
СЛОЖНЫЕ СИСТЕМЫ

МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

Январь - март

№ 1 (45), 2023

Главный редактор Иванов О.П. (к.г.-м.н., МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия)
Зам. главного редактора Князева Е.Н. (д.филос.н., профессор, НИУ ВШЭ, Москва, Россия)
Ответственный секретарь Старцев В.В. (Институт системологии, Лыткарино, Россия)

Редакционный Совет

Боголепова И.И. (академик РАН, д.мед.н., проф., зав.лаб. научного Центра неврологии РАМН, Москва, Россия); **Гершензон К.** (д.ф.-м.н. (PhDr), проф. Национального автономного университета города Мехико, Мексика); **Эрди П.** (д.ф.-м.н. (PhDr), Центр по исследованию сложных систем в Колледже Каламазу, штат Мичиган, США); **Игамбердиев А.У.** (д.б.н.(PhDr), проф. факультета биологии Университета Ньюфаундленда, Канада); **Майнцер К.** (д.филос.н.(PhDr), зав. каф. философии и теории науки Технического университета Мюнхена, президент Германского общества сложных систем и нелинейной динамики, Мюнхен, Германия); **Малинецкий Г.Г.** (д.ф.-м.н., проф., Институт прикладной математики (ИПМ) им. М. В. Келдыша РАН, Москва, Россия); **Панин В.Е.** (академик РАН, д.ф.-м.н., проф., Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Томск, Россия); **Поспелов И.Г.** (чл.-кор. РАН, д.ф.-м.н., проф., зав. отделом Вычислительного центра им. А.А. Дородницына РАН, Москва, Россия); **Хофкирхнер В.** (д.филос.н. (PhDr), президент Центра Берталанфи по изучению науки о системах, Вена, Австрия)

Редакционная коллегия

Голиченков В.А. (д.б.н., проф., МГУ, Москва, Россия); **Клиге Р.К.** (д.геогр.н., проф., МГУ, Москва, Россия); **Куркина Е.С.** (д.ф.-м.н., МГУ, Москва, Россия); **Магницкий И.А.** (д.ф.-м.н., проф., МГУ, Москва, Россия); **Мелехова О.П.** (д.б.н., МГУ, Москва, Россия); **Ризниченко Г.Ю.** (д.ф.-м.н., проф., МГУ, Москва, Россия); **Сафьянов Г.А.** (д. геогр. н., проф., МГУ, Москва, Россия); **Суриков В.В.** (д.ф.-м.н., проф., МГУ, Москва, Россия); **Чуличков А.И.** (д.ф.-м.н., проф., МГУ, Москва, Россия); **Шанявский А.А.** (д.т.н., проф., ФАУ «Государственный центр «Безопасность полетов на воздушном транспорте», Москва, Россия), Кирилишина Е.М. (к.г.-м.н., МГУ, Москва, Россия; технический редактор); Наместникова А.В. (Институт системологии, Лыткарино, Россия; выпускающий редактор).

УЧРЕДИТЕЛЬ: АО «Институт фундаментальных системных исследований», 2020
Междисциплинарный научный журнал «СЛОЖНЫЕ СИСТЕМЫ» зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор). Свидетельство о регистрации средства массовой информации ПИ № ФС77-42729 от 25.11.10 г. Регистрационный номер внесения изменений в запись о регистрации СМИ ПИ № ФС77-73604 от 31.08.2018 г. **ISSN № 2220-8569**

Сдано в набор 14.02.2023 Подписано в печать 17.02.2023. Формат 60x88 1/8. Бумага офсетная. Гарнитура тайме. Печать лазерная. Усл. печ. л. 10,8. Тираж 60 экз. Заказ **2861**. Цена свободная. Издательство: АО «Институт фундаментальных системных исследований»
Адрес редакции и издательства: 140080, Московская обл., г. Лыткарино, ул. Парковая, д. 1 Тел.: +7(495) 941-62-72; thecomplexsystems.ru; e-mail: mail@systemology.ru Подписной индекс **88852**

Периодичность: 4 раза в год

Компьютерная верстка: АО «Институт фундаментальных системных исследований»
Типография АО «ВПК «НПО машиностроения», 143966, Московская область, г. Реутов, ул. Гагарина, 33

© АО «ИФСИ», 2023
© Коллектив авторов, 2023

Перепечатка и перевод статей - только со ссылкой на журнал

FIRST PUBLISHED: October 2011

THE COMPLEX SYSTEMS

SLOZHNYE SISTEMY

Interdisciplinary Scientific Journal

January – march

№ 1 (45), 2023

Editor in Chief Ivanov O.P. (Lomonosov MSU, Moscow, Russia)

Deputy chief Editor Knyazeva H.N. (NRU HSE, Moscow, Russia)

Assistant Editor Startsev V.V. (Institute of Systemology, Lytkarino, Russia)

Editorial council

Bogolepova I.N. (Research Center of Neurology RAMS, Moscow, Russia);

Gershenson C. (National Autonomous University of Mexico, Mexico);

Erdi P. (Center for Complex Systems Studies of Kalamazoo College, Michigan, United States);

Igamberdiev A.U. (Memorial University of Newfoundland, Canada);

Mainzer K. (Munich Center for Technology in Society, Munich, Germany);

Malinetskii G.G. (Keldysh Institute of Applied Mathematics, Moscow, Russia);

Panin V.E. (Institute of Strength Physics and Materials Science, SB RAS, Tomsk, Russia); **Pospelov**

I.G. (Dorodnicyn Computing Centre, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia); **Hofkirchner**

W. (Bertalanffy Center for the Study of Systems Science (BCSSS), Vienna, Austria)

Editorial board

Golichenkov V.A. (MSU, Moscow, Russia); **Klige R.K.** (MSU, Moscow, Russia); **Kurkina E.S.**

(MSU, Moscow, Russia); **Magnitskii N.A.** (MSU, Moscow, Russia); **Melekhova O.P.** (MSU, Moscow,

Russia); **Riznichenko G.Yu.** (MSU, Moscow, Russia); **Safyanov G.A.** (MSU, Moscow, Russia);

Surikov V.V. (MSU, Moscow, Russia); **Chulichkov A.I.** (MSU, Moscow, Russia); **Schanyavskii A.A.**

(State Center Air Transport Flight Safety, Khimki, Moscow region, Russia); **Kirilishi**

na E.M. (MSU, Moscow, Russia; technical editor); **Namestnikova A.V.** (Institute of Systemology,

Lytkarino, Russia; executive editor).

FOUNDER: «Institute of System Science» JSC, 2020

Federal Service for Supervision in the Sphere of Communications, Information Technology and Mass Communications (Roskomnadzor)

Certificate of registration of mass communication media ПИ No. ФС77-42729 as of November 25, 2010

Registration number of changes ПИ No. ФС77-73604 as of August 31, 2018

ISSN No. 2220-8569

Sent for the press 17.02.2023. Format 60 88 1/8. Circulation 60. Order **2861**. Publishing company: «Institute of System Science» JSC.

Address of Editorial office: 1. Parkovaya st., Lytkarino, Moscow Region, 140080, Russia. Tel./Fax: +7(495) 941-62-72; thecomplexsystems.ru; E-mail: mail@systemology.ru Subscription index in the integrated catalog «Press of Russia» 88852

Frequency: Quarterly

Computer imposition «Institute of System Science» JSC.

Typography: JSC MIC NPO Mashinostroyeniya, 33, Gagarin Street, Reutov, Moscow Region, Russia, 143966

© «Institute of System Science» JSC, 2023

© Group of authors, 2023

Reprint and translation of articles only with a link to the journal

СОДЕРЖАНИЕ

Фундаментальные исследования

Куркина Е.С., Князева Е.Н., Иванов О.П. Введение в системное мировоззрение 4

Иванов О.П. Почва как многофазная сложная система 43

Новые идеи, подходы

Иванов О.П., Рукин М.Д. Исследование зон структурно-фазовых переходов 50

Иванов О.П. О планетарной самоорганизации и роли кинематических параметров в эндогенном развитии планет 63

Эксперименты, открытия, практика

Данилов Ю.А. Синергетика и сложность 77

CONTENTS

Fundamental research

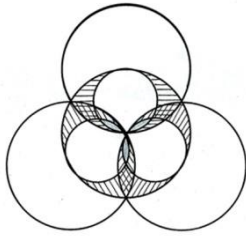
-
- Kurkina E.S., Knyazeva E.N., Ivanov O.P.** Introduction to the systemic worldview **4**
- Ivanov O.P.** Soil as a multiphase complex system **43**
-

New ideas, approaches

- Ivanov O.P., Rukin M.D.** Investigation of zones of structural-phase transitions **50**
- Ivanov O.P.** On planetary self-organization and the role of kinematic parameters in the endogenous development of planet **63**
-

Experiments, discoveries, practice

-
- Danilov Yu.A.** Synergetics and complexity **77**
-



ВВЕДЕНИЕ В СИСТЕМНОЕ МИРОВОЗЗРЕНИЕ

Куркина Е.С., д. ф-м. н., проф. ВМК МГУ; **Князева Е.Н.**, д. филос. н., проф. И.Ф. РАН; **Иванов О.П.**, канд. геол.-мин.н., в.н.с. МЗ МГУ имени М.В. Ломоносова ivanovop2007@yandex.ru.

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы мировая научная общественность пытается объединить свои усилия по координации научных исследований в направлении исследования сложных систем. Так уже в 80-е годы сложилась специальная научная дисциплина, названная теорией сложности. Наука о сложных нелинейных процессах (Nonlinear Science, Science of complexity, Science of Chaos) находится сейчас лишь в начальной стадии стремительного роста, о чем свидетельствует бурное развитие этой отрасли в США. Проблемы сложных нелинейных систем изучаются во всех крупных университетах Европы и Америки. Данная работа посвящена анализу различных подходов к исследованию проблемы сложных систем с современных позиций. Кратко освещены вопросы становления системного мира. Изложены основы современного понимания глобального Эволюционизма.

РЕТРОСПЕКТИВА ВЗГЛЯДОВ НА СИСТЕМНОСТЬ МИРА

Последние 20-21 века можно назвать эпохой нелинейной динамики сложных систем. В её основе лежат древнейшие понятия просто систем. Достаточно вспомнить китайские термины Тай Цзы, Инь Янь, Гегелевское понятие синтез.

В 20 веке экспериментально было доказана важность архитектуры структур типа диад и триад на формирование материи с позиций начал самоорганизации.

Система (от др.-греч. σύστημα — целое, составленное из частей; соединение) — множество элементов, находящихся в отношениях и связях друг с другом, которое образует определённую целостность, единство.

С нашей точки зрения, применительно к сложным системам это определение следует дополнить с учетом категории кумулятивно-диссипативных процессов. Итак, сложная система — это совокупность элементов или подсистем, объединенных в целостность за счет топологических и функциональных связей, фрактального самоподобия и единства цели развития. Последнее вводится для того, чтобы возникало свойство когерентности развития всей системы. При этом следует учитывать, что понятие цель развития логично и для систем неживой природы и определяется теми законами кумуляции, которым подчинены движения и эволюция данной системы. При этом ведущие принципы управления идут от надсистем. Например, воздушные массы часто объединены центростремительными силами в вихрях, смерчах, циклонах, антициклонах; водные массы — в водоворотах; в плазме действует кумуляция по закону Кулона, так четочные, линейные и шаровые молнии — это итог электрической кумуляции. Эти кумулятивные образования развиваются с учетом мезо- и макро-масштабных закономерностей, диктуемых надсистемами (например, сезонные циклы на Земле подчинены циклам кинематики обращения её вокруг Солнца, а суточные циклы определены вращением Земли). Как правило, диктуют условия надсистемы, а их в мироздании очень много. Т.е. соблюдается иерархия подчинений. Отсюда вывод, что эволюции в подсистемах иерархично ранжированы и как бы вложены друг в друга.

Косвенный вывод – во Вселенной существует стрела времени, маркируемая последовательностью эволюций. В этом, пожалуй, основной смысл термина глобальный эволюционизм. Понятно, что все системы открыты и взаимодействуют, давая энергию для эволюции.

"Сведение множества к единому — в этом первооснова красоты." *Пифагор*

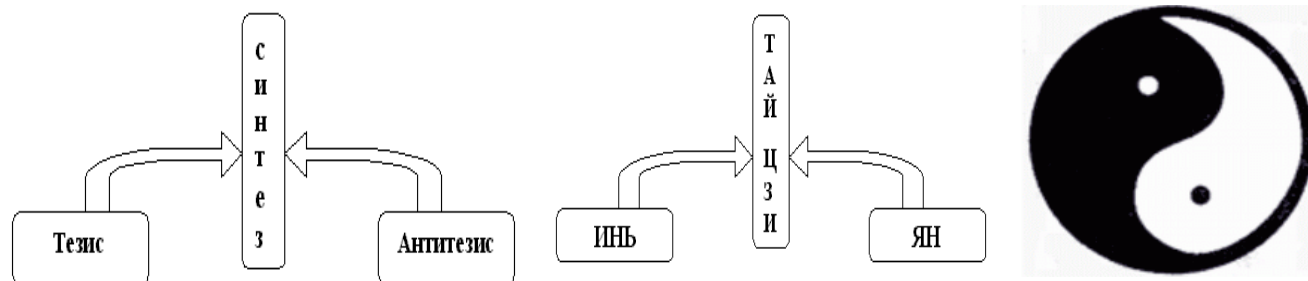


Рис.1 Схемы символов триадности Гегеля (слева) Тай-Цзи (центр), Инь-Янь (справа) [16]

Стремление упростить миропонимание издавна привлекало ученых путем соединения противоположностей. Например, Символ Великого Предела ТАЙ ЦЗИ тоже объединяет две противоположных, взаимодополняющих категории Инь и Янь в единое целое. Это фундаментальный принцип мироустройства и дуализма мира в китайских представлениях. Объединение Инь и Янь в круговой символ ТАЙ ЦЗИ есть то третье, чему аналогом выступает синтез в триаде Гегеля.

Система — комплекс взаимодействующих элементов, это закрепляет целостность и требует когерентности взаимодействий частей. Часто используется термин эмерджентность, и здесь много непонимания. Считается, что Эмерджентность — это появление у системы свойств, не присущих элементам системы, принципиальная несводимость свойств системы к сумме свойств, составляющих её компонентов (неаддитивность). Возможности системы превосходят сумму возможностей составляющих её частей; общая функциональность системы лучше, чем у простой суммы элементов. Откуда все это берется? На наш взгляд, это добавляется за счет пространственных связей, включая дальние связи, т.е. разномасштабности самоподобия от фрактальности. При этом велика роль информационного обмена ритмами. Так, например, цыплята, высиженные курицей гораздо живучее, выведенных в инкубаторе. В этом величие предвидения древних ученых – они увидели роль паттернов или пространственных образов систем и прежде всего информационную роль ритмов. Мир системен и это нужно было осознать. Далее возникла потребность осмысления проблем системного мира.

КЛАССИФИКАЦИЯ СИСТЕМ

Практически в каждом издании по теории систем и системному анализу обсуждается вопрос о классификации систем, при этом наибольшее разнообразие точек зрения наблюдается при классификации сложных систем. Большинство классификаций являются произвольными (эмпирическими), то есть их авторами просто перечисляются некоторые виды систем, существенные с точки зрения решаемых задач, а вопросы о принципах выбора признаков (оснований) деления систем и полноте классификации при этом даже не ставятся. У философов классификации осуществляются по предметному или по категориальному принципу.

Предметный принцип классификации состоит в выделении основных видов конкретных систем, существующих в природе и обществе, с учётом вида отображаемого

объекта (технические, биологические, экономические и т. п.) или с учётом вида научного направления, используемого для моделирования (математические, физические, химические и др.).

При категориальной классификации системы разделяются по общим характеристикам, присущим любым системам независимо от их материального воплощения. Наиболее часто рассматриваются следующие категориальные характеристики.

Количественно все компоненты систем могут характеризоваться как монокомпоненты (один элемент, одно отношение) и поликомпоненты (много свойств, много элементов, много отношений).

Для статической системы характерно то, что она находится в состоянии относительного покоя, её состояние с течением времени остается постоянным. И наоборот, динамическая система постоянно изменяет свое состояние во времени.

Так открытые системы постоянно обмениваются веществом, энергией или информацией со средой. Система закрыта (замкнута), если в неё не поступают и из неё не выделяются вещество, энергия или информация.

Поведение детерминированных систем полностью объяснимо и предсказуемо на основе информации об их состоянии. Поведение вероятностной системы определяется этой информацией не полностью, позволяя лишь говорить о вероятности перехода системы в то или иное состояние.

По происхождению выделяют искусственные, естественные и смешанные системы.

По степени организованности выделяют класс хорошо организованных, класс плохо организованных (диффузных) систем и класс развивающихся (самоорганизующихся) систем.

При делении систем на простые и сложные наблюдается наибольшее расхождение точек зрения, однако чаще всего сложность системе придают такие характеристики, как большое число элементов, многообразие возможных форм их связи, множественность целей, многообразие природы элементов, изменчивость состава и структуры и т. д.

Все сложные системы эволюционируют. Первые научные концепции эволюции природы стали складываться по крайней мере два века назад, а философские корни эволюционных идей - еще раньше. В настоящее время развивается теория универсального эволюционизма, рассматривающая процесс эволюции как непрерывный единый процесс – от зарождения Вселенной до современного состояния человечества. Универсальный эволюционизм предполагает, что космическая, химическая, геологическая, биологическая и социальная эволюции имеют фундаментальные сходства и подчиняются общим законам, правилам и даже отдельным механизмам эволюционных процессов. В прошлом веке сложилась новая междисциплинарная наука, изучающая законы эволюции. Она дает новые подходы к исследованию, определяя новую парадигму. Она настолько обширна и многогранна, что в зависимости от упора на тот или иной аспект исследований, имеет разные названия: «Теория сложных систем», «Нелинейная динамика и хаос», «Синергетика» и др. В 80-е годы прошлого столетия сложилась специальная научная дисциплина, названная теорией сложности (Nonlinear Science, Science of complexity, Science of Chaos). В 1984 году был основан Институт в Санта Фе в Нью-Мексико, а двумя годами позже – Центр изучения сложных систем в университете штата Иллинойс в США. Это два крупнейших центра, где профессионально занимаются междисциплинарными исследованиями сложных систем с участием специалистов разных специальностей – экономистов,

биологов, физиков и математиков. Центр в Лос-Аламосе насчитывает около 2000 исследователей.

В Германии известный ученый Герман Хакен в 70-х годах создал и возглавил Центр Синергетики при Штутгартском университете. Он же дал название «Синергетика», что означает «совместное действие» в новой междисциплинарной науке.

Российские исследователи также получили базовые результаты в этой области. Достаточно вспомнить открытие химической реакции Белоусова-Жаботинского (МГУ и Пущино), которой в мировой литературе посвящены тысячи статей, исследования Арнольда (МГУ) по математической теории катастроф и сценариев перехода к хаосу, Кринского и Иваницкого (Ин-т Биофизики РАН в Пущино) по исследованию автоволновых режимов в нервном волокне сердечной мышцы, модели процессов морфогенеза и внутриклеточного движения профессоров МГУ Чернавского и Романовского, исследования по контролируемой термоядерной реакции в Институте прикладной математики (акад. А.А. Самарский, чл.-корр. С.П. Курдюмов) и др.

