных полей, настроенных на циклотронные частоты ионов полярных аминокислот, приводит к функциональной инактивации рекомбинаторной обратной транскриптазы вируса саркомы Рауса, которая сопряжена с процессом протеолиза этого фермента. Этот результат открывает путь для разработки эффективных методов блокирования репродукции ретровирусов в организме [Швецов и др, 1998].

Показано, что *вода*, содержащая ионы Ca^{2+}, Na^{+}, K^{+} и Cl^{-}, предварительно обработанная слабым комбинированным постоянным (42 мкТл) и низкочастотным переменным (0,06 мкТл) полем, вызывала флуоресценцию альбумина бычьей сыворотки. Магнитуда эффекта зависела от частоты переменного поля и комбинации ионов. После обработки раствор содержал довольно большие (700-900 Дальтон) и стабильные молекулярные ассоциаты [Фесенко и др, 2000].

Воздействие слабым комбинированным постоянным (42 мкТл) и низкочастотным переменным (40 нТл; 3-5 Гц) магнитными полями изменяет интенсивность собственной флуоресценции ряда ферментов. Обнаружена сопряженность этих изменений с функциональной активностью ферментов и возможность передачи эффекта через обработанный магнитным полем растворитель (вода, 0.01 М NaCl) [Новиков и др., 1999]. Слабые магнитные поля с параметрами, близкими к характеристикам геомагнитного поля, инициируют процессы химической реактивности и ионной проводимости в водных растворах органических молекул. Предполагается, что этот эффект может объясняться кооперативным взаимодействием ансамбля большого числа ионов со слабыми полями [Новиков, 1998]

В 40-дневных экспериментах изучена инфрадианная ритмика поведенческих реакций, температуры и массы тела эпифизэктомированных крыс при воздействии ЭМП частотой 8 Гц и индукцией 5 мкТл. Обнаружена перестройка спектра ритмов, возрастание их амплитуды, развитие десинхроноза [Темурьянц и др., 1998].

Обнаружено значительное изменение содержание свободного кислорода в воде и водных растворах электролитов под действием электромагнитного излучения миллиметрового диапазона. Сделан вывод, что водная компонента растворов может быть первичной мишенью в действии ЭМП КВЧ на биологические объекты [Казаченко и др., 1998].

Показано, что *вода и разбавленные водные растворы глицилтриптофана* обладают чувствительностью к длительным воздействиям слабых ЭМП (УФ). Наряду с индуцированными наблюдались также спонтанные долговременные процессы, длящиеся несколько суток. Длительность и сложность динамики переходных процессов позволяет авторам рассматривать воду и водные растворы как неравновесные системы, способные к самоорганизации и, как следствие, чувствительные к слабым физическим воздействиям, не только ЭМП [Лобышев и др., 1998].

Но, пожалуй, исторически один из первых экспериментов, связанный с эффективностью СМД неионизирующих излучений в биохимических реакциях и ролью воды в этих процессах, был проведен А.Г.Гурвичем и А.А.Гурвич [цитир. по Воейкову, 1997]. Брали аминокислоту тирозин в сверхмалых концентрациях и помещали ее в водный раствор аминокислоты глицина, затем этот водный раствор течение короткого времени облучали очень слабым источником ультрафиолета (митогенетичесим излучением). Через некоторое время после этого количество молекул тирозина в этом растворе существенно увеличивалось, т.е. происходило размножение сложных молекул за счет распада простых молекул.

Что при этом происходит? Процесс до конца не изучен до сих пор, но можно предположить (хотя с точки зрения «классического» биохимика – это чудовищная ересь), что молекула тирозина под действием квантов УФ света в электронно-возбужденное состояние. Дальше происходит некий этап, не совсем понятно, с чем связанный, который приводит к тому, что молекулы глицина распадаются на фрагменты - на свободные радикалы: $^{*}NH_2$, $^{*}CH_2$, $^{*}CO$, COOH. И, что самое удивительное, из этих радикалов начинают собираться молекулы по подобию тирозина (рис. 64) в количестве гораздо большем, чем было исходное количество молекул тирозина.

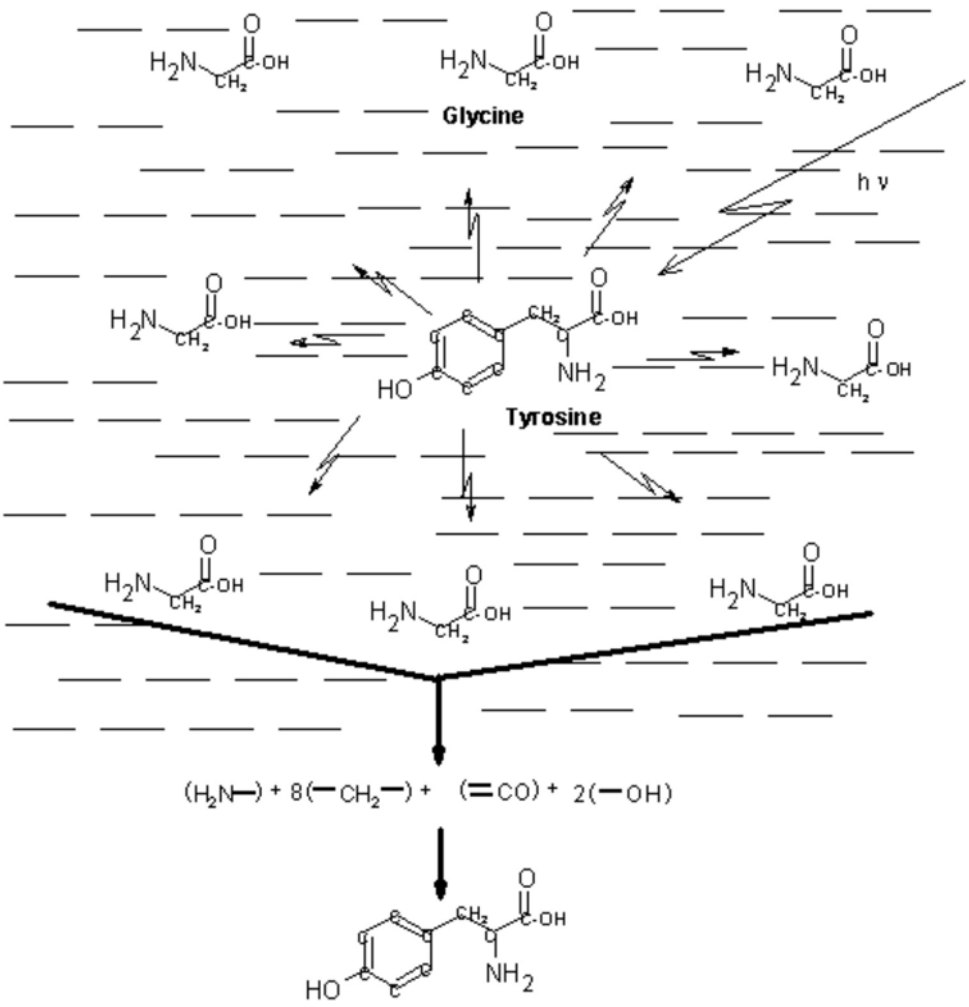


Рис. 64. Авторепродукция молекул тирозина в водном растворе глицина

Для того, чтобы из молекул глицина собрать одну молекулу тирозина, надо разрушить 8 молекул глицина, при этом остатков $^{*}CH_2$ будет достаточно, чтобы построить одну эту цепочку, но нужен всего один фрагмент $^{*}NH_2$, один фрагмент $^{*}COOH$ и один фрагмент $^{*}OH$, (см. рис. 64). Т.е. молекула глицина под действием молекулы возбужденного тирозина разваливается на фрагменты и потом затем из этих фрагментов собирается не абы что, а именно молекула тирозина. Но остаются лишние фрагменты, которые никуда не могут пристроиться. Появляются куски, которые могут объединяться, давая простые молекулы типа гидроксиламина (NH_2OH) и в опытах Гурвичей действительно было

показано, что не только увеличивается количество молекул тирозина, но и появляются такие фрагменты и молекулы в этой системе. К тому же, если взять не тирозин, а какую-то другую ароматическую молекулу, способную возбуждаться светом, то будет размножаться именно эта молекула. Скажем, так будут размножаться нуклеиновые основания, если на них посветить в этой системе.

По-видимому, без участия кластерных структур воды такого рода эксперименты объяснить невозможно.

Вероятно, таким же образом может идти синтез не только тирозина, но и его производных, в том числе нейрохимических медиаторов - дофамина, норадреналина, а также производного триптофана – серотонина, изменение обмена которых являются молекулярной основой патогенеза не только алкоголизма, но и таких психических заболеваний как шизофрении, маниакально-депрессивные и реактивные психозы.

3. Проявление кинетических парадоксов, а именно формирование реакции на СМД (*концентрации БАВ*) воздействия, которую можно зарегистрировать, когда в клетке или в организме имеется то же вещество в дозах на порядки выше, а также влияния на рецептор вещества в дозах на порядки более низких, чем константы диссоциации комплекса лиганд-рецептор.

4. Зависимость «знака» эффекта от начальных характеристик объекта.

Например, было обнаружено, что антиоксиданты (АО) в СМД действовали разнонаправленно на изолированные нейроны с разными потенциалами действия. При этом, если потенциал был высоким, АО его уменьшал, если низким – увеличивал. *В этом, вероятно, причина частой невоспроизводимости опытов Бенвенисто.* Наблюдали аналогичное действие ЭМ-излучения на кальциевый рецептор, антиоксиданта на антиокислительную активность эритроцитарных мембран с разным начальным её уровнем, ионизирующего излучения на активность ферментов.

«Если у Вас в печени много данного вещества и действуете малыми дозами, его количество уменьшится. Если мало данного вещества – увеличится. Эффект нормализации» Т.е., эффект будет зависеть от того на какое состояние системы Вы действуете. *Аналогия: «Если есть сигнал, то он может приводить к большему желанию или к отвращению. Разная реакция при запахе мяса для вегетарианца и мясоеда, сытого или голодного ...»*

Этот парадокс СМД можно проиллюстрировать влиянием БАД «Эпсорин» при разбавлении в 10^{17} раз (см. рис.62) на активность генетического аппарата и защитных систем лейкоцитов крови человека (табл. 4).

Видно, что влияние БАД «Эпсорин» в сверхмалой дозе приводит к нормализации всех характеристик дифференциальной активности и устойчивости генетического аппарата лейкоцитов крови человека, а именно, пониженные активности (относительно нормы) повышались, повышенные - понижались.

5. «Расслоение» свойств БАВ по мере уменьшения его концентраций, при которых еще сохраняется активность, но исчезают побочные эффекты. В разных диапазонах концентраций проявляются разные виды биологической активности. Расслоение» свойств, исключение побочных эффектов по мере уменьшения концентрации биологически активного вещества хорошо демонстрируют результаты изучения действия феназепама в широком интервале концентраций.

Феназепам в стандартных терапевтических дозах – транквилизатор+мышечный релаксант+снотворное = ночной транквилизатор. В СМД феназепам сохраняет лишь транквилизирующую активность (лишен седативного и миорелаксантного действия) = дневной транквилизатор. Оказалось также, что феназепам обладает и анксиолитической активностью (против страха), но при использовании его в терапевтической дозе она практически не проявляется. В интервале же СМД феназепама выделяется доза, при которой ансиолитическая активность повышается на порядок [Бурлакова, 2003], рис. 63.

Таблица 4.

Влияние БАД «Эпсорин» (разбавление 10^{17} раз) на активность генетического аппарата и защитных систем лейкоцитов крови человека (нормированные единицы)

Свойства лейкоцитов	Норма (n=30)	Контроль №1	Кровь пациентов группы №1 инкубирована сутки с БАД «Эпсорин» (разбавл. 10^{17} раз)	Контроль №2	Кровь пациентов группы №2 инкубирована сутки с БАД «Эпсорин» (разбавл. 10^{17} раз)
$k_{репликации}$	1,00	0,93	0,97	0,90	1,01
$k_{АОЗ}$,	1,00	0,78	1,00	0,14	0,89
$k_{ОАГ}$,	1,00	1,46	0,79	1,10	1,05
$k_{репарации}$	1,00	2,77	0,69	0,45	1,17
$К_{устойч.генома}$	1,00	1,34	0,94	0,20	1,00
$К_{продукт. генома}$	1,00	0,58	0,95	1,38	0,97

где, $k_{репликации}$ – коэффициент процессов репликации ДНК при клеточном делении;

$k_{АОЗ}$ – коэффициент антиоксидантной защиты структур клетки;

$k_{ОАГ}$ – коэффициент общей активности генома в процессах рликации, репарации ДНК и направленных на трансляцию

$k_{репарации}$ – коэффициент репарации ДНК;

$К_{устойч.генома}$ – коэффициент устойчивости генома

$К_{продукт. генома}$ – коэффициент продуктивности генома.

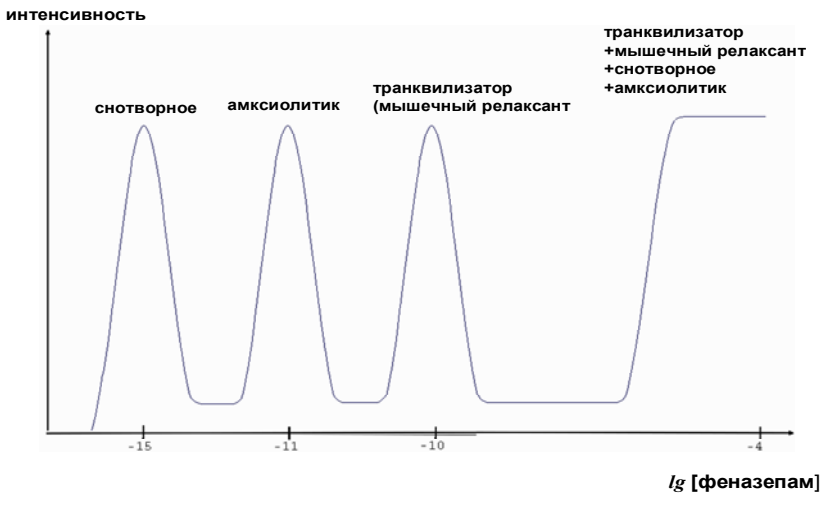


Рис.63. «Расслоение» свойств феназипама при его разбавлении вплоть до концентраций 10^{-15}М [Бурлакова, 2003]

6. Действие раздражителя в СМД даже на отдельные подсистемы биологической системы более высокого порядка, но лимитирующие рецепцию этого раздражителя, может привести к «пороговым» изменениям структуры и свойств всей макросистемы!

Чтобы понять, как влияют сверхмалые дозы препаратов на биологические объекты, нужно в первую очередь объяснить с кинетической точки зрения саму возможность реакций столь малого количества молекул со своими мишенями. При концентрации 10^{-15}М и ниже перестает работать закон действующих масс Вант-Гоффа и в определенной степени теряется смысл понятия "концентрация". В работе [Blumenfeld, 1991] используется уравнение Смолуховского, описывающее реакцию между молекулами и малыми, но макроскопически замкнутыми везикулами с позиции статистической физики. Показано, что закон действующих масс нарушается, когда объем везикул и (или) константа равновесия реакции относительно малы, а среднее число свободных частиц внутри везикулы составляет порядка единицы или меньше. Важное значение приобретают *флуктуации* в случае биологических везикул размером $10^2 \div 10^3$ ангстрем. Л.А. Блюменфельд высказал идею о параметрическом резонансе как о возможном механизме действия сверхнизких концентраций биологически активных веществ на клеточном и субклеточном уровнях [1993]. Он полагает, что параметрический резонанс возникает при совпадении временных параметров запускаемых биологически активными веществами внутриклеточных процессов и характерного времени подхода вещества к мишени. В результате связывания активного вещества с его мишенью фермент (рецептор) переходит в конформационно неравновесное состояние, которое на определенной стадии релаксации обеспечивает его максимальную активность (рис.64). В рамках этих представлений находит свое объяснение и наблюдаемое уменьшение активности фермента при возрастании дозы действующего вещества.

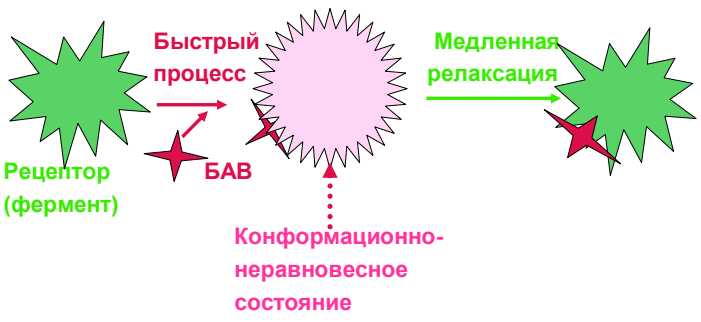


Рис.64. Схема параметрического резонанса как возможного механизма действия сверхнизких концентраций биологически активных веществ на клеточном и субклеточном уровнях.

Е.Б.Бурлакова с сотр. [2003] предложили другой подход к объяснению кинетических парадоксов, в основу которого положены представления об аллостерическом взаимодействии каталитических центров в молекуле фермента. Допустим, что фермент или рецептор содержит несколько центров с разным сродством к субстрату, например, константа диссоциации для одного центра равна 10^{-13} М, а для другого- 10^{-8} М (рис. 65).

Когда вводятся низкие дозы препарата, его молекулы преимущественно связываются с высокоэффективным центром фермента. При увеличении дозы в «игру» вступает второй ферментный центр. Он взаимодействует аллостериче-

ски с первым центром, понижая его сродство к субстрату, и тогда все молекулы, которые были связаны с первым центром, «сходят» с него. Снова с ним связаться они могут только после того, как концентрация препарата приблизится к значению константы диссоциации комплекса лиганда с первым центром, достигнутой под воздействием второго центра.

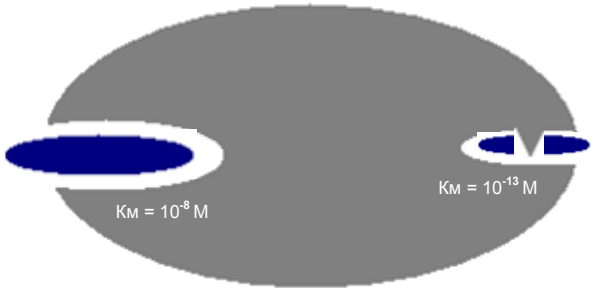


Рис. 65. Схема аллостерического взаимодействия каталитических центров в молекуле фермента, как возможного механизма действия сверхнизких концентраций биологически активных веществ на клеточном и субклеточном уровнях.

В работе [Бурлакова и др, 1990] рассматривается также представления о том, что биологическая система, испытывающая влияние сверхмалых концентраций БАВ, может реагировать на первые, наиболее быстрые единичные молекулы, а не на их стационарные концентрации ("момент первого достижения").

Имеется ещё ряд гипотез, по иному трактующих механизм усиления биологического сигнала от воздействия сверхмалых доз [цитир. по Бурлакова, 2003]. Например, И.П.Ашмарин приводит схему "размножения" сигнала и формулирует основные системы необходимые для реализации эффекта СМД: а) каскадные системы, амплифицирующие сигнал; б) собирательные, конвергентные системы; в) накопители и транспортеры сигнальных молекул; г) суперффинные рецепторы. Так в работе [Ашмарин и др. 1999] предлагается адаптационный механизм, согласно которому эффекты малых доз объясняются аналогично объяснению эффекта хемотаксиса - изменение ответа биообъекта определяется не самой концентрацией БАВ, а градиентом концентраций в пространстве и во времени. По-видимому, основную трудность в построении этих гипотез представляет объяснение первичного акта взаимодействия единичных молекул с биомишенями. В наших исследованиях мы обнаруживали, что всякий раз при введении сверхмалых доз биологически активного вещества в организм животного, клеточную культуру или в модельную систему, содержащую суспензию мембран, отмечается изменение структурных характеристик мембран. В свою очередь изменения структуры мембран могут приводить к изменению функционального состояния клетки, а наличие полимодальности в ответе можно объяснить сменой механизма действия вещества в том или ином концентрационном интервале на структуру мембраны. Но как объяснить первичный акт взаимодействия биологически активного вещества в СМД с белком или липидом мембраны, если отношение числа молекул этого вещества к числу молекул белка равно 1 : $10^6 \div 10^9$?

Как уже отмечалось выше, аномальная дозовая зависимость эффекта в области сверхнизких концентраций биологически активных веществ зарегист-

рирована на уровне ответа не только клетки или целостного организма, но и отдельных биомакромолекул. При этом получаемые рядом авторов результаты не могут быть объяснены с позиции классической биохимии [цитир. по Бурлакова, 2003], так как при соотношениях лиганд—фермент, равных, в среднем, одна молекула лиганда на $10^4 \div 10^9$ молекул фермента, исключает объяснение природы эффекта СМД за счет образования комплекса лиганд-фермент.

Биохимические механизмы усиления ответной реакции, например, через системы регуляции циклическим нуклеотидом, через фосфоинозитидный цикл (см. рис. 2), применимые к эффектам на клеточном уровне, так же не могут быть использованы для объяснения эффектов в модельных системах.

Основную трудность в построении классических – несинергетических биохимических гипотез представляет объяснение первичного акта взаимодействия единичных молекул с биомишенями. Все эти модели не объясняют также механизмы действия на биологические объекты физических факторов (излучений) в сверхмалых дозах и механизмы действия БАВ в концентрациях ниже числа Авогадро.

Возникает естественная мысль, что биологически активные вещества в концентрациях $10^{-11} \div 10^{-18}$ и ниже моль/л могут реализовывать иные механизмы воздействия на активность ферментов. И наиболее адекватной экспериментальным результатам представляется модель, *рассматривающая механизмы влиянии сверхмалых доз физических факторов и химических веществ на биообъекты через изменения структурных характеристик воды*!

Единственной на сегодняшний день внятной моделью, которая объясняет все, казалось бы парадоксальные, эффекты сверхмалых концентраций БАВ и сверхмалых доз излучений, является модель, связанная с представлениями о самоорганизации нелинейных диссипативных структур в открытой среде полярных жидкостях (прежде всего в воде) за счёт слабых взаимодействий (образования водородных связей) и в неполярных липидных средах, образующих отдельную фазу, контактирующую с фазой полярной жидкости.

Причем структуры воды понимаются как флуктуирующие, диссипативные, подчиняющиеся бифуркационным перестройкам за счет перераспределения отдельных кластеров между собой (рис. 66 и 67).

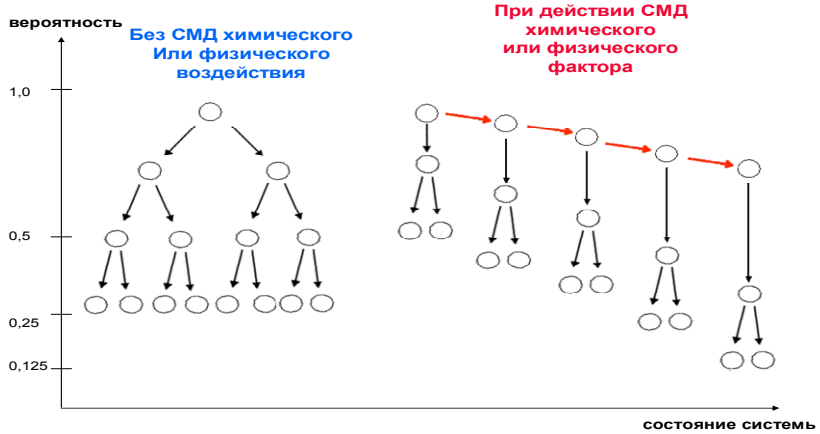


Рис.66. Изменения вероятности образования определенных состояний самоорганизующейся системы кластеров воды по бифуркационному механизмы, при действии на неё химических или физических факторов в сверхмалых дозах/концен-трациях.

Многочисленные исследования роли структуры воды в ее биологической активности можно разделить на две группы. Одни исследователи придержива-

ются точки зрения, что долгоживущие кластеры имеются в самой воде, другие считают, что водные кластеры индуцируются вводимыми биологически активными веществами. Наряду с индуцированными, наблюдались также спонтанные долговременные процессы, длящиеся несколько суток.

Длительность и сложность динамики переходных процессов позволяют рассматривать *воду и водные растворы как неравновесные системы, способные к самоорганизации* и, вследствие этого, чувствительные к слабым физическим воздействиям – и не только ЭМП.

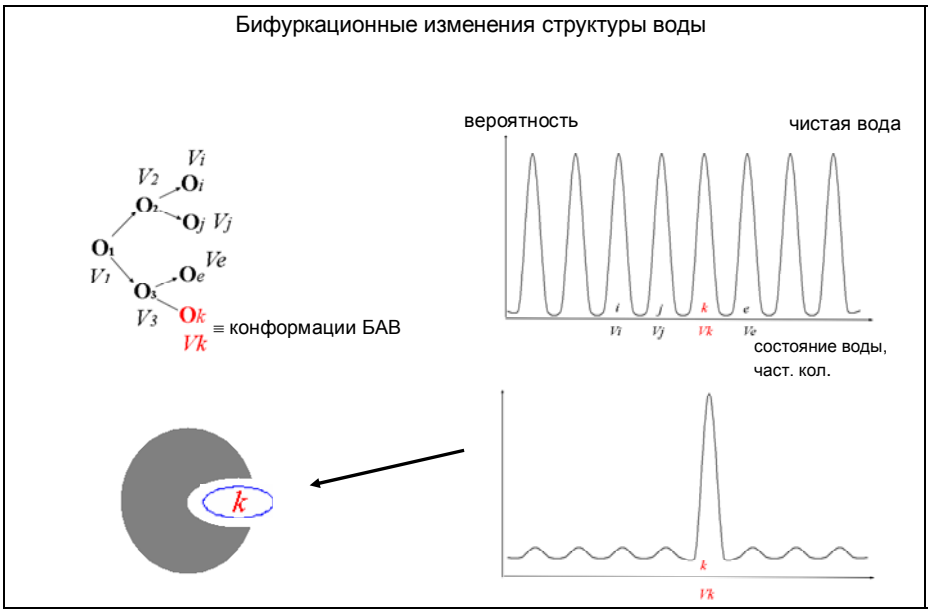


Рис.67. Система влияний БАВ определенной конформации (например, водно-этанольных кластеров) или излучений определенной частоты на бифуркационные изменения структуры воды и действия последних на биологическую активность других БАВ (например, систему нейромедиатор-рецептор).

Указывается на сложный характер воздействия воды на структуру биополимеров и биомембран, где важное значение имеет множество факторов: гидратация полярных групп, конкуренция молекул воды за водородные связи в этих структурах, гидрофобное взаимодействие, различие диэлектрической проницаемости свободной и связанной воды и др. [цитир. по Бурлакова, 2003]. Например, выделяют четыре стадии гидратации, которые вызывают соответствующие изменения в структуре, динамике и функции фотосинтетических мембран. Подобные процессы очень чувствительны к различным воздействиям, даже в СМД и предполагается, что химические вещества или физические факторы в СМД не действуют непосредственно на биообъект, а лишь влияют на процессы взаимодействия воды с биополимерами и таким образом изменяют их функциональную активность.

Н.А.Бульенковым [Bulienkov, 1999], на основании модульного обобщения кристаллографических данных, составлены все возможные типы алгоритмов формирования иерархических системообразующих структур связанной воды, совпадающие с морфологическими паттернами, наиболее часто встречающимися в живой природе. Представления об иерархических модульных структурах связанной воды отражают потенциальную возможность образования на их основе пространственных структур биополимеров и биосистем. Вместо общепринятой модели непосредственного взаимодействия лигандов с биомишенями автор предлагает модель их взаимодействия по направленным водородным связям с системообразующим каркасом из спиралей связанной воды. Действие

сверхмалых доз биологически активных веществ также опосредуется через их воздействие на каркас из спиралей связанной воды.

Как уже отмечалось выше, по мнению С.В.Зенина [1994; 1999] и В.И. Лобышева [Lobyshev, 1999], долгоживущие структурные образования уже существуют в чистой воде. Определенные выводы о структуре воды и ее растворов были получены на основании изучения люминесценции воды. Спектр возбуждения дистиллированной воды имеет два максимума, 280 и 310 нм, спектр излучения характеризуется максимумами при 360 и 410 нм. Интенсивность люминесценции зависит от времени хранения воды, а также от наличия примесей, обладающих или не обладающих собственной люминесценцией. Структура воды в разбавленных растворах длительное время после их приготовления претерпевает изменения и только через несколько суток приходит к равновесию. Характер динамики переходных процессов релаксации может быть как монотонным, так и колебательным.

По мнению И.Лобышева [Lobyshev, 1999], структурные образования воды и водных растворов можно рассматривать как первичную мишень для малых (и, по-видимому, сверхмалых) концентраций растворенных веществ, а также для воздействия слабых полей. Соответствующее изменение свойств воды приводит к изменению свойств биомембран, а отсюда и к изменению функциональной активности клетки. Таким образом, вода рассматривается как посредник при слабых воздействиях на биологические системы.

В работе Чумаевского с соавторами [Чумаевский, 2000] показано, что красивая и динамичная модель бифуркатных водородных связей в кластерах слабых водных растворов может открыть путь к пониманию дальнодействия.

Если наноэффекты и нанотехнологии связаны с перестановками относительно прочно связанных между собой атомов (они флуктуируют – колеблются в узлах решетки, поэтому при переходе к наноуровню возрастает роль квантовомеханических эффектов), то сверхмалые концентрации БАВ и дозы низкочастотных излучений формируют НАНОЭФФЕКТЫ (позволяют разрабатывать нанотехнологии) жидких сред, определяя перестановки слабо связанных между собой надмолекулярных кластеров жидкостей. Так как $(V_{\text{флуктуаций}})_{\text{жидк.}} >> (V_{\text{колеб.атомов}})_{\text{тверд. тело}}$ то в первом случае намного больше вклад квантовомеханических эффектов, а также эффектов, основанных на резонансном взаимодействии собственных излучений с внешними излучениями.