В 1995 г. в МГУ им. М.В. Ломоносова создан Институт математических исследований сложных систем МГУ (почетным президентом которого был лауреат Нобелевской премии проф. И.Р. Пригожин, а директором (президентом) - академик РАН, Ректор МГУ проф. В.А. Садовничий).

О ГЛОБАЛЬНОМ ЭВОЛЮЦИОНИЗМЕ

В основе парадигмы универсального эволюционизма заложен постулат о том, что окружающий нас мир – это самоорганизующаяся и саморазвивающаяся сложная система, состоящая из не менее сложных самоорганизующихся и саморазвивающихся и взаимосвязанных подсистем. Наблюдаемый сегодня сложный мир сформировался в результате эволюции и продолжает развиваться. Вектор развития направлен в сторону усложнения. Парадигма включает представление о познаваемости нашего мира, который существует независимо от человека с одной стороны, с другой - она вся пронизана его присутствием и креативными возможностями его мозга.

Современный взгляд на Вселенную базируется на понятии универсального эволюционизма. "С позиций универсального эволюционизма эволюция – это непрерывный во времени единый процесс, который стартовал в результате Большого Взрыва и привел к формированию Вселенной, возникновению жизни и появлению человека". Добавим, именно он запустил процессы разномасштабной, иерархически связанных эволюций (рис.2).



Рис.2. Обобщенная схема вложенности эволюций. Здесь впервые выделена планетарная эволюция.

Основываясь на результатах научных исследований, мы можем констатировать, что во Вселенной возникло несколько путей мегаэволюции (рис.2):

1) космическая, связанная с возникновением и развитием различных космических систем от гигантских молекулярных облаков, звезд, звездных систем, различных типов галактик, скоплений галактик, квазаров, черных дыр, темной материи и темной энергии и др., 2) звездная эволюция, 3) ядерная эволюция с образованием всех химических элементов в результате взрывов новых и сверхновых в конце звездной стадии; 4) планетарная эволюция со своими механизмами самоорганизации планет и образованием геосфер и биосфер как на Земле 5) химическая эволюция с возникновением сложных молекул; 6) предбиологическая, 7) биологическая, 8) социальная. Характерно последовательное их включение и развитие в процессы эволюции, и это подтверждает наличие стрелы времени.

СЛОЖНОСТЬ СИСТЕМ

Сложность как феномен вездесуща и разнопланова. Сложными являются системы неживой и живой природы, естественные и созданные человеком, искусственные системы, социальные организации и бизнес сообщества, экосистемы. Разномасштабные структуры в поверхностных слоях плазменного вещества на Солнце, вихри (циклоны и антициклоны) в атмосфере Земли, клетки, организмы и экосистемы, компании и рынки, общественные организации и правительства, города, страны и геополитические регионы, компьютерные системы софтвер и хардвер, интернет – всё это примеры сложных форм, структур и систем.

Сложные системы обладают определенными характерными свойствами в зависимости от степени сложности.

Первичная сложность есть множество простых элементов системы, соединенных нетривиальными, оригинальными ближними и дальними связями друг с другом. Для них Сложность есть динамическая сеть элементов (элементы соединены по определенным правилам), например, на раннем этапе Биосферы господствовали безъядерные прокариоты, и этот период назван Прокариотий (с 3,8 млрд. л. до 1,5 млрд. л. (по Заварзину Г.А.), а следующий период - Протистий - этап господства одноядерных организмов с 1,5 до 0,7 млрд. л. И только после этого началась эволюция многоклеточных. Для неживой материи первичны гигантские молекулярные облака из водорода и гелия, от которых пошли звезды, их скопления, галактики и т.д. И этот процесс поддерживается и сейчас взрывами новых и сверхновых звезд, но теперь они могут насыщаться более тяжелыми элементами и молекулами.

Сложность есть внутреннее разнообразие системы, разнообразие ее элементов или подсистем, которое делает ее гибкой, способной изменять свое поведение в зависимости от меняющейся ситуации.

Вторичная сложность – это становление многоуровневости структур систем, например, по типам клеток или типам структур (существует архитектура сложности по видам организмов, популяциям, царствам и т.д.). Но начало лежит в образовании простейших соединений диады, триады и квадраты (например, пионы, протоны, нейтроны из кварков. С появлением молекул открылся путь химического усложнения вплоть до длинных органических молекул.

Система как целостный объект может являться некоторым элементом или подсистемой другой системы более высокого уровня. Подсистемы, составляющие систему, могут быть намного сложнее самой системы, (например, человек порой сложнее общества. Часть системы или может быть носителем всех системных качеств, но одновременно обладать и сверхсложными собственными режимами

функционирования и развития. Сложные системы больше, чем сумма их частей любого размера, поэтому их нужно анализировать в терминах иерархии взаимодействий.

Сложные системы являются открытыми системами, т.е. обменивающимися веществом, энергией и/или информацией с окружающей средой. Границы сложной системы порой трудно определить (видение ее границ зависит от позиции и знаний наблюдателя). Понятия внутренняя и внешняя среда являются условными. Так для элементов системы, если их рассматривать как отдельные самостоятельные сложные системы. Внешняя среда для системы в свою очередь является внутренней средой системы, подсистемой которой она является. Так для человека, если мы его взяли в качестве сложного объекта наблюдения и изучаем его поведение, внешней средой являются все другие люди и организации. Но если мы его будем рассматривать как единицу семьи или элемент партии, или клуба, то отношения между членами семьи, между членами партии или клуба будут уже внутрисистемными. То же касается городов, районов, государств и экономических организаций любого уровня. Город – сложная социально-экономическая организация. Связи с другими городами и населенными пунктами являются внешними для этого города, но если мы его рассматриваем как один из элементов системы городов, то это объект.

Сложными могут быть структура системы, ее взаимодействия с другими системами и подсистемами, состояния системы, поведение системы. Функции сложной системы зачастую гораздо сложнее, чем ее строение.

Сложные системы – это такие системы, в которых возникают эмерджентные феномены (явления, свойства). Эмерджентными называются новые неожиданные свойства, появляющиеся на динамическом уровне системы как целого, которые не могут быть «вычитаны» из анализа поведения отдельных элементов. Но и вещь (объект, система), ставшая частью целого, может трансформироваться и демонстрировать эмерджентные свойства. Например, 2 гаметы (мужская и женская, объединяясь дают начало новому организму. Для неживой природы объединение приводит к нейтрализации магнитного заряда, изменении гравитации, роста тепла, т.е. к кумулятивному эффекту.

Сложные системы имеют память, она заключена в их структуре, генетике и истории.

Сложные системы могут находиться в разных состояниях при одних и тех же условиях, состояние системы зависит от предыстории. При переходе системы из одного состояния в другое и обратно наблюдается явление **гистерезиса**, несовпадение точек (параметров) перескока, проявление своего рода инерции, стремления сохранить текущее состояние.

Сложные системы имеют сложную иерархическую многоуровневую фрактальную структуру, внутренние взаимодействия между элементами системы тоже имеют фрактальную структуру. Примером может служить управленческая организация некоторой отрасли промышленности, состоящая из аналогичных управленческих структур отрасли, комбинатами, отдельными заводами, цехами и т.д.

Сложные системы – уникальные системы, неповторимые. Нет двух одинаковых людей, стран, городов, биологических особей, органов и даже звезд и тайфунов.

Сложные системы регулируются петлями обратной связи: отрицательной (гасящей) и обеспечивающей восстановление равновесия, возврат к прежнему состоянию, и положительной, ответственной за быстрый, самоподстегивающийся рост, в ходе которого увеличивается сложность.

Каждая сложная система имеет свои внутренние характерные масштабы времени и пространства. Масштаб времени определяется скоростью главного процесса, связующего элементы воедино, а пространственный масштаб зависит и от радиуса

внутрисистемных взаимодействий, и от скорости. Пространство и время связано обратной зависимостью. Если изменяются масштабы, то говорят об изменении течения системного времени. В эпоху динозавров, когда главными лидерами эволюции были древние ящеры, именно процессы, связанные с ними, с их гомеостазом, определяли внутренние масштабы системы. Огромными были и ящеры, и деревья, и травы, и ареалы их обитания.

Сложная система не обладает свойством эргодичности и никогда не демонстрирует всех своих свойств на наблюдаемой траектории. Отсюда следует слабая предсказуемость поведения в будущем сложной системы. Из-за сложной иерархической функциональной и топологической организации, из-за вложенности сложных систем друг в друга, из-за непрерывного изменения системы под воздействием взаимодействий с внешней средой в принципе невозможно определить всех функций сложной системы и предсказать поведение системы в будущем. Будущее сложной системы не совсем открыто, существуют лишь некоторые горизонты видения будущего.

На определенных этапах эволюции сложная система может демонстрировать «эффект бабочки» – сильную чувствительность к малым незначительным возмущениям, последствия которых сказываются на траектории развития системы в будущем. Сложная система балансирует «на краю хаоса». Обычно такое поведение наблюдается вблизи точек бифуркаций или в области турбулентности, в области странного аттрактора. Здесь горизонт видения будущего системы чрезвычайно мал, поведение сложной системы практически не непредсказуемо.

ОБЩИЕ ЗАКОНЫ РАЗВИТИЯ И ЭВОЛЮЦИИ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

Наиболее ранними оказались законы эволюции сложных систем, которые провозгласила диалектика (рис.3). Однако в 19 веке началось развитие нелинейной динамики, и итогом стало наполнение этого понятия с новых позиций. Было установлено, что большинство систем открыты и совершают нелинейную эволюцию, причем нелинейность привносит необратимость эволюции, а также усложнение и ускорение этого процесса.



Рис.3. Схема законов диалектической эволюции [17].

Это в свою очередь отменило цикличность эволюции, но усилило иерархичность структурно-фазовых переходов, переводя их в зоны бифуркаций и даже полифуркаций.

В таких зонах формируются тенденции, как принципы, которые достаточно часто и с большой вероятностью при оговоренных условиях наблюдаются, но не являются строго обязательными. Они помогают разобраться в сложных явлениях

или процессах, и дать им глубокое научное объяснение. Они помогают делать прогнозы и выявлять векторы дальнейшего развития системы. Законы эволюции сложных систем не позволяют делать точные прогнозы, это в принципе невозможно, но они дают возможность делать некоторые общие заключения, например, об усилении неустойчивости развития и увеличения вероятности распада, об усилении процессов концентрации ресурсов, об усилении расслоения общества и т.д., и помогают разрабатывать правильные управленческие решения. Управление будущим – одна из насущных научных проблем человечества. Фактически на первое место выдвинулись экологические факторы, более полно учитывающие роль внешней среды (рис.4).

ОСНОВНОЙ ЗАКОН ЭКОЛОГИИ

Одним из главных достижений экологии является открытие того факта, что развиваются не только организмы и виды, но и экосистемы.

Последовательная смена сообществ, сменяющая друг друга на одном и том же биотопе называется СУКЦЕССИЕЙ.

СУКЦЕССИЯ – направленное, предсказуемое и обратимое развитие экосистемы, стремящееся к установлению максимально эффективному взаимодействию «равновесию» между биотическими компонентами и абиотической средой.

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ СУКЦЕССИЯ – закономерная, последовательная смена биоценозов, преемственно возникающих на одном и том же биотопе под воздействием внутренних или внешних воздействий.

АУТОГЕННАЯ СУКЦЕССИЯ - возникает в результате изменения физической среды БИОТОПА под действием БИОЦЕНОЗА и контролируется им (внутренние воздействия).

АЛЛОГЕННАЯ СУКЦЕССИЯ – возникает под влиянием физико-химических, геохимических, геологических, антропогенных и других внешних сил – пожаров, цунами, селевых лавин, извержений вулканов, техногенных аварий и пр. (внешних воздействий) .

Законы развития экосистем

1. Законы экологии. Правило оптимума. Закон минимума Либиха. Закон толерантности Шелфорда.
2. Лимитирующие факторы.
3. Абиотические факторы.
4. Биотические факторы.
5. Виды биотических связей.
6. Основной закон экологии.
7. Экологическая сукцессия. Виды сукцессий. Функциональные показатели зрелости сукцессии.

Рис.4. Основы Сукцессии и законы развития экосистем [18,19].

Многолетний опыт математического моделирования показывает, что динамика сложных систем поддается математическому моделированию и даже слабую предсказуемость описывает режим детерминированного хаоса и метастабильная устойчивость структур, развивающихся в режиме с обострением. Однако никакое сколь угодно подробное и точное знание поведения сложной системы на реальном интервале (пространства или времени) не позволяет точно предсказать её поведение в будущем.

Время жизни сложной системы конечно. С одной стороны, чем сложнее система, тем она менее чувствительна к вариабельности внешних условий, лучше адаптируется к их изменению, и в этом смысле более устойчива. Именно поэтому эволюция шла по возрастанию сложности. С другой стороны, чем сложнее структура системы, тем труднее поддерживать внутренний баланс или гармонию между всеми ее элементами, тем она менее устойчива по отношению к внутренним флуктуациям. Это говорит о хрупкости сложной системы. Сложные системы, как правило, разваливаются изнутри. В последние десятилетия мы наблюдаем, как разваливаются государства (СССР, Югославия, Чехословакия, Грузия и др.) и революционным путем меняются режимы (Киргизия, Египет, Тунис, Ливия и т.д.). Внешние воздействия и угрозы наоборот, как правило, объединяют нацию. Однако в социуме многое стимулируется извне. И сейчас в период большой нестабильности нашего мира ничего так не спланирует народы, как общие угрозы эпидемий, терроризма, глобального потепления

или нового ледникового периода, падения большого космического тела и т.д. Законы, как правило, детализируются в виде принципов, тенденций и свойств. Законы эволюции можно детализировать принципами и свойствами.

СВОЙСТВА СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

Сложные системы обладают свойствами целостности, открытости, адаптивности (активной адаптации и создания под себя свои среды), экономичности (всегда реализуется наиболее выгодный тип системы и/или процесса).

Нелинейность – главная черта сложной системы. Именно с нее начинается сложность. Все описанные выше свойства сложных систем вытекают из нелинейности взаимодействий, процессов или состояний. Для возникновения целостной сложной системы необходимы нелинейные внутренние связи между ее элементами. Эти связи обеспечиваются на этапе становления сложной системы путем кумулятивных эффектов сильных, электромагнитных, гравитационных, биологических полей, полей социальной напряженности или топологии пространства-времени. Эволюция сложной системы – нелинейна. К эволюции приводят нелинейные взаимодействия с внешней средой. Согласно модели С.П.Курдюмова, который развивал синергетику как теорию режимов с обострением в открытых и нелинейных средах, в возникновении сложной, упорядоченной структуры в диссипативной среде ключевую роль играет нелинейность.

Нелинейности позволяют во взаимодействии с внешней средой кумулировать внешнюю энергию и перестраивать ее во внутреннюю. Нелинейности присуща пороговость во взаимодействиях и избирательность чувствительности сложных систем к внешним воздействиям. Именно нелинейностью определяется дискретный спектр структур-аттрактор (форм), которые могут существовать на данном этапе эволюции.

Нелинейность ответственна за появление новых качеств, новых более сложных структур, форм, процессов и в целом – за усложнение системы.

Роль нелинейности в возникновении структур показал также А.П.Руденко, который разработал теорию эволюционного катализа, называемую им также теорией прогрессивной химической эволюции. Он противопоставлял свою теорию теории диссипативных структур И. Пригожина, иначе понимая главный фактор самоорганизации. «Конструктивную роль в возникновении самоорганизации, согласно Пригожину, играет условие необратимости, а, согласно концепции эволюционного катализа, – условие неравновесности; причиной самоорганизации в первом случае является диссипация, а во втором случае – внутренняя полезная работа против равновесия; движущей силой самоорганизации в первом случае является отрицательная энтропия, поступающая в открытую систему из внешней среды, а во втором случае – часть потока свободной энергии обменного процесса в открытой системе».

Для рождения новых качеств и развития сложных структур необходимы неустойчивость и флуктуации. Сложные структуры, как правило, лишь метастабильно устойчивы, т.е. в них поддерживается тонкий баланс между диссипацией и нелинейными взаимодействиями, рассеивающими процессами и кумуляцией энергии. В процессе эволюции сложной системы из-за неоднородности развития ее разных фрагментов (подсистем или элементов) этот тонкий баланс утрачивается, накапливаются ошибки, и при сверхкритических флуктуациях система разрушается. Усложнение структур происходит потому, что система по-разному реагирует на разные возмущения. Она может и не справиться с новым возмущениями, тогда возникают сильные нестабильности. В качестве одного из возможных выходов из состояний с сильными

нестабильностями, состояний кризиса формируются структуры с новым качеством, которые успешно справляются с новыми возмущениями.

В итоге нелинейными становятся либо взаимодействие между системами (пограничная временная подсистема), либо поле внутренних связей внутри системы-мишени, либо поведение системы, вошедшей в неравновесное состояние.

Нелинейность объединяет все описанные облики сложности. Например, можно утверждать, чем больше элементов содержит система, тем больше вероятность возникновения нелинейных особенностей внутри системы и тем более вероятно ее нелинейное поведение в целом при взаимодействии со средой.

Это очень хорошо подтверждается на примере кучи с песком. При последовательном пополнении ее песчинками, несмотря на кажущуюся статичность, склоны кучи становятся критическими, поле напряжений на ее поверхности не только растет, но и дифференцируется. Когда в отдельных «локусах» напряжения достигают критических значений, то возникают локальные лавины, призванные выровнять общую ситуацию. Продолжая эксперимент, мы увидим целый спектр разномасштабной активизации поверхности кучи песка за счет лавин. Фактически – это пример нелинейного поведения всей системы, которое достигается не просто большим количеством элементов, а крайне нелинейной связью, возникшей между ними. Т.е. функция, описывающая поле напряжений на поверхности кучи или функция топологической связности системы, достигает состояния флуктуаций. И каждая сильная флуктуация – это сход лавины. Сложность становится следствием коллективного нелинейного поведения множества взаимодействующих агентов. Можно назвать иначе - поле напряжений от этих элементов вибрирует, и локальные экстремумы становятся лавиногенными.

Другой аспект системного подхода. Видимый мир состоит из систем. Все системы открыты или квазиоткрыты. Даже спора и мумия слабо излучают определенный спектр электромагнитных колебаний. Любая, даже простейшая открытая система, обладает хотя бы одной объемной резонансной частотой и потому способна аккумулировать внешнюю энергию и превращать часть ее во внутреннюю энергию. По мере роста внутренней энергии система приближается к неравновесному состоянию, и поведение ее становится нелинейным. Аккумулятивные способности системы зависят от ее структурированности (сложности). Иными словами, система с большим числом функциональных элементов (а не просто элементов) и структур имеет больший спектр резонансных частот («антенн для приема») для общения с внешним миром и может входить в неравновесные состояния не только по общему состоянию, но и по конкретным параметрам. Подчеркнем – она способна искать новые условия адаптации, и это с точки зрения эволюции резко усиливает важность параметра сложность системы во всем эволюционном процессе. Неиспользованная или отработанная часть энергии диссипируется во внешнюю среду. Такая цикличность обратной связи – явление не линейное, но это единственный путь адаптации любой системы к вариабельности внешних условий. Нечто подобное мы имеем в зонах тектонических напряжений в земной коре (реализация в виде землетрясений), на рынках фондовых бумаг, на транспортных артериях крупных городов и т.д.

Единство аккумуляции и диссипации – не только движущая сила эволюции, но и подтверждение закона диалектики о единстве противоположностей.

ОСОБЫЕ СВОЙСТВА СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

Все изложенное выше позволяет выделить особые свойства сложных систем.

Целостность – новое дополнительное системное свойство, возникающее при объединении элементов в систему и характеризующееся не сводимостью к сумме

свойств элементов. Системные свойства формируются путем накопления, усиления и проявления одних свойств подсистем одновременно с нивелированием, ослаблением и сокрытием других при взаимодействии подсистем. Происходит скачок – переход количества в качество. Поэтому не всякое расчленение системы позволяет получить части (подсистемы), более простые и доступные для исследования.

Открытость. Это свойство впервые было провозглашено Людвигом фон Берталанфи в середине 50-х годов на основе общей теории систем, когда он предложил теорию открытых систем, которая довольно быстро была распространена не только на биологию, но и на другие дисциплины. Данное свойство предполагает всеобщность взаимодействий во Вселенной и является жизненно необходимым для эволюции любой сложной системы.

Адаптивность. Данное свойство является системосберегающим, особенно в условиях быстрой изменчивости условий воздействий внешней среды. В основе его лежит «правило избыточного разнообразия сложной системы», вытекающее из «закона необходимого разнообразия», сформулированного У. Р. Эшби в 1950 –х гг. Вероятность сохранения сложной системы пропорциональна накопленному в ней разнообразию, которое фактически представляет собой потенциал запасных эволюционных выходов системы из кризисных состояний.

Экономичность – реализация принципа максимума извлечения энергии из окружающей среды (максимизация открытости на поглощение), максимума ее освоения за счет усложнения внутренней структуры (максимизация энергоемкости) и минимума диссипации энергии во вне (минимизация энтропии, в том числе и за счет усложнения).

Уникальность – система любого класса не имеет полных аналогов поведения или аналоги настолько редки, что с их наличием в исследованиях и практике можно не считаться. Свойство уникальности является внешним по отношению к системе и влияет на отношение к ней других систем. Достаточно отметить, что звезды различаются между собой цветом, блеском, а исследования с помощью телескопов показывают, что двух одинаковых звезд не бывает. Эффективные температуры их излучающих поверхностей находятся в пределах от 3 000 К до 80 000 К, массы различаются в сотни раз, а радиусы – в миллиарды [20].

Устойчивость – способность устранять последствия внешних и внутренних случайных воздействий и стабилизировать внутреннее динамическое состояние (мера вероятности пребывания в данном состоянии). Определяет «стремление» системы к основному процессу.

Антиэнтропийность – система в состоянии (в определенных пределах) управлять своей энтропией (уменьшать ее, сохранять, тормозить увеличение) при случайном и неблагоприятном воздействии среды или (и) способна осуществлять регулирование поведения, преследующее достижение определенной цели [20].

Целенаправленность – «стремление» к достижению цели – косвенно тоже выражает антиэнтропийную тенденцию: сохранения и усиления основного процесса, ведущего к цели. Здесь происходит минимизация затрат энергии и времени для достижения цели. Свойство целенаправленности является внутренним, трудно распознаваемым и не всегда доступным пониманию исследователя, особенно на относительно коротком (по сравнению со временем существования системы) интервале времени. Целенаправленность можно понимать как функциональную тенденцию, направленную на достижение системой некоторого состояния, либо на усиления (сохранение) некоторого процесса. При этом система оказывается способной противостоять внешнему воздействию, а также использовать среду и случайные события. Следствием принципа целенаправленности является постулат

выбора. Сложные системы обладают способностью к выбору поведения, и, следовательно, однозначно предсказать способ действия и экстраполировать их состояние невозможно ни при каком априорном знании свойств системы и ситуации. Сложная система строит свое поведение в существенной (хотя и неоднозначной) связи с ситуацией. Часто приходится в основном иметь дело с системами, для которых постулат выбора выдвигается на передний план. Познание и практическое использование этого постулата имеет два аспекта [20].

Первый касается стимулирования или подавления «свободы» выбора. В исследовательских, поисковых, творческих системах возможность выбора должна быть максимальной с целью расширения диапазона деятельности. Исполнительные системы должны иметь возможность выбора в пределах поставленной задачи либо не иметь ее вовсе. Следовательно, должны создаваться системы с большой или малой свободой выбора или с управляемой свободой выбора.

Второй аспект связан с количественным описанием выбора, его формальным представлением, качественной или количественной оценкой и использованием этой оценки при решении задач общего характера. Одна из задач математики состоит в разработке аппарата количественного описания не детерминированных, но и неслучайных (не стохастических) свойств.

Слабая предсказуемость – никакое, сколь угодно подробное знание морфологии и функций элементов (подсистем) не позволяет определить всех функций сложной системы; поэтому никакое, сколь угодно подробное и точное знание поведения сложной системы на реальном интервале (пространства или времени) не позволяет точно предсказать её поведение в будущем.

И, наконец, о возможности математического моделирования сложных систем. В соответствии с Эрлангенской программой различные классы физических явлений могут быть поставлены в соответствие различным группам преобразований, каждая группа порождает свою геометрию. Таким образом, реализация этой программы основана на применении теоретико-групповых методов к созданию фундаментальных и прикладных теорий. И хотя «геометризация» физики не завершена, можно утверждать, что геометрическому представлению сложных систем свойственна всеобщность [20].

Различие геометрий становится различием классов систем, и это различие имеет четкий формальный признак – другую группу преобразований. Предполагая, что интересующая нас система расположена в адекватном ей геометрическом пространстве (реальном, функциональном, мыслимом) и ограничиваясь метрическими пространствами, мы должны каждому классу систем (конкретной системе) приписать метрику, определяемую соответствующей группой преобразований. Это – автономная метрика системы, либо автономная группа преобразований.

Сложная система находится в реальном геометрическом мире и взаимодействует с ним, но основное значение для ее свойств имеют процессы, которые протекают внутри системы. Познание системы требует, прежде всего, ее обозримого описания, и здесь выбор метрики может играть определяющую роль. Расстояние в евклидовом пространстве между клетками живого организма очень мало, связано с такими функциональными свойствами, как время передачи возбуждения, время реакции и т.д. Это же расстояние между агрегатами производственного комплекса сравнительно слабо влияет на технологические характеристики производственного процесса. В сложных системах евклидово расстояние, как средство описания, отступает на задний план, так как решающее значение приобретает путь и время распространения процесса. Например, рефрагированные волны быстрее просто продольных волн в соответствии с законом Ферма. Значительно эффективнее использовать функциональное пространство с соответствующим числом измерений и автономной метрикой. В сущности, сложная

система и «живет» в автономном функциональном пространстве. Все, что происходит в системе, описывается в этом пространстве более просто. Введение метрики означает создание модели геометрии системы, чем ближе эта модель к истинной геометрии системы, тем проще представление системы. В этом плане, по-видимому, привлекательную перспективу представляет класс дифференциальных уравнений с дробными степенями, порожденный развитием теории фракталов.

Одни и те же физико-химические процессы протекают в различных системах с различной скоростью. Поэтому их естественной мерой времени должно стать течение некоторого определяющего внутреннего процесса, зачастую квантованное по ритмам надсистем, например, обращения Земли вокруг Солнца. Сложные системы могут иметь локальный масштаб времени, отличный от астрономического масштаба. Для развивающихся систем он может быть разным на различных стадиях эволюционного развития [20].

ПАРАДОКСАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА ЭВОЛЮЦИИ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

В основе парадигмы универсального эволюционизма заложен постулат о том, что окружающий нас мир – это самоорганизующаяся и саморазвивающаяся сложная суперсистема, состоящая из не менее сложных самоорганизующихся и саморазвивающихся и взаимосвязанных подсистем, имеющая сложное топологическое и функциональное иерархическое фрактальное строение. Наблюдаемый сегодня сложный мир сформировался в результате эволюции и продолжает развиваться по пути усложнения, создавая эффект вложенности эволюций. Вектор развития направлен в сторону усложнения. Парадигма глобального эволюционизма включает представление о познаваемости нашего мира, который существует независимо от человека с одной стороны, с другой – она вся пронизана его присутствием и креативными возможностями.

Но почему наш мир такой сложный и почему он продолжает усложняться? Какие механизмы ведут к увеличению сложности? В какую сторону движет нас эволюция? Начнем со слова «эволюция».

Слово эволюция имеет много значений, обычно под ним понимают плавное развитие без кризисов и революций. В теории сложных систем термин «эволюция» приобретает новые глубокие смыслы, здесь он означает развернутую в пространстве и времени, последовательность усложнения топологической и функциональной организации системы и улучшения качеств ее внутренних и внешних связей. То есть эволюция нелинейна по определению. Она допускает этапы как плавного, так и революционного развития, кризисов, бифуркаций и даже конволюцию.

Такое возможно только при условии реализации понятия вложенности структур и их эволюций поструктурно (рис.2).

Анализ этой схемы позволяет увидеть последовательность эволюций и становления структур Вселенной, что одновременно отображает стрелу времени, сопутствующую эволюции или заданную эволюцией. Здесь впервые авторами выделена планетарная эволюция как самостоятельная. Подробности о ней далее по тексту.

РЕТРОСПЕКТИВА ВЗГЛЯДОВ НА УЧЕНИЕ ОБ ЭВОЛЮЦИИ

История эволюционного учения берёт начало в античных философских системах, в свою очередь, коренились в космогонических мифах. Толчком к признанию эволюции научным сообществом стала публикация в 1859 году книги Чарльза Дарвина «Происхождение видов путём естественного отбора, или Сохранение благоприятствуемых пород в борьбе за жизнь», позволившей полностью переосмыслить идею эволюции, подкрепив её опытными данными многочисленных наблюдений. Позже синтез классического дарвинизма с достижениями генетики привёл к созданию

Введение в системное мировоззрение

синтетической теории эволюции. Однако всегда на первом месте шло стремление понять, как возникла жизнь и только потом возникло стремление осознать законы её развития. Ниже на рис.5 представлены обобщенные принципы возникновения жизни и перехода к её эволюции.

Эволюционная теория - учение об общих закономерностях и движущих силах исторического развития живой природы (рис.5).

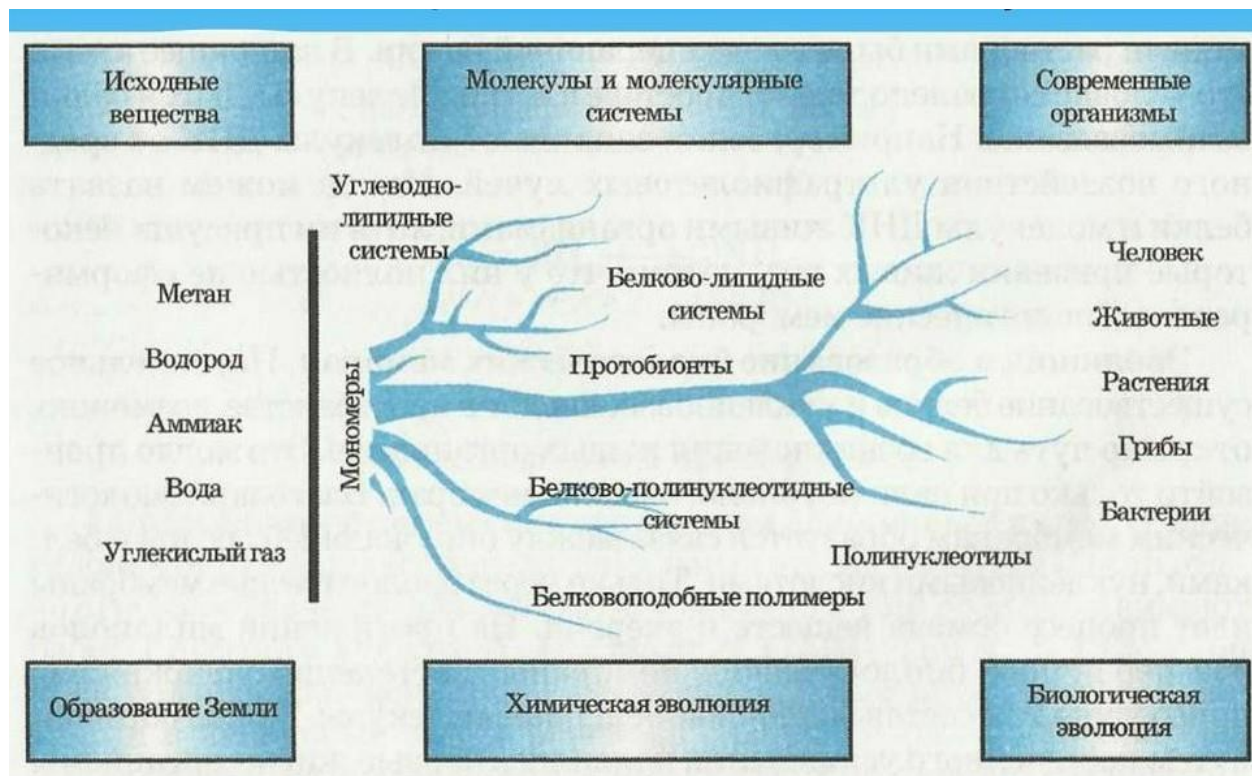


Рис.5 Схема перехода химической эволюции к биологической [29].

Цель эволюционного учения – выявление закономерностей развития органического мира для последующего управления этим процессом. Эволюционное учение решает задачи познания общих закономерностей эволюции, причин и механизмов преобразования живого на всех уровнях его организации: молекулярном, субклеточном, клеточном, органном, организменном, популяционном, биогеоценоотическом, биосферном. В истории развития теории эволюции можно выделить несколько этапов (рис.6.):

1. додарвиновский период (до середины XIX в.): К. Линней, Ламарк, Рулье и др.;
2. дарвиновский период (2-я половина XIX в. - 20-е годы XX в.): формирование дарвинизма и основных антидарвиновских направлений эволюционной мысли;
3. кризис классического дарвинизма (20-е - 30-е годы XX в.), связанный с возникновением генетики и переходом к популяционному мышлению;
4. формирование и развитие синтетической теории эволюции (30 - 50 годы XX в.);
5. попытки создания современной теории эволюции (60-е - 90-е годы XX в.).

Схема эволюции по Ламарку



Jeanne-Baptiste de Lamarck
(1744-1829)



признаки	эволюционная теория Ч. Дарвина	Синтетическая теория эволюции
Движущие факторы	Естественный отбор - следствие борьбы за существование	Естественный отбор - следствие борьбы за существование и основан на накоплении мелких случайных мутаций, в отдельных случаях - дрейфе генов, существенных хромосомных мутациях или полиплоидии
Смысл термина "естественный отбор"	Выживание наиболее приспособленных и гибель менее приспособленных особей	Избирательное воспроизводство различных генотипов (отбор сводится к отбору генотипов с нормой реакции, соответствующей условиям среды обитания).
Формы естественного отбора	Движущий (половой как его разновидность)	Движущий, стабилизирующий, дизруптивный.
Единица эволюции	Вид	Популяция
Факторы эволюции	Наследственность, изменчивость, борьба за существование	Мутационная и комбинативная изменчивость, популяционные волны, дрейф генов. Изоляция усиливает действие этих факторов
Результат эволюции	Повышение приспособляемости к условиям среды, повышение уровня организации и увеличение многообразия организмов.	

Рис. 6. Схемы эволюции по Ж.Б.Ламарку(сверху), по Ч.Дарвину (центр) и по синтетической теории (справа) снизу [21,22].

Зарождение идеи развития живого относится к периоду расцвета философской мысли Древнего Востока и Древней Греции.

Ко второй половине XIX века был накоплен огромный фактический материал по ботанике, зоологии, анатомии. Появляются идеи об изменяемости видов, которые подкреплялись бурным развитием сельского хозяйства, выведением новых пород и сортов. Большой вклад в развитие биологии внёс К. Линней, предложивший систему классификации животных и растений при помощи соподчиненных таксономических групп. Он ввёл бинарную номенклатуру (двойное название вида). В 1808 году в работе “Философия зоологии” Ж.Б. Ламарк ставит вопрос о причинах и механизмах эволюционных преобразований, излагает первую по времени теорию эволюции. Эволюционная теория Ламарка, создание клеточной теории, данные сравнительной анатомии, систематики, палеонтологии и эмбриологии подготовили базу для создания учения об эволюции органического мира. Такое учение, являющееся крупнейшим обобщением естествознания XIX века, было создано Ч. Дарвином (1809-1882г.). Ч. Дарвин в 1859 году опубликовал свой основной труд “Происхождение видов путём естественного отбора”, в котором на огромном фактическом материале показал закономерности эволюции организмов, животного происхождения человека. Первым познакомил студентов с содержанием учения Дарвина профессор Петербургского университета С.С.Куторга (лекция в 1860 году).

Химическую, биологическую, социальную и экономическую эволюцию исследовали многие ученые с разных сторон. К первым эволюционистам можно отнести А. Смита, который четко сформулировал законы рыночной капиталистической эволюции и ответил на вопрос, куда она ведет – к общественному прогрессу; Ч. Дарвина, который открыл механизмы биологической эволюции и также показал, что естественный отбор ведет к более высокой организации; К. Маркса, разработавшего теорию смены социально-экономических формаций и писавшего о развитии производительных сил и производственных отношений; А.П. Руденко, разработал теорию эволюционного катализа, называемую им также теорией прогрессивной химической эволюции. Многие отмечали неравномерность процесса эволюции, циклический характер, случайность и непредсказуемость и в то же время отмечали общие закономерности. Во многих работах проводилось сравнение механизмов и черт биологической и социально-экономической эволюции, отмечались глубинные сходства и различия. Так в работах Коротаева, Маркого, Гринина сравниваются биологическая и социальная макроэволюции и по аналогии с биологическим термином вводится понятие *ароморфоза* по отношению к важным социальным изменениям, ведущим к эволюционному прогрессу общества. Некоторыми учеными проводилось сравнение рыночной капиталистической экономики и естественного отбора в природе. Отмечалось, что Дарвин заимствовал идеи у экономистов Т. Мальтуса и А. Смита и вывел теорию происхождения видов из конкуренции и борьбы за существование.

Другие исследовали циклы развития разных систем, их природу, механизмы, этапы, закономерности. В школе Курдюмова идея Гегеля о неравнозначности циклов и развития по спирали, легла на прочную основу – математическую модель эволюции, описывающую сокращающуюся последовательность циклов вокруг растущего во взрывном режиме основного тренда.

К настоящему времени накоплен огромный материал по исследованию динамики сложных систем, изучению общих закономерностей и отдельных характеристик, выявлению сходств и различий. Обобщая его, отбирая самые важные факты, опираясь на свой опыт исследования сложных систем, мы выделили следующие основные законы эволюции, которые, как отмечалось выше, в отличие от законов физики, надо понимать как принципы или наиболее характерные тенденции.

Когерентность или согласованность. Это свойство наглядно демонстрируется на примере с цыплятами. Высиженные курицей живуче инкубаторских, ибо первым была передана ритмика курицы, связующая и гармонизирующая деятельность всех органов цыпленка.