Т.к. $t_{\text{жизни}}$ диссипативных надмолекулярных структур жидкости << $t_{\text{жизни}}$ диссипативных кристаллических структур твёрдого тела для первых в намного большей степени характерны быстрые бифуркационные перестройки (см. рис.66). Причем каждое из новых бифуркацинных состояний имеет свою конформацию, своё $t_{\text{жизни}}$, свою скорость флуктуации, т.е. свои частоты квантовомеханического излучения. При введении СМД БАВ (действии низкоинтенсивных физических факторов - НИФФ) из множества БФ состояний жидкости выделяется одно сходное по конформации структуре БАВ и резонансное по излучению при флуктуационных переходах частотам внутримолекулярных флуктуаций в самой молекуле БАВ (частотам НИФФ). Одно из БФ состояний жидкости становится выделенным и поддерживаемым за счёт резонанса Большие объемы жидкости (если её хватает, что может быть только в сверхразбавленных

растворах, или при действии сверхмалых доз НИФФ) увеличивают своё $t_{жизни}$ именно в данном БФ состоянии (см. рис.67).

(Вторичное биогенное излучение – это и есть феномен квантовомеханического резонанса $\nu_{колебаний}$ надмолекулярных структур жидкости с $\nu_{колебаний}$ внешнего импульса ≡ Кирлиановское излучение). Изменяется $\nu_{колебаний}$ за счёт введения БАВ, особенно высокомолекулярного со своим набором частот внутримолекулярных конформационных колебаний (например, ДНК) – изменяется $\nu_{колебаний}$ водных кластеров – изменяются $\nu_{колебаний}$ и интенсивности вторичного излучения).

При уходе в диапазон сверхмалых доз БАВ и излучений качественные свойства эффекта уходят на второй план, по сравнению с количеством. В зависимости от концентрации БАВ (в диапазоне СМД) выделенным становится то или иное БФ состояние жидкости, структура кластеров которого комплементарна разным рецепторам – происходит «концентрационное разделение» различных свойств БАВ. Второй доказанный механизм связан с **перестройками липидных кластеров клеточных мембран** [Пальмина и др, 2008]. Этот механизм рассматривается в рамках понятия критических мишеней, в качестве которых выступают липидные слои биологических мембран, физико-химические свойства которых могут изменяться не только при перекисном окислении липидов (рис. 68), но и при проникновении в него различных БАВ в диапазонах концентраций как $10^{-4} \div 10^{-9}$ М (традиционные физиологические концентрации), так и $10^{-9} \div 10^{-18}$М.

На основании дозовых зависимостей рассмотрены и экспериментально обоснованы несколько возможных механизмов действия БАВ в сверхмалых дозах. В области концентраций как $10^{-4} \div 10^{-9}$М – ограничения при упаковке углеводородных цепей липидов вблизи молекулы БАВ за счёт его **неспецифического** встраивания в мембрану и взаимодействия с окружающими молекулами фосфолипидов. В области концентраций $10^{-9} \div 10^{-18}$М – за счёт **специфического** связывания БАВ с лигандами на мембране и инициирования БАВ образования новых **высокоупорядоченных микродоменных комплексов в мембр**ане (в частности, рафтов) или модификации уже имеющихся. Наконец, в области **«мнимых»** концентраций ($10^{-18} \div 10^{-25}$М и ниже числа Авогадро) – за счёт изменений структурно-динамических характеристик воды, выступающей в роли полярного растворителя и среды окружающей мембраны.

Вышесказанное позволяет предложить следующую модель влияния структуры среды (водной, липидной) на биологическую активность БАВ.

Биологическая (возможно и химическая) активность биологически активных молекул (БАВ) определяется флуктуациями (диссипациями) структур, образующих среду (вода, липиды), в которой они находятся, а также флуктуациями собственной структуры. То есть изменениями слабых взаимодействий в системе «БАВ-структуры диссипативной среды». Т.к.:

- биологическая активность БАВ – функция конформации (пространственной структуры) БАВ и их рецепторов;

- в свою очередь, конформация БАВ (рецепторов) – функция не только химического строения БАВ, а также *пространственной структуры кластеров молекул среды***,** образованных слабыми взаимодействиями: воды и липидов;

- структура же среды – функция слабых межмолекулярных взаимодействий в среде воды (или липидов), т.е. находится под влиянием внешних физических воздействий и химических добавок даже в сверхмалых дозах/ концентрациях.

То есть: *Биологическая активность БАВ = f(слабых межмолекулярных взаимодействий в среде (вода, липиды) и внутримолекулярных в самих макромолекулярных БАВ; а также влияния внешних излучений и химических добавок, способных изменять структуры среды и/или БАВ)*

Так как среды, в которых межмолекулярные взаимодействия обусловлены слабыми взаимодействиями (вода, липиды и др.) являются диссипативными и представляют собой нелинейные физические фракталы, т.е. являются самоорганизующимися системами на различных уровнях своей структурной организации, то их реакции на действие внешних факторов *не линейны.* Следовательно, *биологическая активность БАВ в таких средах – нелинейная функция перестроек структур среды* за счёт внешних физических или химических воздействий. Эта модель объясняет не только описанные Е.Б. Бурлаковой с соавторами [2003] (отмеченные выше) *эффекты сверхмалых доз (СМД) и концентраций***:**

- немонотонный полимодальный характер зависимости «доза-реакция» (для физических воздействий усиление реакции (эффекта) с понижением их интенсивности в определенных интервалах мощности и доз);

- зависимость «знака» и величины реакции от начальных характеристик системы;

- изменения чувствительности (как правило её увеличения) диссипативной системы к действию разнообразных по природе воздействий (как эндо-, так и экзогенных) на фоне первичного действия любого раздражителя в сверхмалой дозе;

- проявление кинетических парадоксов, а именно формирование реакции на СМД (концентрации) воздействия на фоне предшествующего действия на диссипативную систему данного воздействия в дозах на порядки превышающих СМД.

Но и «наличие подсистем, параметрические характеристики которых лимитируют параметрические характеристики диссипативной системы более сложного уровня организации (включая общую устойчивость и продуктивность биосистемы)». Причём действие на эти (лимитирующие подсистемы) СМД может привести к «пороговым» изменениям структуры и свойств всей макросистемы. Это согласуется с поведением диссипативных нелинейных фрактальных систем вблизи точек бифуркации, в «режимах с обострением».

Для верификации клатратной модели воды и водных растворов БАВ [Anagnostatos et.al., 1995] применялись методы диэлектрической и дифференциальной сканирующей калориметрии. Первый метод подтвердил, что высокоразбавленные растворы содержат свободные и связанные в виде клатратов молекулы. Второй метод позволил определить, что фазовые переходы обусловлены разрушением клатратов при определенной температуре. Эта температура лимитируется специфическими клатратами, которые являются характерными для маточных веществ. Окружая молекулу биологически активного вещества,

клатраты «запечатлевают» ее структуру и эти отпечатки живут достаточно долго С.В.Зенин [1994; 1999] также исходит из тех предпосылок, что вода представляет собой единую структуру. Растворение в ней тех или иных веществ приводит к появлению в этой структуре определенных «дефектов», которые способны к длительному существованию и переходам при последующих разбавлениях вплоть до состояния, когда уже отсутствует само вещество. А Н.А.Бульенков [2003], как и многие другие исследователи, придает основное значение гидратации белковых молекул и нарушению водно-белковых взаимодействий под влиянием тех или иных растворенных веществ. При этом изменение функциональной активности белков связывается не с взаимодействием их с биологически активным веществом, а с изменением степени гидратирования белка, и, следовательно, с изменением его структуры и активности.

Таким образом, существует много моделей, авторы которых пытаются объяснить реакцию биообъектов на СМД биологически активных веществ через структурные свойства воды. При этом, следует подчеркнуть, что многие вышеотмеченные парадоксы СМД, весьма логично разрешаются только на основе представлений об изменении структуры воды и липидов мембран. Например, поддается объяснению тот факт, что знак и направление эффекта зависят в ряде случаев от начальных свойств биообъекта. Если у фермента высокая активность - она снижается, если низкая - повышается. Но самое поразительное, что уровень, до которого она изменяется, один и тот же. Это легко объясняется тем, что в растворе биологически активного вещества структура воды изменяет структуру белка одинаковым образом.

Также перестает быть парадоксом эффект воздействия на биомишень веществ, когда их концентрация на много порядков ниже константы диссоциации лиганд-рецепторного комплекса или концентрации белка.

Именно диссипативные (флуктуирующие) структуры ВОДЫ и есть те самые нелинейные синергетические структуры открытых сред, которые являются «АТТРАКТОРАМИ» для эволюционирующих в них биологических систем. При этом именно *диссипативные структуры воды* можно рассматривать как первичную мишень для сверхмалых концентраций растворенных веществ, а также для воздействия сверхслабых полей. Соответствующие изменения свойств воды приводят и к изменениям свойств биомембран, а отсюда и к изменению функциональной активности клетки.

Следовательно, условиями проявления эффектов сверхмалых доз являются:

1. Наличие в среде самоорганизующихся диссипативных структур, выступающих в качестве аттракторов при эволюции в них сложных самоорганизующихся систем, т.е. структурированность, но в тоже время диссипативность среды.

2. Наличие набора флуктуирующих между собой структур среды, т.е. разделенных малыми «энергетическими барьерами» либо имеющих «энергетические туннели». Иными словами наличие «степеней свободы» в спектре флуктуирующих структур среды.

3. Соизмеримость энергии «кванта» исходного воздействия с энергией межструктурных переходов в среде в рамках существующего спектра флуктуаций.

3А. Для биологических систем (*и возможно геосистем*) – это условие трансформируется в то, что структуры среды должны быть **образованы слабыми взаимодействиями:** водородными связями – водные среды (*кровь, подземные воды, мировой океан и т.д.*); гидрофобными взаимодействиями – неводные среды (*лимфа, нефтяные пласты и т.д.*).

Ещё одно следствие рассмотренной теории механизма действия сверхмалых концентраций веществ и доз излучений является то, что, **параметрическими свойствами сложных систем (включая биосистемы и даже экосистемы) можно управлять с помощью СМД физических или сверхмалых концентраций химических воздействий.**

Например, т.к. в основе многих биологических эффектов излучений (звук, свет, переменное ЭМП) и БАВ лежат изменения структуры воды и водных фаз клетки, организма, а также липидной фазы клеточных мембран. То, подбирая внешние физические воздействия, аккорд частот которых резонансен аккорду частот собственных флуктуаций подсистем лимитирующих то или иное параметрическое состояние сложной системы, можно стабилизировать или дестабилизировать макроструктуру клетки (организма, возможно экосистемы).

Такие системы уже существуют, апробированы в ряде областей медицины, они позволяют, благодаря корректировке процессов эволюции ДС человека через воздействия на ДС воды формировать лечебные эффекты в онкологии, наркологии и т.д. (см. главу 7.4).

4.5. Модель химической самоорганизующейся системы глобального климата в открытой, сильно неравновесной и нелинейной системе «Мировой океан-атмосфера-литосфера»

Изучение причин и механизмов планетарных климатических изменений является актуальной задачей современной науки [Адушкин и др., 2001; Добрецов и др., 1995; Кондратьев, 2000]. Многие исследователи подчеркивают сложность климатического механизма и невозможность познания, на основании исторического периода наблюдений, закономерностей изменения климата и его прогнозирования на сколько-нибудь существенный отрезок времени. Поэтому одним из основных способов познания закономерностей климатических изменений является изучение климатов прошлого. Основным источником информации о прошедших климатических событиях являются данные о составе океанических осадков и их возрасте, полученные на основании глубоководного бурения, и данные об изотопном составе материковых ледниковых покровов (ледников Антарктиды и Гренландии).

Важным результатом анализа климатических изменений недавнего геологического прошлого является открытие ритмичности планетарных климатических колебаний в течение последних 500 тысяч лет (т.л.), которое создает реальную основу для прогнозирования климата ближайшего геологического бу-

дущего [*Lorius, et.al, 1990*]. Наиболее выразительны 90-120 тысячелетние ритмы [Адушкин и др., 2001; Балобаев, Шепелев, 2001], которые начинаются резкими потеплениями протяженностью около 10 т.л., сменяющиеся длительными, 90-100-тысячелетними, сравнительно плавными, понижениями температуры (рис. 69).

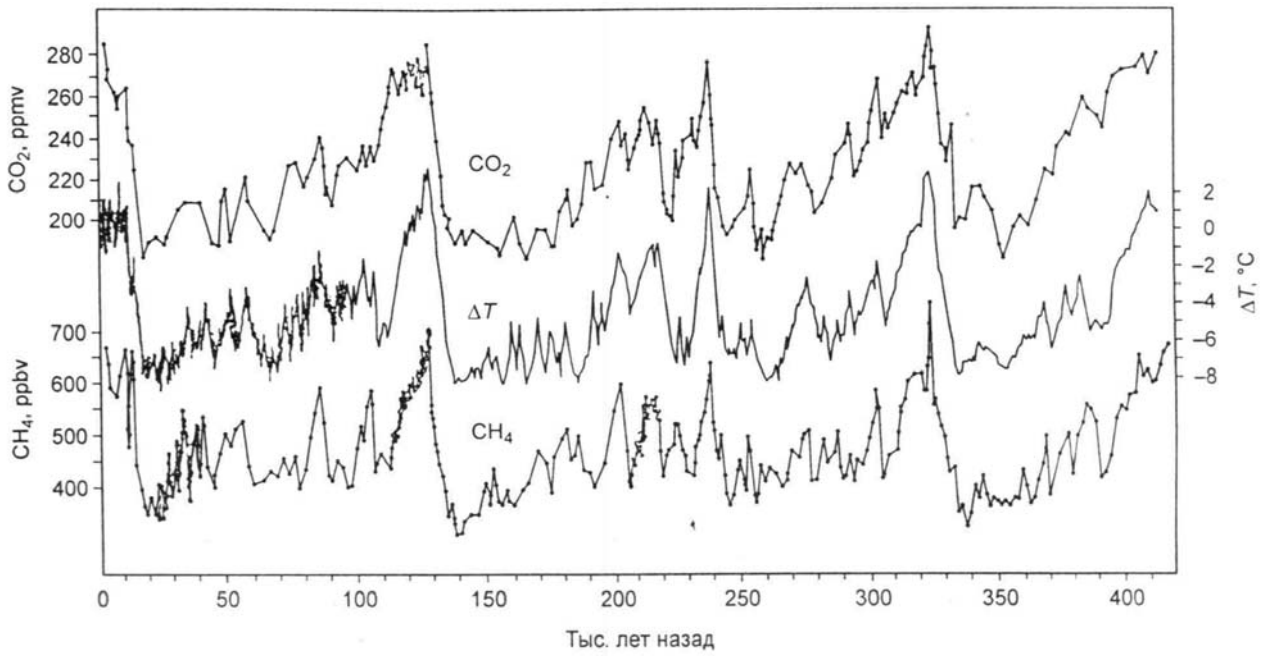


Рис. 69. Корреляция концентрации CO_2 и CH_4 в атмосфере с изменениями температуры воздуха в Антарктиде в ледниковые и безледниковые периоды за 420 тысяч лет согласно [Адушкин, 2001].

При достижении минимальных экстремальных значений, температурные изменения вновь сменяются потеплениями, начинающими новый климатический цикл. Резкие изменения палеотемператур на границе рассматриваемых циклов получили названия «климатических кризисов» или «климатических ступеней» [Зубаков, 1990]. Первопричиной цикличности климатических колебаний большинство авторов считают изменения солнечной активности [Балобаев, 2001; Зубаков, 1990; Миланкович, 1939 и др.].

Мы предполагаем, что длиннопериодные (около 100 т.л.) колебания климата имеют «земное» происхождение и формируются в результате процессов саморегуляции, в которых основную роль играет растворение/осаждение карбонатов (карбонатная система) в Мировом океане, перераспределяющие содержание углекислого газа и тепла между океаном и атмосферой. При растворении карбонатов расходуется растворенный в воде углекислый газ, а при их осаждении CO_2 образуется и выделяется в атмосферу [Спектор и др., 2007, 2007а]. Вторым важным следствием функционирования карбонатной системы является ее тепловая работа - выделение тепла при растворении и его поглощение при осаждении карбонатов. Выделившееся при растворении карбонатов тепло вызывает повышение температуры вод океана, существенно снижая растворимость в них CO_2, который, выделяясь в атмосферу, усиливает парниковый эффект. Потеря же акватированного углекислого газа и повышение температуры океанских вод обуславливают начало нового цикла эндотермического процесса

осаждения карбонатов. Таким образом, работа автоколебательной, саморегулируемой карбонатной системы в существенной степени может объяснить периодичность планетарных климатических ритмов. Экзотермический процесс образования океанических метангидратов, а также эндотермическое разложение газовых гидратов с выделением CH_4 в атмосферу и усилением парникового эффекта, по-видимому, оказывают модулирующее воздействие на функционирование карбонатной системы.

В литературе в настоящее время предложена модель работы планетарного климатического механизма на основе автоколебательных процессов *саморегуляции* в нелинейной, открытой и неравновесной карбонатно-метановой гидроатмосферной планетарной системе.

Представления о формировании циклических «100-тысячелетних» климатических колебаний в неоплейстоцене. Общепринятым является мнение о периодичности климатических колебаний, но взгляды исследователей на масштабы этих колебаний (планетарные или локальные), причины (земные или космические) и механизмы удержания и переноса тепла (изменения газового состава атмосферы, океанические течения, радиационные и т.д.) существенно расходятся. Критерием масштаба климатических изменений является «средняя глобальная температура (атмосферы) - основной параметр, характеризующий состояние глобальной климатической машины...» [Зубаков, 1990, с.17]. В отношении изменения средней глобальной температуры существует две концепции. Первая заключается в том, что никакого глобального потепления и похолодания на Земле не происходило, широтная поясность существовала в предшествующие сотни миллионов лет, менялось только распределение тепла и влаги на поверхности Земли. Ледниковые эпохи, с точки зрения этой гипотезы, носят локальный характер и вызываются, в частности, околополярным положением материков.

В настоящее время доказано, что климатические изменения на Земле в недавнем геологическом прошлом носили глобальный характер и были четко синхронизированы, что ограничивает возможность применения данной концепции. На базе доказанной синхронности колебаний температуры атмосферы на планете разработано самостоятельное научное направление (климатостратиграфия), имеющее ряд практических достижений.

Вторая концепция, разделяемая большинством исследователей, заключается в том, что на планете происходили неоднократные изменения средней глобальной температуры. Выделяют две группы причин климатических колебаний: космические и планетарные. Климатические колебания в позднем кайнозое и, в частности, 90-120 тысячелетние (для краткости назовем их «100-тысячелетними») циклы, как уже отмечалось, большинство исследователей объясняют с точки зрения астрономической концепции. Вполне вероятно, что увеличение или уменьшение солнечной радиации может вызывать климатические колебания на планете. Неравномерность солнечного излучения связана с изменением активности Солнца, эксцентриситета земной орбиты, наклона земной оси к плоскости эклиптики, прецессии оси Земли и др. Следует отметить, что изменение солнечной постоянной на 2-5%, при некоторых допущениях, может оказаться достаточным для существенных климатических изменений, хотя принятые при расчетах допущения и параметры делают такой прогноз малодостоверным [Джон и др., 1982]. Наиболее близки по длительности к рассматриваемым циклам - изменения эксцентриситета земной орбиты (90-100 т.л.), но в отдельности взятый данный фактор способен привести лишь к небольшим изменениям климата Земли. Изменения солнечной радиации не могут объяснить четкую повторяемость и форму температурных кривых 100-тысячелетних циклов: 1) «изменения инсоляции, определяемые орбитальными вариациями постепенны и плавны» [Зубаков, 1990, с. 256] , в то время как перестройки климата в начале циклов очень резки; 2) «сами по себе орбитальные вариации обеспечивают колебания температуры не более чем на 1-2°С, в то время как... амплитуды температур в ледниково-межледниковом цикле достигали 7-10°С»; 3) снижения температуры океанических вод и рост в них концентрации растворенного CO_2 предшествуют глобальным снижениям температуры атмосферы. В свою очередь, изменения температуры воды в океане во времени опе-

режают рост/падение концентрации парниковых газов в атмосфере на тысячи лет. Большинство современных последователей астрономической концепции и сами признают, что астрономические факторы могут играть лишь роль «спускового крючка» для других процессов, вызывая «резонансный эффект», приводящий к некоторому дополнительному нагреву или охлаждению поверхности Земли [Балобаев, Шепелев, 2001].

Сторонники данной концепции полагают, что планетарные эндогенные источники изменения общего количества тепла, поступающего на поверхность Земли, вероятно, могут быть исключены из числа ведущих факторов формирования климата, поскольку количество этого тепла на несколько порядков меньше солнечной радиации.

Согласно одному из самых распространенных представлений, основной вклад в увеличение количества парниковых газов в последние 100 лет вносит антропогенный фактор [Будыко, 1984; Кондратьев, 2000]: сжигание природного топлива, извлечение парниковых газов из недр, насыщение атмосферы оксидами азота и серы, фреонами и пр. Вместе с тем, ряд исследователей подчеркивает, что потепления, аналогичные современному, были и в предшествующие геологические эпохи: 120, 200, 320 тысяч лет назад (т.л.н.), когда о каком-либо антропогенном вкладе не могло быть и речи. Подсчет содержания парниковых газов и их вклад в потепление указывает на то, что «… на долю всех антропогенных источников парниковых газов приходится не более 20% глобального потепления» [Адушкин, 2001]. С другой стороны, их концентрация в атмосфере достигает самого высокого уровня за последние 420 т.л., что может быть объяснено преимущественно антропогенным вкладом.

Не все исследователи придерживаются точки зрения о значительном вкладе CO_2 в парниковый эффект. По мнению О.Г. Сорохтина и С.А. Ушакова [2002], насыщение атмосферы CO_2 приводит к ускорению конвективного массообмена в атмосфере, а не к увеличению ее температуры. Причины потеплений климата, подобных современному, эти исследователи рекомендуют искать в неравномерности солнечного излучения, неустойчивости океанических течений и т.п. Относительно периодичности климатических колебаний в неоплейстоцене исследователи высказывают мнение, что повышение температуры атмосферы всегда предшествует увеличению количества парниковых газов в атмосфере. (Как показано выше, это явление наблюдается весьма редко [*Mudelsee, M.,* 2001]). Рассматриваемая вышеуказанными авторами модель хорошо объясняет длиннопериодические (десятки и сотни миллионов лет) колебания климата. Более короткие колебания температуры, согласно этой модели, в приземном слое атмосферы регулируются не столько радиационной, сколько конденсационной составляющей тепловыделения. При этом возникает **сильная отрицательная обратная связь** между «приземной и радиационной температурами Земли». В качестве такого регулятора радиационной температуры выступает испарение, увеличивающее облачность, а вследствие этого, и отражательную способность Земли. Данный механизм регулирует главным образом суточные, сезонные, и многолетние колебания погоды и климата. Более длительное удерживание водяного пара в небольших количествах «… привело бы к глобальному повышению температур, так как возросла бы теплоудерживающая способность атмосферы» [Джон и др., 1982, с. 56].

Колебание отражательной способности поверхности Земли, вероятно, также вносит значительный вклад в климатические изменения, и некоторые исследователи [Джон и др., 1982] рассматривают его в качестве одной из основных причин таковых. Основным механизмом перераспределения отражательной способности поверхности Земли, в рамках гипотезы С.А.Ушакова [1984], выступает «скучивание» материков в полярных районах. Приполярное положение материков в связи с высоким альбедо суши превращает их в глобальные холодильники. И, наоборот, «внеполярное» положение материков обуславливает уменьшение альбедо в полярных районах, что приводит к выравниванию климата на планете. Согласно этой модели, вторая половина кайнозоя и четвертичная эпоха располагаются примерно в середине фазы кайнозойского климатического минимума последнего 150 млн. летнего климатического цикла. Климатический оптимум данного цикла можно ожидать не ранее чем через 50 млн. лет. Таким образом, объяснение ритмичности климатических событий позднего кайнозоя должно учитывать иные, более быстро меняющиеся факторы, а не только положение материковых плит. В рамках этого же механизма изменения альбедо поверхности Земли

развивается гипотеза «саморазрастания» ледниковых покровов [Джон, 1982]. Первопричины роста ледниковых покровов и климатических пессимумов авторы данной гипотезы ищут в быстром «растекании» ледников в результате роста их мощности и давления в их основании, плавления льда, снижения сцепления на границе с ложем, что приводит к увеличению альбедо Земли. Возникает **«положительная обратная связь»** – разрастание ледников увеличивает альбедо, а это в свою очередь увеличивает размеры полярных ледников. Трудности при таком объяснении возникают, как отмечают сами авторы гипотезы, при поисках механизма окончания ледникового периода после его установления.

Большинство исследователей считает, эндогенная активность Земли, выраженная мантийным диапиризмом, вулканической деятельностью (в том числе, и на дне океанов), перемещением материков и др., существенно влияют на циркуляционные процессы в атмосфере, океане и механизмы сохранения тепла, что во многом определяет климатические колебания во времени и поясной климат на планете. Однако отделить вклад эндогенных факторов от, собственно, экзогенных в саморегулируемом планетарной машине весьма трудно [Кондратьев, 2004].

Из рассмотренных выше причин и механизмов формирования рассматриваемых климатических циклов, при условии относительно небольших колебаний солнечной радиации и постоянстве глубинного теплового потока основными факторами для формирования «100-тысячелетних» циклов можно считать 1) создающие парниковый эффект, 2) меняющие альбедо Земли (облачность, аэрозоли, ледниковые покровы, водные поверхности и другие). Поскольку альбедо Земли определяется главным образом температурой нижних слоев атмосферы, она, в свою очередь, - парниковым эффектом, а парниковый эффект - балансом парниковых газов в системе океан-атмосфера, причина климатических колебаний, вероятно, кроется в основном резервуаре парниковых газов – Мировом океане.

«100-тысячелетние» циклы – результат саморегуляции климатической системы. Климатический механизм можно рассматривать как *саморегулируемую* систему, а климатические автоколебания – как суммарный результат действия многих различных факторов. И при таком, крайне широком подходе, необходимо найти механизм обмена веществом и энергией между геосферами.

В рамках системного подхода считается, что климатические колебания на планете носят случайный характер и «… небольшого числа независимых переменных может оказаться достаточным для объяснения крупномасштабных вариаций климата Земли» [Найденов и др., 2002; Пригожин, Стенгерс, 2000]. И. Пригожин и И. Стенгерс показали, что временной ряд колебаний температуры атмосферы Земли, за последние 900 т.л., порожден хаотическим аттрактором малой размерности. Хаос такого типа в вышеназванной работе назван «детерминистическим хаосом», который отличается от истинно случайного процесса, не имеющего области устойчивости, именно наличием аттрактора – области устойчивости и вида конечного состояния или эволюции системы. Планетарные климатические колебания и связанные с ними парагенетические колебания содержания парниковых газов в атмосфере [характеризуются такими основными признаками саморегуляции, как колебательный режим, нелинейность, термодинамическая открытость и сильная неравновесность процессов. Эти особенности отражены на графиках температурных колебаний и содержаний парниковых газов во льдах ледникового щита в Антарктиде (см. рис. 69), которые реконструируются по изотопно-кислородным данным и для северного полушария [Li

et. al., 1998]. Неравновесность (незатухаемость) климатической ритмичности проявляется в близких амплитудах потеплений (+3-5°С) и похолоданий (-6-8°С) относительно современных среднегодовых температур для «100-тысячелетних» циклов и, соответственно, в меньших амплитудах колебаний для более коротких климатических пульсаций и осцилляций (+1°С для потеплений и -1°С для похолоданий [Зубаков, 1990]). Процесс, в пределах «100-тысячелетних» циклов, направлен на сглаживание резких температурных колебаний и, следовательно, характеризуется регуляторными демпферирующими *отрицательными обратными связями*. Вместе с тем, вблизи экстремумов градиенты короткопериодических изменений температуры и содержания основных парниковых газов резко увеличиваются, что указывает на наличие *положительных обратных связей* в этой системе, ответственных за состояние «детерминистического хаоса» в ней. Как известно, именно совокупность положительных и отрицательных обратных связей субциклических трансформаций вещества и энергии, в рамках гиперциклических процессов, в открытой, неравновесной, нелинейной системе является необходимым условием возникновения в ней способности к самоорганизации. Причем известно, что именно при нахождении саморегулируемой системы в фазе «детерминистического хаоса» (современное состояние планетарного климатического механизма; см. рис. 69) резко возрастает влияние даже сверхслабых внешних воздействий на формирование траектории ее дальнейшего развития.

Асимметрия «100-тысячелетних» циклов, выражается в наличии двух стадий, различающихся по длительности почти в 10 раз: ветвей потепления (восходящих) и похолодания (нисходящих). Ветви потепления короткие по длительности (10-12 т.л.), практически без пульсаций и осцилляций. Ветви похолодания длительные (90-100 т.л.), осложненные ритмичностью более высоких порядков. Средний градиент температур воздуха на восходящей ветви - $8 \cdot 10^{-4}$ град/год, на нисходящей – $8 \cdot 10^{-5}$ град/год. Причем вблизи точек экстремумов градиенты температур могут составлять на порядки большие величины. Например, в работе [Кондратьев, 2000, 2004] отмечается, что в прошлом столетии среднегодовая приземная температура воздуха увеличилась на 0.6%, а с 1950 г. на 0.73%. Рост температуры авторы объясняют необычно интенсивным течением Эль-Ниньо и беспрецедентным повышением температуры поверхности Индийского океана.