Основные принципы эволюции:

1) вся структурная и функциональная сложность возникает в процессе эволюции в результате процессов конкуренции и адаптации к изменившимся внешним условиям;

2) эволюция идет на границе порядка и хаоса, преемственности и изменчивости, закономерности и случайности;

3) макроэволюция идет в самоускоряющемся режиме, режиме с обострением. Режим с обострением описывает основной тренд. Ниже, на рисунке эволюции Биосферы – это степенная зависимость, полученная методом наименьших среднеквадратичных отклонений.

4) процесс эволюции идет дискретно, скачками, циклами и включает в себя периоды бурного развития и периоды спада, кризиса;

5) глобальные циклы имеют инновационную природу, запускаются инновациями. На очередном витке эволюции появляются новые лидеры эволюции, новые более сложные организационные и функциональные структуры;

6) эволюция видов, популяций происходит по восходящей спирали, циклы – это витки спирали;

7) последовательность циклов сокращается по закону геометрической прогрессии и имеет точку сгущения;

8) в процессе эволюции возрастает пространственная неоднородность, усиливаются процессы концентрации;

9) в ходе глобальной эволюции наблюдаются процессы расщепления, отставания и постепенного выпадения из развития наиболее отсталых структур;

10) глобальные этапы эволюции Вселенной представлены этапами;

11) большие этапы эволюции заканчиваются критическими точками – точками сингулярности, пройдя через которые система вступает в качественно новую фазу;

12) вся структурная и функциональная сложность возникают в процессе эволюции в результате процессов конкуренции и адаптации к изменившимся внешним условиям, т.е. здесь уже можно говорить о сукцессии (рис.7);

Общие закономерности развития сукцессии

1. Изменение состава животных и растений;
2. Повышение видового разнообразия организмов;
3. Уменьшается количество свободных экологических ниш;
4. Увеличение размеров организмов по ходу сукцессии;
5. Переход от линейных пищевых цепей в сложные пищевые сети;
6. Биологические круговороты удлиняются и усложняются, организмы становятся всё более экологически специализированными;
7. Повышается биологическая продуктивность биоценоза.



Рис.7. Схема развития сукцессии [23].

13) эволюция идет на границе порядка и хаоса, преемственности и изменчивости, закономерности и случайности;

14) макроэволюция идет в самоускоряющемся режиме – режиме с обострением, режим с обострением описывает основной тренд;

15) процесс эволюции идет дискретно, скачками, циклами и включает в себя периоды бурного развития и периоды спада, кризиса;

16) последовательность циклов сокращается по закону геометрической прогрессии и имеет точку сгущения;

17) в процессе эволюции возрастает пространственная неоднородность, усиливаются процессы концентрации;

18) в ходе глобальной эволюции наблюдаются процессы расслоения, отставания и постепенного выпадения из развития наиболее отсталых структур.

РЕТРОСПЕКТИВА СТАНОВЛЕНИЯ ПОНИМАНИЯ СИСТЕМНОСТИ МИРА ВО ВСЕЛЕННОЙ

В 1980 г. Алан Гут, профессор Массачусетского университета, предложил модель раздувающейся (инфляционной) Вселенной. На раннем этапе эволюции Вселенной гравитационное сильное, слабое и электромагнитное взаимодействия при чрезвычайно высоких энергиях и температурах можно рассматривать как единую силу. Само начало называют эпохой Всего Сущего, а состояние - сингулярностью. Радиус сингулярного образования достигал 10^{-50} см., $E \approx 10^{28}$ эв., $T \approx 10^{32}$, $\rho \approx 10^{90}$ г/см³, а само образование обладало высочайшей степенью симметрии и множеством свобод.

Все вышеперечисленные виды эволюции "являются результатом процесса самоорганизации материи, имеют генетическую и структурную преемственность и подчиняются единым законам развития" [12,13]. "Вектор развития направлен в сторону усложнения, но начинаться они могут с образования простейших, но многокомпонентных систем" (рис. 2). Так, например, косная материя стала формировать гигантские молекулярные облака, способные квантоваться на более мелкие комплексы. Биосфера начала развиваться по принципу усложнения только после прохождения двух многоэлементных путей развития, когда росло количество элементов, но не менялось их качество. Это, согласно академику Г.А.Заварзину, прокариотий (господство на Земле простейших безъядерных организмов — 3,8 млрд. лет назад) и протистий (простейшие одноклеточные организмы — 1-1,5 млрд. лет назад). Множественность одинаковых элементов способствует возникновению в системе непрерывных колебаний и создает, согласно исследованиям А.Полковникова, постоянную неравновесность [15]. При определенном накоплении возникает неравновесность и ищется более эффективный путь через переход к нелинейной (чаще к степенной) самоорганизации. В Биосфере - это переход к эукариотной эволюции. В космосе – это квантование гигантских молекулярных облаков на части с последующей самоорганизацией по сложности, например, планетарные системы, двойные звезды, скопления звезд, галактики и т.д.

Ядерная эволюция привела к образованию всех элементов таблицы Менделеева, в результате химической эволюции были синтезированы простые и сложные молекулы. Химическая эволюция завершилась образованием сложных органических веществ типа глицина и далее аминокислот, которые дали старт биологической эволюции на Земле.

Биологическая эволюция началась с простейших живых безъядерных клеток – прокариот, а закончилась появлением Человека Разумного – сложнейшего биологического вида с развитым интеллектом, способным к познанию Вселенной. Эхо таких ситуаций до сих пор возникают в виде вирусных пандемий, как попытка к возврату господства простейших, но многочисленных в Биосфере видов. Человечество стало

создавать свою собственную антропогенную среду независимую от природы, началась социально-экономическая эволюция общества, которая продолжается и сейчас". Сегодня мы стоим на пороге нового витка эволюции, который определяет облик нашего общества, в котором научно-технический прогресс привел к мощному развитию нано, био, инфо и когнитивных технологий, к достижениям геномной инженерии.

"Парадигма универсального эволюционизма включает представление о познаваемости нашего мира, который существует независимо от человека, но отражает его присутствие в мире и креативные возможности его сознания. Мир познаваем, поскольку человек сам является эволюционным продуктом этого мира. Существует фундаментальное сродство человека и мира, что было подмечено еще И.В.Гёте: «Природа принадлежит сама себе, существо – существу. Человек принадлежит природе, а она – человеку» [12]. Но если согласиться с Гёте, то мы окажемся далеки от понимания причин ряда явлений, таких как квантования гигантских молекулярных облаков на компактные части, кумуляции вирусов для пандемий, т.е. от понимания необходимости кумуляции простейших систем для последующего формирования сложного, ибо можно предположить, что природа опасается сложного как могильщика всего остального.

Сценарий самоорганизации Вселенной. Физика элементарных частиц в качестве простейших систем – частиц рассматривает кварки и лептоны. В природе существует 12 элементарных фермионов. Это шесть кварков, которые, объединяясь в пары (мезоны) и тройки (барионы), образуют все частицы, участвующие в сильных (ядерных) взаимодействиях; и 6 лептонов (электрон, электронное нейтрино, мюон, мюонное нейтрино, тау-нейтрино и тау-лептон), которые участвуют в слабых ядерных взаимодействиях (распадах) и обладают лептонным зарядом. Сумма лептонных зарядов при всех превращениях остается неизменной, потому что на неё распространяется закон сохранения лептонного заряда. Элементарные фермионы связаны друг с другом элементарными бозонами: кварки – глюонами, лептоны – W- бозонами. Все элементарные частицы связаны фотонами для участия в электромагнитном взаимодействии. Глюоны удерживают кварки вместе, образуя струны. При разрыве струны рождается пара кварк – антикварк, которая порождает новую струну. Поэтому свойством квантовых полей является наличие не только частиц, но и античастиц.

Следует подчеркнуть, что кварки могут существовать самостоятельно лишь в экстремальных условиях (кварк-глюонный хаос ранней Вселенной), а в менее жестких условиях они стремятся к различным объединениям, поэтому не только протоны и нейтроны, но и все адроны состоят из кварков. Создается впечатление, что для простейших систем типа кварков самостоятельность не выгодна. Именно с этих частиц и начинается строительство более сложного мира. В то же время, лептоны, которые тоже можно считать простейшими системами, не требуют экстремальных условий и поэтому могут существовать самостоятельно [24].

Общепринятый сценарий рождения и развития Вселенной в первом приближении состоит в следующем. В самом начале рождения Вселенной (планковское состояние) из-за сверхвысоких температур и давлений существовала некая хаотическая и флуктуирующая от избытка энергии кварк - лептонная смесь. Грубо говоря, смесь из первичных простейших и не делимых элементов (систем), хотя сама Вселенная была в крайне возбужденном и, следовательно, неравновесном состоянии (рис.3). В этом состоянии Вселенная обладала максимумом числа симметрий. Одна из флуктуаций сверхэнергии перешла в состояние Большого Взрыва.

Последовало развертывание процесса расширения Вселенной, что привело к снижению температуры и давления, которое продолжается до сих пор и, соответственно, к возникновению различных фазовых переходов. В начальном

состоянии (сингулярном) Вселенная находилась в хаотическом состоянии и поэтому обладала максимумом свобод и симметрий (рис.8.).

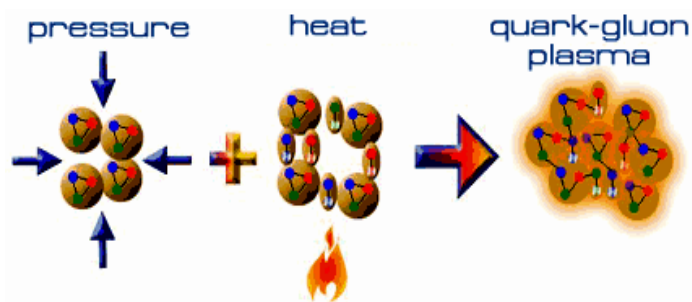


Рис. 8. Схема возникновения кварк-глюонной плазмы или исходное состояние Вселенной [25].

При достижении первого критического уровня в результате фазового перехода произошло отделение гравитации – первое нарушение симметрии. Гравитация превратилась в системообразующую силу.

При $t = 10^{-35}$ с, $E > 10^{24}$ эв и $T = 10^{28}$ К сразу после начала фазы инфляции возникло второе нарушение глобальной симметрии путем отделения сильного взаимодействия, обладающего своим спектром структурирования за счет глюонов - переносчиков сильного взаимодействия. Глюоны совместно с кварками начали образовывать кварк-глюонную плазму на смену кварк-лептонной фазы. В ЦЕРНе в 1999 году были проведены эксперименты с ионными пучками, энергия которых была наибольшей получаемой до сих пор в современных ускорителях. При столкновении частиц таких высоких энергий с неподвижной мишенью происходит сосредоточение огромного количества энергии в столь малом объеме вещества, что возникает кварк-глюонная плазма [26]. Согласно мнению большинства исследователей, такие энергии ($T = 10^{12} \div 10^{15}$ К) соответствуют периоду 10^{-6} с после Большого взрыва. Для получения кварк-глюонной плазмы были использованы тяжелые ионы свинца, ионы золота, т.к. они могут создать при высоких скоростях разгона поразительно высокую энергию в 35 Гэв. Кварки обычно входят в состав адронов, испытывающих сильное ядерное взаимодействие, но при столь высоких энергиях они начинают существовать сами по себе, не принадлежа конкретным адронам, а т.к. глюоны являются переносчиками сильного взаимодействия, образуется смесь частиц - кварк-глюонная плазма. Для образования плазмы тяжелые ядра Рb и Au должны сталкиваться при $E \gg 2$ Гэв ультра-релятивистские энергии, т.к. скорости ядер приближаются к скорости света.

При кинетических энергиях более 270 Мэв могут рождаться пары пионов π^+ и π^- . Для таких ультрарелятивистских соударений рассматривается столкновение адронов как возбуждение массивных «струн». Струна «рвется» и превращается в пару кварк-антикварк. Пары кварков объединяются в андроны (пионовые струны). При большом количестве струн система переходит в кварк-глюонную плазму, а из нее при охлаждении в процессе фазового перехода конденсируются адроны [24, 26].

Анализ уравнения состояния ядерной материи (Х. Гутборд, Х. Штокер) показывает, что одновременно, но при разных Р, Т условиях, существует несколько фаз: нормальная фаза, когда ядерная материя аналогична жидкости. При больших значениях Р или Т - ядра «вскипают» и образуют фазу адронного газа. При очень больших Р, но низких Т - ядра могут замерзнуть, образуя конденсаты. При очень больших Р или Т - образуется плазменная фаза, состоящая из свободных кварков и глюонов, или образуются «странные капли», состоящие из «странных» кварков и метастабильных объектов. Сильное взаимодействие существует только внутри ядер и связывает кварки в

адроны, протоны и нейтроны, а остаточное сильное взаимодействие объединяет протоны и нейтроны в ядра.

При $T = 10^{15}$ К и $E = 10^{11}$ эв (эксперименты в ЦЕРНе) зафиксировано появление бозонов - переносчиков слабых взаимодействий, однако при этих условиях процесс еще не носит массового характера. Начиная с $T = 10^{13} \div 10^{12}$ К и энергий $E = 10^{10}$ эв, происходит постепенное усиление процесса образования адронов (экспериментально доказано) и всех частиц, участвующих в сильных взаимодействиях. На этом уровне, начиная со времени $T = 10^{-4}$ с, возникают экзотические формы темной материи и активно образуются π - мезоны, относящиеся к классу бозонов и связывающих нуклоны в ядре, а также возникают сами нуклоны [24].

Фактически возникают первые системы из пионов, которые в силу высоких энергий пребывают в состоянии динамического хаоса.

Это первый самый горячий нуклонный хаос. Заметим, что $T = 10^{12}$ К является максимальной температурой нейтронных звезд. Действительно, как показывает эксперимент, с этого момента все активнее идет образование нуклонов – (протонов и нейтронов). Вначале процесса нуклеосинтеза отношение $n/p \approx 1$ (здесь n – нейтрон, p – протон), говорит о тепловом равновесии и хаосе, но к моменту $t = 1$ с и $T = 10^{10}$ К происходит нарушение равновесия нуклонного газа: сначала n/p достигает $1/3$, а затем становится менее $1/7$ в силу того, что нейтроны нестабильны и распадаются.

Только элементарные частицы не имеют внутренней структуры - Они делятся на 2 класса: фермионы (спин $1/2$) и бозоны (спин 1) (рис.9).

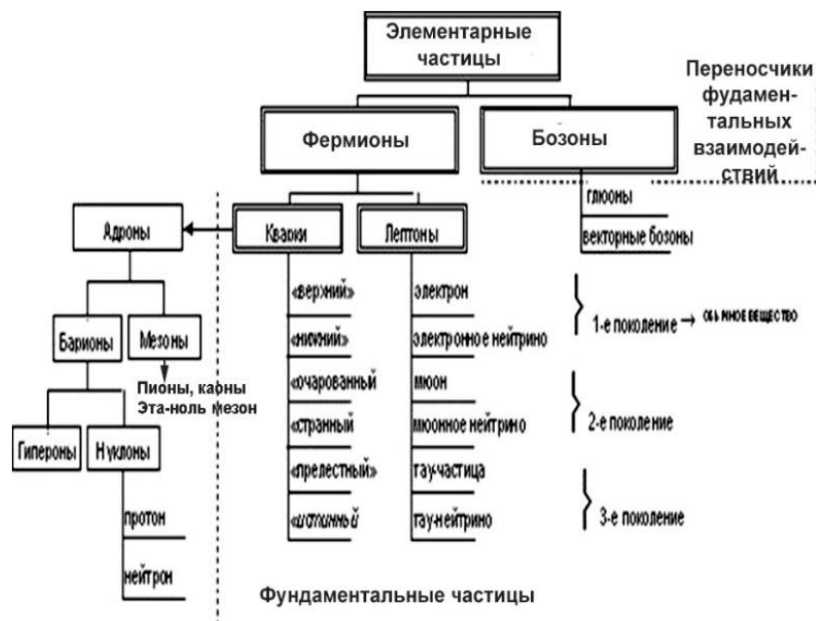


Рис.9. Первичная материя без структуры - фундаментальные частицы [21].

В природе существует 12 фундаментальных фермионов или ароматов (6 кварков и 6 лептонов). Им соответствуют 12 антифермионов.

Переносчики взаимодействия: глюоны, гамма-кванты, W и Z бозоны. Они являются фундаментальными бозонами. Спины фундаментальных бозонов равны 1.

Составные частицы. Это адроны – мезоны и барионы.

Мезоны (кварк и антикварк), к ним целое значение спина и барионный заряд $B = 0$ и Кварконии $\pi \cdot \rho \cdot \eta \cdot \eta' \cdot \phi \cdot \omega \cdot J/\psi \cdot \Upsilon \cdot \theta \cdot K \cdot B \cdot D \cdot T$

Барионы имеют полуцелый спин (т.е. являются фермионами и подчиняются принципу Паули).

К числу барионов относятся протон и нейтрон с кварковыми структурами $p = (uud)$, $n = (udd)$. и Гипероны $\Lambda \cdot \Lambda \cdot \Sigma \cdot \Xi \cdot \Omega$

К моменту, когда размер Вселенной достигает $R = 10^{41}$ см., происходит отделение электромагнитного взаимодействия от слабого, сопровождаемое третьим нарушением симметрии взаимодействий (третья бифуркация или фазовый переход), и начинается основной процесс нуклеосинтеза.

Ко времени $t \approx 10^2$ с при $T \approx 10^9$ К за счет ряда последовательных реакций: $p+p=D$; $D+p=T$; $T+T=He$ возникает первичное ионизированное вещество (D – дейтерий, T – тритий He – гелий). Его уже можно назвать сложным первичным веществом или сложными первичными системами.

Результаты астрофизического математического моделирования, согласующиеся с астрономическими данными, подтверждают это. Так, считается, что решетки «белых карликов» при $T = 10^9$ К состоят из ядер C , N , Mo и вплоть до He , а при $T = 10^8$ К - из ядер He . При $T = 10^7$ К внутри звезды начинается ядерное горение водорода и образуется гелий, что соответствует «кипению» нуклонов, а при $T = 10^6$ К идет реакция горения дейтерия и возникает конвективное состояние внутри звезды.

За период нуклеосинтеза и до настоящего времени образовалась большая часть ядер водорода -71 % и гелия -25 %, а также немного ядер $Be7$, $Li7$ и $He3$. Это мир простейших, но уже сложных систем. Сложность прежде всего за счет начала становления гигантских молекулярных облаков, способных воспринимать внешнюю гравитацию и квантоваться на компактные образования. Как показал Полковников, в больших системах возникает термодинамическая нестабильность, ведущая к самоорганизации. Квантование – это первый шаг к началу самой простой самоорганизации именно путем квантования. Это реальный выход формирования структур для будущей самоорганизации звезд и планет.

Все остальные более тяжелые элементы – результат звездной эволюции, включая взрывы новых и сверхновых звезд. Согласно модели Большого взрыва, при образовании ядер излучение отделяется от вещества, и Вселенная становится прозрачной.

По мере снижения температуры расширяющейся Вселенной до $T \sim 3 \cdot 10^3$ К, примерно в течение 100 000 лет, шло образование более сложных систем - нейтральных атомов. Лишь при температурах, меньших указанной температуры и при $E = 1$ эв., заканчивается эра рассеянного вещества.

Согласно современным представлениям примерно к 400 млн. лет от начала Вселенной начинается доминирование темной материи.

Казалось бы, разработка теории фундаментальных частиц дала возможность решить многие вопросы начал самоорганизации материи. Однако возник вопрос по поводу массы электрона, и он перешёл в категорию более крупных вопросов: почему у частиц, типа электронов, кварков и нейтрино, есть масса, а у фотонов – нет?

ПОЛЯ И ЧАСТИЦЫ ХИГГСА

Когда ученые углубились в изучение слабого ядерного взаимодействия, одного из четырёх известных в природе, у них появилась серьёзная проблема. Физики уже знали, что электрические силы связаны с фотонами, и затем поняли, что слабое взаимодействие связано с частицами, названными « W » и « Z ». Но при этом у частиц W и Z было отличие от фотона в виде массы – они сравнимы по массе с атомом олова, более чем в сотню тысяч раз тяжелее электрона. К сожалению, физики обнаружили, что не могут внедрить массы частиц W и Z в уравнения произвольно: получившиеся уравнения давали бессмысленные предсказания (рис.10).

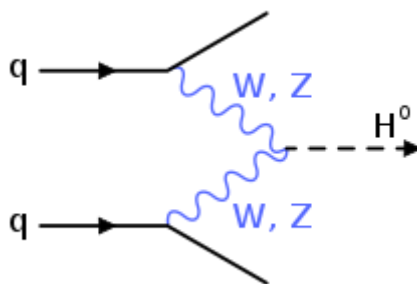


Рис. 10. Диаграмма Фейнмана, показывающая возможные варианты рождения W - или Z -бозонов, которые при взаимодействии образуют нейтральный бозон Хиггса [28].

На прошедшей в начале июля 2017 года конференции EPS HEP 2017 [ATLAS](#) и CMS сообщили, что они наконец-то начали видеть намёки на распад бозона Хиггса на b -кварк-антикварковую пару, что ранее невозможно было увидеть на практике (трудно отделить от фоновых процессов рождения тех же кварков другим образом); согласно Стандартной модели, этот распад самый частый: в 58% случаев^[22]. Как стало известно в начале октября 2017 года, ATLAS и CMS заявили в соответствующих статьях, что они наблюдают сигнал распада уверенно^[21].

А когда они изучили, как слабое взаимодействие влияет на электроны, кварки и нейтрино, они обнаружили, что старый способ внедрения массы в уравнения не работает – он тоже ломает всю систему.

Для объяснения того, как известные элементарные частицы могут обладать массой, требовались свежие идеи. Эта загадка постепенно проявлялась в 1950-е и 1960-е. И в начале 1960-х появилось возможное решение (Питер Хиггс и другие (Браут, Энглерт, Гуральник, Хаген и Киббл). Они предложили то, что сейчас мы называем «механизмом Хиггса». Допустим, говорили они, в природе есть ещё одно, неизвестное пока поле – как и все поля, это некая субстанция, существующая во всех областях пространства – ненулевое и однородное во всём пространстве и времени. Если это поле – которое теперь зовётся полем Хиггса – будет нужного типа, его присутствие заставит частицы W и Z проявить массу, а также позволит физикам вернуть в уравнения массу электрона. Это по-прежнему отложит вопрос о том, почему масса электрона именно такая, но, по крайней мере, тогда можно будет записать уравнения, в которых масса электрона не равна нулю! В последовавшие десятилетия идею механизма Хиггса проверяли разными способами. Сегодня из подробнейших исследований частиц W и Z известно, что решение загадки, появившейся благодаря слабому взаимодействию, лежит где-то именно в этой области. Но детали этой истории нам неизвестны.

Что такое поле Хиггса, как его понять? Оно невидимо для нас, и мы его не чувствуем, как ребёнок не чувствует воздух, или как рыба – воду. И даже больше – ибо, вырастая, мы начинаем осознавать течение воздуха вокруг наших тел и чувствовать его при помощи осязания, никакие наши чувства не дают нам доступа к полю Хиггса. Мы не только не можем обнаружить его при помощи чувств, мы не можем сделать этого напрямую и при помощи научных инструментов. Так как же можем быть уверены, что оно существует? И как мы можем надеяться узнать что-либо о нём?

Можно использовать аналогию между воздухом и полем Хиггса хорошо работает в следующем примере: если потревожить любую из этих двух сред, они завибрируют, и будут создавать волны. В воздухе такие волны создать легко – можно крикнуть или хлопнуть в ладоши – и тогда наши уши обнаружат эти волны в виде звука. В поле Хиггса волны создать сложнее и сложнее их наблюдать. Для этого понадобится гигантский ускоритель частиц, Большой адронный коллайдер. А для их обнаружения нужны научные инструменты размером с дом, например, ATLAS или CMS. Как это

работает? Хлопок в ладоши обязательно создаст громкие звуковые волны. Столкновение двух высокоэнергетических протонов на БАК создаст очень тихие волны Хиггса, притом необязательно – к этому приведёт лишь одно столкновение из десяти миллиардов. Получившаяся волна будет самой тихой из возможных волн в поле Хиггса (говоря техническим языком, одним квантом этого типа волн). Мы называем эту волну «частицей Хиггса» или «бозоном Хиггса».

Иногда СМИ называют её «частицей бога». Этот термин придумал один издатель, чтобы его книга лучше продавалась, поэтому он происходит из рекламы, а не науки или религии. Учёные этим термином не пользуются. Создать частицу Хиггса – это только часть процесса, и относительно лёгкая. Гораздо тяжелее обнаружить её. Звуковые волны свободно перемещаются от ваших ладоней через всю комнату до уха другого человека. А частица Хиггса дезинтегрируется на другие быстрее, чем вы сможете сказать «бозон Хиггса». На самом деле, быстрее, чем требуется свету, чтобы пройти диаметр атома. ATLAS и CMS лишь максимально осторожно измеряют остатки взорвавшейся частицы Хиггса и пытаются отмотать произошедшее назад, словно детективы, распутывающие дело по уликам, чтобы определить, могла ли частица Хиггса стать источником этих остатков. На деле всё ещё сложнее. Мало создать одну частицу Хиггса, поскольку её остатки невозможно различить. Часто столкновение двух протонов приводит к появлению обломков, напоминающих то, что получается в результате распада частицы Хиггса. Так как же нам установить, что частица Хиггса возникла? Ключ в том, что, хотя частицы Хиггса встречаются редко, но их обломки появляются довольно регулярно, в то время, как другие процессы происходят часто, но более случайным образом. Точно так же, как ваше ухо может распознать поющий голос даже сквозь обильные помехи на радио, экспериментаторы могут разобрать регулярный звон поля Хиггса среди случайной какофонии, созданной другими похожими процессами. Провернуть всё это оказывается чрезвычайно сложно и трудно. Но это было проделано в рамках триумфа человеческой изобретательности.

Зачем же вообще было заниматься такими геркулесовыми подвигами? Из-за чрезвычайной важности поля Хиггса для самого нашего существования. С этой важностью по величине может сравниться только наше невежество по поводу его происхождения и свойств. Мы даже не знаем, существует ли одно такое поле; их может быть несколько. Поле Хиггса может само по себе оказаться составным, состоящим из других полей. Мы не знаем, почему оно ненулевое, и не знаем, почему оно по-разному взаимодействует с разными частицами, и придаёт, допустим, электрону, массу совсем не такую, как масса верхнего кварка. Поскольку масса играет важную роль не только в определении размеров атомов, но и во множестве других свойств природы, наше понимание Вселенной и нас самих не может быть полным и удовлетворительным, пока поле Хиггса остаётся таким загадочным. Изучение частиц Хиггса – волн в поле Хиггса – даст нам глубокие познания о природе этого поля, точно так же, как о воздухе можно узнать по звуковым волнам, о камне – изучая землетрясения, и о море – наблюдая волны на пляже.

Кто-то из вас наверняка (и справедливо) спросит: это всё очень вдохновляет, но какую пользу это может принести обществу в практическом смысле? Ответ вам может не понравиться. История показывает, что социальные выгоды от исследований фундаментальных вопросов могут не проявляться десятилетиями, даже столетие. Подозреваю, что сегодня вы пользовались компьютером. Сомневаюсь, что, когда Томпсон открыл в 1897 году электроны, кто-нибудь из его окружения смог бы догадаться, как сильно электроника сможет изменить общество. Мы не надеемся представить технологии следующего столетия или то, как кажущееся эзотерическим знание, полученное сегодня, может повлиять на далёкое будущее. Инвестиции

в фундаментальные исследования – это всегда немножечко азартная игра, но на основании знаний. В худшем случае мы узнаем о природе нечто глубокое и имеющее неожиданные последствия. Такое знание, хотя и не обладающее ценностью в денежном выражении, в обоих смыслах бесценно.

Не обязательно всё должно было быть именно так. Было возможно, что волны на поле Хиггса невозможно было бы обнаружить – это могло напоминать попытку создать волны на асфальтовом озере или в густом сиропе. Волны могли бы затухнуть ещё до того, как полностью сформировались. Но мы знаем достаточно о частицах природы, чтобы знать, что такой вариант был бы возможен, только если бы существовали другие неоткрытые частицы и взаимодействия – а какие-то из них обязательно можно было бы найти на БАК. Или же частица (частицы) Хиггса могла бы существовать, но таким образом, что её было бы гораздо сложнее произвести, или она могла дезинтегрироваться каким-то неожиданным образом. Во всех таких случаях могло пройти бы ещё несколько лет до того, как поле Хиггса стало открывать бы свои секреты. Так что мы были готовы ждать, хотя и надеялись, что нам не придётся объяснять СМИ все эти сложности.

Открытие частицы Хиггса – это поворотный момент в истории. Триумф тех, кто предложил механизм Хиггса и тех, кто работает на БАК, ATLAS и CMS. Но оно не означает завершения наших загадок, связанных с массой известных частиц – это только начало нашей надежды разрешить эти загадки. В будущем энергии и количество столкновений на БАК будут увеличиваться, и ATLAS и CMS будут всесторонне и систематически исследовать частицу Хиггса. То, что они узнают, может позволить нам разрешить загадки этого производящего массу океана, в котором все мы плаваем, и направит нас дальше по эпическому пути, начавшемуся более ста лет назад, который может занять ещё десятилетия и столетия, и простирается за пределы наших сегодняшних горизонтов.

ТИПЫ ЭВОЛЮЦИЙ

После планетарной стадии возникает новая активная стадия эволюции в форме химического движения материи. Это вполне понятно, так как впервые выделяются самостоятельные не просто система, а мегасистемы, обладающие близкими свойствами формирования подсистем, превращаясь в сложные системы. Это стадия формирования планетоидов с элементами атмосфер, гидросфер и т.д. Первое тысячелетие Вселенная была заполнена почти однородным газом и нейтрино. Затем последовало образование молекул и в течение примерно 100 млн. лет их объединение и рост сгущений плотности и стабильного вещества. Именно в эту стадию благодаря действию гравитации возникли первые суперсистемы, благодаря чему в течение последующих 3 млрд. лет произошло скучивание молекул, образование протозвезд, протогалактик и их скоплений.

Возникновение первых звезд внутри протогалактик знаменует эпоху синтеза вещества и эру звездной эволюции материи. К моменту 3 млрд. лет, по-видимому, образуется большая часть галактик и Млечный путь - Наша Галактика. К моменту 8,3 млн. лет возникает доминирование темной энергии. Возникновение Солнечной системы большинство исследователей относят к периоду около 13 млрд. лет. Жизнь возникла на Земле примерно 3,8 млрд. лет назад. Это четвертое нарушение глобальной симметрии. Возникновение социума можно отнести примерно к периоду 100 000 лет назад. Это пятое нарушение глобальной симметрии. Все эти процессы последовательны и как бы вложены друг в друга, т.е. вытекают один из другого.

Сейчас уже существуют определенные расчеты по итогам эволюции, основанные на наблюдаемых данных. Считается, что в современной Вселенной содержится 0,03%

тяжелых элементов; 0,3% нейтронов; 0,5% звезд; 4% свободного водорода и гелия; 25% темной материи и 70% темной энергии.

Таким образом, по сравнению с ранней Вселенной налицо тенденция системообразования и усложнения систем. Она прослеживается как в усложнении элементного состава, так и в появлении мегаструктур (от звезд до сверхскоплений галактик). И несмотря на то, что большая часть материи скрыта от нас, мы все же знаем, что темная и видимая материи также подчинены гравитационным связям и обмениваются электромагнитной и гравитационной энергией. Современная Вселенная – это огромная сверхсложная иерархическая система с многоуровневой структурой соподчиненных и параллельных сетей подсистем. Эволюцию косной материи на сегодня можно изобразить в виде следующей упрощенной схемы [5]:

Нуклон – система кварков.

Атомное ядро – система нуклонов.

Атом – система нуклидов и электронов.

Молекула – система атомов.

Клетка – система молекул.

Кристалл – система атомов или молекул.

Порода система кристаллов.

Планетарное тело – система пород.

Солнечная система – система планет, комет, астероидов и малых тел.

Звезды – огромные, но простые системы в галактиках и межзвездных облаках.

Галактики - системы звезд, звездных скоплений, туманностей, темной материи и темной энергии.

Вселенная – гигантская суперсистема скоплений и сверхскоплений галактик, реликтовых и современных излучений, темной материи и темной энергии, гигантских молекулярных облаков, квазаров

Взаимодействие и движение являются основными формами существования материи, так как передача энергии возможна либо через излучение, либо через полевые формы, либо через движение, либо через контактное взаимодействие. Для всякого объекта существовать - значит взаимодействовать, как-то проявлять себя по отношению к другим телам, находиться с ними в объективных отношениях. Любые формы движения, изучаемые физикой, есть проявление глубинных свойств материи - так называемых фундаментальных взаимодействий, таких как гравитационного, электромагнитного, сильного и слабого взаимодействий.

"Следует обратить внимание, что процессы самоорганизации имеют прямое отношение к процессам нарушения симметрии. Все развитие Вселенной, от ее рождения до современного состояния, есть последовательность нарушений симметрий, ведущая к появлению все большего многообразия природных структур из первоначальной единой целостной высокосимметричной структуры «первоматерии». Сказанное можно распространить и на возникновение жизни, различных существ, языков, культур, искусств, религий и т.д. Всякий раз, когда нарушалась симметрия (спонтанно или не спонтанно), появлялось нечто новое. Можно сказать, что все существующее сейчас есть результат разворачивания нарушений симметрии или структурно-фазовых переходов к новому типу нелинейности" [11].

Мир ранней Вселенной обладал множеством свобод, но они были неустойчивы и крайне изменчивы. Нарушения симметрии – это выделение конкретных сил и связей, способных к самостоятельному устойчивому созиданию своего мира систем. Системообразование сокращает число общих свобод, но увеличивает число устойчивых свобод в направлении развития, и тем самым создает перспективы усложнения путем структурирования. Условно это можно назвать структурной диссипацией. В то же время

мы имеем и противоположные тенденции – стремление материи к экстремальной кумуляции в области звезд, галактик, скоплений галактик и т.д., т.е. к снижению общего числа свобод. Поэтому вопрос о том, что ждет Вселенную в будущем – это вопрос о соотношении процессов кумуляции и диссипации в мегамасштабах, а вместе с ним и вопрос о пределах усложнения мира.

Все системы внутри Вселенной являются подсистемами. Каждая из них уникальна, что и создает иерархичную структуру Вселенной. Обмен энергией между ними происходит за счет взаимодействий. Наблюдения подтверждают, что в природе нет даже двух одинаковых звезд. Все системы косной Вселенной сгруппированы в классы, например, галактики, звезды и т.д. Каждый класс осуществляет свою эволюцию. Таким образом фиксируется понятие **вложенность эволюций**, а это означает наличие стрелы времени.

О ПЛАНЕТАРНОЙ ЭВОЛЮЦИИ И РОЛИ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ В ЭНДОГЕННОМ РАЗВИТИИ ПЛАНЕТ

Естественен вопрос, почему делается акцент на планетарной самоорганизации? Астрономические инструментальные наблюдения последних десятилетий позволили открыть свыше тысячи аналогов Солнечной системы. До сих пор не снят вопрос о происхождении жизни на Земле и уже дискутируется вопрос панспермии с экологических позиций — жизнь занесена вместе с элементами экологической ниши, например, кометами, т.е. ставится вопрос о жизни как Вселенском явлении. Планетарная форма движения материи позволяет продолжить эволюционный ряд Вселенной новыми формами самоорганизации материи, такими как разворачивание химической, биологической и социальной эволюций, становление которых реально только при превращении планеты в сложную систему.

Итак, чем можно охарактеризовать тип планетарной самоорганизации? Прежде всего это процесс структурирования на подсистемы в условиях сильного влияния кинематических вариаций вращения и обращения планеты с момента ее возникновения и последующей эволюции (рис.11).

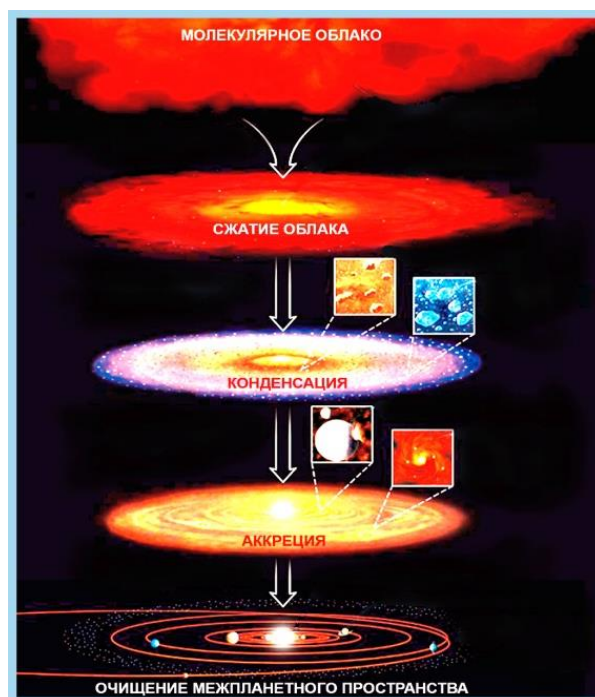


Рис.11. Схема возникновения планет из допланетного молекулярного облака [28].

Исходные условия следующие [8].

1. Источник одиночных звезд – гигантские молекулярные облака $M \sim 10^{50} M_{\odot}$; $\rho = 10^3 - 10^7 \text{ г/см}^3$; $T = 10 - 60 \text{ К}$.

2. Угловой момент вращения протосолнечной туманности должен быть равен: $J_0 \sim 10^{52} - 10^{53} \text{ г}\cdot\text{см}^2/\text{с}$; если значение углового момента меньше, то возникает двойная звезда, а если больше, то одиночная.
 $\rho = 10^3 - 10^7 \text{ г/см}^3$; $T = 10 - 60 \text{ К}$.

3. Планета должна находиться на оптимальном удалении от центра масс, чтобы возникли условия для развития таких подсистем как Атмосфера, Гидросфера, Биосфера и Социум.