Совокупность указанных критериев указывает на существование одного или нескольких «вещественных преобразователей» в саморегулирующейся автоколебательной системе планетарного климата, способных путем фазовых, термохимических или плотностных изменений влиять на направленность климатического процесса на планете. Совершенно очевидно, что такие носители концентрируются, прежде всего, в подвижных сферах, связывая их между собой - в гидросфере и атмосфере. В качестве таких веществ выступают вода и парниковые газы. Среди последних самыми эффективными преобразователями являются наиболее окисленная (продукт химических реакций в гидро- и биосфере) и наиболее восстановленная (продукт земных недр и биосферы) формы углерода – CO_2 и CH_4. Для них (как и для воды) свойственна способность трансформироваться в твердофазный, жидкофазный, либо газообразный про-

дукт, т.е. распределяться во всех четырех планетарных сферах (лито-, гидро-, био- и атмосфере) и при этом перераспределять энергию или влиять на ее перераспределение из одной сферы в другие или внутри одной сферы из одних слоев в другие. Каждый из этих вещественных преобразователей также представляет собой сложную систему.

Как известно (см. рис. 69), колебания температуры воздуха на планете тесно связаны с колебаниями содержания парниковых газов. Однако, по имеющимся данным, снижению температуры воздуха (по крайней мере, в южном полушарии), в каждом из отмечаемых климатических пессимумов, предшествует снижение температуры вод океана (морские изотопные стадии (МИС) [Балобаев, Шепелев, 2001; Добрецов и др., 1995; Зубаков, 1990; Кондратьев, 2004]. Это подтверждается опережением появления максимально высоких содержаний тяжелого изотопа кислорода в карбонатных осадках океана ($\delta^{18}O_{mar}$) перед максимальным обогащением тяжелым изотопом ледникового покрова ($\delta^{18}O_{air}$). Поскольку обогащение тяжелым изотопом воды и воздуха указывает на относительное снижение температуры этих сред, можно сделать вывод о том, что охлаждение океана в периоды климатических пессимумов предшествовало охлаждению атмосферы. С еще большим опережением перед охлаждением атмосферы происходит падение средних значений для периодов климатических пессимумов содержания CO_2 во льдах Антарктического ледника. Можно полагать, что поскольку растворимость CO_2 в воде увеличивается с падением температуры, а, снижение его концентрации в ледниках (и, следовательно, атмосфере) должно компенсироваться растворением CO_2 в океане, правомерно сделать вывод, что падение температуры вод океана происходит задолго (за тысячи лет) до установления экстремума климатического пессимума на планете. Максимумы же содержания парниковых газов в атмосфере, по данным [Mudelsee, 2001], могут отставать или опережать температурные максимумы климатических циклов (МИС 1, 5e, 7, 9) на 1-5 т.л. Однако рост температуры вод океана всегда опережает начало роста содержания парниковых газов в атмосфере и всегда предшествует началу роста температур в верхних слоях океана и нижних слоях атмосферы. М. Мадлси [2001], изучавший это явление произвел подсчет времени запаздывания содержания CO_2 относительно температур вод океана и объемов льда в Южном полушарии методом наименьших квадратов. Результат его исследований сводится к таким выводам: на нисходящей ветви климатического цикла падение температур атмосферы опережало падение содержания парниковых газов на 4 т.л., увеличение объемов льда опережало падение CO_2 на 2 т.л. На восходящих ветвях климатических циклов рост температур воздуха опережал увеличение содержания парниковых газов в атмосфере на 1.5 т.л., а дегляциация запаздывала на 3 т.л. относительно роста CO_2.

Можно предполагать, что в начале климатических циклов возрастала температура воды океана, далее шло увеличение температуры воздуха приземных слоев атмосферы, затем атмосфера обогащалась парниковыми газами. Охлаждение вод океана предшествует климатическим пессимумам в конце «100-тысячелетних» планетарных климатических циклов, а нагрев вод океана предшествует началу эввазии CO_2 и климатическим оптимумам.

Очередность событий в «100-тысячелетних» климатических циклах показывает, что для объяснения опережающего начала нагрева вод океана и, тем более, опережающего снижения температуры вод океана перед климатическими оптимумами и пессимумами должен существовать иной механизм, нежели парниковый эффект или космический фактор (изменение эксцентриситета орбиты). В качестве этого предполагаемого механизма вполне могла выступать карбонатная система, при работе которой (отложение карбонатов) происходит поглощение тепла и инвазия CO_2, а при растворении карбонатов - выделение тепла, эввазия и рост содержания парниковых газов в атмосфере.

Карбонатная система и ее роль в саморегуляции климата. Оксид углерода (IV) – CO_2, способен, кроме газообразного состояния и акватированной формы ($CO_{2\ раств}$), трансформироваться в твердое вещество – карбонаты (например, Ca или Mg), либо в растворимые соединения – бикарбонаты. Процессы осаждения и растворения карбонатов в океанах являются, соответственно, эндо- и экзотермическими, что приводит к понижению или повышению температуры вмещающих их водных масс. Осаждение карбонатов также сопровождается выделением в атмосферу CO_2, который, как известно, вносит основной вклад в парниковый эффект атмосферы (около 60% по [1]). Согласно расчетам некоторых исследователей, современное потепление сопровождается ежегодным выносом углерода в атмосферу в форме CO_2 в количестве 584 млн. т. [Савенко, 2001].

Химической реакцией, связывающей все три формы CO_2, является обратимая реакция (51), которая в свою очередь состоит из трех основных стадий – реакций (51-54):

$$\mathbf{CaCO_{3\ тв.} + CO_{2\ газ.} + H_2O \leftrightarrow Ca^{+2} + 2HCO_3^- + Q} \qquad \mathbf{(51)}$$

$$CO_{2\ газ.} \leftrightarrow CO_{2\ раств.} \qquad (52)$$

$$CaCO_{3\ тв.} \leftrightarrow Ca^{+2} + CO_3^{-2} \qquad (53)$$

$$CO_3^{-2} + CO_{2\ раств.} + H_2O \leftrightarrow 2HCO_3^- \qquad (54)$$

Термодинамический расчет показывает, что при стандартных условиях (25°C, 1 атм.) растворение карбоната является экзотермической реакцией с энтальпией процесса ($\Delta H°_{реакции}$) = –137.2 кДж/моль. Согласно уравнения Кирхгоффа (5) $\Delta H_{\circ t}$ является функцией температуры и молярной теплоемкости:

$$\Delta H_{\circ_t} = \Delta H° + \int_{298}^{t} \Delta C_p \cdot dT \qquad (55)$$

По закону Дюлонга и Пти при невысоких температурах молярные теплоемкости всех твердых веществ не зависят от температуры. Теплоемкость воды меняется незначительно от 4.2174 при 0°C до 4.1782 Дж/(г·°К) при 30°C, а температурные зависимости изменений теплоемкости растворенных веществ, при их малых концентрациях, определяются температурной зависимостью теплоемкости растворителя. Поэтому, расчет показывает, что $\Delta H_{реакции}$ (55) в интервале температур от 30°C до 0° варьирует от –137.2 до –135.8 кДж/моль.

Протекание реакции (51) то в сторону эндотермического образования карбонатов, то их экзотермического растворения, на фоне уменьшения растворимости CO_2 при повышении температуры воды (рис. 70), ведет к перераспределению CO_2 между газовой, жидкой и твердой фазами.

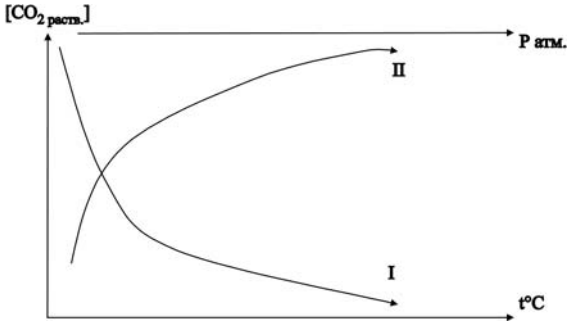


Рис.70. Зависимость концентрации растворенного CO_2 от температуры (I) и давления (II).

Дополняющим карбонатную систему веществом, как было отмечено выше, является соединение углерода в наиболее восстановленной форме - CH_4. Метан плохо растворим в воде, но при определенных условиях: пониженных температурах (0-2°C) и высоких давлениях (250 атм. и выше), способен образовывать газовые гидраты и накапливаться в такой форме в огромных количествах в морской воде и донных отложениях. По некоторым оценкам [Адушкин, 2001] запасы метангидратов в нижних слоях и донных отложениях Мирового океана составляют в настоящее время около $5 \div 65 \cdot 10^{12}$ тонн. Ближайшие гомологи метана также образуют газогидраты, однако, роль их невелика вследствие малой концентрации в природных газовых гидратах.

Попадающий из различных источников в атмосферу метан дает заметный вклад в формирование парникового эффекта, который оценивается на уровне 10-20% от вклада CO_2. По мнению некоторых исследователей [Валяев, 1997] первичное потепление глубинных вод Мирового океана может привести к масштабному разложению метановых газогидратов, сосредоточенных в нем на глубинах более нескольких сотен метров, прежде всего, в осадочной толще его дна, и по принципу положительных обратных связей вызвать усиление парникового эффекта при выходе выделяющегося метана в атмосферу.

Это может вызвать катастрофические последствия для системы планетарного климата – потепление к концу XXI века на 7-10°C. Теплота разложения гидрата метана ($CH_4 \cdot 6H_2O$) на газ и жидкую воду (0°C, 1 атм.) составляет -54.2 кДж/моль. Трансформация энергии при переходах метана в газовый гидрат и обратно невелика, однако, как уже было указано, запасы метангидратов в Мировом океане огромны. Переход метана в атмосферу (в силу его малой растворимости) приводит к существенному повышению парникового эффекта. То есть процессы, связанные с образованием и разложением метангидратов, могут вносить существенный вклад в саморегуляцию планетарного климата**.**

Совокупность факторов, таких как:

- экспериментально известные данные по изменению растворимости CO_2 в воде в зависимости от температуры и давления (см. рис. 70);

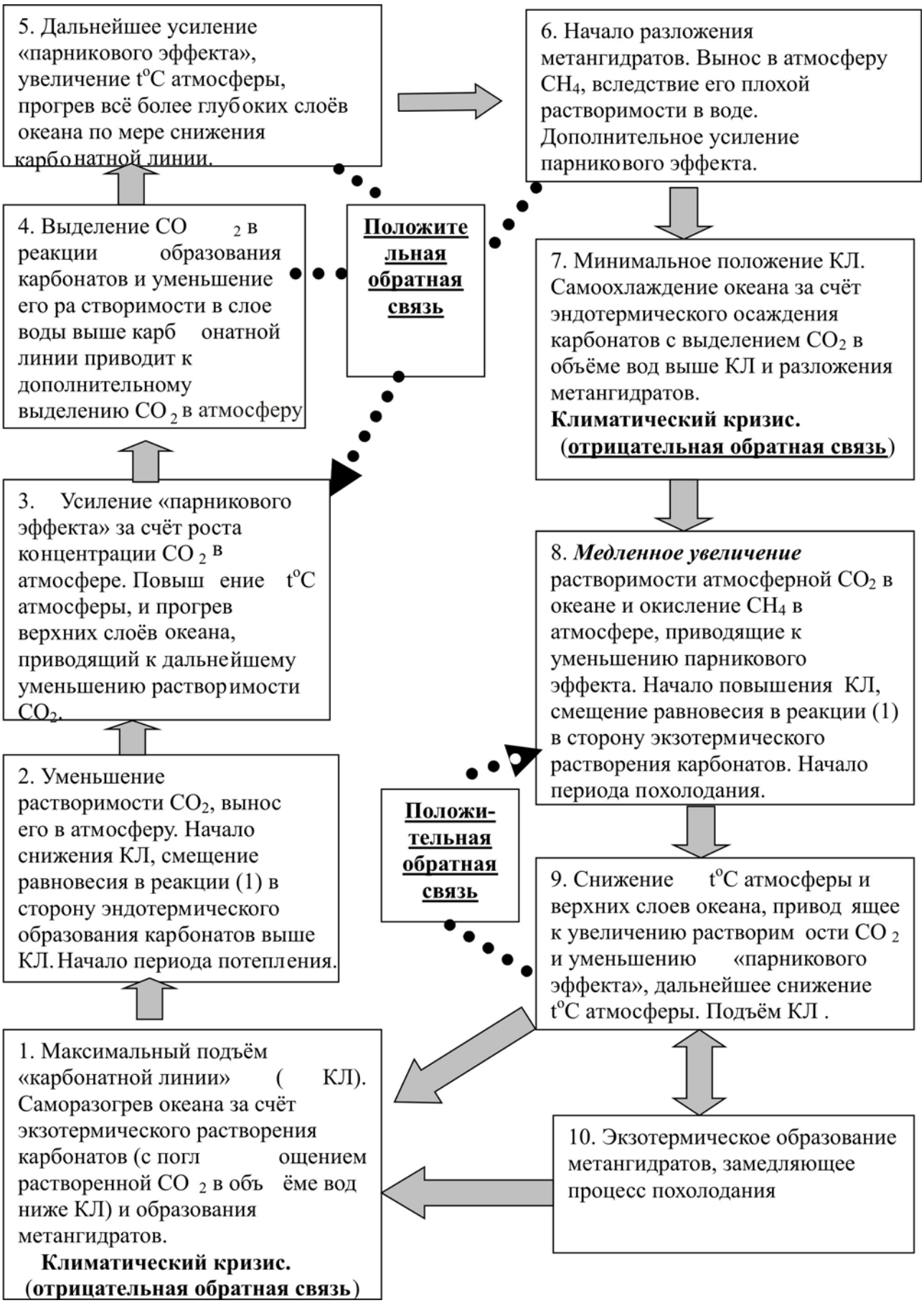


Рис. 71. Схема «карбонатно-метановой геохимической модели саморегуляции планетарного климата».

- возможность разложения придонных метангидратов при повышении температуры нижних слоев воды Мирового океана выше некой критической величины;

- «парниковый эффект», связывающий уменьшение теплоотдачи планетарной системы с повышением концентрации CO_2 и CH_4 в атмосфере;

- тепловые эффекты процессов растворения-осаждения карбонатов и образования-разложения метангидратов;

- опережение процессов охлаждения/нагрева океанических вод относительно охлаждения/нагрева нижних слоев атмосферы позволяет предложить порядок работы *саморегулируемого* карбонатно-метанового гидро-атмосферного планетарного климатического механизма (рис. 71).

Модель функционирования саморегулируемого планетарного климатического механизма основана на автоколебательных процессах в нелинейной, открытой и неравновесной карбонатно-метановой гидро-атмосферной планетарной системе и включает совокупность процессов, являющихся причинами и следствиями смещения равновесия в открытой и сильно удаленной от равновесия реакции (51) либо в сторону эндотермического образования нерастворимых карбонатов в верхнем слое Мирового океана с выделением CO_2 в атмосферу и его влиянием на уменьшение планетарной теплоотдачи («парниковый эффект»), либо в сторону экзотермического растворения карбонатов в более глубоких слоях океана с поглощением акватированной CO_2. Линию глубины Мирового океана, выше которой преобладают процессы образования нерастворимых карбонатов, а ниже - превращение карбонатов в растворимые бикарбонаты с участием растворенного CO_2, называют *карбонатной линией*. Рассмотрим предлагаемую модель на примере какого-либо «100-тысячелетнего» климатического цикла (рис. 71 и 72).

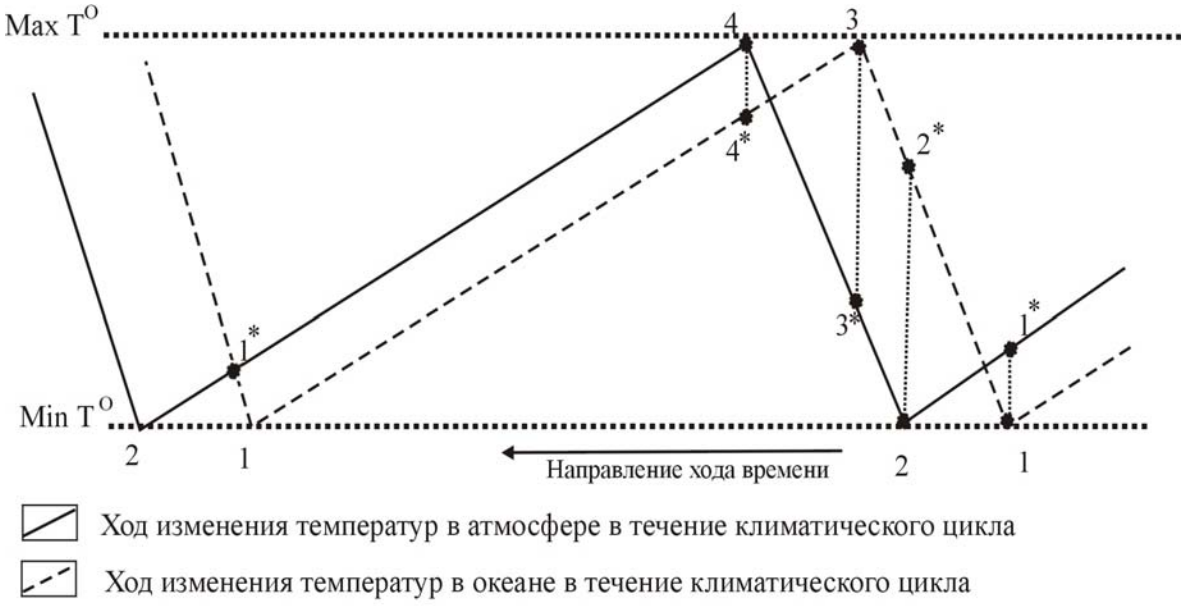


Рис. 72. Карбонатно-метановая модель саморегуляции планетарного климата.

1 - Смена ветви похолодания на ветвь потепления океанических вод - начало «низкотемпературного климатического кризиса» (детерминистического

хаоса). Уровень карбонатной линии в океане достигает максимально высокого положения. Массы CO_2 перераспределены из атмосферы в воды Мирового океана, что создает предпосылки для интенсивного растворения карбонатов. Охлаждение океана достигает критических величин, при которых содержание CO_2 достаточно для начала экзотермической реакции растворения карбонатов, а тепла не достаточно для поддержания эндотермической реакции осаждения карбонатов. Ниже карбонатной линии начинается растворение карбонатов с разогревом вод океана.

1 -2 - интервал низкотемпературного климатического кризиса.

*1-2** - начинается прогрев вод океана на глубинах ниже карбонатной линии в результате растворения карбонатов. Поступление тепла в толщу океана в результате экзотермической реакции растворения карбонатов расходуется на прогрев сильно охлажденных нижних слоев вод океана. Необходимый для реакции растворения углекислый газ мобилизуется из акватированной фазы.

Моменты изменения направления теплового процесса: 1, 3 – в океане и 2, 4 – в атмосфере и противостоящие им точки на ветвях климатического цикла: 1*, 3* - в атмосфере и 2*, 4* - в океане. Пояснения в тексте.

1-2* - продолжается снижение температуры нижних слоев атмосферы, так как углекислый газ расходуется на растворение карбонатов согласно реакции (7) и *не поступает в атмосферу* Снижение температуры атмосферы поддерживается ростом ледово-снежных покровов, уменьшением площадей водных поверхностей, которые приводят к увеличению альбедо Земли.

2 - Смена ветви похолодания на ветвь потепления в атмосфере – окончание «низкотемпературного климатического» кризиса». Саморазогрев океана приводит к дальнейшему нелинейному уменьшению растворимости CO_2, некомпенсируемому линейным расходованием углекислого газа в реакции растворения карбонатов. Таким образом, значительный объем вод океана оказывается в состоянии потенциальной готовности к выбросу в атмосферу ранее акватированного CO_2. Нижние слои атмосферы и верхняя часть вод океана имеют минимальные температуры. Ледово-снежные покровы достигают максимального распространения. Альбедо поверхности Земли максимально.

2-3 – интервал резкого возрастания температуры вод океана и атмосферы.

2-3* - в толще вод океана идет ускоренный процесс растворения карбонатов, который сопровождается резким повышением температуры.

*2-3** - CO_2 выделяется в атмосферу, формируя парниковый эффект, благодаря которому происходит нагрев приповерхностных вод океана. Это еще сильнее уменьшает растворимость CO_2 - положительная регуляторная обратная связь. Идет процесс перераспределения CO_2 из океанических вод в атмосферу (эввазия). Карбонатная линия опускается. Альбедо Земли уменьшается.

3 – Смена ветви потепления на ветвь похолодания в океане. Нагрев океана достигает критических величин, при которых содержание CO_2 становится недостаточным для поддержания реакции растворения карбонатов, а тепла достаточно для начала и поддержания эндотермической реакции осаждения карбонатов - начало «высокотемпературного климатического кризиса» (детерминистического хаоса). Течение реакции (51) меняется на противоположное - в сто-

рону осаждения карбонатов и образования CO_2. Карбонатная линия достигает наиболее низкого положения.

3- 4 - Интервал высокотемпературного климатического кризиса.

*3-4** - в водах Мирового океана начинает преобладать реакция осаждения карбонатов, которая вызывает снижение температуры. Образование CO_2 в этой реакции превалирует над повышением его растворения в результате охлаждения вод. Охлаждение усиливается эндотермической реакцией *разложения метангидратов*, снижающих температуру нижних слоев водной толщи.

3-4* - на данном этапе, пока температура вод остается достаточно высокой выделившиеся при реакции (1) CO_2 и, при разложении метангидратов, CH_4 поступают в атмосферу, усиливая парниковый эффект. Верхние слои океана остаются хорошо прогретыми. В атмосфере продолжается увеличение температуры и за счет таяния снежно-ледниковых покровов, увеличения поверхности океана, снижения альбедо.

4 – Смена ветви потепления на ветвь похолодания в нижних слоях атмосферы – окончание «высокотемпературного климатического» кризиса». В то время как в атмосфере наблюдается максимальное потепление за счет парникового эффекта CO_2 и CH_4, океанические воды продолжают остывать, так как образование карбонатов и разложение газовых гидратов являются эндотермическими процессами.

4 – 1 – интервал плавного снижения температуры вод океана и атмосферы

4*–1 - в водах океана продолжается эндотермическое осаждение карбонатов, охватывающее верхние слои воды (выше карбонатной линии). Похолодание верхних слоев вод океана, сопровождается поглощением как выделившегося в результате реакции, так и атмосферного CO_2, уменьшением парникового эффекта, новым охлаждением и повышением карбонатной линии. Процесс тормозится экзотермическими реакциями отложения метангидратов.

4-1* - уменьшение содержания CO_2 в атмосфере приводит к уменьшению парникового эффекта, разрастанию ледово-снежных покровов, падению уровня океана и дальнейшему охлаждению поверхностных вод океана, в результате чего возрастает растворимость CO_2 в океане, вызывающее дальнейшее снижение парникового эффекта (положительная регуляторная обратная связь).

Ведущая роль карбонатной системы в механизме планетарного климата подтверждается опережением процесса охлаждения и разогрева Мирового океана перед уменьшением или ростом, соответственно, количеств парниковых газов в атмосфере. Таким образом, в системе реализуются регуляторные отрицательные обратные связи, обусловленные тепловым эффектом, протекающей в океане реакции осаждения-растворения карбонатов, а взаимосвязь периодических процессов повышения-снижения температуры верхнего слоя океана и атмосферы с парниковым эффектом приводит к возникновению положительных обратных связей.

Открытость глобальной системы «$CO_{2\ газ}$ – $CO_{2\ раств.}$–$CaCO_{3\ нераств.}$–$Ca(HCO_3)_{2\ раств.}$» с сформировавшимися в ней «положительными и отрицательными обратными связями» позволяет предположить ее ключевую роль в планетарной автоколебательной системе саморегуляции климата.

Экзотермический процесс образования метангидратов, по принципу регуляторной отрицательной обратной связи, вероятно, способен смягчать период похолодания, растягивая его во времени, в то время как в период потепления быстрое выделение CH_4 в атмосферу вследствие его низкой растворимости в воде, по принципу регуляторной положительной обратной связи, наоборот, ускоряет потепление, сжимая его во времени (восходящая ветвь климатического цикла). То есть, можно предположить, что процесс образования–разложения метангидратов способен выполнять модулирующую функцию по времени колебательных циклов в планетарной системе саморегуляции климата.

Согласно вышеизложенному, геохимическая модель саморегуляции планетарного климата осуществляется через отрицательные и положительные регуляторные обратные связи, возникающие в неравновесной открытой карбонатно-метановой системе при перетоках CO_2 и тепла между гидро- и атмосферой, образовании и распаде метангидратов в Мировом океане, с учетом «парникового эффекта».

Расчет теплового эффекта реакции (51) на начальном этапе восходящей ветви (ветви потепления атмосферы; рис. 69), проведенный в первом приближении с учетом того, что общий обмен углерода между поверхностными слоями воды (включая акватированную CO_2), морской биотой, промежуточными и глубинными слоями составляет около 291.6 млрд.т в год [Адушкин, 2001; Сорохтин, 2002, Siengenthaler, et. al, 1993], масса нагревающегося за счет этого слоя воды Мирового океана составляет $1.41 \cdot 10^{24}$ г при ее теплоемкости 4.1816 Дж/г·град., показывает, что за счет реакции (7) градиент повышения температуры воды может составить $5.7 \cdot 10^{-4}$ градуса/год. Если предположить, что это приведет к изменению температуры атмосферы на ту же величину и не учитывать влияние на потепление атмосферы «парникового эффекта», то расчет показывает, что протекание реакции (7) в сторону растворения карбонатов в начале периода потепления (максимально верхнее положение «карбонатной линии») со сдвигом по времени может обеспечить более 70% экспериментально определяемого градиента температур воздуха ($8 \cdot 10^{-4}$ град/год; см. рис. 69).

Оценка вклада температурного эффекта реакции (1) на нисходящей ветви (ветви похолодания; см. рис. 69) может быть проведена с учетом того, что, во-первых, 0.2 млрд.т углерода в год переходит в Мировом океане в осадки (прежде всего в $CaCO_3$) [Адушкин, 2001; Сорохтин, 2002, Siengenthaler, et. al, 1993]. Во-вторых, слой охлаждаемой за счет этого воды составляет около 250 м (слой наиболее интенсивного образования карбонатов), так как в более глубоких слоях Мирового океана температура воды слишком низкая для инициации реакции (51) в эндотермическую сторону. Известно, что именно в слое воды 0÷250 м (зона «фотосинтеза и биофильтрации») происходит превращение растворимых форм элементов, в том числе и бикарбонатов в биогенную взвесь. Ниже этого слоя, на уровне скачка плотности («жидкого дна») происходит растворение 90% биогенного детрита [Лисицын, 1978]. Остальные 10% практически полностью растворяются до карбонатной линии («критической глубины карбонатонакопления»). Расчет, проведенный с учетом двух вышеуказанных условий показывает, что годовой градиент снижения температуры в слое фотосинтеза за счет протекания реакции (51) составляет $6 \cdot 10^{-5}$ градуса/год. На момент начала

похолодания (нижнее положение «карбонатной линии»), при допущении: что температура атмосферы снижается на ту же величину; не учитывается влияние на похолодание атмосферы уменьшения вклада «парникового эффекта» - протекание реакции (51) в сторону образования карбонатов в Мировом океане может обеспечить отрицательной градиент температур воздуха около $6 \cdot 10^{-5}$ град/год, что составляет около 75% его экспериментально определяемых величин (см. рис. 33).

В целом проведенный расчет указывает на то, что реакция (51), протекающая в масштабах Мирового океана и приводящая к изменениям содержания парниковых газов в атмосфере вполне может претендовать на роль системы, обеспечивающей базовые автоколебательные процессы саморегуляции климата в планетарном масштабе.

Предлагаемая модель позволяет отчасти объяснить и некоторые локальные, наблюдаемые в последние десятилетия, изменения климата. Например, на заключительном этапе ветви потепления атмосферы (3*-4, см. рис. 36) «карбонатная линия» относительно быстро опускается, особенно в экваториальной зоне Мирового океана, реакция (51) направлена в сторону эндотермического образования карбонатов. То есть, океан меньше отдает тепла и даже частично его поглощает, «парниковый эффект» частично нивелируется. Поэтому, вероятно, в этой зоне планеты «глобального потепления» не наблюдается и, более того, теплые течения, распространяющиеся от экватора к полюсам, снижают свою температуру. В приполярных, к тому же более мелких по глубинам, областях океана, эффект эндотермичности реакции (51), медленнее протекающей в сторону образования карбонатов, перекрывается «парниковым эффектом». Поэтому потепление атмосферы более выражено. Но в среднеширотных и предполярных областях, там, где относительно теплый климат связан с теплыми течениями (например, с Гольфстримом) за счет снижения их температуры, возможны даже локальные похолодания. То есть, саморегулируемый климатический механизм в области смены климатических периодов функционирует в режиме «детерминистического хаоса». Значительный обратный градиент в температурах верхних слоев океана и атмосферы в периоды климатических кризисов, а также разница в температурах отдельных слоев океана могут вызывать различные погодные катаклизмы.

Описанная модель позволяет также оценить влияние биосферы и техносферы на функционирование системы регуляции планетарного климата. Так, можно предположить, что на этапе потепления атмосферы биосфера не вносит соизмеримого вклада в функционирование данной системы, хотя по принципу микроположительной обратной связи могут ускорять этот процесс.

Более медленная стадия глобального климатического похолодания (см. рис. 69, 71, 72) осложнена рядом более коротких климатических пульсаций и осцилляций. Так жизнедеятельность автотрофных фотосинтезирующих водных и наземных организмов будут давать эффект дополнительного «похолодания» и атмосферы, и верхних слоев Мирового океана за счет трансформации газообразного и акватированнного CO_2, отчасти карбонатов в органическое вещество. В этом можно увидеть дополнительную «микроположительную обратную связь». Жизнедеятельность же аэробных, либо анаэробных гетеротрофных ор-

ганизмов, а также антропогенная деятельность на стадии глобального климатического «похолодания» будет вызывать эффект «микропотепления» за счет дополнительного выделения CO_2 в атмосферу. Следовательно, их можно рассматривать как дополнительную «микроотрицательную обратную связь» в автоколебательной «карбонатно-метановой системе саморегуляции планетарного климата».

Вместе с тем, в период функционирования планетарного климатического механизма в режиме «детерминистического хаоса» в период максимума температуры атмосферы и смены ветви потепления на ветвь похолодания (современное ее состояние) даже относительно малый вклад биосферы и техносферы в карбонатно-метановый механизм саморегуляции климата, по принципу микроположительной обратной связи, может оказать решающее влияние на выбор системой дальнейшей траектории ее эволюции.

Вышесказанное указывает на то, что в качестве одного из основных факторов саморегулирующейся системы планетарного климата 90-120-тысячелетних климатических циклов выступают автоколебательные процессы в открытой, сильно неравновесной и нелинейной карбонатно-метановой системе в гидро-атмосфере планеты, обеспечивающие образование (расходование) и перераспределение двух основных парниковых газов: CO_2 и CH_4, а также потоки тепловой энергии, что подтверждается опережающим охлаждением Мирового океана по сравнению с падением содержания парниковых газов в атмосфере и атмосферным похолоданием.

Карбонатная система генерирует тепло в ходе растворения карбонатов и расходует тепло в процессе их осаждения. Тепловой эффект этого процесса определяет формирование отрицательных регуляторных обратных связей в системе саморегуляции планетарного климата. К возникновению положительных обратных связей приводит взаимосвязь периодических процессов повышения-снижения температуры верхнего слоя океана и атмосферы с парниковым эффектом, благодаря температурным изменениям растворимости CO_2.

Тепловой эффект процессов образования-разложения метангидратов, а также возможность выделения значительных количеств CH_4 в атмосферу в периоды максимального потепления по принципу регуляторных отрицательных или положительных обратных связей могут, по-видимому, оказывать влияние на продолжительность климатических периодов потепления (сжатие) и похолодания (растягивание), выполняя тем самым модулирующую функцию по времени колебательных циклов в планетарной системе саморегуляции климата.

Очевидно то, что наша планета пребывает в настоящее время на рубеже восходящей и нисходящей ветви последнего, голоценового, климатического планетарного цикла. С момента начала потепления прошло около 11 т.л. Планета, вероятно, прошла пик климатического оптимума, который был в атлантическом климатическом периоде голоцена (5-8 т.л.н.). От нового климатического пессимума планету отделяет 70-100 т.л. В настоящее время наблюдается небольшой отрицательный баланс углекислого газа атмосфера-океан: из океана в атмосферу поступает 332.5 млрд. т/год, а из атмосферы в океан 337.6 млрд. т/год [Адушкин, 2001 и др.]. Начало перетока CO_2 из атмосферы в океан свидетельствует о том, что в Мировом океане увеличивается растворимость CO_2 (см.

рис. 35 и 36), что приводит к началу уменьшения «парникового эффекта». При этом карбонатная линия начинает медленно подниматься (протекание реакции (51) смещается в сторону экзотермического растворения карбонатов с расходованием акватированной CO_2). Поэтому могут происходить локальные изменения температуры воды Мирового океана как в сторону их потепления, так и похолодания, меняется география основных океанских течений. Таким образом, планетарный климатический механизм, определяя в настоящее время максимум температуры атмосферы, находится на этапе перехода от периода потепления к периоду похолодания, которое, вероятно, начнет проявляться через 1500-2000 лет. То есть, самоорганизующийся климатический механизм функционирует в режиме «детерминистического хаоса» и в этот период даже относительно слабые воздействия биосферы и техносферы на ее карбонатно-метановый механизм саморегуляции могут оказать решающее влияние на выбор системой дальнейшей траектории ее эволюции.

5. Синергетика в биохимии

Синергетические механизмы ранних стадий биологической эволюции

Процессы самоорганизации являются неотъемлемой сущностью живой материи, начиная с самых первых абиогенных этапов возникновения живой материи.

В рамках ранних стадий биологической эволюции можно выделить три этапа. Первый – образование простейших (мономерных) биологически важных молекул (моносахаридов, жирных кислот, аминокислот, нуклеотидов) в предбиологический период. Второй – Самопроизвольное скопление этих молекул в пространстве и их поликонденсация с образованием полимерных соединений (полипептидов, полинуклеотидов, олиго- и полисахаридов, липидов) со случайными последовательностями. Третий – Возникновение биологической информационной системы и ценной информации в ней..

В главе 4.2 мы уже рассматривали один из механизмов самоорганизации в системе простейших молекул, приводящий к образованию биологически важных молекул на этапе химической эволюции (углеводов, нуклеотидов) и, самое главное, синергетические механизмы возникновения в системе химических автокатализаторов (на примере моносахаридов, образующихся в реакции Бутлерова) процесса естественного отбора.

В настоящее время известен целый ряд механизмов реализации и второго этапа предбиологической эволюции. Впервые (ещё в 1924 г.) академиком А.И. Опариным была выдвинута теория коацерватных капель, в рамках которой было показано, что биологически важные молекулы могут самопроизвольно концентрироваться, образуя капли. По ряду свойств коацерваты напоминали клетки простейших. Необходимым условием концентрации простейших биологически важных молекул в них является образование границы раздела фаз, некой плёнки, обволакивающей капельку воды. В 1988 г. аналогичные структуры наблюдал С.Фокс, который назвал их микросферами. Было показано также, что при определенных условиях (достаточная температура, наличие активных фосфатов и т.д.) в микросферах образуются полипептиды со случайной последова-

тельностью аминокислот путём образования связей между атомами азота аминогруппы и углерода карбоксильной группы, в реакции дегидратации.. Подобные полипептиды обладают иногда слабой гидролитической активностью, но в остальном функционально инертны. Эгами в 1978 г. показал, что капли, подобные коацерватам и микросферам, могут образовываться в морской пене! Он назвал их маригранами. В них образование полипептидов из фосфорилированных аминокислот возможно в сравнительно мягких условиях. Работами В.Л., Воейкова, Л.С.Ягужинского, В.И.Брускова, А.А.Стехина и других (см. главу 4.3. пособия) показан и источник энергии, и первичная система регуляторных сигналов для такой сополимеразации аминокислот, нуклеотидов, моносахаридов или компонентов липидов. Это - разность потенциалов между объемной и приповерхностной водой (граница раздела фаз в маригранах выполняет не только функции пространственного выделения и ограничения сферы реакций от окружающей среды, но и формирования двух фаз воды) и образование в результате электронного переноса с воды на растворенный кислород (в том числе образующийся и в результате разложения самой воды; см. главу 4.3. пособия).

Установлено также, что именно способность воды к образованию надмолекулярных структур и их высокая чувствительность к внешним воздействиям как химической, так и физической природы, лежит в основе не только способности системы к синтезу аминокислот, нуклеотидов с использованием в качестве затравки всего лишь одной молекулы, но и к их сополимеризации, причём даже в реакциях дегидратации! Таким образом, небиологический самопроизвольный (самоорганизующийся) синтез полипептидов, полинуклеотидов, поли- и олигосахаридов, липидов был продемонстрирован во многих работах. При этом выяснилось, что однонитчатые полинуклеотиды неустойчивы и легко подвергаются гидролизу, кроме полинуклеотидов, способных к образованию внутримолекулярных водородных связей между парами азотистых оснований (типа т-РНК) – рибозимов (причём оказалось, что многие из них проявляют и каталитическую активность в определенных типах реакций). Было также показано, что стабильный полимер типа двойной спирали ДНК (между двумя цепями которой формируется система водородных связей с учатием амино- и карбонильных групп азотистых оснований аденина и тимина, а также гуанина и цитозина) образуется, во-первых, в условиях относительно высоких концентраций фосфорелированных нуклеотидов, что вполне достижимо в маригранах с участием неорганических фосфатов. А, во-вторых, **благодаря высокой степени комплементарности супрамолекулярных структур воды вторичной структуре образующейся двойной спирали ДНК (!!!)** Иными словами, сама вода, определенным образом структурированная в условиях действия на неё основных планетарных физических и химических факторов (флуктуирующих геомагнитного и гравитационного поля, природы и концентрации основных солей в морской воде – NaCl и фосфатов и т.д.) определяла направленность процесса самопроизвольного не только скопления мономерных молекул, но и образования из них биологически важных полимерных соединений. Таким образом, важность второго этапа в том, что благодаря самоорганизации в каплях, подобных клетке, создавались условия для самопроизвольного (спонтанного) образования

биополимеров. В этой связи, можно сказать, что образование «клетки», точнее её аналога, предшествовало возникновению жизни.

Ещё больший интерес представляют синергетические механизмы третьего этапа – образования информационной системы на основе биополимеров нуклеиновых кислот и полипротеидов, спонтанно образовавшихся в коацерватных каплях, благодаря всему комплексу свойств структурированной воды.

Обратим особое внимание на свойства полинуклеотидов как **информационных** биополимеров [Чернавский, 2004]:

- Эта система мультистационарна. Число N стационарных состояний полинуклеотида, содержащего n звеньев, каждое из которых состоит из одного из четырёх типов нуклеотидов, равно $N = 4^n$. Соответствующее количество информации равно $I = log_2 N = log_2 4n = 2n$.

- Эта система диссипативна, поскольку при образовании полимеров затрачивается энергия, значительная часть которой переходит в тепло.

- Механизм запоминания в этой системе – комплементарная авторепродукция на основе принципа комплементарности – задается свойствами воды, супрамолекулярные структуры которой также организованы на основе принципа комплементарности. Кроме того, это самый эффективный способ, содной стороны, долговременного хранения информации. С другой, - способности системы к адаптации, т.е. некоторым изменениям структуры при действии факторов среды той или иной природы и интенсивности.

Комплементраная авторепродукция необходима для запоминания биологической информации, т.е. она определяет наследственность - одно из двух основных отличительных свойств живой материи. Попытаемся разобраться, как в процессах самоорганизации сформировалась современная система комплементарной авторепродукции, включая биосинтез белков-ферментов, обеспечивающих репликацию, транскрипцию и трансляцию. Хранителем информации является биспираль ДНК и, следовательно, речь идёт о репродукции ДНК. Для ускорения, специфичности репликации и предохранения ДНК от гидролиза в современных молекулярно-биологических системах функционирует сложный белковый репликативный комплекс (БРК).

Понятно, что первичный процесс репликации был проще современного. Вместе с тем, для того чтобы представить молекулярный механизм первичной самопроизвольной, и в то же время достаточно специфической, репликации рассмотрим основные черты современной картины репликации, включая свойства БРК и его биосинтез. В современных биосистемах, как уже отмечалось, комплементарная репродукция ДНК осуществляется с помощью БРК. Первой функцией белков, входящих в БРК, геликаз и репликаз является облегчение разрыва водородных связей между пуриновыми и пиримидиновыми основаниями. Репликазы имеют форму подковы, которая связывается с ДНК в месте инициации и далее может продвигаться вдоль двойной спирали. Для образования комплекса репликаза должна быть комплементарной к внешней поверхности биспирали ДНК. Однако комплементарность может быть полной и неполной. Во втором случае свободная энергия связывания F меньше, чем максимально возможная F_{max}, которая реализуется при полной комплементарности. Разность энергий $F_{ex} = F_{max} - F$ представляется в форме напряжений, преиму-

щественно сосредоточенных на водородных связях между нуклеотидами. Это облегчает разрыв водородных связей, т.е. акт инициации.

Насыщение образовавшихся водородных связей нуклеотидами из раствора вызывает «расталкивание» нитей и механические силы, способствующие перемещению репликазы. Аналогичный механизм катализа может иметь место, когда внешние силы (температура, кислотность и т.д.) **периодически меняются** и вызывают конформационный переход белка-репликазы. Если в одной конформации имеет место полная комплементарность (энергия связывания велика ($F = F_{max}$), а в другой не полная комплементарность, то при переходе в неё возникает напряжение комплекса (энергия напряжения в этом случае черпается из внешнего источника, вызвавшего изменение условий). Конформационный переход может быть вызван также гидролизом химического макроэргического агента или в результате изменений электрохимического потенциала между поверхностной и объёмной водой. Т.е. процесс является энергозависимым. Таким образом, **главными факторами катализа в данном случае являются пространственная форма белка – его конформация (комплементарная, но не полностью, к ДНК) и его способность к конформационным переходам!**

В современных живых организмах белки репликативного комплекса синтезируются, как и все остальные белки, в результате биосинтеза (рис. 73а), включая процессы транскрипции (синтез про-м-РНК на матрице ДНК на основе приницпа комплементарности азотистых оснований ДНК и растущей цепи РНК), процессинг про-м-РНК с образованием м-РНК (вырезание интронов, «сшивание» экзонов, образование защитной белковй оболочки), выход м-РНК в виде информосом из клеточного ядра и её связывание с рибосомой, а главное, с точки зрения взаимосвязи между двумя информационными системами живой природы (перевода с информационного языка нуклеиновых кислот на язык белков) – образование очень спечифических комплексов между т-РНК и аминокислотами с помощью суперспецифических ферментов – кодаз (аминоацил-т-РНК-синтетаз), в основе действия которых лежит генетический код. И, наконец, на завершающей стадии - собственно трансляции – синтез первичной структуры белка на рибосоме. Далее, по правилу Анфинсена «первичная структура белка в определенных условиях среды целиком и полностью определяет его конформацию, а та, в свою очередь, его функциональную активность».

С точки зрения точной трансляции генетической информации ключевым является генетический код, который, как известно, является универсальным - един для всех земных живых организмов (хотя в конце 90-х годов XX века было обнаружено несколько исключений – в митохондриях кодон УГА кодирует аминокислоту триптофан, а кодон АУА – метионин.

В универсальном коде кодон УГА является «пустым» - означает остановку трансляции, а АУА кодирует изолейцин), он также вырожден (т.е. одной аминокислоте соответствует несколько кодонов), но обратное вырождение отсутствует. Генетический код непрерывен, имеет векторную природу (считывание информации всегда происходит в направлении от 5’-конца нуклеиновой кислоты к концу-3’. Наконец, современный генетический код содержит условную информацию, поскольку любой другой код, полученный, например, перестановкой аминокислот в таблице генетического кода, работал бы, с точки зре-

ния теории информации, столь же успешно, как и существующий. Соответственно число различных и почти равноправных **изначально** вариантов кода равно числу перестановок аминокислот, т.е. равно 20! (факториал 20).

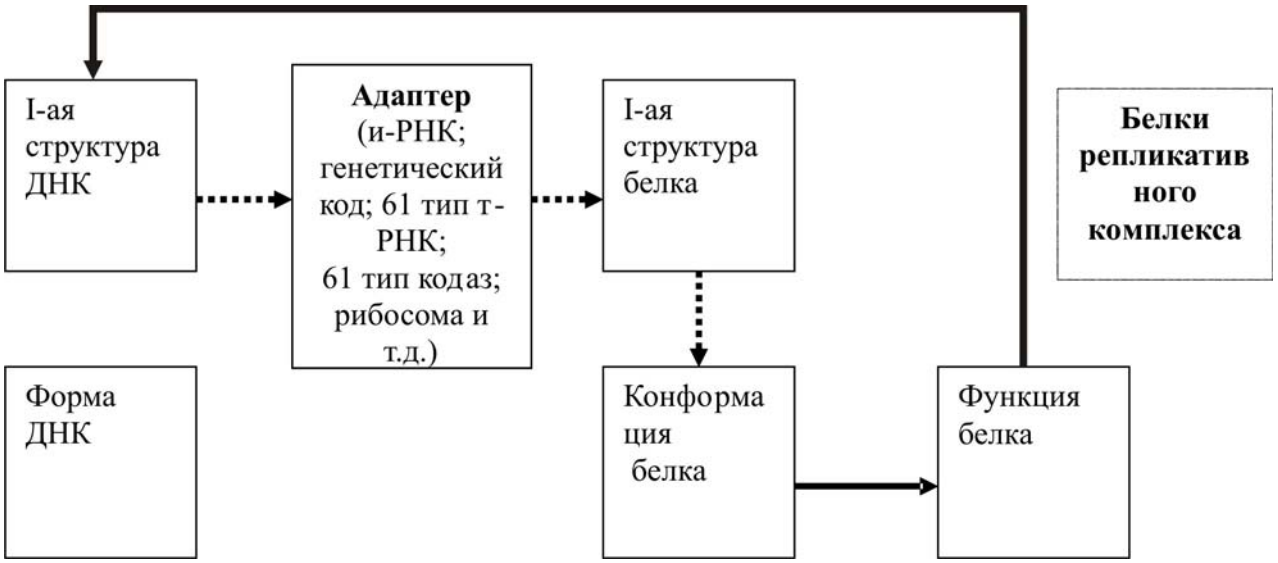


Рис. 73а. Схема современного процесса комплементраной авторепродукции, включая биосинтез белков-ферментов, обеспечивающих репликацию, транскрипцию и трансляцию.

Количество информации, содержащейся в коде, равно:

$\boldsymbol{I}_{\mathbf{tot}} = \log_2 N! = \log_2 20! \approx 80$ бит (56)

Совершенно понятно, что современный вариант кодовой информации появился и был каким-то образом отобран в самоорганизационном (синергетическом) процессе возникновения жизни. По-видимому, это произошло не сразу, а только после образования соответствующей информационной системы и её эволюции в рамках «естественного отбора», что и явилось СУТЬЮ третьего (информационного) синергетического этапа возникновения живых систем и их эволюции [Чернавский, 2004].

В этих процессах существенную роль играют гиперциклы.

Понятие гиперцикл было введено М.Эйгеном в 1973 г. и соответствует циклу биохимических процессов, в которых белки (P_i) катализируют образование полинуклеотидов (I_i), которые, в свою очередь, кодируют биосинтез белков (I = 1, 2, … n), рис. 74.

Простейший гиперцикл содержит всего один белок (репликазу) и один нуклеотид (рис. 74б). Современный биосинтез является весьма сложным гиперциклом (см. рис. 73а). Количество информации, содержащейся в нём, очень велико. Например, в белке, состоящем из m аминокислот, полное количество информации равно: $\boldsymbol{I}_{\mathbf{tot}} = \log_2 20^m \approx 4{,}3m$ бит (56')

Величина $\boldsymbol{I}_{\mathbf{tot}}$ соответствует количеству ценной информации в случае, когда в белке все остатки аминокислот фиксированы, как, например, в гистонах. В большинстве функциональных белков (прежде всего в ферментах) не все остатки должны быть фиксированы **(должен наличествовать элемент «динамического хаоса» для того чтобы конформации белков обладали способностью к молекулокинезу, благодаря которому и достигается их адаптационная**

мобильность и собственно высочайшая функциональная, в том числе каталитическая активность).

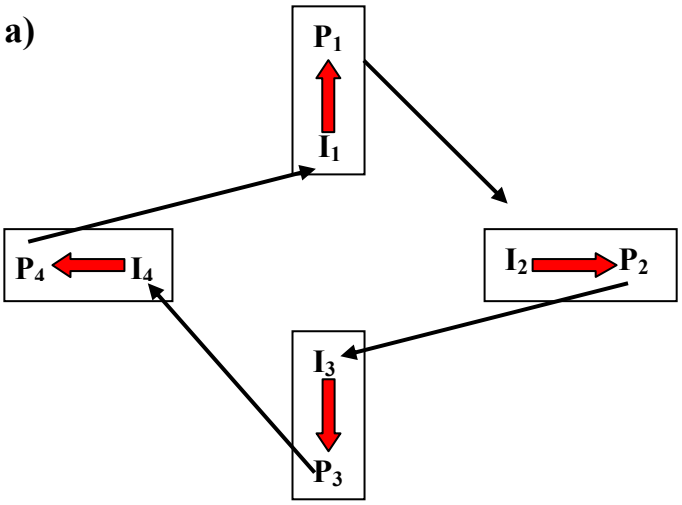


Рис.74. Схемы гиперциклов (по М. Эйгену): а) сложный; б) простой.

В связи с этим количество ценной информации, обеспечивающей функцию белка–фермента, в общем случае меньше. Ориентировочные оценки количества ценной информации в белках-ферментах показывают величину порядка 130 бит. Того же порядка должна быть ценная информация в полинуклеотидах. В современном гиперцикле биосинтеза задействовано более ста полимеров. Поэтому полное количество ценной информации всей системы составляет около 10^4бит.

Вероятность спонтанного возникновения всей системы за один акт равна:

$$\mathbf{W_1} = 2^{-Isys\ tot} \approx 2^{-10000} \approx \mathbf{10^{-3300}} \qquad (57)$$

Исчезающе малая величина. Это позволяет предположить, что первичный механизм кодирования отличался от современного. По-видимому, оно осуществлялось за счёт прямого узнавания кодов и соответствующих им аминокислот. Экспериментально, было показано, что сродство некоторых кодонов к «своим» аминокислотам действительно больше, чем к «чужим». Первичный гиперцикл был максимально прост и состоял из одного полинуклеотида и одного белка – репликазы (рис. 73б), который должен был содержать не менее 200 аминокислот (в противном случае он не мог выполнять свою функцию).

«Кодирующая» его ДНК должна была содержать не менее 600 нуклеотидов в определенной последовательности. Вероятность случайного синтеза такой ДНК составляет $\mathbf{W_{II}} = \mathbf{10^{-400}}$. Она больше предыдущей, но также абсурдно мала.

Эти величины – вероятности синтеза нужной последовательности за один акт. Их следует сравнить с числом попыток синтеза во всем возможном пространстве за всё время существования Земли. Принимая объём обитаемой акватории (лагуны, лужи т.д.) за $(5\div10)10^{10}$ см^3; объём, необходимый для синтеза одной ДНК - около 10^{-6} см^3; время существования биосферы – около 10^9 лет и время одной попытки около суток, получаем число попыток, равное $\mathbf{10^{29}}$.

Вероятность одноактового возникновения такой системы (третий этап возникновения Жизни) в первом варианте ($w_I = NW_I$) равна $\mathbf{10^{-39970}}$, во втором варианте ($w_{II} = NW_{II}$) - $\mathbf{10^{-370}}$. Ясно, что обе эти вероятности абсурдно малы.

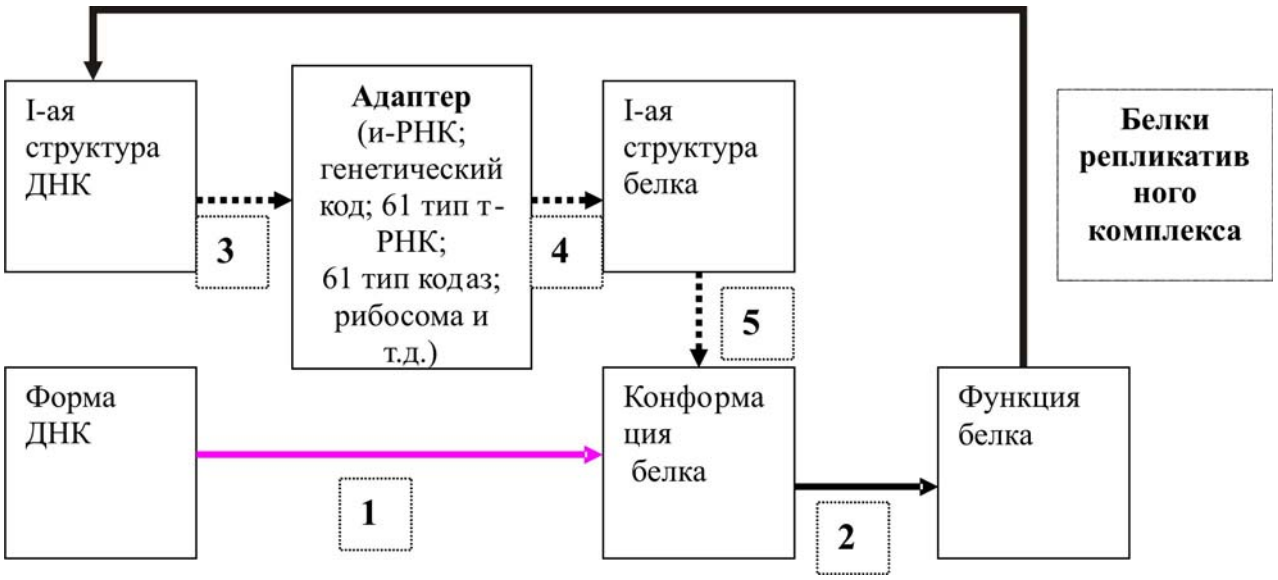


Рис. 73б. Схема первичного синтеза белка-репликазы. Промежуточным он становится в связи с наличием двух систем синтеза: прямого (1) и кодированного (2-5).

Эти величины являются основным камнем преткновения в вопросе происхождения Жизни [Чернавский, 2004]. Путём введения дополнительных граничных условий можно повысить эту вероятность до $\mathbf{10^{-130}}$, но это всё равно намного меньше минимально реальной величины $\mathbf{10^{-30}}$. Суть проблемы заключена в слове «кодирует», точнее, в предположении о том, что последовательность в первичной ДНК должна быть не любой, а особой. При этом сталкиваемся с комбинаторной малостью: при большом количестве элементов число выделенных комбинаций из них всегда очень мало, по сравнению с полным числом вариантов. Для преодоления трудности достаточно отказаться от буквального понимания слова «кодирует», и принять, что молекула ДНК в первичном гиперцикле СПОСОБСТВОВАЛА образованию белка-репликазы (катализировала его синтез) без участия кода. Белок нужной формы, вообще говоря, может образовываться и без участия кода (т.е. первичной структуры ДНК) в результате следующих процессов:

1. Адсорбции аминокислот на молекуле ДНК (любой последовательности).

2. Конденсации амимнокислот, т.е. образования пептидных связей.

Образующийся белок будет **конформационным комплементарным слепком** с молекулы ДНК. В химии такой процесс известен, и к нему часто прибегают, когда нужно получить полимер заданной формы. В данном случае белок, являясь **конформационным комплементарным слепком** с молекулы ДНК уже способен стимулировать разрыв водородных связей между азотистыми основаниями, т.е., как отмечалось выше, способен катализировать репликацию ДНК (стадия 1, см. рис. 73б).

Следующий этап – возникновение белковых адапторов – также можно представить как результат **самоорганизующихся** физико-химических процессов, например, в рамках модели В.Н.Пармона (см. глава 4.2). Фактором отбора популяций молекул автокатализаторов, по-видимому, может быть присутствие

в бороздках спирали ДНК коротких олигонуклеотидов (например, триплеты-кодоны), образующих участки тройной спирали. При образовании адсорбата и последующей конденсации эти триплеты могут связываться с блоками аминокислот ковалентно. Таким образом, среди олгимеров будут присутствовать полипептиды, содержащие кодоны, с одной стороны, и участки, комплементарные аминокислоте (или блоку аминокислот), - с другой. Такие олигомеры уже облают свойством **адаптеров.** Присутствие своего набора адаптеров существенно ускоряет синтез белка-репликазы, т.е. при образовании адсорбата адаптеры подносят нужную аминокислоту на нужные места, соответственно обеспечивают в адсорбате первичную последовательность, совместимую с функциональной формой. Но такой набор затрудняет синтез белка на любой другой, чужой для него ДНК. По существу, речь идёт о деструктивной роли обратного вырождения. Такой гиперцикл можно представить с виду такой же схемой, как и на рис. 73б (стадии 1 и 2), но благодаря адаптерам возникают новые возможности. Так стадии 3, 4 и 5 означают, что апоявляются новые возможности прямого пути от первичной структуры ДНК к первичной структуре белка. Таким образом схема 73б начинает описывать переходную стадию, в которой оказываются **совмещенными процессы синтеза белка без кода и процессы кодирования,** сходные с современным биосинтезом. Последнее позволяет при изменении (мутации) последовательности ДНК (но без изменения набора адапторов) синтезировать белки с измененной формой и функцией. Иными словами, **появляется возможность дальнейшей биологической эволюции, благодаря оптимальному соотношению состояний «динамического хаоса» (мутаций) и «диссипативных структур» (кодирования) в процессах самоорганизации информационных структур клетки**.

Рассмотренная модель, как и модель В.Н.Пармона (глава 4.2), снимает вопрос малой вероятности образования первичного гиперцикла или огромного времени, требующегося на его спонтанное формирование, так как основополагающим является образование даже единичного комплементарного комплекса в рамках определенного аттрактора, образование которого, подчиняется законам синергетики. Вместе с тем, встаёт другой вопрос: почему в современной биосфере практически абсолютно господствует один вариант кода, и отсутствуют другие? Существует два варианта гипотез ответа на этот вопрос. Первая сводится к тому, что среди разных вариантов кода имелся наилучший с термодинамической и кинетической точек зрения, который и получил преимущество в последующей эволюции. Второй вариант ответа следующий: все варианты кода были изначально равноправны, но в результате взаимодействия между разными популяциями первичных биосистем был **выбран** (а не отобран) единый код. Не вдаваясь в детали математического анализа и экспериментальной проверки, можно сказать, что не исключены оба варианта развития событий. Так, распространяя модель В.Н.Пармона на конкуренцию среди систем адапторов, можно придти к заключению о правомочности первого варианта - «естественного отбора» - как единственного варианта возникновения генетического кода. С другой стороны, распространяя фундаментальное положение нелинейной динамики о том, что в точках бифуркации (в «режимах с обострением»), выбор траектории развития самоорганизующейся системы определяется борьбой и

вытеснением из фазового пространства флуктуаций, на выбор единственной системы генетического кода, можно представить себе, что при существовании несимметричной системы (т.е. изначально существовали неодинаковые варианты генетического кода) победу одержал не лучший, а наиболее распространенный вариант. Иными словами, произошел не отбор наилучшего варианта (в традиционном дарвиновском понимании), а выбор одного из практически равноправных, который вытеснил остальных.

В заключение этого раздела можно сделать следующие ремарки [Чернавский, 2004]:

1. Первичный белок, образованный по схеме гетерогенного катализа, являлся грубым слепком с молекулы ДНК. Первичные адапторы также являлись «слепками» (уже не грубыми), с одной стороны, с участка молекулы ДНК (кодона или антикодона), а с другой – с прилегающего блока аминокислот. В обоих случаях «слепок» ассоциируется со словом «глина», поскольку именно этот материал исторически человечество использовало для получения слепков. Не исключено, что алюмосиликаты (глины) играли немалую роль в первичном биосинтезе, но потом были заменены органическими соединениями.