4. Планета должна иметь не менее двух источников энергии: 1) центральную звезду класса около G2 (Солнце) и 2) общепланетарные нелинейные кинематические механизмы преобразования механической энергии вращения и обращения в тепло (эксцентриситет обращения, нутация, пульсация).

Понятие о кинематическом источнике энергии выдвигается впервые. Суть его состоит в следующем.

Геофизики долго считали, что основными источниками внутренней тепловой энергии Земли являются:

тепло гравитационной дифференциации;

радиогенное тепло;

тепло приливного трения;

аккреционное тепло;

тепло трения, выделяющееся за счёт дифференциального вращения внутреннего ядра относительно внешнего, внешнего ядра относительно мантии и отдельных слоёв внутри внешнего ядра.

К настоящему времени количественно оценены лишь первые четыре источника. Особо хотелось бы отметить второй источник тепла, так как эта идея без каких-либо доказательств наиболее долго господствовала в геологии.

Новейшие исследования японских физиков с помощью нейтринного детектора «KamLAND» показали, что количество образующегося тепла за счёт радиоактивного распада вдвое меньше, чем предполагалось ранее. Измерения и расчеты проводились несколько лет в период с марта 2002 года по ноябрь 2009 года. По оценкам ученых, обнаруженное количество нейтрино соответствует выделению теплоты с помощью радиоактивного распада около 20 тераВатт в год, что составляет примерно половину от всего тепла, которое расходуется на излучение. Как считают ученые, это исключает гипотезу об исключительно радиоактивном «разогреве». Оставшиеся 20 тераВатт ученые пока относят к излучению из запасов доисторического тепла Земли. [27].

Но в последнее десятилетие успехи в экспериментальной и теоретической геохимии и геофизике внесли ряд корректив в наши представления о нижней мантии. Геофизики-теоретики уже давно предсказывали, что в условиях нижней мантии у железосодержащих минералов может существовать широкая зона спинового перехода — когда одновременно существует высокоспиновое и низкоспиновое железо. Международной команде ученых из научных учреждений США, Венгрии и Франции во главе с Цзюнь-Фу Линем (Jung-Fu Lin) из Группы физики высоких давлений Ливерморской национальной лаборатории им. Лоуренса (Калифорния, США) удалось экспериментально (в лаборатории) подтвердить теоретические расчеты на примере представителя магнезиевоститов — минерала ферропериклаза ($\text{Mg}_{0,75}\text{Fe}_{0,25}\text{O}$).

В двух тысячах четвертом году геофизики из Йельского университета и Калифорнийского университета в Беркли (США) воспроизвели в лаборатории условия, которые устанавливаются в слое мантии Земли, примыкающем к ядру.

Было продемонстрировано, что в нижней части мантии (так называемом слое D'') при давлении, примерно в 1,3 млн. раз превосходящем атмосферное, и температуре около 2500 К перовскит может изменять кристаллическую структуру и преобразовываться в слоистый постперовскит. Ниже слоя D'' лежит железоникелевое **ядро** Земли. По результатам её изучения был сделан вывод о том, что деформация структуры перовскита вполне соответствует необычным свойствам слоя D'', ранее определённым в сейсмических наблюдениях. К таким «странностям» относится, к примеру, появление существенных различий в скорости распространения горизонтально и вертикально поляризованных сейсмических волн. [20]. Здесь уже возникают сомнения в правильности интерпретации данных сейсмотомографии. Появление этих различий с нашей точки зрения связано с появлением тонкослоистых структур, а в них свойств рефракции, ибо только рефрагированные продольные волны в соответствии с законом Ферма обладают большей скоростью даже по сравнению с просто продольными Р-волнами, распространяющимися вдоль слоя. Отсутствие ярко выраженной единой границы - это неравновесность условий по простиранию границы D (рис.12) [5].

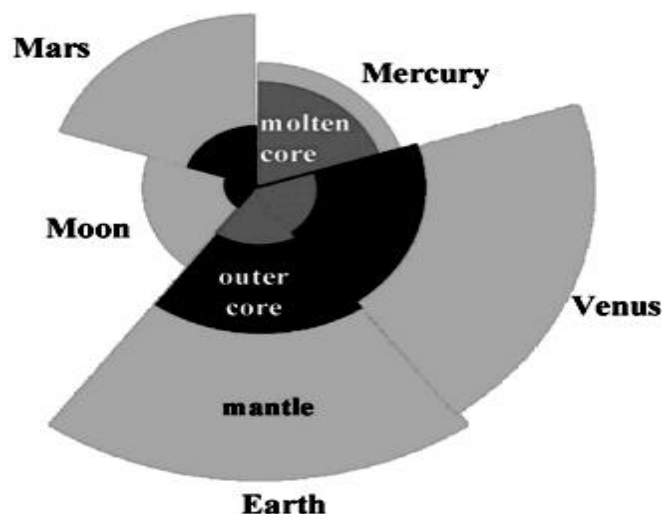


Рис.12. Схема двухслойного строения планет.

Почти половина массы Земли состоит из Mg-перовскита, который устойчив в широком интервале давлений. Это основной минерал нижней мантии. Наиболее важным геологическим открытием XXI в. стало обнаружение (лабораторно) в D''-слое, разделяющем нижнюю мантию и ядро, фазы постперовскита. Этот минерал имеет тот же химический состав, но на 2 % более высокую плотность, чем перовскит. Фазовый переход перовскита в постперовскит влечет за собой повышение температуры на 50°C. Именно это и послужило приманкой для ложной интерпретации. Слоистость постперовскита полезна и для реализации перехода кинематического тепла при изменении скорости вращения Земли в тепло-вязко-пластичного трения слоя D, но мы не будем пока хвататься за эту соломинку. Мы постараемся показать, что водные фазы на ледяных спутниках способны имитировать условия границы D и играть роль вседограниц D.

Если представить Землю двухслойной (1-литосфера+астеносфера + обе мантии и 2-все ядра), то подсчет моментов инерции вращения показывает, что они различаются в 8.5 раз. Следовательно, вариации скорости вращения Земли приводят

к проскальзыванию слоев 1-го относительно 2-го и выделению тепла трения на их границе раздела D. По данным NASA тепло излучаемое Землей и планетами гигантами больше принимаемого от Солнца. В качестве источника можно предложить именно границу D. На ледяных планетах и спутниках планет нет такой средней плотности для образования постперовскита.

Но на них есть много воды, которая по последним лабораторным данным может иметь несколько фазовых состояний. Учитывая эллиптичность их обращения вокруг родительских планет и квазиэндогенную активность в виде фонтанов гейзеров из воды и мелких обломков льда (шуга), расположенных вдоль глобальных трещин, можно предположить, что им присуще тоже двухслойное строение и в виде квазиграницы D выступает одна из фаз воды. Таковы Ганимед, Каллисто, Европа. На спутнике Ио вообще зафиксированы следы извержений почти 100 вулканов сернистого состава. Эндогенная активность - это свидетельство эффективности кинематических параметров вращения и обращения (вариации эксцентриситета, прецессии, нутации). Основная эволюция этих параметров происходила на ранней стадии формирования Солнечной системы в плотном планетарном облаке, когда возможны сильные миграции и планет и спутников относительно главной звезды.

Итак, чем можно охарактеризовать тип планетарной самоорганизации? Прежде всего, это процесс структурирования на подсистемы в условиях сильного влияния кинематических вариаций вращения и обращения планеты с момента ее возникновения и последующей эволюции. Исходные условия следующие [3].

1. Источник одиночных звезд – гигантские молекулярные облака $M \sim 10^{50} M_{\odot}$; $\rho = 10^3 - 10^7 \text{ см}^{-3}$; $T = 10 - 60 \text{ К}$

2. Угловой момент вращения протосолнечной туманности должен быть равен: $J_0 \sim 10^{52} - 10^{53} \text{ г} \cdot \text{см}^2/\text{с}$; если значение углового момента меньше, то возникает двойная звезда, а если больше, то одиночная. $\rho = 10^7 \text{ см}^{-3}$; $T = 10 - 60 \text{ К}$.

3. Планета должна находиться на оптимальном удалении от центра масс, чтобы возникли условия для развития таких подсистем как Атмосфера, Гидросфера, Биосфера и Социум.

4. Планеты и их спутники должны иметь не менее двух источников энергии: 1) центральную звезду класса около G2 и 2) нелинейные кинематические механизмы преобразования тепловой энергии от механической энергии вращения и обращения в тепло (вариации эксцентриситета обращения, нутации, пульсаций вращения).

Понятие о кинематическом источнике энергии выдвигается впервые и продиктовано оно недостаточной плотностью (см. таблицы) планет и их спутников, высоким содержанием воды и многофазностью её состояния в условиях сверх низких температур.

ЛАБОРАТОРНЫЕ ДАННЫЕ ПО ОСОБЕННОСТЯМ ЭВОЛЮЦИИ КОСНОЙ И ЖИВОЙ МАТЕРИИ

Рассмотрим случай разрушения металлических сплавов под действием циклических нагрузок [12]. Это чисто диссипативный вариант эволюции испытуемого материала (рис.11). При описании поведения металла в процессе циклического нагружения при разных уровнях напряжения при анализе принято вводить границы масштабных уровней:

1) неустойчивость I (микроуровень); точка σ_{w1} , связанная с переходом к началу разрушения материала как частично замкнутой системы (кривая 3 на рис.5); при рассмотрении каскада бифуркаций (правая диаграмма) на основе спектра чисел

выявлено следующее: известные экспериментальные данные по сплавам на основе железа (русские и японские исследования) удовлетворяют величине $\Delta_I = 0,618$ для соотношения между уровнями напряжений $\sigma_{w1}/\sigma_{w2} = \sigma_{w2}/\sigma_{w3}$ в точках бифуркации. Для алюминиевых и других сплавов будут другие Δ_I (например, для алюминиевых сплавов 0,213) в соответствии с соотношением сдвиговых и нормальных напряжений. Мы рассмотрим 2 варианта поведения испытываемых объектов: конволюционный и эволюционный. Удобно начать с первого варианта - с разрушения образца циклически, т.е. диссипативный вариант (рис.13).

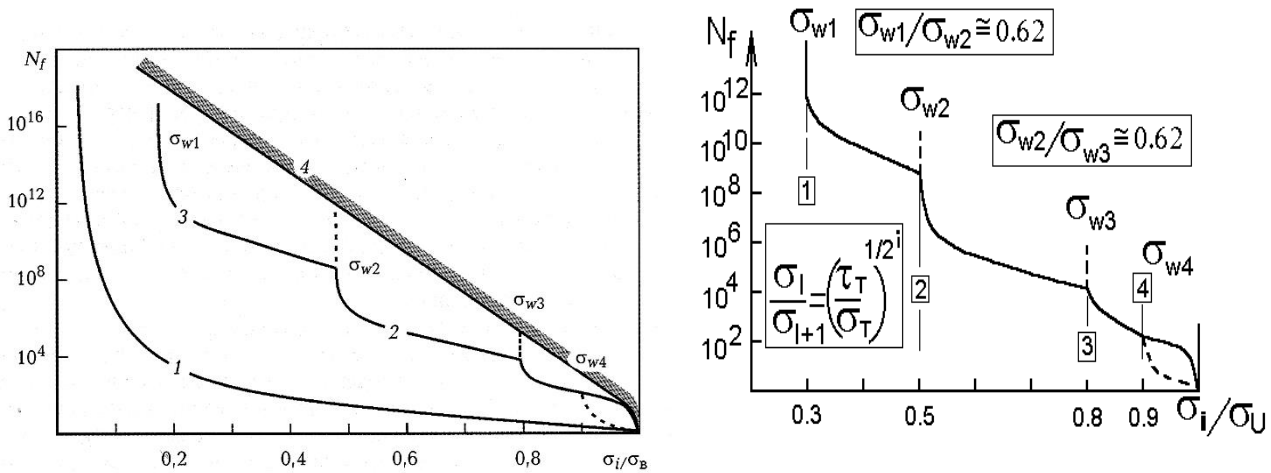


Рис. 13. Слева - обобщенная бифуркационная диаграмма усталостного разрушения различных сплавов с граничными усталостными кривыми:

1) при агрессивном воздействии окружающей среды, 2,3) границы перехода для реальных ситуаций. Справа – бифуркационная диаграмма усталостного разрушения для сплавов на основе железа. 4) для предельно упрочненных сплавов с граничными усталостными кривыми [12]. Здесь очевидно, что все эти криволинейные переходы можно аппроксимировать функциями с обострением;

2) неустойчивость II (мезоуровень I); точка σ_{w2} связанная с переходом к открытой системе, у которой очаг усталостной трещины располагается на поверхности образца (кривая 2);

3) неустойчивость III (мезоуровень II) точка σ_{w3} связана с переходом открытой системы к многоочаговому усталостному разрушению;

4) неустойчивость IV (макроуровень), точка σ_{w4} – связанная с переходом к повторно статическому разрушению, когда очаги и на поверхности и внутри.

Для варианта кумулятивной эволюции были проведены исследования по кристаллообразованию [9].

Теперь рассмотрим кумулятивный вариант эволюции. Это процесс кристаллизации калий фосфатных соединений (КФС) под влиянием ультрадисперсных порошков (УДП) исследовался методом открытой капли. Кристаллизация происходила за счет изменения концентрации раствора в результате испарения воды. Наблюдение проводили в поляризованном свете. Для описания динамики структурных преобразований был использован базовый алгоритм самоуправляемого структурообразования сложных систем [2, 3] (рис.14).

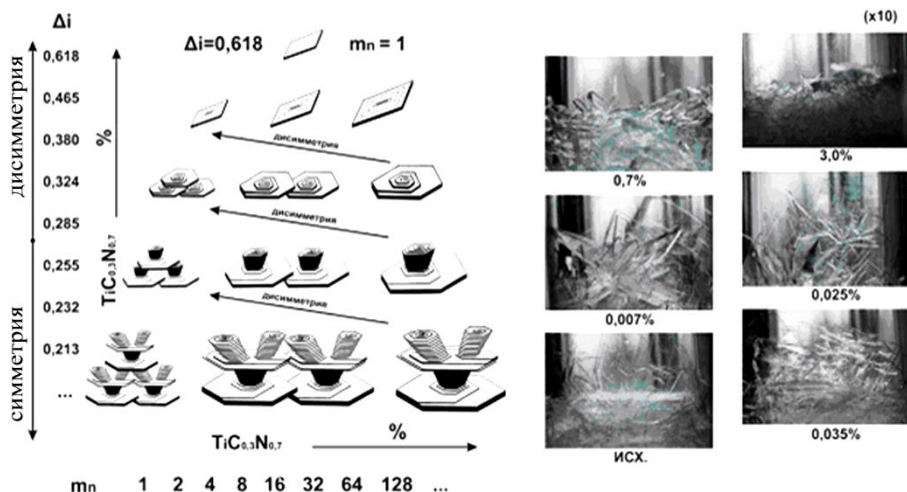


Рис.14. Схема структурообразования и реальное кристаллическое строение связующего $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ в зависимости от количества введенного ультрадисперсного порошка (УДП $\text{Ti C}_{0.3}\text{N}_{0.7}$ (масс, %)). Все шаги последовательного структурирования также можно аппроксимировать элементарными функциями с обострением [9].

Структурообразование происходит в жидком растворе. Реализация его проявляется в изменении формы кристаллов и в изменении физико-механических свойств КФС. Структурные преобразования в системе идут необратимо. Для кристаллизующейся системы, состоящей из раствора КФС + УДП ($\text{Ti C}_{0.3}\text{N}_{0.7}$), отношение управляющего параметра (концентрация УДП) предыдущей λ_{c_n} и последующей $\lambda_{c_{n+1}}$ точек бифуркаций во всех концентрационных диапазонах величина постоянная и равна:

$$F = \frac{\lambda_{c_n}^I}{\lambda_{c_{n+1}}^I} = \frac{\lambda_{c_n}^{II}}{\lambda_{c_{n+1}}^{II}} = \frac{\lambda_{c_n}^{III}}{\lambda_{c_{n+1}}^{III}} = 0,9900596 \quad (7)$$

Здесь мера адаптивности является коэффициентом самоподобия системы, который является показателем начального структурного состояния системы (рис.15).

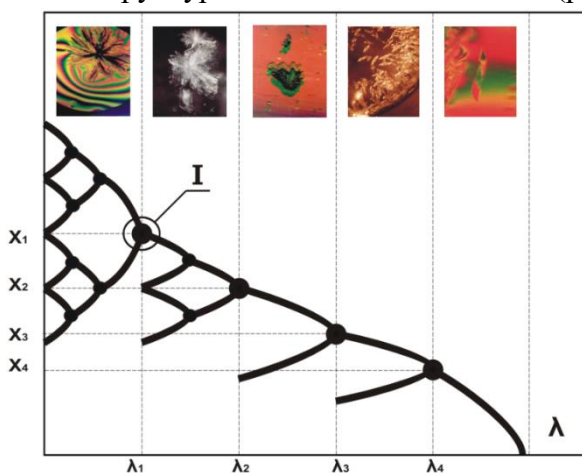


Рис.15. Бифуркационная диаграмма перестройки кристаллизующихся структур ($\lambda_1 X_1$ – переход от сферолитов к слоистым дендритам; $\lambda_2 X_2$ – переход от слоистых к плоским дендритам; $\lambda_3 X_3$ – переход от плоских дендритов к слоистым пластинчатым кристаллам; $\lambda_4 X_4$ – переход от слоистых к пластинчатым кристаллам) [9].

Поэтому, определив значения управляющего параметра в предыдущей и последующей точках бифуркаций, в любом диапазоне можно просчитать все значения управляющего параметра в точках бифуркаций. На базе полученных экспериментальных данных была предложена бифуркационная диаграмма перестройки кристаллизующихся структур (рис.16).

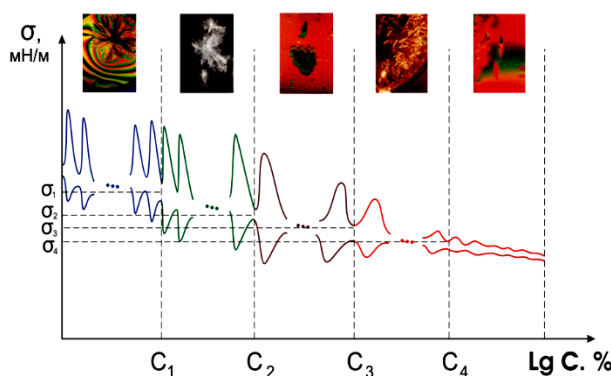


Рис.16. Частный вид бифуркационной диаграммы для анализа изменения поверхностного натяжения раствора КФС в зависимости от концентрации УДП $\text{Ti } C_{0,3}N_{0,7}$ (% масс.) ($\sigma_1 C_1$ – переход от сферолитов к слоистым дендритам; $\sigma_2 C_2$ – переход от слоистых к плоским дендритам; $\sigma_3 C_3$ – переход от плоских дендритов к слоистым пластинчатым кристаллам; $\sigma_4 C_4$ – переход от слоистых к пластинчатым кристаллам) [9].

Уменьшение поверхностного натяжения раствора КФС свидетельствует о снижении энергии Гиббса и уменьшение энтальпии, при этом адаптивность и симметрия системы уменьшаются, а устойчивость возрастает.

Таким образом, сопоставляя представленные результаты исследований и учитывая хорошее совпадение лабораторных и модельных данных, полученных с помощью универсального алгоритма, можно утверждать, что сценарии эволюции сложных систем в диссипативном и кумулятивном вариантах аналогичны.

Следовательно, можно сделать следующие выводы:

1. Эволюция всякой сложной системы по любому сценарию носит иерархический характер.
2. Последовательность бифуркационных переходов может быть аппроксимирована степенной зависимостью.
3. Для сплошных сред последовательность бифуркационных переходов моделируется итерационными уравнениями гиперболического типа.

Проведем анализ для систем живой природы. Совершенство организма – это способность к адаптации в новых условиях внешней среды, реализуемая за счет возникновения новых функций в организме, выполняемых новыми специализированными типами клеток. К сожалению, непосредственно биологических определений типа клеток много, и это делает почти невозможной процедуру формализации для целей последующего моделирования. Это очевидно из следующих определений [10].

Определение интуитивное: «клетки одинаковой морфофизиологической характеристики относятся к одному клеточному типу» [7].

Определение практическое: совокупность клеток, которые экспрессируют специфические маркерные молекулы и обладают характерными функциональными свойствами, относятся к одному клеточному типу.

Определение эволюционное: в филогенезе новые клеточные типы формируются из дочерних путем утраты, приобретения либо изменения функции вследствие, соответственно, утраты/приобретения генов специфических транскрипционных

факторов либо их дупликации (по: Arendt D. Nat Rev Genet 2008; 9: 868-82 (P. 868, 870). Получается, что детекции специфического клеточного маркера (напр., фактора транскрипции) достаточно для выявления клеток одного типа (но только в случае сравнения с клетками эволюционно схожего типа).

Определение глобальное транскриптомное/протеомное: у клеток одного типа одинаковы не только морфофункциональные характеристики, но и транскрипционный/протеомный профиль (т.е. глобальный клеточный фенотип). Проблема: фенотип клетки может меняться без изменения ее типа.

Определение глобальное эпигеномное: «клетки с идентичным набором разрешенных к экспрессии генов (вне зависимости от того, экспрессируются ли эти гены) относятся к одному клеточному типу» [18]. Другими словами, глобальный эпигеномный профиль клетки отражает ее принадлежность к определенному клеточному типу. Изменения эпигенетических меток (метиляции ДНК и модификации "хвостов" гистонов) потенциально может привести (и приводит) к смене клеточного типа или стадии дифференцировки.

Таким образом, наиболее точное определение клеточного типа базируется на исходной причине переменных морфофункциональных проявлений, на совокупности генов, которые экспрессируются либо потенциально могут быть экспрессированы в клетке.

Формализованный подход и математическое моделирование стали реальными только после работ С.Кауфмана. В работах С. Кауфмана предполагается и отчасти доказывается, что тип клетки соответствует аттрактору цикла состояний, т.е. он воплощает в себе довольно стабильный цикл экспрессии в определенном геномном наборе. Если тип клетки – это аттрактор, то можно предсказать, сколько различных клеточных типов должен содержать организм [6].

С.Кауффманом было выдвинуто предположение, что тип клетки как аттрактор в динамике генома, может концентрировать на себе те или иные функции. Это позволило сопоставить число типов клеток в виде аттракторов с количеством ДНК в клетке и с числом генов в геноме данного организма (рис.17.).

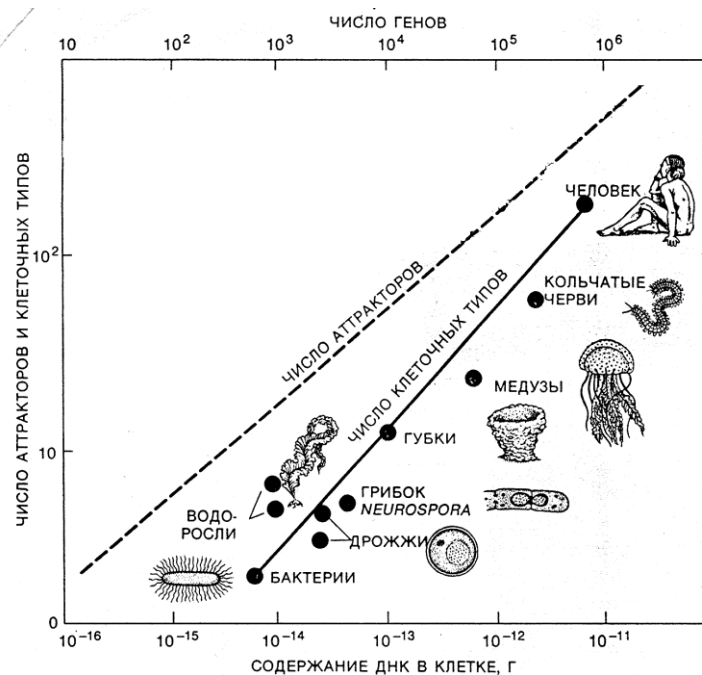


Рис.17. Диаграмма зависимости содержания ДНК в клетке (или числа генов) от числа аттракторов и клеточных типов [6].

На рис.9, построенном по данным математического моделирования, показано, как число типов клеток зависит от числа генов в геноме конкретного организма. Число генов пропорционально количеству ДНК в клетке. Если регуляторные генные системы можно представить булевыми сетями с $K=2$, то число аттракторов приблизительно равно квадратному корню из числа элементов сети (генов); следовательно, число клеточных типов должно приблизительно соответствовать квадратному корню из числа генов. Отсюда у человека должно быть около 10^5 генов и 370 клеточных типов (рис.18).



Рис. 18. Таблица роста числа типов клеток в процессе эволюции Биосферы [7].

Согласно самым последним подсчетам, у человека насчитывается 254 различных типа клеток, т.е. модельные данные близки к реальным данным. Было установлено, что для многих крупных таксономических групп живых организмов действительно число клеточных типов возрастает приблизительно как квадратный корень от числа генов в клетке. Следует отметить, попытки оценить число типов клеток в различных живых и палеоорганизмах были предприняты несколько раньше. Например, выше на рис.10 показаны результаты исследований американских ученых [7].

Из этих результатов следует чрезвычайно привлекательный вывод, что характер эволюции живого может быть описан по параметру сложность. Совершенство организма – это способность выживать и, следовательно, надежно адаптироваться в новых условиях внешней среды. При этом каждый новый эволюционный вид характеризует скачкообразное изменение характера эволюции всей надсистемы. Авторами был обоснован конкретный управляющий параметр для анализа усложнения процесса эволюции Биосферы – это число типов клеток по С.Кауфману [Иванов О.П., 2000] (рис.11).

Если мы обратимся к вопросам эволюции живой материи, то обнаружим некоторую аналогию.

Отметим, что на ранних этапах эволюции косной материи формировались гигантские молекулярные облака, т.е. сообщества простейших систем. И в живой Природе, например, в Биосфере, тоже шло длительное накопление простейших. Так согласно исследованиям академика Г.А.Заварзина безъядерные прокариоты

Введение в системное мировоззрение

господствовали с 3.5 млрд лет до 1,5 млрд. лет назад. Простейшие одноядерные возникли к моменту 1,5 млрд лет. И лишь около 700 000 лет назад появились низшие многоклеточные. Этим периодам даже были присвоены наименования - Прокариотий и Протистий. Сейчас структурная лестница эволюции живой материи выглядит следующим образом.

1. Элементарн частицы → Ядра, Атомы,
2. Молекулы, Макромолекулы,
3. Микробы, Колонии микробов,
4. Организмы, сообщества организмов,
5. Социальные структуры, государства.

При общем анализе эволюций во Вселенной легко устанавливается последовательность эволюций, т.е. свойство вложенности, что подтверждает наличие стрелы времени (рис.19).

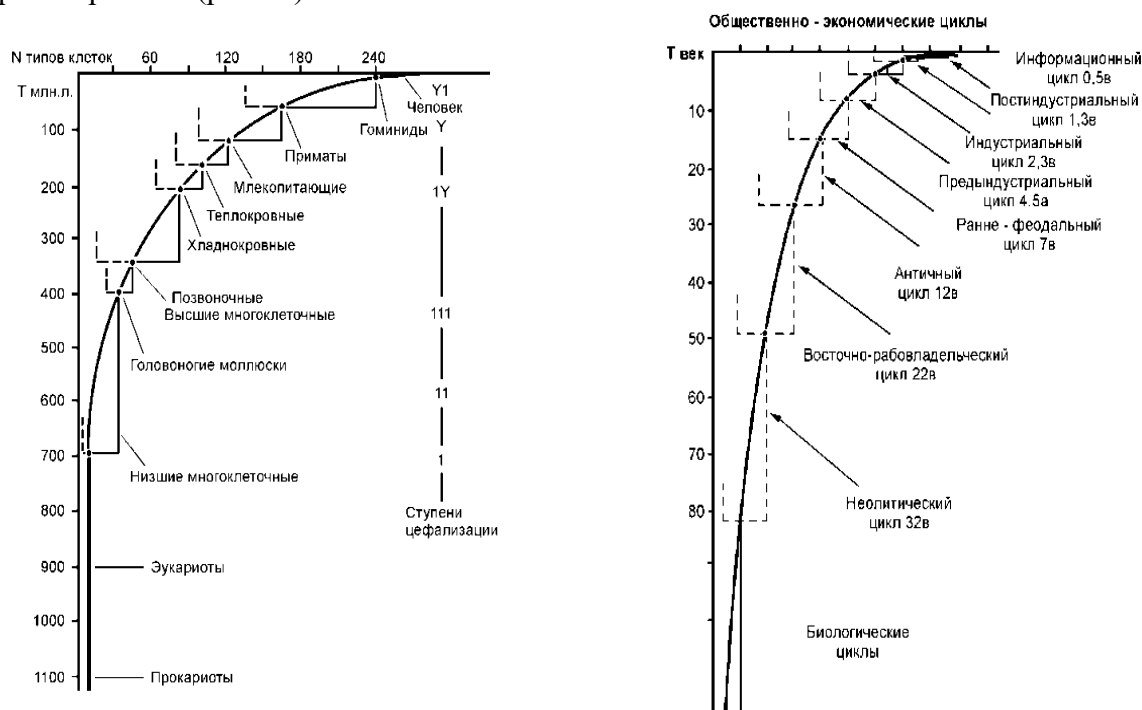


Рис.19. Диаграммы эволюции Биосферы и Социума [1,4].

СВОЙСТВА И СПЕЦИФИКА СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

Таким образом, сопоставляя наши результаты (рис. 19) и результаты исследований А.А.Шанявского и В.В.Седельникова, и учитывая хорошее совпадение лабораторных и модельных данных полученных с помощью универсального алгоритма, можно утверждать, что сценарии эволюции сложных систем в диссипативном и кумулятивном вариантах во многом идентичны.

Следовательно, можно сделать следующие выводы:

1. эволюция всякой сложной системы по любому сценарию иерархична;
2. последовательность бифуркационных переходов может быть аппроксимирована степенной зависимостью;
3. для сплошных сред последовательность бифуркационных переходов моделируется итерационными уравнениями гиперболического типа;

4. метод структурно-фазовых переходов позволяет строить сценарии эволюции любых сложных систем и открывает возможности для управления эволюцией этих систем за счет воздействия на наиболее неравновесные структурно-фазовые переходы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Заварзин Г.А. Бактерии и состав атмосферы. М.: Наука, 1984. 193 с.
2. Иванов О.П. Особенности самоорганизации сложных систем в процессе эволюции /Труды семинара Синергетика. -М.: МГУ, 2000. Т.3. -С. 264-272.
3. Иванов О.П. Причины различия эволюции Биосферы и Общества, экологические следствия и методология выхода /Тр. Семинара Синергетика. Естественнонаучные, социальные и гуманитарные аспекты. -М.: МГУ. 2003, т.7. -С.51-68.
4. Иванов О.П. Эволюция миропонимания от триад до сложных систем М., Дельфис, 2014, №3 (79), 65-78.
5. Иванов О.П., Иванова В.С. Нелинейная дискретная сейсмология в свете универсальных хаотических динамических систем. Сб. «Синергетика.» Т5. С.128–151.
6. Кауффман С. Антихаос и приспособление//В мире науки. 1991.№ 10, С. 13.
7. Рафф Р., Кофман Т. Эмбрионы, гены и эволюция. -М.: Мир. 1986.
8. Сафронов В.С. Эволюция допланетного облака и образование Земли и планет.М.,1969,113 с.
9. Седельников В.В. Особенности флуктуационного зарождения кристаллов. Металлургия Машиностроения. 2007, №6, с.27-29.
10. Улумбеков Е.Г., Челышев Ю.А. Гистология. М.: 1997.
11. Херринг Т.А., Буффетт Б.А., Матхещ П.М., Шапиро И.И.//Й. Геопхис. Рес. 1991. В.96. П.8259;
12. Шаньявский А.А. Моделирование усталостных разрушений металлов. Синергетика в авиации. Уфа. «Монография». 2007. 499 с.
13. Henri Poincaré. Les Methodes Nouvelles de la Mecanique Celeste. Paris. 1892.
14. Kauffman. S. A. At Home in the Universe: The Search for Laws of Self-Organization and Complexity, Oxford University Press, Oxford, 1995, 312 p.
15. Polkovnikov A., E. Altman, E. Demler, B. Halperin, and M. Lukin, Decay of super-currents in condensates in optical lattices, J. of Superconductivity 17, 577 (2004).
16. Косинов Н.В. «Принцип инь-ян, святая троица и календарь мая» <http://kosinov.314159.ru/kosinov23.htm> Istochnik: SciTecLibrary.ru
17. <https://libmir.com/book/362047-zakonyi-razvitiya-sistem-vladimir-petrov/image>
18. <https://en.ppt-online.org/559696>
19. <https://ppt-online.org/559696>
20. <https://www.city-n.ru/view/159195.html>
21. <https://ppt-online.org/337632>
22. <https://infourok.ru/prezentaciya-po-biologii-na-temu-istoriya-predstavleniy-ob-evolyucii-zhivoy-prirodi-3827268.html>
23. <https://ppt-online.org/314576>
24. <http://present5.com/prezentaciya-na-temu-struktura-mikromira-i-klassifikaciya-elementarnyx/>
25. <https://www.newscientist.com/article/dn3821-big-bang-soup-recipe-confirmed/?ignored=irrelevant>

26. Шарковский А.Н., Майстренко Ю.А., Томаненко Е.Ю. Разностные уравнения и их приложения. Киев: Наукова Думка 1986. 154с.; <http://present5.com/prezentaciya-natemu-struktura-mikromira-i-klassifikaciya-elementarnyx/>
27. <http://gennady-ershov.ru/zemlya/termalnye-istochniki.html>
28. <http://900igr.net/up/datai/172820/0008-009-.png>
29. https://yandex.ru/q/question/10720/?utm_source=theq&utm_campaign=theq-redirect
30. <http://ircamera.as.arizona.edu/NatSci102/NatSci/lectures/earth.htm>
31. <file:///C:/Users/User/Desktop/Бифуркация/0327.html>

INTRODUCTION TO THE SYSTEM WORLDVIEW

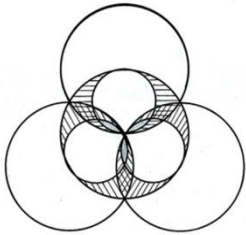
Kurkina E.S., D. f. - m. n., prof. VMK MSU; **Knyazeva E. N.**, d. philos., prof. i. f. RAS; **Ivanov O. P.**, candidate of geol. - min. n., v.n.s. MZ Lomonosov Moscow State University ivanovop2007@yandex.ru.

The summary. Principles of occurrence of complex systems are considered. Properties of nonlinearity and complexity connections of system, character of behaviour and interaction with an environment are basic. Evolution of complex systems passes according to a dialectic principle of unity of contrasts accumulation - dissipation. Cumulative forms of processes of both sides meet the requirements of a principle of minimization of power expenses and to speeds of transmission of energy. In a nanoworld, despite of its specificity the basic aspects of synergetics are realized: Reality dissipative structures (self-organizing in existential scale), presence fractal structures peculiar to dynamic chaos and shown in superpackings nanostructures (self-organizing in phase spaces or spaces of condition of systems) and variety of scripts of the evolution, testifying to complexity of structures of all scales (self-organizing in space of strategy, the preferences, deciding rules).

REFERENCES

1. Zavarzin G.A. Bacteria and the composition of the atmosphere. M.: Nauka, 1984. 193 p.
2. Ivanov O.P. Features of self-organization of complex systems in the process of evolution / Proceedings of the seminar Synergetics. -M.: MSU, 2000. V.3. -WITH. 264-272.
3. Ivanov O.P. Reasons for the difference in the evolution of the Biosphere and Society, ecological consequences and methodology of the exit / Tr. Seminar Synergetics. Natural science, social and humanitarian aspects. -M.: MGU. 2003, v.7. -p.51-68.
4. Ivanov O.P. The evolution of worldview from triads to complex systems M., Delphis, 2014, No. 3 (79), 65-78.
5. Ivanov O.P., Ivanova V.S. Nonlinear discrete seismology in the light of universal chaotic dynamical systems. Sat. "Synergy." T5. pp.128–151.
6. Kauffman S. Antichaos and adaptation//In the world of science. 1991. No. 10, S. 13.
7. Raff R., Kofman T. Embryos, genes and evolution. -M.: Mir. 1986.
8. Safronov V.S. Evolution of the pre-planetary cloud and the formation of the Earth and planets. M., 1969, 113 p.
9. Sedelnikov V.V. Peculiarities of fluctuation nucleation of crystals. Metallurgy Engineering. 2007, No. 6, pp. 27-29.
10. Ulumbekov E.G., Chelyshev Yu.A. Histology. M.: 1997.
11. Herring T.A., Buffett B.A., Matkheschs P.M., Shapiro I.I.//J. Geophys. Res. 1991. V.96. P.8259;
12. Shanyavsky A.A. Modeling of fatigue fractures of metals. Synergetics in aviation. Ufa. "Monograph". 2007. 499 p.