Не следует забывать и роли супрамолекулярных кластеров воды в формировании комплементарных структур биспирали ДНК и, по-видимому, в возникновении первичной комплементарности между фрагментами ДНК и первичными молекулами адапторов. Ведь вода описывается как первичный элемент в первом же стихе Ветхого Завета (Торы): *«… Земля была пуста и нестройна, и тьма над бездной, А дух Всесильного парил над водой».*

2. Эволюцию биосинтеза белка можно сравнить с эволюцией письменности. Древняя форма письма – иероглифы. В древности каждый иероглиф представлял собой рисунок объекта, можно сказать «слепок» с него. При этом, не было необходимости использовать алфавит (т.е. код). Затем некоторые иероглифы потеряли свойство **прямого** соответствия целому объекту (и при этом существенно упростились), но приобрели новую функцию – буквы. Буква – часть слова, его осколок, и сама по себе ничего не значит. Она приобретает смысл в сочетании с другими буквами в соответствии с алфавитом (кодом). Алфавитная письменность в **режиме самоорганизации** появилась в связи с увеличением количества передаваемой информации. Переход от иероглифической письменности к алфавитной был постепенным, при этом иероглифы постепенно вытеснялись (и продолжают вытесняться) буквами, имеют место смешанные системы. При этом каждый из участников (и создатели знака, и реципиенты) постепенно, путем взаимного обучения (комплементарно), вырабатывали условия кода, т.е. алфавит. Схема промежуточного биосинтеза белка (рис. 73б) соответствует смешанной письменности, где адапторы, с одной стороны, являются осколками чехла (иероглифы), а с другой уже буквами. В рассматриваемый период гиперцикл включал только один белок – репликазу – с единственной функцией. Даже в таких простейших популяциях был выработан единый код. Можно сказать, что «В начале было Слово», оно имело один смысл – комплементарная репродукция, т.е. жизнь. Алфавит был выработан на основе единого слова.

К синергетическому механизму формирования третьего этапа биологической эволюции - образованию информационной системы на основе биополимеров нуклеиновых кислот и полипротеидов – по-видимому, близок и механизм возникновения биологической ассиметрии. Вообще вспомним, что наличие ассиметрии в системе – необходимое условие процессов самоорганизации в ней (см. главу 3.5). Большинство органических молекул обладают хиральностью. Сверхтонкой спиновой «хиральностью» обладает вода (см. рис.55). Причём биоактивные молекулы ДНК, белков и другие избирательно связывают пара-воду. В то время как в неживой природе хиральные органические молекулы находятся в рацемической смеси, в жидкой воде больше пара-воды, а в газовой фазе соотношение [орто-вода] / [пара-вод] составляет 3:1.

Т.е. одним из важнейших отличительных свойств живой материи от неживой является ассиметрия по оптически активным молекулам и крайняя степень ассиметрии по спиново-хиральным формам воды! В связи с этим возникают следующие вопросы:

1. Почему в живой природе преобладают определенные оптически активные формы молекул, а не их рацемическая смесь?

2. Почему природой выбран именно этот вариант и отсутствуют его хиральные антиподы?

3. Могли ли возникнуть несимметричные живые объекты в условиях, когда в окружающей (неживой) среде все необходимые для этого вещества находились в рацемической смеси?

4. Могла ли зеркальная симметрия нарушиться ещё в предбиологический период?

Ответ на первый вопрос прост. Специфичность и скорость всех биохимических реакций определятся индуцированной комплементарностью конформаций активных центров ферментов пространственной структуре соответствующих субстратов. Для превращения хиральных изомеров веществ необходимы были бы двойные наборы ферментов, что является принципиально нерентабельным, т.к. одним из первых законов молекулярной логики живого (критериев отбора молекул для самоорганизации живой материи) является закон молекулярной экономии вещества. Кроме того, для фермента катализирующего реакции превращения субстрата в форме одного стереоизомера, его хиральный антипод – сильнейший ингибитор (яд).

Ответ на второй вопрос, по-видимому, заключается в том, что в неравновесных условиях (а биологические системы по определению открыты, сильно неравновесны и нелинейны, иначе в них в принципе не могли протекать процессы самоорганизации) не просто возможно, а неизбежно спонтанное нарушение симметрии за счёт неустойчивости рацемического состояния. Какая именно хиральность получит преимущество – зависит от случайной флуктуации вблизи точки бифуркации системы. Не исключено, что более низкая энергия надмолекулярных кластеров воды, содержащих преимущественно пара-воду (их большая системная устойчивость при наличии подвижности отдельных фрагментов кластера друг относительно друга) определила выбор хиральности исходных молекул, из которых в дальнейшем начали самоорганизовываться биохимические структуры.

В этом же может заключаться ответ и на третий вопрос. При том, что органические вещества в среде неживой природы находятся в рацемической смеси, вода в жидкой фазе уже не является рацематом в полном смысле этого слова и чем ниже её температура, тем большее преимущество получают её супрамолекулярные кластеры, состоящие из молекул пара-воды. Вероятно, в том числе и по этой причине, абиотический этап зарождения Жизни мог протекать в воде в определенном температурном интервале – в диапазоне 25-30^{o}C, не ниже, но и не выше!

Четвертый вопрос является наиболее острым. Ответом на него, по-видимому, может быть следующее: хиральная симметрия могла (и должна) была быть нарушена во время образования самых первичных гиперциклов, не до и не после этого.

6. Синергетика в биологии

Синергетические механизмы обработки информации в нейросетях, процессов памяти и мышления и самоорганизации сознания, синергетика и логика, нейрокомпьютеры.

В структуре целей живого объекта, вслед за «сохранением, увеличением и распространением на другие части системы собственной информации» стоит – прогнозирование поведения окружающих объектов и своей собственной подсистемы в рамках синергетической системы более высокого уровня. У высших животных – эта задача реализуется прежде всего в органах ЦНС в нейрофизиологических реакциях, вплоть до мышления.

Синергетические особенности логического (*однозначный алгоритм, выбор оптимального пути получения результата, при заданном в алгоритме и в начальных условиях конечном результате*) и интуитивного (*исходной информации недостаточно для принятия решения, алгоритм допускает разветвления, неоднозначен, неустойчивость процесса принятия решения*) мышления рассмотрены в монографии Д.С.Чернавского [2004].

Основные положения теории распознавания и теории нейронных сетей следующие.

«Если наблюдаемый объект «похож» на уже известный, то его поведение будет сходно с поведением прототипа». Вводятся понятия и термины (их синергетическое содержание): «Обучающее множество», «Экзаменуемое множество», «Признаки», «Пространство признаков», «Кластеризация и классификация», «Конъюкции», «Решающее правило», «Обучение», «Подтверждение», «Внимание». Даётся схема процесса распознавания образа (рис. 75).

Приводятся основные положения теории нейросетей. Рассматривается модель нейрона как простейшего бистабильного элемента. Даётся модель процессора Хопфилда (рис. 76).

«*Если связанные элементы различны, то каждый из них стремится переключить другого в «своё» состояние*». Свойства и функционирование процессора Хопфилда.

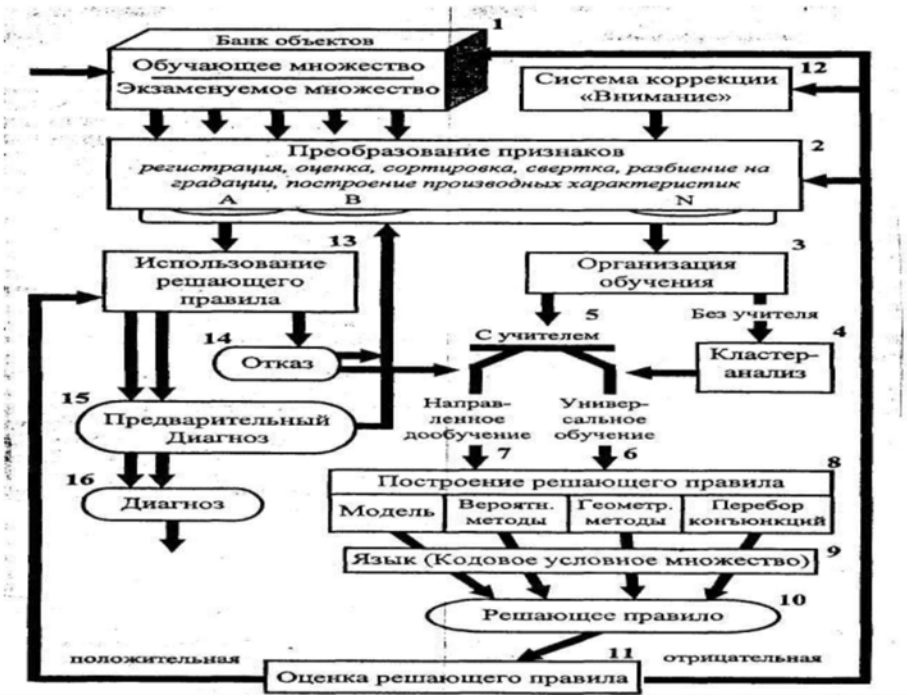


Рис. 75. Схема процесса распознавания образа

Приводится модель нейрокомпьютер Грассберга. Бипластинчатое строение. Первая содержит обученные связи и собственно распознавание образа. Каждый элемент второй пластины имеет самоактивируемые связи и обучаемые тормозящие связи, направленные к другим элементам. Т.е. распознанный образ предстаёт на второй пластине в форме одного элемента в активном состоянии (*реализация блочного типа распознавания, автолокализации*). Математическая модель обученного нейропроцессора Хопфилда. Геометрически – это неровная поверхность с лунками и водоразделами. Распознавание соответствует движению системы в ближайшую лунку и остановка её на дне лунки. Водоразделы соответствуют отталкивающим множествам, т.е. выполняют функцию «перемешивающего слоя». Цели введения «шума» в модель:

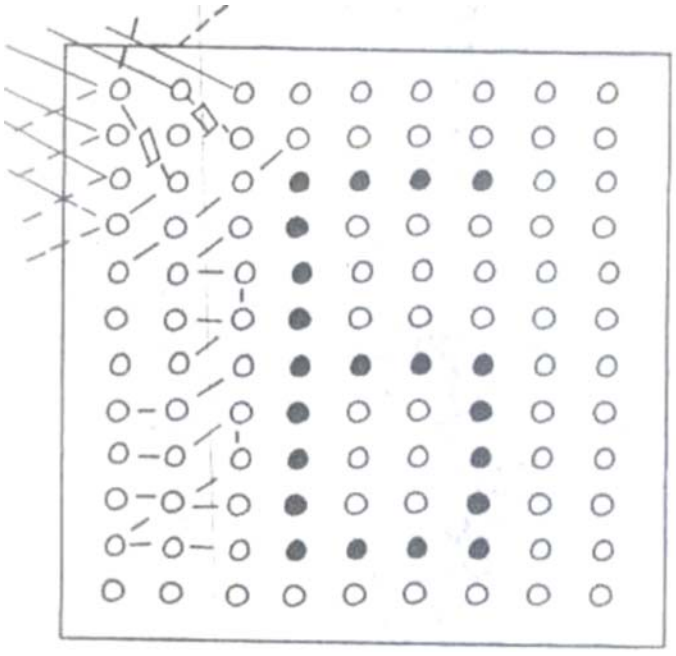


Рис.76. Схема нейропроцессора Хопфилда

- возможность ложного ответа → недостаточность исходной информации для распознавания похожих образов. Необходимо затребование дополнительной информации, либо её рецепция, либо генерирование;

- способствование попадания системы в более глубокую луну. Без «шума» система может остановится и в более мелкой;

- «шум» создает перемешивающий слой, который помогает генерировать ценную дополнительную информацию и/или рецептировать её из потока, идущего извне (аналогия с игрой в рулетку). Процессор «back propagation»: в первой пластине образ распознается и передается на вторую, во второй пироцесс распознавания повторяется с учетом дополнительной информации и возвращается на первую. Повторяется несколько раз, пока образы не совпадут. Связи между пластинами сильны и направлены в обе стороны.

Приведена модель конструкции распознающего и корректирующего нейрокомпьютера, содержащего диагностический и корректирующий блоки (рис. 77).

Описаны граничные условия оптимума его функционирования - пластинчатость. Переход к модели нейрона. Отличия реальных нейросетей от моделей нейропроцессоров, с учетом того, что аксоны не пассивные проводники сигналов, а активные среды и сигналы в них передаются в форме АВТОВОЛН. Строение и функционирование *аутодиагностических и аутотерапевтических* систем. Дефектность работы аутодиагностических систем – причина многих системных заболеваний !!!

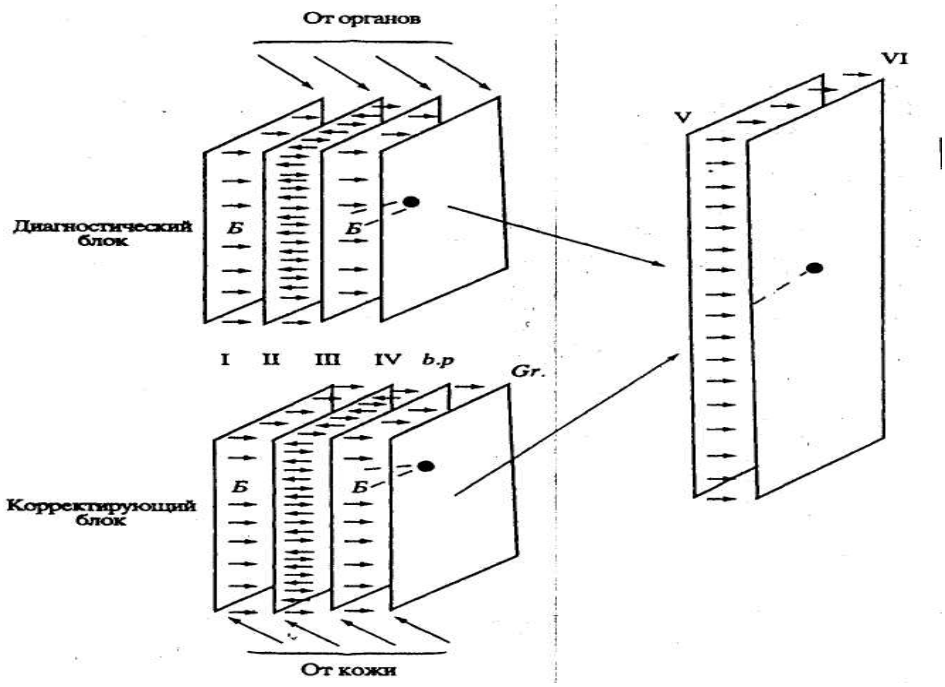


Рис.77. Конструкция распознающего и корректирующего нейрокомпьютера

Сверхслабые воздействия и корректировка работы синергетических аутодиагностических систем. Строение и свойства реального органа в организме животных, выполняющих функции диагностического нейрокомпьютера – первые шесть пластин Рекседа серого вещества спинного мозга.

Мышление и распознавание образа. Акт творчества как совокупность этапов (подсистем): аппарат рецепции информации, перемешивающий слой (больцмановский шум) и запоминания результата. Синергетические механизмы

ИНДИВИДУАЛЬНОСТИ работы каждого нейрокомпьютера на разных стадиях обучения. Состояние «прострации» системы, механизм и последствия его возникновения. Единственность и множественность обучающих множеств. Интеграция информации из разных множеств. Следующий уровень – множество из решающих правил.

Компьютеры умеют решать задачи, если задан алгоритм их решения; проводить параметрический анализ нелинейных систем и выявлять точки бифуркации, где решение теряет устойчивость. Но они не умеют создавать алгоритмы и, главное, выбирать пути решения после бифуркации !

Возникновение аппарата мышления и биологическая эволюция. Неароморфозный механизм образования нервных клеток (скорее продукт градуальной эволюции). Образование нервной сети можно считать ароморфозом, но не высокой сложности и вполне вероятным («блочного типа»).

Резкое увеличение размеров мозга у человека также можно считать ароморфозом, но также не очень сложным и вполне вероятным. Первые особи такого типа появились не среди наиболее приспособленных, а среди маргиналов! Выживаемость благодаря способности образовывать КОЛЛЕКТИВ! Способность к логическому мышлению и связанным с ним преимущества появились в результате образования коллектива и выработки единого для данного социума языка. Это не биологический ароморфоз, а результат развития социальных отношений. Коллектив создает, в том числе общие цели по выживанию (сохранению своей информации) в экстремальных условиях, например, на границах ареала, т.е. в условия наиболее активного взаимодействия подсистемных множеств.

7. Синергетика в медицине

7.1. Синергетическая модель эволюции организма в фазовом и векторном пространстве, включающем области «здоровье», «болезнь», «предболезнь», в терминах: диссипативные структуры и диссипативные процессы, режимы с обострением, точки бифуркации, отрицательные и положительные обратные связи.

Организм человека – иерархия автономных самоорганизующихся систем, между которыми (а также между внутрисистемными структурами) существуют нелинейные связи (рис. 78).

Система описывается спектром ключевых моментов – бифуркаций, в точках которых идет стохастический выбор одной из устойчивых ветвей дальнейшего развития, по которой информация переносится до следующей бифуркации.

Точки бифуркации – переломные, критические моменты развития системы, а зоны бифуркации отличаются принципиальной непредсказуемостью. Для нелинейных систем типично наличие особых критических состояний, в окрестностях которых увеличивается рост флуктуаций – случайных отклонений мгновенных значений параметров системы от их средних значений. В этих критических областях достаточно малых воздействий на систему для того, чтобы она

скачком перешла из прежнего устойчивого состояния в состояние с другими параметрами.

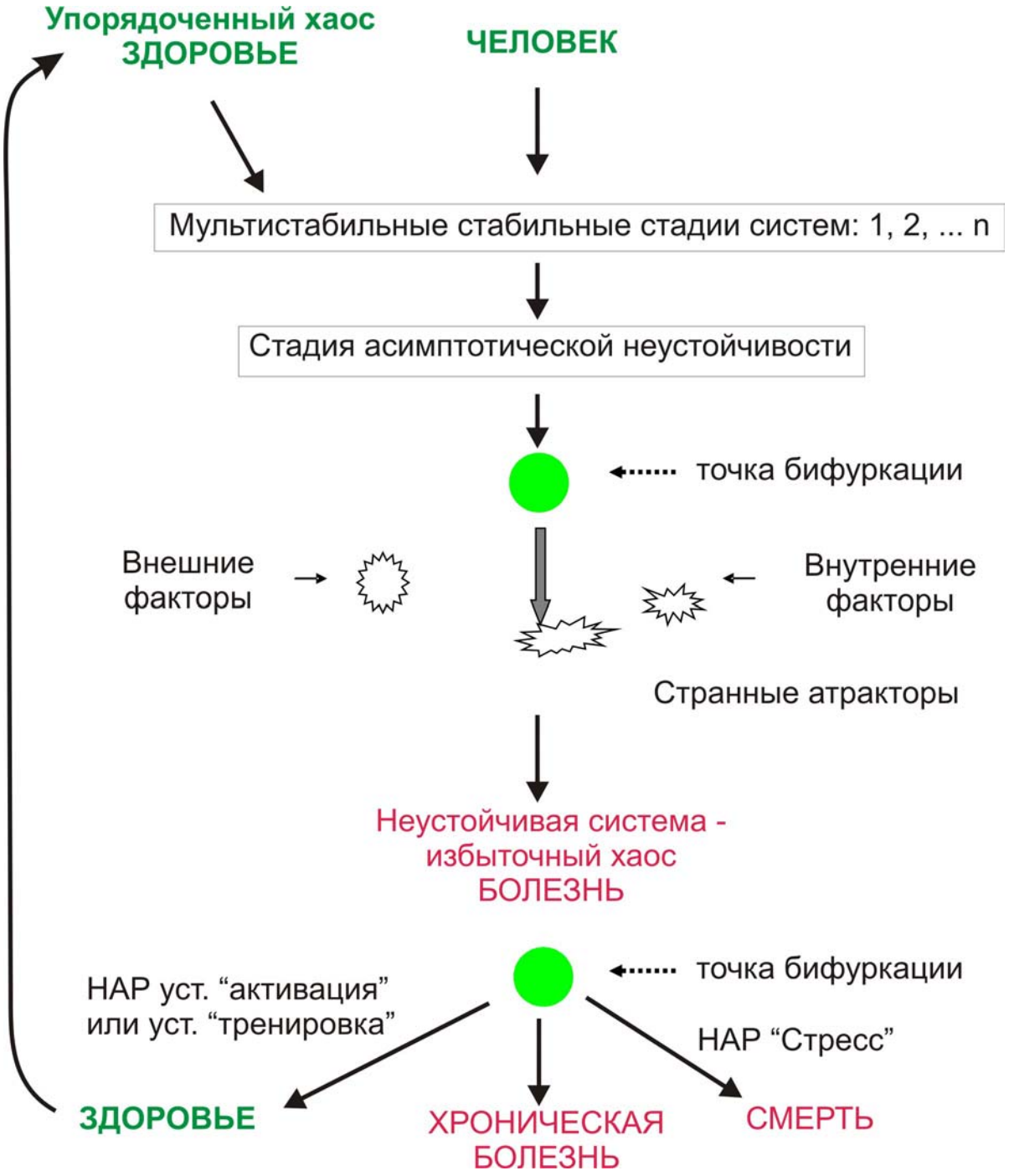


Рис.78. Представление организма человека как иерархии автономных самоорганизующихся систем

Развитие многих острых заболеваний может быть описано в терминах «теории катастроф», когда эволюция системы происходит в режиме «*blow up*»: приступ бронхиальной астмы, острый отек легких, параксизмальные нарушения ритма, некоторые острые формы ишемической болезни сердца (внезапная смерь, острая коронарная недостаточность) и другие ситуации. Для возникновения этих состояний иногда бывает достаточно микроскопически, клинически не определяемой флуктуации системы, которая приводит к лавинообразному

нарастанию угрожающих жизни симптомов. В благоприятных случаях такие же флуктуации могут привести к возникновению новой, более упорядоченной структуры.

Возможность спонтанного возникновения порядка из хаоса – важнейший момент процесса самоорганизации системы: возникает **макроскопическая упорядоченность при сохранении микроскопической (молекулярной) разупорядоченности.** Любая патология характеризуется нарастанием степени "жесткости" во взаимодействии между системами, формирующими организм: развивается количественная ригидность, нарастающая в ряду от здоровья через предболезнь к клинически болезненному состоянию. По мере нарастания тяжести патологического процесса возникает более четкая периодичность и происходит утрата изменчивости: например, при инфаркте миокарда уменьшаются вариации частоты сердечных сокращений, у больных артериальной гипертензией повышение артериального давления становится более монотонным и снижается размах его суточных колебаний, у больных лейкозами менее изменчивым становится количество лейкоцитов. Эти конкретные клинические проявления отражают **одну из принципиальных основ болезни - нарастание жесткости межструктурных взаимодействий.**

Каждая из функций биологической системы реализуется в виде определенной траектории алгоритмической цели, состоящей из последовательных элементарных процессов. В синергетике используется понятие «аттрактора» как некоторой предельной траектории, цели, к которой стремятся траектории отдельных функциональных субсистем. Каждая из функций, реализующих аттрактор в масштабах целого организма на основе принципа доминанты, в свою очередь формируется на основе аттракторов.

В этих представлениях патологические состояния могут быть характеризованы тем, что некоторые аттракторы приобретают неопределенно большую значимость, возникают нестабильные «странные аттракторы», наличие которых означает, что фазовые траектории некоторых функциональных процессов не сходятся в единой точке, а блуждают в некоторой зоне фазового пространства, что приводит к случайности их взаимодействия, а клинически характеризуется теми или иными болезненными проявлениями.

Таким образом, здоровье - это балансирование между хаосом и порядком, поэтому теории хаоса и нелинейной динамики играют всё бóльшую роль в теории медицины.

Одним из универсальных инструментов для описания системного функционирования биологических объектов и, в частности, организма человека является применение синергетически-вероятностного подхода с использованием обобщенного понятия энтропии. Согласно теореме Пригожина, как уже отмечалось, *квази*стационарное состояние характеризуется минимальным рассеянием энтропии, что для живых систем можно сформулировать следующим образом: поддержание гомеостазиса требует минимального потребления энергии, т.е. организм стремится работать в самом экономном энергетическом режиме. Отклонение от *квази*стационарного состояния - заболевание - связано с дополнительными энергетическими затратами по компенсации врожденных или приобретенных биологических дефектов, связано с ростом энтропии. В динамиче-

ской системе может быть несколько *квази*стационарных состояний, отличающихся уровнем продукции энтропии dS_k/dt. Состояние организма может быть описано в виде набора энергетических уровней (рис. 79), некоторые из которых устойчивы (уровни *1* и *4),* другие нестабильны (уровни 2, *3, 5).*

При наличии постоянно действующего внешнего или внутреннего возмущения может происходить скачкообразный переход из одного состояния в другое. Любое воспаление характеризуется увеличенным потреблением энергии: температура тела повышается, увеличивается скорость обменных процессов.

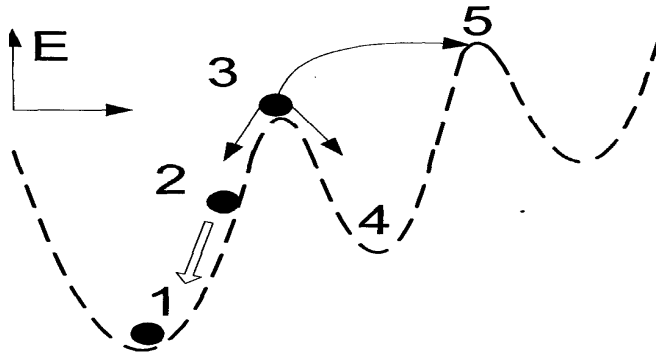


Рис. 79. Энергетические состояния биологической системы. *Такой же диаграммой может быть описаны и состояния нейронных кластеров (см. главу 6.2).*

Отклонение от *квази*стационарного состояния с минимальными энергозатратами вызывает развитие внутренних процессов, стремящихся вернуть систему обратно, к уровню *1.* При длительных действиях факторов система может перейти на уровень *3,* в точку бифуркации, из которой возможно несколько исходов: возвращение на стабильный уровень *1*, переход в другое устойчивое равновесное состояние *4,* характеризующееся новым энергоинформационным уровнем, или "скачок" на более высокий, но нестабильный уровень *5.*

Для организма это соответствует нескольким адаптационным уровням относительного здоровья или хронического заболевания с разными уровнями функционирования системы. Острое заболевание соответствует нестационарному состоянию с повышенной продукцией энтропии, т.е. неэкономному типу функционирования организма. Согласно теории катастроф В.И.Арнольда, при острых заболеваниях или остро развивающихся патологических синдромах (острейшее начало тяжелой пневмонии, астматический статус, анафилактический шок и др.) необходимо скачком перевести организм из "плохого" устойчивого состояния к "хорошему". При этом целесообразно использовать большие дозы лекарственных препаратов. В фазе затихающего обострения и в ремиссии хронических болезней возрастает роль малых воздействий, например, акупунктуры и гомеопатических средств, оказывающих положительное энергоинформационное воздействие.

Мультистабильность сложных нелинейных систем, какой является организм человека, вероятностная природа его постоянного развития и самоорганизация приводят к необходимости поиска "системообразующих факторов", к которым и может быть отнесена энтропия.

В результате различных видов энергообмена внутри организма человека образуются фрактальные диссипативные структуры. На кожной поверхности

организма человека эти диссипативные структуры представлены проекционными зонами.

В процессе жизнедеятельности человека его диссипативные структуры последовательно и циклически переходят из фазы активного энергообмена в фазу рефрактерности, затем в фазу покоя и снова в фазу активности. Активность одной диссипативной структуры сменяется активностью другой, затем третьей и так далее до возобновления активности первой диссипативной структуры. Иногда можно наблюдать одновременную активность двух и более диссипативных структур.

Активность диссипативной структуры характеризуется рассеянием энергии в форме пространственного параметрического резонанса - *диссипативного резонанса*. Изменение свойств биологического вещества в результате резонансных явлений служит причиной возникновения сверхчувствительности (открытости) и нечувствительности (закрытости) диссипативной структуры и ее проекционных зон к внешним воздействиям. Состояния открытости или закрытости диссипативной структуры зависят от вида резонанса, который вызывается той или иной поляризацией соответствующего внешнего поля.

Человеческий организм можно рассматривать как динамическую систему, энергетика развития, функционирования и саморегуляции которой определяется сменой различных **диссипативных состояний** [Небрат, 2003-2008]. При этом диссипативные структуры здорового, нормально функционирующего организма циклически изменяют свое состояние, сохраняя гармоничное энергетическое равновесие между собой. Такая динамика находит отражение в биологических ритмах человека, согласованных с внешними космогелиофизическими ритмами.

Человек может также находится в состояниях неравновесной («патологической») диссипации энергии, что нарушает естественную биоритмологическую динамику организма, парализует или блокирует соответствующие органы и системы. Эти ситуации могут быть связаны с умственными и физическими перегрузками, с эмоциональными всплесками и стрессами, с наркотическим опьянением и клинической смертью, со старением организма и всеми видами болезней и т. п.

Исходя из нелинейной динамической концепции организма человека, можно рассматривать эволюцию как нормальных, так и патологических диссипативных состояний в виде бифуркационных процессов, с хаотическими решениями. Нормальная эволюция возможна лишь при определенной мере хаотичности. Управление динамикой диссипативного состояния, стимулирующее саморегуляционные механизмы организма, может осуществляться с помощью слабых внешних воздействий, переводящих с высокой вероятностью «патологическую» диссипативную структуру на заданную ветвь бифуркационного дерева и требуемый хаотический режим.

На рис. 80 изображена диаграмма - дерево бифуркаций удвоения периода, заканчивающихся переходом к хаосу. В точках бифуркаций происходят изменения характера поведения динамической системы. Такая диаграмма характерна для динамических систем организма человека, начиная с деления клетки, эволюции различных болезней и заканчивая развитием всего организма в це-

лом. На «рис.80а» верхняя ветвь, выходящая из точки бифуркации, условно означает эволюцию болезни в направлении выздоровления, а нижняя - осложнения болезни. На «рис. 80б» изображено дерево бифуркаций модельной динамической системы, воздействие на которую вынудило ее эволюционировать в направлении «выздоровления» (отсутствуют первая и некоторые другие нижние ветви).

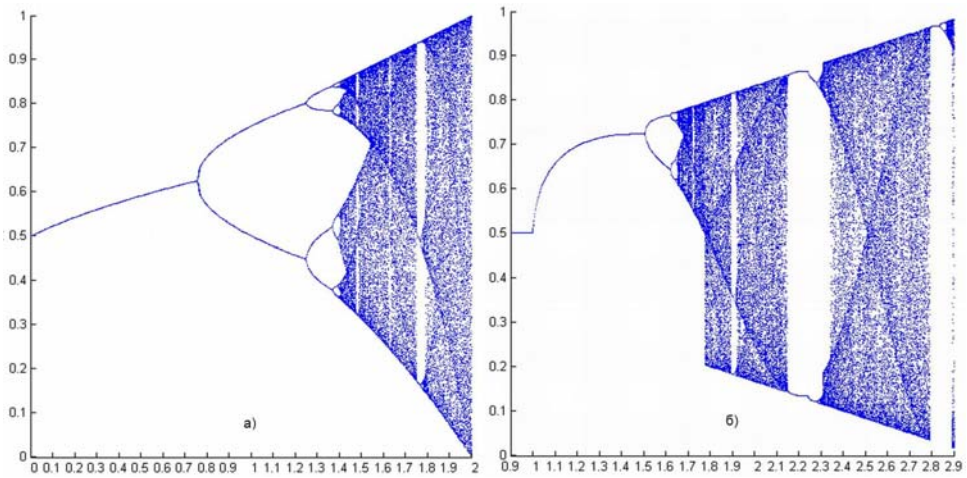


Рис.80. Диаграмма - дерево бифуркаций удвоения периода.

Для проверки научной идеи были разработаны *фрактально-полевая модель биоритмов человека*, описывающая диссипативные состояния человека, а также методы и средства управления этими состояниями с целью стимуляции системы саморегуляции организма [Небрат, 2003-2008]. Итогом исследования стала новая информационная ЭМАТ-технология, использующая нетрадиционные методы слабых воздействий на организм человека. Основным средством воздействия является изображенный на рис. 45 прибор «ЭМАТ-экспресс-01» [Небрат, 2003-2008].

Это автономное оптоэлектронное устройство, во взаимодействии с аппаратно-программными средствами информационной системы, позволяет управлять состоянием проекционных зон, возбуждать и регистрировать диссипативный резонанс в процессе запуска саморегуляционных механизмов и точечно доставлять сверхмалые дозы лекарственных средств к пораженным органам.

В следующем параграфе будет подробно изложен пример успешного практического использования данной технологии в аддиктологии.

7.2. Синергетические механизмы в медицине на примере эффективных технологий немедикаментозного лечения (ЭМАТ-технология в аддиктологии) [Кершенгольц, Чернобюровкина, Небрат и др., 2007]

Наркологическая ситуация в России, включая её медицинскую, социальную, криминогенную, экономическую компоненты, с каждым годом обостряется и обоснованно расценивается как катастрофическая, угрожающая национальной безопасности. Речь идёт о резком росте потребления психоактивных веществ и распространённости наркозаболеваемости в различных слоях населения не только известных форм химических зависимостей (алкоголизм, наркомания, токсикомания), но и стремительном распространении относительно новых психофизиологических патологических состояний и заболеваний, включая игровую и другие

виды нехимических зависимостей, посттравматические стрессовые расстройства и др. С другой стороны известно, что целый ряд химических веществ и физических факторов, вызывающих при злоупотреблении ими формирование патологических аддиктивных состояний, способен выполнять функции индивидуального и популяционного дестрессирования на индивидуальном и популяционном уровнях, что приобретает особую значимость в сложившихся социально-экономических условиях России. Следует иметь в виду также и то, что сверхприбыльное производство и реализация алкогольной продукции, еще со времен Российской империи и Советского Союза, да и в постсоветский период – один из краеугольных камней доходной части бюджетов всех уровней, а нарко- и игровой бизнес – представляют основу мощнейшей криминальной экономики.

Можно ли совместить реализацию казалось бы несовместимых задач - резкого снижения отрицательных последствий всё нарастающей алкоголизации и наркотизации населения, не подрывая при этом «алкогольную» составляющую экономики и позитивное дестрессорное действие алкоголя на конкретных людей и население в целом?

Основанная на синергетических принципах функционирования самоорганизующейся системы **«ЧЕЛОВЕК»** технология ЭМАТ (инновационная, социально значимая) позволяет предложить принципиально новые подходы к профилактике, лечению алкогольных и иных патологических аддиктивных состояний без фактического снижения популяционного дестрессорного действия алкоголя, так как реабилитационная технология ЭМАТ не обрекает пациентов, прошедших лечение, на «пожизненный сухой закон».

Для понимания принципов новых технологий в аддиктологии необходимо коротко остановиться на анализе биосоциальных причин и некоторых ключевых механизмах распространения патологических аддиктивных состояний в человеческих популяциях.

Одним из внешних, экологических, парадоксов современного этапа развития техногенной, социально-экономической цивилизации, имеющих драматические следствия, является то, что темпы её развития существенно опережают биологическую эволюцию экопопуляций человека на популяционно-генетическом и нравственном уровнях. Такая десинхронизация приводит к снижению *популяционного адаптивного потенциала*, включая нарушения активности систем прооксидантно-антиоксидантного равновесия, детоксикации экзо- и эндотоксинов, иммунной защиты, регуляции функциональной активности генетического аппарата, комплекса нейропсихофизиологических адаптивных реакций и т.д., по отношению не только к техногенным, социо-антропогенным, но и к природным факторам среды [Кершенгольц и др., 2000, 2004; *Kershengoltz et.al, 2001*].

Вместе с тем, вероятно возникновение еще одного, внутреннего парадокса, а именно: на фенотипическом уровне скорости формирования и вариабельность популяционной изменчивости существенно превышают генотипическую, особенно в отношении функций регуляторных систем организма, а также систем, обеспечивающих внутрипопуляционные и межвидовые потоки энергии и информации в сложной экосистеме «человек – окружающая среда». Это чревато изменением механизмов экосистемной самоорганизации и саморегуляции и может приводить к появлению и развитию в человеческих популяциях новых форм как организменных адаптивных реакций на эндокринно-регуляторном, нейропсихическом и поведенческом уровнях, так и популяционных биоповеденческих реакций, мотиваций, отклоняющихся от нормальных траекторий (ге-

нетически запрограммированных, более устойчивых, архаичных) форм поведения (онтогенеза).

С этих позиций, например, даже злокачественный опухолевой процесс можно рассматривать, как адаптивную, но вышедшую из-под контроля регуляторных систем организма, реакцию, направленную на резкое ускорение сжигания в организме недоокисленных продуктов обмена, являющихся эндотоксинами, и экзотоксинов, но вышедшую из-под контроля регуляторных систем организма [Воейков, 2005].

Нестандартные адаптивные реакции и фенотипические варианты самоорганизации систем регуляции энергетического обмена на нейроэндокринном уровне также можно отнести к такого рода искажениям реакционной способности организма человека по отношению к внешним и эндогенным раздражителям. При этих адаптационных перестройках имеет место не только и не просто её снижение, но и увеличение. Плохо это или хорошо? Вопрос заключается не в принципиальной патологичности таких адаптивных реакций, а в том, что при их гипервыраженности соответствующая подсистема регуляторного процесса избирательно переключает на себя подавляющее большинство энергетических и информационных потоков. Она становится доминирующей, в большей степени самодостаточной, и с определенного момента начинает функционировать в режиме самоорганизации, автономном от той макросистемы, неотъемлемой частью которой она является. Происходит десинхронизация функционирования подсистем и системы в целом, что является основой формирования и развития дезадаптации, а в дальнейшем, по нашему предположению, и патологического процесса - зависимости и зависимого поведения. Этот механизм и был положен в основу рабочей концепции формирования зависимостей, по сути, полностью согласующейся с общепринятой дизрегуляционной концепцией развития патологических состояний [Крыжановский Г.Н., 2002].

Современные концепции действительно рассматривают формирование аддиктивных (как индивидуальных, так и популяционных) состояний как проявления экзо- эндо-социоэкологических конфликтов. Их также можно отнести к, соответственно, индивидуальным и популяционным фенотипическим адаптивным реакциям, развивающимся в ответ на действие на организм (популяцию) неадекватных факторов социальной и природной среды. С учетом выше рассмотренных механизмов наибольшая выраженность этих конфликтных ситуаций и аддиктивных процессов должна проявляться в так называемых «группах социального и биологического риска»: социально неустроенная молодёжь, безработные, пенсионеры, мигранты, представители профессий с чрезмерным уровнем психофизических нагрузок, при смене традиционного уклада жизни и типа питания (включая малочисленные народы Севера) и т.д. При этом их абсолютизированное отнесение аддиктивного поведения и аддикций к организменным или социальным патологиям было бы неверным. Это становится понятным и при более детальном рассмотрении одного из ведущих нейрофизиологических механизмов формирования аддикций.

Известно, что все процессы функционирования системы нейрорегуляции, начиная с регуляций клеточной дифференциации и функциональной активности клеточного генома, временнȏй и пространственной синхронизации метабо-

лических процессов, включая формирование и реализацию рефлексов и процессов высшей нервной деятельности (эмоциональные ответные реакции, память и мышление) происходят, в первую очередь, благодаря **уникальной способности нейронов ЦНС, вслед за надмолекулярными комплексами воды, к кластерообразованию**. При этом структура кластеров определяет их функциональные, управляющие и регуляторные свойства, а прочность связи между нейронами в кластере – стабильность соответствующей управляющей функции. Тогда механизм формирования и проявления аддикций можно рассматривать как выделение по прочности (по глубине «аттрактора») определенных нейронных кластеров.

Вместе с тем, сами формирующиеся аддиктивные состояния (не только влечение к употреблению алкоголя и других веществ дестрессорного действия, но и увлеченность любимым делом, творчеством, участие в различных играх, любовные увлечения и т.д.) не являются *a priori* патологическими. Таковыми они становятся при их гипертрофированном развитии и десинхронизации по отношению ко всей совокупности индивидуальных нейрорегуляторных и популяционно-регуляторных процессов. То есть, патологические аддикции (алкоголизм, наркомания, лудоманию и другие физические зависимости), а также посттравматические психофизиологические стрессовые расстройства можно рассматривать как гиперформу адаптации, проявляющейся в десинхронизации на нейрофизиологическом и популяционно-регуляторном уровне в ответ на действие раздражителей измененной и не адекватной приспособительным возможностям организма экосоциальной среды. *Причём, как правило, посттравматические психофизиологические стрессовые расстройства являются предшественниками и первопричиной формирования не только патологических аддикций, но и других психосоматических заболеваний, включая онкопатологию.*

Подавляющее большинство развиваемых в настоящее время аддиктологических (наркологических) концепций базируются на внехронобиологических представлениях о механизмах формирования болезней зависимости. Поэтому соответствующие технологии включают в себя, как правило, помимо безусловно необходимой профилактической просветительской деятельности, использование только химио- и психотерапевтического лечебного комплекса.

Основные положения общей теории функциональных систем и роль нейромедиаторной регуляции в развитии патологических аддиктивных состояний и посттравматических расстройств

Теоретической основой предлагаемой технологии является *синергетическая концепция,* рассматривающая психосоматическое здоровье, аутодеструктивное поведение и аддиктивные заболевания (зависимости от дестрессирующих или стрессирующих факторов) как динамические состояния диссипативных систем человека (ДСЧ). Последние отличаются энергоинформационной и вещественной открытостью, термодинамической неравновесностью, нелинейностью динамики, наличием *положительных и отрицательных обратных связей* между элементами системы и характеризуются тем, что постоянно рассеивают собственную энергию и используют энергию окружающей среды, что позволяет образовывать иные пространственно-временные согласованности (как и

рассогласованности) по сравнению с онтогенетическими этапами развития организма [Никонов, 2003; Комаров, 2000; Чернобровкина с соавт., 2005, 2005а, 2006]. Причём переход из одного диссипативного состояния организма человека в другое может происходить только через стадию его дестабилизации – состояние «***динамического хаоса***»**.** Синергетическая парадигма позволяет рассматривать процесс формирования аддиктивного состояния и заболевания, используя ***модель нейросетей*** как модель коммуникативного функционирования мозга, переработки информации и модель архивирования биологической памяти. Эти структурно-функциональные феномены актуальны при изучении процесса формирования зависимостей, их диагностике и лечении.

При условии открытости системы каждое диссипативное состояние организма человека включает в себя как «условно здоровые», так и «условно больные» подсистемы в их динамичной трансформации, которая осуществляется в точках бифуркации при наличии энергетических энтропийных перепадов. Это соответствует прохождению нескольких адаптационных уровней и состояний относительного здоровья или дезадаптации и приводит к формированию хронического заболевания с разными адаптационными уровнями функционирования системы. Понимание подобной динамики в состоянии здоровья человека необходимо для обоснования выбора метода лечения и его дозировок в каждом индивидуальном случае с конкретным пациентом.

Существование циклов и колебаний в состоянии ДСЧ определяет возможность ее саморегуляции, а, следовательно, аутотерапии. Этим, по-видимому, объясняется то, что становление ремиссии при алкогольной зависимости оказывается связанным с закономерностями самоорганизации биологического времени в биосоциальной системе «человек – среда» [Никонов, 2003].

В то же время установлено, что первичное патогенетическое звено любой зависимости представлено формированием и особыми функциональными состояниями *патологической доминанты* на уровне подкрепляющих центров головного мозга, а также изменениями на уровне межклеточных взаимодействий в ЦНС (известные работы П.К.Анохина, К.В.Судакова, А.В. Котова, В.В. Раевского, Т.М. Воробьевой, П.Д. Шабанова и др).

Соответственно, ведущими в рамках теоретического обоснования предлагаемой технологии являются представления о нейрофизиологических механизмах формирования аддикций. Известно, что все процессы функционирования системы нейрорегуляции, начиная с регуляций клеточной дифференциации и функциональной активности клеточного генома, временнȏй и пространственной синхронизации метаболических процессов, включая формирование и реализацию рефлексов и процессов высшей нервной деятельности (эмоциональные ответные реакции, мышление, память и др.), координированное поведение происходят, в первую очередь, благодаря уникальной способности нейронов ЦНС (головного и спинного мозга) к кластерообразованию [Николис и др., 2003], вслед за надмолекулярными комплексами воды [Бульенков, 1991; Кершенгольц и др., 2004а].

Возможность нормальной жизнедеятельности организма человека в постоянно изменяющихся условиях среды связана с непрерывным созданием новых на фоне обязательного разрушения старых межнейронных связей в коре

больших полушарий и подкорковых структурах, с образованием динамического стереотипа как цепи условно-безусловных рефлексов, включаемых каким-либо одним раздражителем (сигналом) или их группой. В этом отношении взаимодействие человека как макросистемы с окружающей средой в значительной мере связано с функциями мозга, органа или микросистем, как высшего центрального регулятора-координатора психической и физической деятельности, основу которых и составляют условно-безусловные рефлексы.

На начальной стадии формирования условного рефлекса – стадии генерализации возбуждения - происходит иррадиация – распространение возбуждения на большое количество нейронов, нервных центров (от одного нейрона возбуждение через синапсы передается как минимум двум – стадия «автокаталитического возбуждения», *«положительные обратные связи*»), охватывающее многие физиологические системы, включая гуморальные и вегетативные. На этом этапе ключевым является то, какой раздражитель по своим качественным характеристикам будет наиболее значимым, жизненно важным для организма (хотя по интенсивности на начальном этапе он может быть и сверхслабым [Бурлакова и др., 2003]), потому, что именно он будет определять направление образования новых межнейронных связей за счет образования доминантного очага возбуждения. При этом следует учесть, что **крупные нейроны головного мозга имеют до 4-20 тысяч синапсов**, синаптические бляшки могут формироваться и трансформироваться, взаимодействие между нейронами в синапсах осуществляется путём направленной диффузии по градиенту электрического поля заряженных молекул нейрохимических медиаторов или/и ионов. Сила взаимодействия определяется интенсивностью медиаторного обмена, т.е. степенью активности данной межнейрональной цепи в данный период времени, химическим составом и физико-химическими и электростатическими свойствами пре- и постсинаптических мембран, а также синаптической среды, т.е. разностью потенциалов между пре- и постсинаптической мембранами и физико-химичес-кими свойствами водной среды синапса, а точнее – синаптического раствора, содержащего те или иные химические вещества, например, низкомолекулярные вещества с регуляторной ролью, молекулы регуляторных пептидов, этанол, опиоидные биорегуляторы , молекулы наркотиков и другие вещества.

На промежуточной стадии формирования условного рефлекса отмечается высокая степень свободы нейронов, происходит суммация их возбуждения и одновременно – снижение порога возбудимости нейронов и, следовательно, облегчение проведения возбуждения в любом направлении, но в рамках данного кластера, по законам синергетики, в пределах какого-то «*аттрактора*»[1)]**.** Это является стадией **«*динамического хаоса*»** в процессах формирования памяти о действующем раздражителе и ответной реакции организма на него. Именно фактор наличия степеней свободы и их количества (своего рода «Больцмановского шума») в межнейронных (синаптических) взаимодействиях в кластере

[1] *Здесь необходимо добавить, что аттрактор может задаваться у больного зависимостью избранным психоактивным веществом (ПАВ), его эффектами, а для здорового человыека – состоянием психофизиологического комфорта, обеспеченного оптимальным балансом эндогенных регуляторов.*

играет роль «динамического хаоса» («перемешивающего слоя»), обеспечивая выбор системой траектории развития в направлении того или иного «аттрактора», т.е. способность к самоорганизации нейронных цепей [Чернавский, 2004]. По нашему мнению, зависимость как болезненное состояние означает ограничение числа степеней свободы и одновременно с этим – усиление притяжения состояния систем одним аттрактором.

На заключительной стадии закрепления условного рефлекса – стадии концентрации условного возбуждения происходит торможение активности менее значимых нервных центров **(«*отрицательные обратные связи*»)**, возникновение доминантного очага – ***стадия «диссипативного порядка»*,** стадия образования новой межнейронной диссипативной структуры. Временн'ые межнейронные связи укрепляются, происходит консолидация связей в ловушках нейронов (долговременная память), условный рефлекс упрочняется. При длительном и постоянном повторяющемся действии данного раздражителя связи между нейронами в данной нейронной сети (межнейронной диссипативной структуре) продолжают упрочняться, структура нейронного кластера становится всё более жесткой и малоподвижной за счёт увеличения разности потенциалов между пре- и постсинапатической мембранами синаптической щели.

Известно, что во многих областях нервной системы нейроны со сходными функциями сгруппированы в отчетливо шарообразные структуры, описанные как межклеточные ядра или межклеточные ганглии. Конвергентные, дивергентные, латеральные и возвратные взаимодействия нейронов в межклеточных ядрах или ганглиях являются неотъемлемыми свойствами большинства нервных путей во всей нервной системе. Таким образом, простая пошаговая обработка информационного сигнала о потребности (двигательной, мыслительно-когнитивной, питательной—обменно-энергетической) модулируется параллельными и обратными взаимодействиями [Николис и др., 2003] (положительными и отрицательными обратными связями).

Нервная система способна регулировать синаптическую эффективность продолжительностью в интервале от миллисекунд до нескольких дней. Увеличение синаптической эффективности происходит при содружественной коактивации пресинаптических и постсинаптических элементов. Короткие периоды синаптической активации могут приводить к облегчению (от англ. *facilitation*) – фасилитации или к подавлению, депрессии, к усилению выброса медиатора или к комбинации этих эффектов.

Фасилитация исчезает за десятые доли секунды, синаптическая депрессия и усиление длятся несколько секунд. Фасилитация опосредована длительным увеличением концентрации кальция в цитоплазме синаптической терминали. Продолжительная ритмическая стимуляция приводит к посттетанической потенциации выброса медиатора, длительностью до десятков минут. Она также опосредована увеличением концентрации кальция в пресинаптической терминали. Причем хронологические соотношения производимых эффектов имеют физиологическое значение и в состояниях предпатологии, и в патологии – нарушаются, в основном – обратимо.

Во многих областях нервной системы ритмическая стимуляция может приводить к долговременной потенциации (ДВП) или долговременной депрессии (ДВД) синаптической передачи.

Изменения синаптической эффективности при ДВП и ДВД могут быть гомосинаптическими (затрагивают только стимулируемый синапс на входе) или гетеросинаптическими (затрагивают соседние синапсы). Последние могут быть ассоциативными (требуют координированной активности синаптических входов). Возникновение ДВП и ДВД связано с повышением или понижением концентрации кальция в пресинаптической бляшке. Кроме того, ДВП обусловлена встраиванием новых рецепторов в постсинаптическую мембрану и/или увеличением чувствительности рецепторов, а ДВД – уменьшением количества и чувствительности рецепторов, снижением концентрации медиатора и макроэргов в синаптической бляшке, или протекает по типу *катодической депрессии*. ДВП и ДВД могут вызывать изменения выброса медиатора из пресинаптической терминали [Николис и др., 2003]. В то же время до 25% синапсов в головном мозге являются не химическими, а электрическими. Перенос электрического заряда с одного нейрона на другой происходит в них в местах межклеточных контактов, обладающих низким сопротивлением и называемых щелевыми (синаптическими) соединениями. Они образованы скоплениями коннексонов, белковых молекул, способных формировать водные поры между цитоплазмами смежных клеток. Вышеописанные процессы постоянно находятся под контролем и модулируются большим классом эндогенных нейроактивных субстратов.

ГАМК и глицин – основные тормозные нейромедиаторы в головном и спинном мозге; норадреналин, ацетилхолин, глутамат – основные возбуждающие нейромедиаторы в ЦНС. Кальциевые сигналы, инициированные ионотропными рецепторами NMDA типа, могут стимулировать продукцию оксида азота (NO), который сам действует как диффузный нейромодулятор. В ткани мозга существует разветвленная цепь функциональной специфичности анатомических зон (областей). Так, холинэргические нейроны базального ядра и ядер септума сильно разветвляются в коре больших полушарий. Нейродегенеративные заболевания, которые характеризуются потерей памяти и когнитивных функций, характеризуются также утратой холинэргических нейронов. Нейропептиды высвобождаются в качестве нейромедиаторов в ЦНС. Отдельные пептиды являются мало- или неспецифичными используются в разных областях нервной системы и в других системах, выполняющих различные физиологические функции. Относительно небольшое число клеток в ЦНС высвобождает в качестве нейромедиаторов биогенные амины (норадреналин, 5-НТ, дофамин и гистамин); тела этих нейронов образуют ядра в стволе мозга. Клетки, высвобождающие норадреналин, 5-НТ и гистамин, имеют сильно ветвящиеся отростки. Клетки, высвобождающие дофамин, имеют более ограниченные проекции. Нейроны дугообразного ядра посылают проекции в срединное возвышение гипоталамуса, модулируя выделение гипоталамических пептидов. Дофаминсодержащие клетки черной субстанции проецируются в базальные ганглии и влияют на двигательную активность; нейроны области вентральной покрышки посылают проекции в прилежащее ядро, миндалину и префронтальную кору, оказывая влияние на настроение и эмоции [Николис и др., 2003].

Именно таким образом, благодаря синаптической пластичности и нейрональной интеграции, формируются нейронные кластеры, выполняющие соответствующие управляющие функции. С образованием межнейронных кластеров сохраняющих, наряду с прочными синаптическими связями, определенные «степени свободы», подвижность нейронов друг относительно друга в кластере, связывают в настоящее время природу и мышления, и памяти [Ашмарин И.П., 1999;Чернавский, 2004].

Общие вопросы теории памяти

Выделяют нейрофизиологические механизмы кратковременной памяти как реверберацию импульсов в «нейронной ловушке» - в кольцевой структуре возбуждение одного из нейронов приводит к возбуждению других нейронов цепи, по коллатералям одного из аксонов нейронов цепи возбуждение вновь передается на первый нейрон, что и определяет длительную циркуляцию возбуждения по такого рода замкнутым циклическим нейронным диссипативным структурам. Этот механизм может захватывать значительные области мозга. Например, в основе эмоциональной памяти лежит круг Пейпса, который начинается в гиппокампе. Синаптическая теория памяти объясняет кратковременную память специфическими конформационными перестройками макромолекул, изменением скорости перемещения ионов через синаптическую мембрану, а также метаболическими и электрофизиологическими сдвигами, развивающимися в синапсах при прохождении через них повторных импульсов. В механизмах кратковременной памяти участвуют К-Na-зависимые насосы, ионы кальция, которые определяют появление посттетанической потенциации. Сенситизация определяется увеличением внутриклеточного кальция, который облегчает освобождение в синапсах нейромедиаторов путём экзоцитоза.

Долговременная память обусловлена закреплением (консолидацией) связи в ловушке нейронов. Формирование прочной долговременной памяти связывают с изменением молекулярных структур нейронов – увеличением числа микротрубочек и других молекулярных образований. По данным современной нейрофизиологии и нейрохимии в основе долговременной памяти лежат сложные химические процесса синтеза белковых молекул в клетках головного мозга. Основой консолидации многих факторов в этом процессе является усиленное функционирование определенных синапсов, повышение их проводимости для адекватных импульсных потоков, феномен постсинаптической потенциации, увеличение площади постсинаптической мембраны, появление новых шипиков, удлинение и разветвление дендритов, образование и активация коллатералей аксонов. Согласно глиальной теории происходит их миелинизация, усиленный синтез специальных веществ, облегчающих синаптическую передачу, изменение возбудимости отдельных нейронов. Показано, что при обучении в синапсах ЦНС растёт количество холинрецепторов, что приводит к повышению чувствительности нейронов мозга к микроионофоретическому подведению ацетилхолина. Большое значение имеет повышение количества норадреналина и дофамина. Принимают участие также серотонинергические механизмы. Считают, что активация холинергических синапсов вызывает конформационные перестройки постсинаптических мембран, повышающих синаптическую проводи-

мость. Моноаминергические механизмы, связанные с подкреплением, активируют внутриклеточные постсинаптические процессы с участием циклических мононуклеотидов ц-АМФ и ц-ГМФ. В результате последующих метаболических внутриклеточных процессов синтезируются специальные белки, которые в свою очередь, стабилизируют первичные изменения синаптических мембран. В результате этого в структурах мозга формируются зоны повышенной синаптической проводимости, что и определяет формирование соответствующих энграмм памяти.

Современные теории памяти, сознания, мышления,

Разрабатываются различные *нейрофизиологические теории памяти*, сознания, мышления, в целом функционирования структур центральной нервной системы. Одной из них является теория сознания Дж.Экклса (1994), в которой особая роль отводится функциям апикальных дендритов пирамидных клеток коры больших полушарий (КБП). Находясь в V слое коры, они на уровне IV слоя собираются в дендритный пучок, который далее достигает I-ого слоя. Дж.Экклс предположил, что субъективный (психический) феномен, выявляемый интроспективными методами, которому он дал название «психон», связан с пучком апикальных дендритов пирамидных клеток, идущих к поверхности коры. На апикальных дендритах пирамидных клеток в I-м слое, идущих параллельно поверхности коры больших полушарий, образуют синапсы аксоны нейронов подкорковых структур – таламуса. Именно активность данных синапсов отражает все разнообразие ритмов работы КБП, регистрируемых при помощи электроэнцефалографии (ЭЭГ). Пучок дендритов из группы 70-100 соседних крупных и средних пирамидных клеток был назван «дендрон». Каждый дендрон обладает множеством синапсов, на которых оканчиваются терминали аксонов. Открытия последних лет подтверждают особую роль пирамидных клеток, точнее, наличие особых, сложных функций, выполняемых дендритами. В шипиках дендритов обнаружен свой собственный аппарат транскрипции (синтеза РНК) и синтеза белков, важных не только для восстановления функций нейрона, но и для пластических модификаций. Информационная РНК переносится из ядра к определенному постсинаптическому участку дендрита, где осуществляется синтез новых белков и встраивание их в мембрану. Дж.Экклс приписал дендрону функции носителя единицы сознания. Отдельному дендрону соответствует отдельный психон, как единица локального ощущения. Множество психонов пред-ставляют все разнообразие субъективных явлений. Эта теория сознания сводится к установ-лению связей между психонами и отдельными дендронами. Сознание, таким образом - есть следствие психонов, генерируемых соответствующими дендронами. Дж.Экклс признает существование невещественного начала, которое может воздействовать на дендриты. Невещественная передача может осуществляться за счет выброса кванта медиатора. В концепции сознания Дж.Экклса предполагается активное влияние психического феномена на поведенческие акты в виде «свободы воли». Влияния реализуются через управление вероятностью высвобождения квантов медиатора.

Согласно ***голографической концепции памяти*** [К.Прибрам, 1975] образцы событий прошлого восстанавливаются в мозгу, когда их представитель-

ства в различных структурах мозга в виде клеточных ансамблей с распределенной информацией восстанавливаются когерентными внешними или внутренними воздействиями. Авторы этой концепции считают, что указанные клеточные ансамбли мозга, порождающие медленные потенциалы, обусловленные постсинаптическими и дендритными процессами, по аналогии с физическими оптическими устройствами, играют роль оптических фильтров или экранов. Взаимодействие с ними в организме осуществляется на нескольких уровнях: периферические рецепторы, подкорковые образования и кора больших полушарий, особенно её колончатые организации. Вследствие этого поступившая в организм информация распределяется по всем корково-подкорковым уровням нейронной сети, точно так же, как она распределяется по всему узору физической голограммы. Благодаря этим процессам, вслед за узнаванием быстро воспроизводится дополнительное количество информации об опознанном объекте. В организации голографической энграммы принимают участие белковые молекулы, резонирующие частоты, которые когерентны воспроизводящим воспоминание стимулам.

В рамках ***«прожекторной теории сознания»,*** предложенной Ф.Криком и являющейся развитием идеи И.П.Павлова, память рассматривается как зрительная, образная. Ф.Крик предположил наличие специального аппарата, создающего «луч прожектора», связав его с особой формой внимания и γ-осцилляциями в электрической активности мозга. Модель Ф. Крика построена на анализе работы зрения. Различные отделы зрительной коры отвечают на разные признаки зрительных объектов. Нейроны-детекторы первичной зрительной коры (VI) реагируют на простые характеристики стимулов, например, на определенным образом ориентированную полоску. Нейроны кортикальных областей более высокого порядка (первичная и вторичная ассоциативная кора) отвечают на более сложные признаки (на определенные черты лица). Нейроны области V5 реагируют, главным образом, на движение зрительного стимула и не отвечают на цвет и форму. В области V4 находятся нейроны, отвечающие на цвет и форму предметов, нейроны области 7а – на положение стимула в пространстве относительно головы и тела. Но как возникают целостные образы, сцены, которые мы видим перед собой? Ф.Крик предположил, что в любой момент определенные нейроны, расположенные в разных кортикальных зонах могут *кооперироваться,* чтобы сформировать некоторый вид глобальной активности. Ее появление и соответствует зрительному осознанию.

В качестве предполагаемого механизма, связывающего нейроны в общую единую систему, он рассматривает одновременное появление у них *коррелированных разрядов с частотой γ-колебаний 35-70 Гц***.** Он обратил внимание на то, что нейроны, избирательно реагирующие на один и тот же стимул, обнаруживают сходные **γ**-осцилляции без фазового сдвига. Кроме того, корреляция их **γ**-активности при появлении в их рецептивных полях одного и того же объекта была больше, чем на появление различных объектов. Все это позволило утверждать, что *синхронизация нейронной активности является механизмом объединения нейронов в ансамбль*. Нейроны связываются в ансамбль за счет синхронизации активности на какое-то время. Они могут переключаться с одного ансамбля на другой. Синхронизация активности нейронов зрительной коры по-

стулируется как способ пространственного связывания признаком. Включение и выключение γ-осцилляций зависят от механизма последовательного (серийного) внимания, которое иногда называют «прожектором внимания». Оно характеризуется последовательным перемещением фокуса внимания с одного места в зрительном поле на другое. По мнению Ф.Крика, это движение более быстрое, чем движение глаз, которое представляет другую форму – более медленного внимания. Механизм внимания помогает группе взаимодействующих нейронов разряжаться когерентно на частоте 35-70 Гц. В результате создается глобальная единица активности, охватывающая нейроны в различных частях мозга. Согласно теории Ф.Крика, нейронные процессы, попадающие под «луч прожектора внимания», определяют содержание нашего сознания, в то время как нейронные процессы вне «света прожектора» образуют подсознание. Термин подсознание применяется для обозначения нейрональных событий, которые сознательно не переживаются, тогда как другие события субъективно осознаются. «Прожектор» означает, что пятном можно *управлять*. Эту функцию выполняет таламус, который создает «подсветку» на уровне коры, образуя синаптические связи на апикальных дендритах пирамидных клеток в первом слое коры больших полушарий – дополнительное неспецифическое возбуждение, которое взаимодействуя со специфическим, усиливает его.

Осознание зрительного объекта требует участия не только внимания, но и кратковременной памяти, т.е. работы корково-подкорковых структур, в частности, гиппокампа. Различая сенсорную и рабочую память, Ф.Крик подчеркивает особую роль рабочей памяти в процессах сознания. Рисуя картину в целом, он описывает процесс осознания зрительного объекта следующим образом. Мозг имеет топографическую карту, в которой закодированы локусы зрительного поля. Эта карта связана с различными картами признаков. Сигнал о локализации объекта в зрительном поле, возможно, возникающий от карты движения глаз в двухолмии среднего мозга, активирует соответствующие участки в картах признаков. За этим следует синхронное появление γ-осцилляций у нейронов в различных локусах коры и на этой основе когерентное связывание признаков объекта. Когда проблема связи нейронов, реагирующих на объект, решена, на короткое время признаки объекта, на которые распространяется фокус внимания, автоматически записываются в рабочей памяти. Возможно, что 40 Гц осцилляции сами избирательно активируют механизмы памяти.

Помещение в рабочую память признаков позволяет использовать категориальные знания, которые также временно представлены в ней, и решить, какие нейроны должны разряжаться вместе, чтобы продуцировать окончательную репрезентацию объекта, на который направлено внимание. В ситуации произвольного внимания «луч прожектора» направляется командами из рабочей памяти. Связывая рабочую память с функциями фронтальных областей, он полагает, что активность фронтальных областей необходима, чтобы субъект сообщил о своем осознанном восприятии стимула. Богатство субъективных впечатлений основано на использовании и сенсорной памяти. Зрительное внимание в любой момент может быть переключено на иконическую, то есть краткосрочную память, чтобы извлечь из нее любую текущую информацию.

Главные положения и принципы теории Ф.Крика следующие:

- информация, получаемая о целостном объекте, распределена по мозгу;

- формирование целостного образа объекта предполагает участие быстрого механизма внимания;

- целостный образ является результатом объединения нейронов в единую систему с помощью осциллятора 40 Гц, создающего синхронизацию разрядов по частоте 35-75 Гц и фазе;

- выделяются две формы текущей памяти (сенсорная и рабочая), каждая из которых выполняет свою функцию по отношению к сознанию.

При этом главным положением выше отмеченных и других теорий памяти, сознания, мышления, в целом функционирования структур ЦНС является установленная ***способность нейронов к кластерообразованию*** путём их кооперативного взаимодействия. Характер этих взаимодействий имеет электрохимическую природу и обеспечивается прямыми и опосредованными многомиллионными контактами в диссипативной структуре - ***нейрональной сети*****,** образованной кластерными объединениями нейронов с целью переработки, переноса и генерации новой информации. При этом, как уже отмечалось каждый нейрон может насчитывать до 20 тысяч синаптических бляшек, а ***управляющим параметром*** такой диссипативной структуры является нервный импульс определенной частоты и интенсивности. Такой принцип переработки информации лежит в основе процесса мышления, памяти, эмоций, сознания и алгоритма регуляции активности генома, то есть в осуществлении психосоматических взаимодействий. В кластерах нейроны, обретая определённую степень структурированности, в то же время сохраняют и степени свободы, возможность к перестройкам. При этом структура нейронных кластеров определяет их функциональные, управляющие и регуляторные свойства, а прочность связи между нейронами в кластере – стабильность соответствующей управляющей функции. В процессах оперативной памяти принимают участие также кластерные сообщества молекул воды, входящей в биологические жидкие среды и ткани, а долговременной - диссипативные структуры нейронных кластеров.

Нейрональные теории аддикций

Стабильность, жесткость структуры кластера нейронов зависит от силы и длительности связей между нейронами (чем сила связи больше, тем стабильнее кластер), определяется величиной энтропийных перепадов. Снижение энтропии приводит к росту неустойчивости (лабильности) системы, и далее – к переходу структуры в новое диссипативное состояние (при увеличении поступления энергии и информации актуального типа) – с образованием ***аддиктивной диссипативной системы*** (АДС). В этой АДС нейронный кластер представляет собой относительно жесткую, но управляемую структуру, в которой нейроны, обладая полярностью, способны разъединиться только при внешнем воздействии определенной частоты и интенсивности. За счет когеретности поддерживается устойчивость данной нейронной структуры и соответствующей доминанты.

Следовательно, механизм формирования и проявления аддикции можно рассматривать как выделение по устойчивости (по глубине «аттрактора») определенных нейронных кластеров. В терминах синергетики это означает, что ней-

ронный кластер «сидит» в глубокой энергетической «яме» (энергетический уровень 1 и это состояние устойчиво), отделенной от «нормальной энергетической ямы» (устойчивое энергетическое состояние 4) высоким энергетическим барьером (см. рис. 79).

Предлагаемая модель объясняет, почему многочисленные формирующиеся аддиктивные состояния [Егоров А.Ю., 2005; 2007] (не только употребление алкоголя и других веществ дестрессорного действия), а также посттравматические стрессовые расстройства, но и, например, увлеченность любимым делом, творчеством, участие в различных играх, sms-зависимость, любовные аддикции и т.д.) не являются *a priori* патологическими. Таковыми они становятся при их гипертрофированном развитии и десинхронизации по отношению ко всей совокупности индивидуальных нейрорегуляторных и популяционно-регуляторных процессов. Такие патологические аддикции (алкоголизм, наркомании, игровые и иные физические зависимости), а также посттравматические стрессовые расстройства можно рассматривать как гиперформу адаптации и её десинхронизацию на нейрофизиологическом и популяционно-регуляторном уровне в ответ на действие раздражителей измененной и неадекватной экосоциальной среды. *Причём, как уже отмечалось, именно посттравматические психофизиологические стрессовые расстройства являются первопричиной формирования не только патологических аддикций, но и других психосоматических заболеваний, включая онкопатологию.*

Рефлексотерапевтические технологии в лечении аддиктивных состояний и заболеваний

Особый интерес представляет обсуждение механизмов эффективности рефлексотерапии патологической аддикции и ее соматоневрологических осложнений с точки зрения синергетики. Теоретически наиболее вероятно, что после разрушения субструктуры субстрата аддикции организм с сохраненной самоорганизацией возвратится в онтогенетически запрограммированное состояние относительного здоровья, на нормальную траекторию развития. Вместе с тем, химические (лекарственные) методы лечения болезней зависимости, хотя и необходимы на определенных этапах выведения из болезненного состояния, в целом, представляются как менее перспективные, в отличие от биофизических и психотерапевтических, так как они с большой вероятностью могут переводить организм в новое зависимое состояние, формируя новые патологические аддиктивные состояния (ПАС), а не возвращать организм на нормальную траекторию развития. Основой новых ПАС будут новые диссипативные структуры межнейронных кластеров, образующиеся за счёт формирования кластеров синаптического водного раствора с участием молекул химиопрепарата.

Синергетический подход позволяет предположить, что спонтанный переход (по типу фазового перехода) или трансформация ДСЧ из аддиктивного состояния в состояние отсутствия данной аддикции может происходить только через случайные или целенаправленные воздействия на систему в *точках бифуркации* инициирующих перевод системы в стадию «динамического хаоса». Это достижимо путём разрушения уже сформированных и работающих в своем пространственно-временном режиме аддиктивности физико-химических дис-

сипативных субструктур организма, прежде всего структур ЦНС, включая водные синаптические растворы, возникших в процессе формирования соответствующей зависимости. Такими физико-химическими структурами могут быть, например, водно-спиртовые или липидно-спиртовые диссипативные системы внутренних сред организма (в первую очередь, синаптических растворов), способные через структурно-функциональные устойчивые во времени преобразования хранить и передавать информацию об аддиктогенном факторе [Кершенгольц и др., 2004а]. Причём их разрушение (демонтаж) не должно сопровождаться формированием новых диссипативных структур, которые представляли бы собой кластеры среды, комплементарные разрушающему фактору.

В рамках нейронных кластеров это означает увеличение степеней свободы, подвижности нейронов друг относительно друга, за счёт смены сил их электрохимического притяжения в области синапса (пресинаптическая мембрана при достижении потенциала действия заряжается положительно по сравнению с отрицательно заряженной постсинаптической мембраной) силами электрохимического отталкивания, благодаря перезарядке противоположным знаком постсинаптической мембраны. Такая «переполюсовка» постсинаптической мембраны может быть проведена электроимпульсным воздействием в области синаптических бляшек данного патологического аддиктивного нейронного кластера в режиме *частотного электромагнитного резонанса* между управляющим нервным импульсом данного нейронного кластера и внешним электроимпульсным воздействием при смене полярности внешнего импульса.

По-видимому, к такому разрушению структуры патологического аддиктивного нейронного кластера сводится суть лечения информационно-волновыми методами, когда целенаправленные врачом (психиатром, наркологом, психотерапевтом, психологом, физиотерапевтом) *управляющие стимулы*, по качеству и силе воздействия соответствующие эффекту, производимому *актуальным стимулом,* вызвавшим кластерирование нейронов и формирование данной патологической АДС, должны быть способны активировать структуру, спровоцировать аффективные и психосоматическое состояния, как при действии аддиктивного агента, оживить желание (влечение). Такими стимулами могут быть звуковые, визуальные, осязательные, обонятельные и другой природы воздействия, что часто используется в методах опосредованной психотерапии. Ими могут быть и электрические импульсы, посылаемые с зоны периферических нервных клеток с низким сопротивлением. При этом вся функциональная диссипативная система (патологическая детерминанта и ее окружение) переходят в возбуждённое состояние (уровень 3, см. рис. 79). И если перепада энтропии достаточно, система скачкообразно переходит в другое энергетическое состояние, более близкое к нормальному или адекватное ему (соответствует переходу из «потенциальной ямы 1» в «потенциальную яму 4» через состояние «динамического хаоса» - 3, см. рис. 79), что обусловливает оптимизацию траектории развития целостной диссипативной системы организма человека, способствует переходу ее из бифуркационной ветви «декомпенсация» или «хронизация» на траекторию, соответствующую компенсирующей адаптации и выздоровлению.

Принципы технологии ЭМАТ в лечении зависимостей и психосоматических расстройств и заболеваний

Для демонтажа патологических аддиктивных ДСЧ может использоваться рефлексотерапевтическая технология «ЭМАТ», позволяющая корректировать и восстанавливать синхронизацию переключения ДСЧ в организме с учётом его индивидуальных и хронобиологических особенностей [Кершенгольц, Чернобровкина, НЕбрат и др., 2006, 2006а]. Механизмом её действия, по нашему мнению, является коррекция диссипативных структур воды в организме, определяющая реконструкцию исходных кластерных структур нейронов мозга в режиме самоорганизации, т.е. ресинхронизация адаптивных реакций организма, приводящая к «демонтажу» патологического аддиктивного состояния, даже в условиях измененной и неадекватной среды.

В основу технологии ЭМАТ положена новая научная модель фрактально-полевого строения энергетической системы организма человека, развиваемая В.В.Небратом с соавторами [Небрат, 2003-2008]..

Согласно этой модели, как уже отмечалось, на кожной поверхности человека диссипативные структуры образуют фрактальные «проекционные зоны», имеющие определенную топологическую локализацию и разную фрактальную размерность, следовательно, они могут проявляться как точка, линия, зона. Таким образом, с одной стороны модель позволяет дать новую биофизическую интерпретацию основных понятий теории акупунктуры Традиционной Китайской Медицины, а с другой – позволяет использовать математический аппарат физики открытых систем для описания энергетических состояний зависимого человека и фрактальности его аддиктивных диссипативных систем (АДС).

Принцип технологии заключается в выявлении аномальных и деградационных хаотических режимов активных ДС пациента и в переводе их в устойчивый динамический режим функционирования в нормальном «энергетическом коридоре», т.е. в управлении ДСЧ. В основе технологии лежит электрохимический механизм в рефлексогенных зонах и путях организма человека, дающих непосредственную информацию (обратную связь) о состоянии ДСЧ, благодаря «открытости» этих зон, т.е. термодинамической неустойчивости и доступности для обмена энергией и информацией с окружающей средой. Физиологический и лечебный эффекты опосредованно достигаются благодаря изменению свойств ДСЧ, степени структурированности водных сред и нейронных кластеров ЦНС с повышением уровня адаптированности организма человека в целом путем акупунктурной электростимуляции.

Для этого сначала путем электронного «щупа» в стандартных рефлексогенных зонах находится точка (или точки; *puncture*), обладающие минимальным электрическим сопротивлением, и анатомически располагающиеся на линии энергетического проводящего канала, определяется степень их «открытости» и выбирается для дальнейшей работы точка на наиболее «открытом» канале (в данный период времени и в организме данного пациента), через который осуществляется приток и сток энергии, информации. Воздействуя «электроручкой» ЭМАТ на эти точки, посылаем (дозированно, квантами) пакет низкоэнергетических стимулов в диапазоне частот, охватывающих диапазон частот колебаний диссипативных структур воды в организме и нейронных кластеров ЦНС.

В центре регуляции и переработки информации резонанс возникнет только при определенных частотах и именно с теми частотами в патологических АДС, которые и составляют электрохимический базис патологического кластера (благодаря выделяющемуся над «шумами» потоку нервных импульсов), обусловливающий электрохимическую неадекватность диссипативной субструктуры и ее зависимость от внешнего агента. При возникновении резонанса между одной из частот широкополосного импульса, посылаемого ручкой ЭМАТ, с частотой патологической АДС возникают условия обмена энергией между ними и, в зависимости от полярности внешнего стимула, резонансный импульс ручки ЭМАТ либо возбудит систему (если резонансный зарядный стимул того же знака - однополярен), либо погасит доминанту (если знак противоположный и тоже вошел в резонанс). В обоих случаях доминантная структура в центре (нейронный кластер) перейдёт в состояние «динамического хаоса», разрушится. Структурно-функциональная основа долговременной памяти об эффекте патологического аддикта (соответственно гипотетической функциональной голографии в теории отражений К.В.Судакова «рассыплется» (деструктурируется). Это может произойти буквально «на игле», если сразу достигнут резонанс с АДС, и по самоотчетным сведениям от испытуемого признаки зависимости – тяги к спиртному – сразу ослабевают или исчезают, либо после предварительной «раскачки» жесткой кластерной системы в центре доминанты путем неоднократной перемены полярности прибора ЭМАТ, прилагаемого к периферическому проводнику – точке акупунктуры. У пациента при этом отчетливо отмечаются изменяющиеся в динамике осязательные, обонятельные, тактильные *управляющие признаки* его индивидуальной формы зависимости.

Кроме самоотчётных сведений пациента возникновение резонанса, а также процесс саморазборки патологического, обуславливающего данную аддикцию нейронного кластера фиксируется и по изменению частотных характеристик выделенного (резонансного) ЭМАТ-импульса, которые через дистанционный датчик (рис. 81) выводятся на дисплей компьютера в режиме фазового портрета. Это происходит благодаря тому, что при саморазборке (изменении структуры) патологического нейронного кластера изменяется частота его нервного импульса, а благодаря эффекту резонанса меняется выделяемая (наиболее интенсивная частота) в рамках широкополосного ЭМАТ-импульса, что и фиксируется как характерные пороговые, бифуркационные изменения его фазового портрета.

Таким образом, путем точечной (акупунктурной) направленной и квантованной низкоинтенсивной электростимуляции вызывается скачкообразное изменение устойчивого положения патологического аддиктивного ДСЧ (с минимумом энергии в «потенциальной яме №1», см.рис. 43) на новое положение с минимумом энергии в «потенциальной яме №4», характерной для ДСЧ в норме. Скорость изменения субъективных ощущений и отношения к аддикту (например, к алкоголю, наркотику, игровому автомату или к стресс-фактору вызвавшему посттравматическое стрессовое расстройство) при этих энергоинформационных переводах ДСЧ у каждого пациента варьирует индивидуально.

Причем перестройка систем (их саморегуляция) сопровождается иногда бурной вегетативной реакцией (сосудистой, температурной), мышечным расслаблением, а также перестройками на гомеостатическом и функциональном уровне вплоть до сильного ускорения метаболизма алкоголя у страдающих алкогольной аддикцией (с появлением ранее отсутствовавшего запаха перегара, ацетона от пациента, посталкогольной интоксикации) или ускорением отправных функций организма (у больного отмечается внезапная «олигоурия») и значительным субъективным ощущением облегчения, снятия напряжения, улучшением общего самочувствия, появлением чувства «просветления» в голове.

Рефлексотерапевтическая аппаратура технологии ЭМАТ

Технология ЭМАТ – инструментальный метод воздействия на проекционные зоны организма, в том числе ЦНС, приборами серии «ЭМАТ-экспресс-01» (рис. 81). Обладатель всех авторских прав и прав собственности на технологию ЭМАТ – «Экспресс-технология» В.В.Небрат (г.Новосибирск).

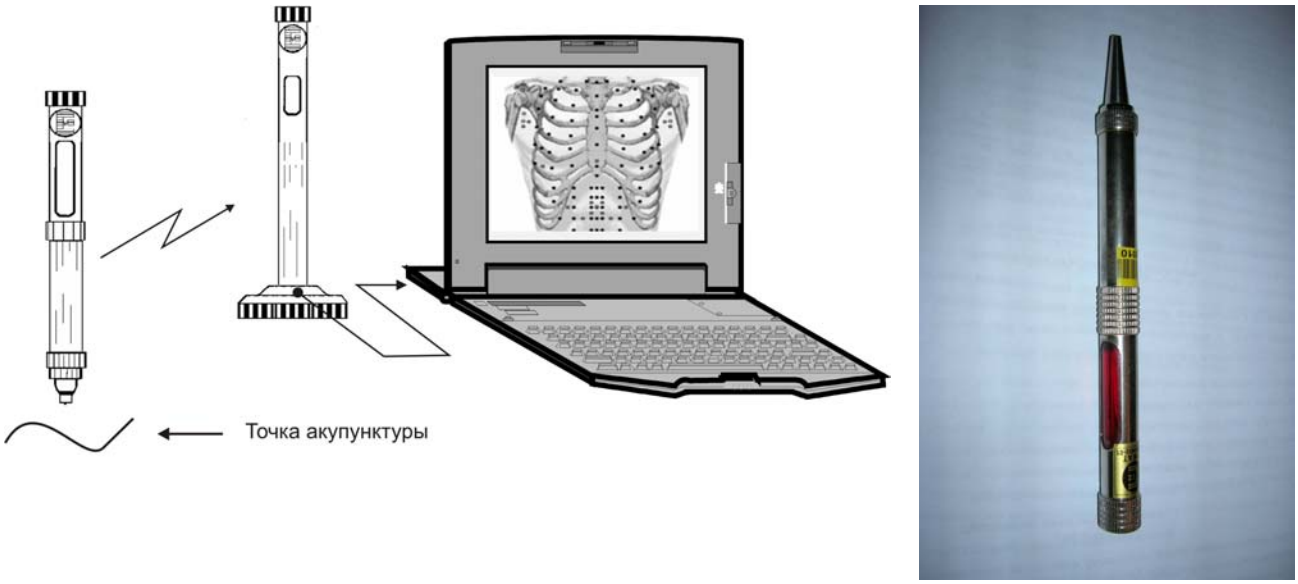


Рис. 81. Информационная система «Ассистент врача – ЭМАТ-экспресс-01»

Лечебно-диагностический метод ЭМАТ использует в своей основе фундаментальные представления Фрактально Полевой Модели (ФПМ) человека (автор В.В.Небрат), которая объясняет механизмы лечебного воздействия природных низкоэнергетических электромагнитных излучений на организм человека.

Прибор "ЭМАТ-экспресс-01" - Маркер ТА рефлексотерапевтический электронный, прошёл клинические испытания по рекомендации МЗ и МП РФ России и рекомендован к серийному производству и применению в медицинской практике (протокол Комитета по новой медицинской технике МЗ и МП РФ от 14 июня 1995 г. приказ министра МЗ и МП РФ № 311 от 15 сентября 1995 г.; регистрационное удостоверение Федеральной службы по надзору в сфере здравоохранения и социального развития № ФС 02012005/2695-06 от 31 марта 2006 г.; нормативный документ ТУ 9444-001-81448739-2005). Приборы

серии "ЭМАТ-эспресс-О1" относятся к классу приборов, не имеющих аналогов в мировой практике (патент РФ №2070025; патент ЕР №0759288).

Специализированный образец прибора серии "ЭМАТ-экспресс-О1» изготовлен на основе технических условий: ЭМАТ. 941519.001.ТУ» и в соответствии с патентом РФ №2070025.

Методика проведения лечебных мероприятий при лечении патологических аддиктивных состояний с помощью технологии ЭМАТ

Впервые технология ЭМАТ (в своей первой бескомпьютерной модификации) была апробирована и использована при лечении болезней зависимости врачом-наркологом и рефлексотерапевтом (с 2001 г. кандидат медицинских наук) Ю.Т.Яценко в начале 90-ых годов XX века, как «Методика Ю.Т.Яценко «Форсаж™» [Яценко, 1995, 1999, 2001; Яценко, Носов, 1996]. При лечении больных алкоголизмом I и II стадии успешность, по данным этих авторов, составила от 93 до 88%, соответственно.

Лечебный сеанс включает три этапа.

Первый этап заключается в поиске контактным способом с помощью «ручки ЭМАТ» (см.рис. 81) активных точек выхода диссипативных структур (периферических нервных окончаний с минимальным электрическим сопротивлением) на поверхность тела с учётом индивидуальных фенотипических и хронобиологических особенностей организма пациента, т.е. в обнаружении «открытых» акупунктурных зон. Они расположены и идентифицируются как известные точки энергетических китайских меридианов на теле человека. Обычно поиск проводится на открытых частях тела: пальцах рук, лице, голове. Предварительно с помощью кинезиологического теста определяется оптимальное положение тела относительно сторон света для учёта возможного влияния геомагнитного поля на электромагнитное поле организма пациента в данный период времени. Поиск «открытых точек» – периферических нервных окончаний с электрическим сопротивлением ниже пороговой величины необходим для того, чтобы при трансляции через эти структуры широкополосного импульса «ручки ЭМАТ» не происходило его рассеивание или поглощение. Сигналом, свидетельствующим о нахождении данной точки, является световой и звуковой сигналы «ручки ЭМАТ».

Целью второго этапа является установление резонанса между частотой управляющего импульса патологического (хранящего память об аддикции) нейронного кластера в ЦНС пациента с одной из частот широкополосного импульса «ручки ЭМАТ». Для этого психотерапевтическими методами врач добивается активации у пациента тех нейронных центров в ЦНС, в которых сформировались патологические нейронные кластеры, обусловившие соответствующую аддикцию, на различных уровнях рецепции и переработки информации: зрительном, вкусовом, обонятельном, звуковом, осязательном и т.д. Такая психотерапевтическая предподготовка приводит к тому, что именно управляющие нервные импульсы нейронных кластеров, ответственных за формирование конкретной аддикции у конкретного пациента начинают выделяться по интенсивности над общим «шумовым фоном». Это и обуславливает возникновение резонанса одной из частот широкополосного импульса «ручки ЭМАТ» с

нервным импульсом именно данного нейронного кластера. Возникновение резонанса фиксируется по самоотчетам пациента, а именно по изменениям его ощущений. Кроме того, при возникновении резонанса одна из частот широкополосного импульса «ручки ЭМАТ» резко увеличивает свою интенсивность, это регистрируется дистанционным датчиком (см. рис. 45) и в режиме компьютерной обработки его сигнала подается на дисплей компьютера в виде изменений частотных параметров импульса в координатах его фазового портрета.

Установление резонанса является основой для проведения третьего этапа лечебного сеанса, в рамках которого врач периодически меняет полярность импульса «ручки ЭМАТ», добиваясь в режиме резонанса смены знака полярности постсинаптических мембран нейроннов в данном кластере, ответственном за специфическую аддикцию у данного пациента. При этом электродинамическое притяжение нейронов в «аддиктивном» нейронном кластере сменяется электродинамическим отталкиванием. Увеличивается подвижность нейронов в нём т.е. возрастает уровень «динамического хаоса», нейронный кластер, ответственный за патологическую аддикцию, *саморазрушается* [2)]. В рамках диаграммы энергетических состояний нейронный кластер переходит из состояния «1» в состояние «3» или «5» (см. рис. 79). Пациент испытывает при этом необычные для него ощущения, которые заключаются, например, в том, что он «вдруг» становится неспособным вспомнить и мысленно ощутить (пережить) состояния, связанные с соответствующим объектом (предметом, веществом) аддикции. На дисплее компьютера свидетельством «демонтажа» патологического аддиктивного нейронного кластера является скачкообразное изменение параметров резонансного импульса в координатах фазового портрета. Эти субъективные (по ощущениям пациента) и объективные (по параметрическим характеристикам нервного импульса данного нейронного кластера) изменения свидетельствуют об исчезновении соответствующей патологической аддикции.

Лечебный сеанс на этом завершается и начинается период нейрофизиологической постаддиктивной реабилитации (как показывает наш эмпирический опыт, он может занимать от 6 до 10 недель), в течение которого нейроны данного кластера в режиме самоорганизации перейдут из состояния «динамического хаоса» в состояние новой «диссипативной структуры». На энергетической диаграмме (см. рис. 79) это будет выражаться переходом в состояние «4». Только после этого демонтаж соответствующей патологической аддикции становится необратимым и пациент даже может себе позволить контакт с бывшим патологическим для него аддиктогенным объектом (субстратом) без риска рецидива. В период же нейрофизиологической постаддиктивной реабилитации, на фоне отсутствия аддикции даже ситуативный контакт пациента с соответствующим патологическим аддиктом может привести к переходу нейронного

---

[2] *При этом возникают неизбежные закономерные вопросы о том, обратима ли, и насколько обратима, такая саморазборка данного нейронного кластера, обуславливающего соответствующее патологическое аддиктивное состояние и зависимость; как феномен обратимости связан с механизмами памяти и как он реализуется при действии провоцирующих факторов. Однако, этот аспект феномена «самосборки-саморазборки» нейронных кластеров головного мозга в структуре патогенеза хронического рецидивирующего заболевания зависимостью представляет тему отдельного изучения и обсуждения.*

кластера в «привычное» энергетическое состояние «1» (см. рис. 79) и к восстановлению патологической аддикции.

Пациенту также говорится о том, что процесс нейрофизиологической постаддиктивной реабилитации он может ускорить. Для этого ему необходимо как можно интенсивнее занять свой мозг любым интересным для него делом, увлечением и т.д. Так как, достигнутое в процессе лечебного сеанса увеличение степеней свободы нейронов в бывшем «патологическом» нейронном кластере означает повышение скорости мышления, увеличение объёма «оперативной» памяти, которую нужно полнее использовать, и тогда процесс перехода нейронного кластера из энергетического состояния «3» или «5» в «4» (см. рис. 79) произойдет быстрее и эффективнее.

За 3,5 года с помощью сделанной по спец.заказу в г.Новосибирске биофизической технологии ЭМАТ, на базе ЯРНД МЗ РС(Я) пролечено более 500 пациентов с диагнозами «алкоголизм», «наркомании», «лудомания». Средняя эффективность, при сроке ремиссии более 2,5 лет, составила 85÷90%, при полном отсутствии у пациентов зависимости (желания, тяги к аддикту). У прошедших лечение в связи с алкоголизмом спустя 3,5-4,0 месяца после сеанса восстанавливается способность к эпизодическому употреблению алкоголя без срыва ремиссии.

При лечении посттравматических стрессовых расстройств (ПТСР) эффективность составила около 90÷95%. Эффект лечения заключается в том, что исчезает гипертрофированная ответная реакция на информационное воздействие (воспоминание, напоминание и т.д.) об исходном стресс-факторе, вызвавшем данный патологический психофизиологический синдром. Поведение перестаёт быть асоциальным. В течение последующих 2-3 месяцев восстанавливается и соматическое здоровье. За 1÷3 сеанса полностью излечиваются не только ПТСР военной этиологии, но и ПТСР, характерные для мирной жизни, включая бытовые ПТСР.

Представления об организме человека как целостной самоорганизующейся системе, функционирующей на основе процессов самоорганизации изначально супрамолекулярных кластеров воды и липидных комплексов во всех структурах и биологических жидкостях организма, далее клеточных клонов, в первую очередь, нейронных кластеров, позволяют **совершенно по-новому подойти к решению медицинских проблем и задач**, включая практически все области медицины, геронтологию и т.д.

В той связи следует отметить, что с помощью синергетической, биофизической технологии ЭМАТ с не меньшей эффективностью купируются болевые синдромы различной этиологии, отёки, возникающие при воспалительных процессах различной природы, корректируется иммунореактивность, ускоряются процессы заживления ран и регенерации тканей после тех или иных нарушений и т.д.

Заключение.

Вопросы, которые будут рассмотрены во второй части пособия

1. Возникновение биологического разнообразия и проблема темпов биологической эволюции. Роль биоразнообразия в формировании способности

биосистем различных уровней к самоорганизации, в сохранении их жизнеспособности, адаптивного потенциала, т.е. устойчивости при изменениях среды обитания рассмотрена в главе 4.1. Кроме этого, будут рассмотрены механизмы (и математические модели) возникновения биоразнообразия в ситуациях, когда исходные ресурсы (мононуклеотиды, аминокислоты) исчерпываются и необходимы новые белки с новыми функциями. Каждый из организмов, обладающий новым белком с новой (чаще катаболической) функцией осваивает свою экологическую нишу. Этот процесс является дивергентным. Принципиально важно то, что новые функции (новые белки) должны возникать на фоне сохранения старой функции (репликазной), т.е. при условии повторов в «ДНК», в том числе «молчащих», мутаций отдельных «молчащих» копий. Будут рассмотрены два типа процессов образования новых белков: градуальный или приспособительный и белок с принципиально новыми функциями («ароморфоз», большой скачок). Будут описаны также информационный аспект биологического разнообразия, механизм возникновения разнообразия при градуальной эволюции, синергетический механизм образования ароморфозов. (механизм «блочной мутации», «конструктор»).

2. Синергетическая модель онтогенеза. Принцип наложения информаций – управление онтогенезом. Роль генома и внешних по отношению к нему факторов. Пространственная упорядоченность развития – как результат самоорганизации клеточных коллективов, а не за счёт реализации предсуществующего в оплодотворенной в яйцеклетке плана строения).

Основы теории биофотонной синергетической регуляции онтогенеза и экспрессии генома, хронобиологической синхронизации (временной самоорганизации). Лучи Гурвича и эксперименты А.Б.Бурлакова по биофотонной межклеточной и межорганизменной регуляции стадий онтогенеза.

Генерация информации в точках бифуркации при филогенезе и рецепция информация из генома при онтогенезе. При онтогенезе в точках бифуркации перемешивающий слой возникает, но в нём максимальная энтропия Колмогорова не очень велика, а горизонт прогнозирования достаточно широк. При этом именно рецепция информации играет доминирующую роль и фактически предопределяет принятие решения.

Параметрическое управление на всех стадиях как устойчивых, так и неустойчивых. Динамические переменные при этом - концентрации веществ, участвующих в процессе (как правило специфических). Параметрами модели являются неспецифические факторы: температура, pH, уровень базового метаболизма, а также специфические – каталитические, ингибиторные (отрицательные обратные связи), активационные (положительные обратные связи) характеристики ферментов.

Роль свойств активной среды (параметры базового метаболизма; свойства **водных** и **липидных (мембранных) сред** клетки и организма; временны’е и пространственные различия экспрессированности изоферментов). При постановке дополнительной цели (например, обеспечение нужной формы органа) эти различия становятся существенными, и информация, заключенная в них, становится ценной. Принцип наложения информации.

Математические (синергетические) модели онтогенеза на примере модели коллективного поведения социальных амёб. Три группы параметров модели: медленно и монотонно меняющиеся величины (управляющие параметры, определяющие моменты смены этапов развития); постоянные параметры, не изменяющиеся в течение всего развития (определяют темп изменения управляющих параметров); параметры (как постоянные, так и медленно меняющиеся) определяющие поведение динамических переменных на каждом этапе развития.

Особая роль синтеза и секреции ц-АМФ в этих процессах как управляющего и бифуркационного параметра в образовании диссипативных структур и/или в распространении автоволн в онтогенезе и в регуляции экспрессии генома. В процессе развития живых объектов геном играет роль блока памяти, в котором записаны все необходимые параметры. В качестве аналоговых блоков используются физико-химические процессы, обеспечивающие образование диссипативных структур, распространение автоволн, и т.д. В целом, в рамках модели экспрессия генов на всех этапах является процессом ведомым (управляемым ведущими параметрами), а не ведущим (управляющим). Модель дает ответ и на вопрос: «Можно ли повернуть стрелу биологического времени вспять? На каких стадиях синергетическое развитие обратимо и каким образом, а на каких - необратимо?».

3. Самоорганизация сознания, синергетика и логика.

4. Синергетика сознания. Синергетические изменения (нарушения) при болезнях на примере аддикций.

Литература

1. *Адушкин В.В., Соловьев С.П., Турунтаев С.Б.* Соотношение антропогенной и природной составляющих в потоке газов в атмосферу // Глобальные изменения природной среды - 2001. Новосибирск: СО РАН «ГЕО», 2001. С. 249-264.
2. *Ашмарин И.*П. Биохимия мозга: Учебное пособие / Под ред. И.П. Ашмарина, П.В. Стукалова, Н.Д. Ещенко. – СПб.: Изд-во С.-П. Университета, 1999.– 328 с.
3. *Бак П., Чен К* Самоорганизованная критичность // В мире науки. 1991. №3, С.16-24.
4. *Балобаев В.Т., Шепелев В.В*. Космопланетарные климатические циклы и их роль в развитии биосферы Земли // ДАН. Т. 379. №2. 2001. С. 247-251.
5. *Баранцев Р.Г.* Синергетика в современном естествознании. – М.: Едиториал УРСС, 2003 г. 144 с. (Серия «Синергетика: от прошлого к будущему)
6. *Белоусов Л.В., Бурлаков А.Б., Лучинская Н.Н.* Статистические и частотно-амплитудные характеристики сверхслабых излучений яйцеклеток и зародышей вьюна в норме и при оптических взаимодействиях. II. Изменение характеристик сверхслабых излучений при оптическом взаимодействии разновозрастных групп зародышей // Онтогенез. 2003, том 34, №6, С.453 – 463
7. *Блюменфельд Л.А.* Решаемые и нерешаемые проблемы биологической физики. М.: Едиториал УРСС, 2002. – 160 с.
8. *Будыко М.И.* Эволюция биосферы. Л.: Гидрометеоиздат, 1984. 487 с.
9. *Бульенков Н.А.* О возможной роли гидратации как ведущего интеграционного фактора в организации биосистем на различных уровнях их иерархии // Биофизика. – Т.36, вып.2. – 1991. – С.181-243.
10. *Бурлаков А.Б., Аверьянова О.В., Пащенко В.З., Тусов В.Б., Голиченков В.А*. Лазерная коррекция эмбрионального развития вьюна // Вестн. Моск. Ун-та. Сер. 16, биология. 1997. №1., С.19 – 23.
11. *Бурлакова Е.Б., Конрадов А.А., Мальцева Е.Л.* Действие сверхмалых доз биологически

активных веществ и низкоинтенсиных физических факторов // Химическая физика. – 2003. – Т.22, №2. – С.21-40.
12. *Валяев Б.М.* Углеводородная дегазация Земли и генезис нефтяных месторождений // Геология нефти и газа. № 9. 1997.
13. *Воейков В.В.* Регуляторные функции активных форм кислорода в крови и в водных модельных системах / Дисс. на соиск. уч. степ. д-ра биол. наук. – М, 2003. 280 с. С.11, 228.
14. *Воейков В.Л.* Вода- основа живого состояния и жизненных функций // Тезисы докладов IV Международного симпозиума «Механизмы действия сверхмалых доз». 28-29 октября 2008 г.. – М: РУДН. – С.23-24.
15. *Волошин А.В.* Об эстетике фракталов и фрактальности искусства // Синергетическая парадигма, линейное мышление в науке и искусстве. – М.:Прогресс-Традиция. 2002. – С.213-246.
16. *Воробьев Н.Н.* Числа Фибоначчи. — М., 1984
17. *Гарднер М.* От мозаик Пенроуза к надёжным шифрам. – М.: Мир, 1993.
18. *Глейк Дж.* Хаос. Создание новой науки. – СПб.: Амфора. 2001. 198 с.
19. *Гусев В.А.* Об источнике энергии для сохранения жизнеспособности и амплификации гетеротрофных микроорганизмов в условиях субстратного голода. I. Формулировка гипотезы // Биофизика. 2000. Т. 46, вып. 5, с. 862-868
20. *Данилов Ю.А.* Роль и место синергетики в современной науке // Онтология и эпистемология синергетики. — М.: ИФ РАН, 1997. — С. 7.
21. *Джон Б., Э. Дербишир, Г. Янг и др*. Зимы нашей планеты. М.: Мир, 1982. 336 с.
22. *Дмитриева М.С.* Синергетика в науке и наука языком синергетики // Сборник статей. – Одесса. Изд-во «Астропринт». – 2005. – 181 с.
23. *Добрецов Н.Л., Коваленко В.И.* Глобальные изменения природной среды // Геология и геофизика, 1995. Т.36. №8. С. 7-29.
24. *Егоров В.В.* Аналогия биологического действия сверхмалых химических и физических доз // Радиационная биология, Радиэкология. 2003. Т.43, №3. С.261-264.
25. *Егорова Н.* Теоретическая модель BIP-конвертации универсальной базовой основы пространства с точки зрения традиционной математики. – СПб.: AIRES, 2000. 98 с.
26. *Зельдович Я.Б., Соколов Д.Д.* Фрактали, подобие, промежуточная асимптотика // Успехи физических наук. - Т.146, вып.3. – 1985. – С.493-506.
27. *Зенин С.В.* Гидрофобная модель структуры ассоциатов молекул воды // Журнал физ. химии. 1994. Т. 68. С. 634-641.
28. *Зидермане А.А.* Некоторые вопросы хронобиологии и хрономедицины. – Рига, 1988. – 215с..
29. *Зубаков В.А.* Глобальные климатические события неогена. Л.: Гидрометеоиздат, 1990. 223 с.
30. *Исаева В.В.* Синергетика для биологов. Вводный курс: Учебное пособие. – Владивосток. Изд-во ДВГУ, 2003. – 88 с.
31. *Казначеев В.П., Трофимов А.В.* Очерки о природе живого вещества и интеллекта на планете Земля: Проблем космопланетарной антропоэкологии. – Новосибирск: Наука, 2004. – 312 с.
32. *Каменская М.А.* Информационная биология: учебн. Пособие для студентов вузов. – М.: Издат.центр «Академия», 2006. – 368 с.
33. *Кастлер Г.* Возникновение биологической организации. М.: Мир, 1967, 259 с.
34. *Кершенгольц Б.М., Колосова О.Н., Кривогорницына Е.А.* Физиолого-биохимические механизмы формирования этногенетических и экологических особенностей алкогольных патологий в условиях Севера и их влияние на общую заболеваемость // Вестник РУДН. – 2000, №2. – С.106-115.
35. *Кершенгольц Б.М., Чернобровкина Т.В., Колосова О. Н., Кершенгольц Е. Б.* Алкоголь, экология и здоровье человека: физиологические и биохимические реакции организма на экотоксиканты, пути их оптимизации // Наркология, №7, 2004. С. 45-54.

36. *Кершенгольц Б.М., Чернобровкина Т.В., Небрат В.В., Рабинович Е.В., Хлебный Е.С., Шеин А.А, Кершенгольц Е.Б.* Действие водно-спиртовых систем на диссипативные состояния человека. Гипотетическая модель биогенности и наркогенности спиртсодержащих продуктов // Наркология2004а. . №8, С.64-76.
37. *Кершенгольц Б.М., Чернобровкина Т.В., Небрат В.В.* Использование технологии ЭМАТ в аддиктологии // Материалы III Международного тихоокеанского конгресса по традиционной медицине (Владивосток, Сеул, 12-14 сентября 2006 г.). – С.14-16.
38. *Кершенгольц Б.М., Чернобровкина Т.В., Небрат В.В., Катышевцева П.А.* Синергетика и электрорефлексотерапевтическая технология ЭМАТ в лечении патологических аддиктивных состояний // Психическое здоровье.– 2006а– №6. – С.44-47.
39. *Кершенгольц Б.М., Чернобровкина Т.В., Небрат В.В., Катышевцева П.А., Колосова О.Н., Кершенгольц Е.Б.* Применение рефлексотерапевтической технологии ЭМАТ в лечении аддиктивных расстройств и заболеваний».// Методические рекомендации. Утв. МЗ РС(Я) 18.05.2007. Якутск. Изд. «Master». 2007. 56 с.
40. *Кершенгольц Б.М., Чернобровкина Т.В., Артемчук А.Ф.* Синергетическая медицина: теоретические и прикладные аспекты в аддиктологии (издание 2-е, дополненное)// Харьков. Изд-во «Плеяда», 2007. 240 с.
41. *Кершенгольц Б.М.* К фрактальным основам теории самоорганизации систем и к синергетическому анализу первых трех глав Священного писания // Сознание и физическая реальность // Т.12, №4, С.2-15. 2007.
42. *Кершенгольц Б.М., Спектор В.Б., Лифшиц С.Х., Спектор В.В.* Открытая карбонатно-метановая система саморегуляции планетарного климата // Международный журнал проблем эволюции открытых систем // 2008. -Выпуск X, Т.1. С.53-68.
43. *Князева Е.Н., Курдюмов С.П.* Синергетика как новое мировидение: диалог с И.Пригожиным // Вопросы философии. М.:Наука. – 1992. – С.3-20.
44. *Князева Е.Н., Курдюмов С.П.* Основания синергетики. Режимы с обострением, самоорганизация, темпомиры – СПб.: Алетейя, 2002. – 414 с.
45. *Князева Е.Н., Курдюмов С.П.* Основания синергетики. Синергетическое мировидение. – М.: КомКнига, 2005. – 240 с. (Синергетика от прошлого к будущему)
46. *Котельников Г.А.* Теоретическая и прикладная синергетика, 2005 г. 105 с.
47. *Комаров Ф.И., Раппопорт С.И.* Хронобиология и хрономедицина, М., «Триада-Х», 2000г., 488 с.
48. *Кондратьев К.Я.* Неопределенности данных наблюдений и численного моделирования климата. Метеорология и гидрология, 2004. №4. С. 93-119.
49. *Кондратьев К.Я.* Глобальные изменения на рубеже тысячелетий // Вестн. РАН, 2000. №9. С. 788-796.
50. *Коновалов А.И., Рыжкина И.С., Бурлакова Е.Б.* Физико-химические аспекты механизма действия супрамолекулярных наносистем на основе биологически активных веществ в области низких концентраций // Тезисы докладов IV Международного симпозиума «Механизмы действия сверхмалых доз». 28-29 октября 2008 г.. – М: РУДН. – С.55-56.
51. *Короленко Ц.П., Дмитриева Н.В.* Личностные и диссоциативные расстройства: расширение границ диагностики и терапии. – Новосибирск: изд-во НГПУ, 2006. – 448 с.
52. *Коротков К.Г.* Основы ГРВ биоэлектрографии. С-Петербург: Изд-во СПб государственного Института точной механики и оптики – технического университета. - 2001. – 360 с.
53. Красота и мозг. Биологические аспекты эстетики: Пер. с англ. / Под ред. И. Ренчлера, Б. Херцбергер, Д. Эпстайна . М.: Мир, 1995. – 335с.
54. *Кроновер Р.М.* Фракталы и хаос в динамических системах. Основы теории // М.: Постмаркет, 2000. – 352 с.
55. *Крыжановский Г.Н.* Дизрегуляционная патология / Под ред. Академика РАМН Г.Н. Крыжановского.– М.: Медицина, 2002.– 632 с.
56. *Кулаков Ю.И.*. Теория физических структур (Математические начала физической герменевтики). Том 1 Сибирского курса фундаментальной физики. М.:2004.–847 с.

57. *Лисицын А.П.* Процессы океанской седиментации. М.: Наука, 1978. 391 с.
58. *Лобышев В.И.* Вода как сенсор и преобразователь слабых воздействий физической и химической природы на биологические системы // Слабые и сверхслабые поля и излучения в биологии и медицине: Тезисы II Междунар. Конгр. - СПб, 2000а. - С. 99-100.
59. *Масару Э.* Послания воды: Тайные коды кристаллов льда. - М.: ООО Изд. дом «София», 2005. -96с.
60. *Миланкович М.* Математическая климатология и астрономическая теория колебания климата. М.-Л., 1939. 207 с.
61. *Морен Э.* Метод. Природа Природы. – М.: Прогресс-Традиция, 2005. – 464 с.
62. *Мучник Г.* Порядок и хаос, 16 с.
63. *Найденов В.И., Кожевникова И.А.* Хаотическая динамика гидросферы и климата. ДАН, 2002. Т. 364. №3. С. 385-390.
64. *Небрат В.В.* Фрактально полевой ориентационный эффект в модели биологических ритмов. // Немедикаментозные методы лечения и реабилитации в неврологии. Сборник научных трудов– Новокузнецк: ИПК, 2002. С.50-57,
65. *Небрат В.В.* Диссипативные структуры и состояния человека// X Российско-Японский международн. медицинский симпозиум 22-25 авг. 2003 г.: Тез. докл. – Якутск, 2003. - С. 677-678.
66. *Небрат В.В., Рабинович Е.В.* Информационная ЭМАТ технология традиционной восточной медицины для европейского врача. Международная научно-техническая конференция, ИСТ'2003 «Информационные системы и технологии» 22 – 25 апреля, 2003. Т.3, С.54-59, НГТУ, Новосибирск, Россия.
67. *Небрат В.*В., *Рабинович Е.В.* Технология управления диссипативными состояниями человека // Материалы 7-ой Междунар.конф. «Наука и будущее человечества; идеи, которые изменят мир». – Москва, 14-16 апреля 2004 г. – С.113-117.
68. *Небрат В.*В. Приборно-программный комплекс для биоритмологической электропунктуры // Автореферат канд.дис. на соискание ученой степени канд.тех.наук. Новосибирск, изд-во НГТУ, 2007. – 21 с.
69. *Небрат В.*В. Термодинамический механизм влияния сверхмалых доз биологически активных веществ и слабых электромагнитных полей на состояния организма человека // Тезисы докладов IV Международного симпозиума «Механизмы действия сверхмалых доз». 28-29 октября 2008 г.. – М: РУДН. – С.79-80.
70. *Николас Г., Пригожин И.* Познание сложного (Синергетика – от прошлого к будущему) . М.: Едоториал УРСС, 2003. – 344 с.
71. *Николис Дж.Г., Мартин А.Р., Валлас Б.Дж., Фукс П.А.* От нейрона к мозгу / Перевод с англ. П.М.Балабана, А.В.Галкина, Р.А.Гиниатуллина и др. – М.: Едиториал УРСС, 2003. – 672 с.
72. *Никонов Ю.В.* Психические расстройства и виртуальная реальность // Сознание и физическая реальность. Т.8, №4, 2003. – С.47-50.
73. *Пальмина Н.П., Белов В.В., Жерновков В.Е., Мальцева Е.Л.* О механизмах действия биологически активных веществ в сверхнизких концентрациях // Тезисы докладов IV Международного симпозиума «Механизмы действия сверхмалых доз». 28-29 октября 2008 г.. – М: РУДН. – С.83.
74. *Пармон В.Н.* Пребиотическая фаза зарождения жизни // Вестник РАН. – 2002, Т.72, №11. – С.976-983.
75. *Пригожин И.Р*. Переоткрытие времени // Вопросы философии. — 1989. — №3. — С. 11.
76. *Пригожин И.* От существующего к возникающему. Время и сложность в физических науках. М.:Едиториал УРСС, 2002. – 288 с. (Серия «Синергетика: от прошлого к будущему).
77. *Пригожин И., Стенгерс И.* Порядок из хаоса. Новый диалог человека с природой М.:Едиториал УРСС, 2003а. – 288 с. (Серия «Синергетика: от прошлого к будущему).
78. *Пригожин И., Стенгерс И.* Время, хаос, квант: к решению парадокса времени.

М.:Едиториал УРСС, 2003. – 240 с. (Серия «Синергетика: от прошлого к будущему).
79. *Рихтер П., Пайтген Х-О.* Красота фракталов. Образы комплексных динамических систем. – М.:Мир. -1993.
80. *Савенко В.С.* Геохимия континентального звена глобального гидрологического цикла // Глобальные изменения природной среды - 2001. Новосибирск: СО РАН «ГЕО», 2001. С. 274-287.
81. Синергетическая парадигма. Нелинейное мышление в науке и искусстве. – М.: Прогресс-Традиция, 2002. – 496 с.
82. Синергетическая парадигма. Человек и общество в условиях нестабильности. – М.: Прогресс-Традиция, 2003. – 584 с.
83. *Сорохтин О.Г., Ушаков С.А.* Развитие Земли. М.: МГУ, 2002. 560 с.
84. *Спектор В.Б., Кершенгольц Б.М., Лифшиц С.Х., Спектор В.В.* Карбонатно-метановая система саморегуляции планетарного климата // Известия РАН, 2007. №6, С.1-12.
85. *Спектор В.Б., Кершенгольц Б.М.* Карбонатная геохимическая модель планетарного климата // Доклады АН, 2007. Т.416, №3, С.1-3.
86. *Стехин А.А., Яковлева Г.В.* Структурированная вода: Нелинейные эффекты. – М.: Изд-во ЛКИ, 2008. – 320 с.
87. *Стромберг А.Г.* Синергетика. Применение к химическим процессам. Методическое пособие. – Томск: ИПФ ТПУ, 1999. – 32 с.
88. *Судаков К.В.* Теория функциональных систем. – М.: изд-во «Медицинский музей», 1996. – 95 с.
89. Теория системогенеза // Под ред. К.В.Судакова. - М.: Горизонт, 1997. – 567 с.
90. *Уинфри Артур* Время по биологическим часам: Пер. с англ. / Предисл. В.И. Кринского. – М.: Мир, 1990. – 208с..
91. *Ушаков С.А., Ясманов Н.А.* Дрейф материков и климаты Земли. М.: Мысль,1984.206 с.
92. *Хазен А.*М. Разум природы и разум человека. – М. 607 с.
93. *Цветков В. Д.* Сердце, золотое сечение и симметрия. — Пущино: ПНЦ РАН, 1997. - 170с
94. *Чернавский Д.С.* Синергетика и информация. Динамическая теория информации /Издание 2-е исправленное и дополненное/ - М.:Едиториал УРСС, 2004. – 288 с. (Серия «Синергетика: от прошлого к будущему).
95. *Черников Ф.Р.* Фрактальная структура гомеопатических препаратов // Радиационная биология, Радиэкология. 2003. Т.43, №3. С.367-369.
96. *Чернобровкина Т.В., Кершенгольц Б.М.* Философские проблемы биологии и медицины: синергетика в аддиктологии // Научно-практический журнал РАМН «Аддиктология». 2005, №1. С.14-20.
97. *Чернобровкина Т.В., Кершенгольц Б.М.* Синергетика – перспективный подход к решению теоретических и практических задач аддиктологии // Международный медицинский журнал. –Т.11, №3. – 2005а. - С.17-23.
98. *Чернобровкина Т.В., Кершенгольц Б.М.* Теоретические и практические вопросы здоровья человека, аддиктивных расстройств и заболеваний с позиций синергетики // Психическое здоровье, 2006, №7. – С.3-41.
99. *Чернобровкина Т.В., Кершенгольц Б.М.* Проблемы сознания при зависимостях. Экология сознания. Синергетический подход (I) // Психическое здоровье. - №7, 2008. С.61-80.
100. *Чернобровкина Т.В., Кершенгольц Б.М.* Проблемы сознания при зависимостях. Экология сознания. Синергетический подход (II) // Психическое здоровье. - №8, 2008. С.66-77.
101. *Цетлин В.В., Федотова И.В., Артамонов А.А.* Экспериментальные исследования электрофизических свойств воды в условиях влияния космофизических факторов // Тезисы докладов IV Международного симпозиума «Механизмы действия сверхмалых доз». 28-29 октября 2008 г.. – М: РУДН. – С.113-114.

102. *Чиркова Э.Н.* Волновая природа регуляции генной активности. Живая клетка как фотонная вычислительная машина // Успехи современной биологии. – Т.114, №6. – 1994. – С.659-678.
103. *Шеин А.А., Хлебный Е.С., Кершенгольц Б.М.* Роль воды как открытой системы в адаптациях живых организмов к изменениям внешней среды // Международный журнал проблем эволюции открытых систем // Выпуск X, Т.1, С.123-129
104. *Шестаков В.П.* (составитель и научный редактор) Эстетика Ренессанса: Антология В 2-х т. Т.2. – М.: Искусство. 1980. – 639 с
105. *Шкундина И.С., Тер-Аванесян М.Д.* Прионы. Успехи биологической химии, т. 46, 2006 (обзор).
106. *Эпштейн О.И.* Сверхмалые дозы (история одного исследования). – М.:Издательство РАМН, 2008. – 336с.
107. *Ягужинский Л.С., Брусков В.И., Чайкин С.Ф.* Автоколебательные процессы в воде, возникающие при кратковременном воздействии лазерного излучения // Тезисы докладов IV Международного симпозиума «Механизмы действия сверхмалых доз». 28-29 октября 2008 г.. – М: РУДН. – С.470-472.
108. *Яценко Ю.Т., Носов Н.А.* Виртуальные психологические технологии: метод “Форсаж” //Технологии виртуальной реальности. Состояние и тенденции развития. М., 1996 г. С.148-160.
109. *Яценко Ю.Т.* Способ лечения похмельно-абстинентного синдрома со снятием влечения к алкоголю. Патент Российской Федерации № 5055264 1995 (приоритет от 09.07.92 г.).
110. *Яценко Ю.Т.* Физиолого-биохимические и психопатологические компоненты алкогольного синдрома отмены при различных методах лечения. Автореф.дисс. на соиск. уч. степ. канд.мед.наук. Архангельск. 2001. 19 с.
111. *Яценко Ю.Т.* Научное открытие в области теории человека «Закономерность формирования виртуального патологического образа в информационном поле человека» А-150 от 23.09.99. (приоритет от 09.07.1992 г.)
112. *Beloussov L.V., Burlakov A.B.* Biophotonic patterns of optical interactions between fish eggs and embryos // Indian J.of Experimental Biology. – V.41, 2003. – P.424-430.
113. *Kershengoltz B., Kolosova O., Krivogornicina E., Meltser I., Ykovleva N.* Ecological and biochemical characteristics of alcohol pathologies in the North and there influence upon the total sickness rate of the population // International J. of Circumpolar Health. V.60. n.4. 2001. P.557-565.
114. *Li, X.S., Berger, A., Loutre, M.F.*, 1998. CO_2 and northern hemisphere ice volume variations over the middle and late Quaternary. Climate Dynamics 14. P. 537-544.
115. *Lobyshev V.I., Shikhlinskaya R.E., Ryzhikov B.D*. Experimental evidence for intrinsic luminescence of water // J. Mol. Liquids. 1999. V.82. P.73-81.
116. *Lorius C., Jouzel J., Raynaud D. et al.,* 1990. The ice-core record: climate sensitivity and future greenhouse worming. Nature. V.347. P. 429-436.
117. *Mandelbrot B.B.* Fractals: Form, Chance and Dimension, Freeman, San Francisco, 1977. 365p.
118. *Mandelbrot B.B.* The Fractal Geometry of Nature, Freeman, San Francisco, 1982. 468 p.
119. *Mudelsee, M.,* 2001. The phase relations among atmospheric CO_2 content, temperature and global ice volume over the past 420 ka. Quaternary Science Reviews 20. 583-589.
120. *Siengenthaler U., Sarmiento J.L., 1993.* Atmospheric carbon dioxide and ocean. Nature. V.365. N.6442. P. 119-125.
121. *Wollf J.* Lionardo da Vinci als Ästhetiker. Strassburg, 1901, цит. по: Лосев А.Ф. Эстетика возрождения. – М.:Мысль. 1982.