13. Henri Poincare. Les Methodes Nouvelles de la Mecanique Celeste. Paris. 1892.
14. Kauffman. S. A. At Home in the Universe: The Search for Laws of Self-Organization and Complexity, Oxford University Press, Oxford, 1995, 312 p.
15. Polkovnikov A., E. Altman, E. Demler, B. Halperin, and M. Lukin, Decay of supercurrents in condensates in optical lattices, J. of Superconductivity 17, 577 (2004).
16. Kosinov N.V. "The Yin-Yang Principle, the Holy Trinity and the Mayan Calendar" <http://kosinov.314159.ru/kosinov23.htm> Istochnik: SciTecLibrary.ru
17. <https://libmir.com/book/362047-zakonyi-razvitiya-sistem-vladimir-petrov/image>
18. <https://en.ppt-online.org/559696>
19. <https://ppt-online.org/559696>
20. <https://www.city-n.ru/view/159195.html>
21. <https://ppt-online.org/337632>
22. <https://infourok.ru/prezentaciya-po-biologii-na-temu-istoriya-predstavleniy-ob-evolyucii-zhivoy-prirodi-3827268.html>
23. <https://ppt-online.org/314576>
24. <http://present5.com/prezentaciya-na-temu-struktura-mikromira-i-klassifikaciya-elementarnyx/>
25. <https://www.newscientist.com/article/dn3821-big-bang-soup-recipe-confirmed/?ignored=irrelevant>
26. Sharkovsky A.N., Maistrenko Yu.A., Tomanenko E.Yu. Difference equations and their applications. Kyiv: Naukova Dumka 1986. 154 p.; <http://present5.com/prezentaciya-na-temu-struktura-mikromira-i-klassifikaciya-elementarnyx/>
27. <http://gennady-ershov.ru/zemlya/termalnye-istochniki.html>
28. <http://900igr.net/up/datai/172820/0008-009-.png>
29. https://yandex.ru/q/question/10720/?utm_source=theq&utm_campaign=theq-redirect
30. <http://ircamera.as.arizona.edu/NatSci102/NatSci/lectures/earth.htm>
31. <file:///C:/Users/User/Desktop/Bifurcation/0327.html>



ПОЧВА КАК МНОГОФАЗНАЯ СЛОЖНАЯ СИСТЕМА

Иванов О.П. канд. геол.-мин. н., в.н.с., ivanovop.2007@yandex.ru

Аннотация. Анализируется полифункциональность сложных эволюционирующих систем. Показано, что не только живые объекты, но и различные косные, биокосные системы обладают многочисленными функциями в общем природном организме. Особенно многочисленными оказались функции систем двойственной сущности – биокосной почвы и биосоциального человека, которые оказываются базовыми объектами изучения полифункциональности систем существующего мира.

Ключевые слова: многофункциональность, почвы, сложные системы, косные системы, живые системы

ВВЕДЕНИЕ

Можно по-разному смотреть на мир, окружающий нас: видеть в нем организованность и порядок, без устали возмущаемый силами разрушения, усматривать красоту и гармонию, постоянно атакуемую демонами зла, воспринимать действительность как игру случая или царство судьбы. Но думается, что особенно многообещающим оказывается взгляд на события существующего мира как на жизнь огромного организма высшего порядка, состоящего из бесчисленного множества организмов более низких уровней, каждому из которых уготована своя главная цель и роль, определены свои незаменимые функции в общей космической жизни. До недавнего времени подобный взгляд мог восприниматься лишь в рамках религиозных и философско-религиозных учений.

Однако, в конце концов, стало ясно, что такой подход к миру и его составляющим вполне укладывается и в научные рамки, о чем свидетельствует ряд работ [1].

Результатом использования данного подхода явилось, прежде всего, установление закона полифункциональности природных объектов и социально-природных эволюционирующих систем, в первую очередь человека.

Выяснилось, что не только живые организмы, но и различные объекты косной, биокосной сущности обладают достаточно многочисленными функциями в общем природном организме. Особенно многочисленными оказались функции объектов сложной двойственной сущности: биокосной почвы и биосоциального человека. Их можно смело отнести к базовым объектам изучения полифункциональности систем существующего мира. Но именно эти замечательные творения длительный период оказывались в стороне от функционального интереса, познающего научного разума. Поэтому в массовом сознании землян назначение почвы сугубо одностороннее – кормить и кормить все более размножающееся племя людей, назначение самого человека - питать и питать общество различными продуктами своего труда. Такое предельное обеднение значимости только что указанных феноменов не случайно, поскольку познание существующих систем идет от монофункционального их восприятия к полифункциональному. И на этом пути нас ждут необыкновенные прозрения. Так, специальный анализ экологической роли почвы. Перевернул наши представления об этой приповерхностной пленке планеты и привел к созданию нового научного направления – учения об экологических функциях почв, получившего широкий резонанс. Ведь были выявлены несколько десятков

Почва как многофазная сложная система

экологических функций почвы, без осуществления которых невозможно благополучие ни отдельных наземных организмов, ни биосферы в целом, вместе с ее составляющими: водной оболочкой, атмосферой, земной корой, живым веществом Земли. Один только перечень функции [схема 1] внушает почтение к этой извечной труженице планеты, блестяще справлявшейся со своими экологическими обязанностями еще задолго до появления на свете человека прямоходящего, который до недавнего времени основное значение почвы связывал лишь с обеспечением ею растений элементами питания. Несомненно, это одна из главнейших функций почвы, наиболее полно изученная к настоящему времени, но далеко не единственная. Как выяснилось, в масштабах отдельных экосистем суши (биогеоценозах и агроценозах) почва выполняет ряд важнейших экофункций. Она и жилище для почвообитающих животных, и механическая опора для растений, и депо семян, могущих сохраняться в ней многие годы. Кроме того, почва играет роль регулятора ряда биохимических и сезонных биологических процессов в экосистемах, а также осуществляет санитарную и другие функции.

Не менее впечатляющее значение почвы в жизни биосферы и отдельных ее составляющих. Так, незаменимы гидрологические функции почвы, поскольку она является трансформатором поверхностных вод в грунтовые, участвует в формировании речного стока, оказывается поставщиком для водных организмов элементов, выносимых из почвы водными потоками...

Роль почвы в жизни атмосферы также внушает уважение, ибо она во многом определяет газовый состав воздушной оболочки и содержание в ней водяного пара. Подробно функции почвы описаны в специальных книгах и брошюрах. Поэтому здесь не будем останавливаться на их детальной характеристике, а подчеркнем лишь весьма существенное положение: экологическое значение почвы далеко выходит за рамки только обеспечения растений элементами питания, поскольку у почвы не одна, а множество экологических ролей. В связи с этим любой компонент наземной экосистемы или биосферы в целом, так или иначе связан с почвой, в той или иной форме зависит от нее. А потому, воздействуя на почвенный покров, мы невольно затрагиваем и другие составляющие природного комплекса. Это особенно важно учитывать в сельском хозяйстве, в котором широко внедряются интенсивные формы производства.

Но не только в биосфере почва – «мастер на все руки». Она и по отношению к людям не осталась «узким специалистом», участвующим лишь в выращивании сельскохозяйственной продукции. Разностороннюю пользу приносит почва при взаимодействии человека с природой. Здесь почва задействована не только в ежегодном воспроизводстве сельскохозяйственного и древесного сырья, она старательно питает вырастающее на ней ягоды, грибы, орехи, а также лекарственные травы. Например, 100 км² экосистем Севера располагают только запасами брусники более 400 тыс. тонн, причем заготавливаются лишь 0,13 тыс. тонн, то есть всего 0,03%.

Почва, кроме того, выступает в качестве важнейшего, наиболее удобного жизненного пространства. Не случайно жилые и хозяйственные постройки при прочих равных условиях стремятся разместиться по горизонтали – по почве, а не подниматься слишком над ней в воздушную среду и не заглубляться чрезмерно в грунтовую толщу, поскольку это менее надежно и более дорого. Так или иначе, но почва, несмотря на свою скромную мощность, несмотря на то, что это, по существу, лишь тонкая поверхностная пленка Земли, исторически оказалась узлом связей природных процессов, а также общества и окружающей среды. Последний аспект нашел свое отражение в выделении группы этносферных функций почвы (схема 1).

Исключительная полифункциональность биокосной почвы с неизбежностью ставит вопрос: а как ведут себя в этом отношении другие биокосные объекты, а также объекты косной (неживой природы) и биологические системы – живые организмы?

Поиск ответа приводит к доказательному выводу о том, что полифункциональность – универсальная черта систем мира. Так, если рассмотреть работу биокосной гидросферы и атмосферы на общее благо планеты, то выяснится четкая полифункциональность и этих образований. Например, водная оболочка Земли во взаимоотношениях с другими геосферами планеты весьма многогранна в своей деятельности. Прежде всего, она определяет существование мира живых организмов Земли, контролирует ведущие атмосферные явления, определяет содержание и направленность многих геохимических процессов, зарождает и движет почвообразование, оказывается незаменимым ресурсом для человечества.

У косных систем природы также множество ролей. Так, если рассмотреть неорганические компоненты каменной оболочки, составляющие основную ее часть, то их функциональная многозначность также не вызовет сомнений: они и основной источник вещества для биосферных процессов и узловое звено в энергетике и динамике Земли, и кладовая многочисленных минеральных ресурсов.

Важно также подчеркнуть, что принципы полифункциональности выполняются не только на глобальном уровне, но и на всех более низких уровнях, включая ограниченные в пространстве природные образования (почвенные горизонты, минералы, отдельные живые организмы, ткани и клетки). Например, если рассмотреть отдельный организм животного, то действие закона полифункциональности проявится, прежде всего, в работе различных его органов и будет во многих случаях неожиданным для познающего субъекта, обремененного монофункциональным восприятием. Показательны в этом отношении данные по поводу назначения скелета высших животных, освещенные Б.С. Касавиной и В.П. Горбенко в книге «Жизнь костной ткани»: «До недавнего времени считали, что скелет выполняет функцию механическую, то есть является опорой тела и способствует передвижению. Отсюда произошел термин «опорно-двигательный аппарат». Но в последнее время установлено, что скелет выполняет и другие важные для жизни функции. Прежде всего, он активно участвует в обмене веществ, в частности, в поддержании на определенном уровне минерального состава крови. Костная система является мощным депо неорганических соединений и служит буфером, стабилизирующим ионный состав внутренней среды». (с.9)

Особый интерес, конечно, вызывает проявление закона полифункциональности в жизни людей, как природно-социального феномена. К сожалению, поскольку изученность самого человека оказалось куда более чем скромной, мы можем обозначить лишь общие контуры его основных жизненных функций (схема 2).

Повышенную дискуссионность вызывает определение природных (биологических) функций мыслящего существа, которые на сегодня поняты явно недостаточно.

Это объясняется во многом пренебрежением к биологической основе человека, принижением его чувственного начала. Показательно в этом отношении выделение западноевропейским философом Кьеркегором трех сфер существования человека: эстетической, этической и религиозной. Первая сфера, уходящая в чувственное восприятие мира, рассматривается им как заведомо более низкая и подчиненная по сравнению с двумя другими.

В отечественной философии и науке недооценка вклада природной основы человека в общее его бытие проявилась остро и настойчиво. Это, в частности, убедительно показано в работе И. В. Грушина «Социальная значимость биологической индивидуальности» (1992), где обращается внимание на то, «что ложно понимаемые одно время установки на борьбу с биологизаторством имели следствием фактическое исключение из социально-философской концепции индивидуальности человека биологического аспекта» (с.2). Такое исключение весьма отрицательно сказалось

на образовании, воспитании, организации физической культуры, нормировании биологического потребления и др.

Главный вывод работы Грушина сводится к следующему узловому положению: биологически полноценное бытие человека возможно лишь при условии удовлетворения присущей индивидууму потребности в осуществлении генетической программы, потребности в формировании и нормальном функционировании адекватно генотипу морфофизиологического статуса, потребностей в соответствующей данной индивидуальности экологической ниши, потребностей в реализации индивидуального стереотипа поведения.

Ясно, что данные потребности получают свое воплощение в ходе осуществления человеком своих жизненных природных функций, включающих в себя поддержание инстинкта сохранения жизни, защиту от факторов разрушения здоровья, воспроизведение потомства, инстинктивную ориентацию на щадящее потребление даров природы и др.

Последняя позиция требует специального пояснения, поскольку бессознательная ориентация нормального человека на щадящее использование природных ресурсов оказывается одной из центральных его естественных функций.

Известно, что в мире животных, куда входит как биологический вид и человек, достаточно строго выдерживается принцип рационального потребления необходимых средств жизнеобеспечения, что позволяет сохранять исторически сложившиеся круговороты вещества и энергии в природе. Такая настроенность на экологически сбалансированное сосуществование закодирована, прежде всего, в генотипе животных. Биологически полноценный человек не является в данном случае исключением, но инстинктивное сбережение естественной среды обитания у него обнаруживается в специфической, в основном чувственной форме через врожденную любовь к природе, жалость к братьям меньшим, попавшим в беду и др. Именно подспудное единение с природой оказывается мощнейшим стимулом в борьбе за ее сохранение, в чем не мало людей, участвующих в зеленом движении, видят одно из основных своих жизненных назначений. И не случайно, когда в нашей стране развернулось движение против переброски северных рек на юг, решающий вклад в отмену проекта переброски внесли выступления тех, кто в своих доводах опирался, прежде всего, на общие соображения гуманного отношения к окружающей среде, а не на цифровые расчеты экономической выгоды.

В результате гуманистические доводы писателей, деятелей культуры, прогрессивных ученых оказались убедительнее математических доказательств перебросчиков.

Генетически запрограммированные установки на союз с природой внешней и внутренней (собственным организмом) закрепляются и во многих социальных функциях человека, являющихся в ряде случаев продолжением его естественных функций (схема 2). В этой связи следует отметить все более усиливающийся нравственный аспект социальной экологии, что свидетельствует о явном программировании обществом своих индивидуумов на решение главной задачи современности – спасение естественной среды обитания человечества.

Однако экологизация массового сознания землян и предотвращение за счет этого экологической катастрофы дается с очень большим трудом, что связано, прежде всего, со сложностью проблемы, ее комплексным, противоречивым характером. Необходима не только переориентация нравственного сознания людей, о чем справедливо говорит М. Букчин, А. И. Садовский и др., но и одновременное решение многих других задач. Очень емко данную мысль выразила Индира Ганди: «Я верю, что жизнь и мир - едины. Все проблемы среды обитания тесно переплетены. Демографический взрыв, нищета,

невежество, болезни, загрязнение планеты, накопление ядерного, биологического и химического оружия – все это создает порочный круг. Каждая из этих проблем важная и требует неотложного решения, но решать их поочередно – пустое дело». [2].

И по ходу решения этих взаимосвязанных задач необходимо постоянно помнить о полифункциональности различных процессов и явлений, в том числе самого человека, которому предопределены не только экологические, но и другие функции, также нуждающиеся в своем осуществлении (схема 2).

В заключение целесообразно остановиться на теоретическом и прикладном значении закона полифункциональности.

Даже из краткого освещения рассматриваемого вопроса ясно, что универсальный характер закона полифункциональности делает весьма актуальным его использование в теоретических и прикладных работах, касающихся эволюционирующих систем различного класса и уровня сложности. История учит, что там, где полифункциональность игнорируется, человеческие деяния оказываются не эффективными или ущербными. Наиболее поучительный пример преподносит нам история освоения и использования почвенного покрова Земли. Посчитав почву обязанной служить человеку и увидев в ней фактически одну функцию – источника элементов питания для растений, человечество уже разделалось с 4 млрд. га плодородных почв и связанными с ними биоценозами, превратив их в антропогенные пустыни, разрушив эрозией, застроив различными сооружениями и подвергнув другими процессами деградации. Если учесть, что на 1.5 млрд. га пахотных земель мира почва обожжена удобрениями и непрерывно ранится обрабатывающими орудиями, то можно констатировать: около 40% почвенного покрова планеты выключилось из естественноисторической биосферы, что повергло ее в глубокий экологический кризис.

Вот нам и урок монофункционального подхода к центральному ресурсу Земли – почве. За другим примером далеко ходить не надо. Достаточно вспомнить о широком распространении в медицине в недавнем прошлом мнения о том, что такой орган, как железы, не играют особой роли в организме человека и потому в случае их длительного заболевания их можно смело удалять в плановом порядке без серьезного лечения. Многочисленные отрицательные последствия необоснованного удаления желез известны – пациенты, лишившись важнейшего противоинфекционного барьера, оказывались в плену хронического бронхита.

Отчетливо выраженное прикладное значение закона полифункциональности побуждает к специальному анализу различных его аспектов и интегрированному осмыслению в связи с действием других общих природных закономерностей.

Представляет также интерес оценка полифункциональных изменений сложных эволюционирующих систем с учетом базовых положений синергетики. Так, часто наблюдаемая гипертрофия какой-либо одной функции сопровождается фактически приближением системы к точке бифуркации с потерей ею устойчивости в связи с нарушением сбалансированности в реализации других функций.

В случае перехода системы на другой уровень организованности и функционирования следует ожидать усиление явлений диссипации энергии системой. Следовательно, для сохранения системы на новом уровне функционирования она будет нуждаться в «закачке» дополнительных доз энергии извне. Если этого происходить не будет, система может подвергнуться деградационному изменению вплоть до полного разрушения.

Так показательны попытки односторонней усиленной эксплуатации почв в целях повышения урожайности сельскохозяйственных культур без соответствующих затрат на поддержание и повышение почвенного плодородия. Такие попытки заканчивались,

Почва как многофазная сложная система

как правило, ослаблением большей части экофункций почв и, в конечном счете, их деградацией и разрушением.

Аналогичная картина будет наблюдаться и у биосоциальных систем в случае гипертрофии какой-то их функции без соответствующих компенсаторных затрат. Например, человек, решивший принципиально усилить какой-то вид своей деятельности, должен заблаговременно позаботиться о дополнительных ресурсах своего жизнеобеспечения, чтобы не столкнуться с проблемой общефункциональной разбалансировки своего повседневного бытия и досрочного ухода с арены активной жизни.

Схема №1 Основные экологические функции почвы

Категории и виды функций почвы			
Биогеоценотические	Литосферные	Атмосферные	Общебиосферные и этносферные
Жилище, механическая опора для живых организмов. Депо семян.	Биохимическое преобразование верхних слоев литосферы	Трансформация поверхностных вод в грунтовые	Среда обитания, источник вещества для организмов суши, фактор биологической эволюции и этногенеза
Источник и депо элементов питания, влаги, энергии	Источник вещества для образования минералов и пород	Регулирование речного стока, фактор биопродуктивности водоемов	Условие нормального функционирования биосферы и этносферы, планетарный узел связей
Регуляция состава, структуры и динамики, «память» БГЦ (биогеоценоза)	Передача аккумулированной солнечной энергии в глубокие части литосферы	Поглощение и отражение солнечной радиации	Обеспечение воспроизводства сельскохозяйственного и лесохозяйственного сырья
Аккумуляция и трансформация вещества и энергии БГЦ, санитарная функция	Защита литосферы от чрезмерной эрозии	Регулирование влагооборота, газового режима и состава атмосферы	Фактор формирования полезных ископаемых и энергетических ресурсов
Почвенное плодородие	Условие нормального развития литосферы	Источник твердого вещества и микроорганизмов атмосферы	Место для поселений, промышленных и дорожных объектов; рекреационная функция

Схема №2 Жизненные функции человека

Природные функции		Социальные функции	
индивидуальные	видовые	личные	Общественные
Поддержание инстинкта сохранения	Воспроизведение популяций	Соблюдение нравственно-этических требований	Участие в созидательной деятельности общества

Почва как многофазная сложная система

Защита от факторов разрушения здоровья	Сохранение и защита популяций	Разумное использование и оптимизация здоровья	Участие в сохранении и развитии этноса, к которому принадлежит личность
Предохранение от угрозы уничтожения	Участие в биогеохимических круговоротах	Развитие познавательных и других способностей	Личный вклад в бесконфликтное сосуществование различных этносов
Воспроизведение потомства	Ориентация на щадящее потребление природных ресурсов	Определение смысла своей жизни и его реализация	Вклад в сохранение окружающей среды
Сохранение и выращивание потомства	Фактор биологической эволюции	Воспитание детей и забота о родных и близких	Активное участие в восстановлении и поддержании благополучия биосферы и общества

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Никитин Е.Д. Жизнь и будущее почв. М.: Знание, 1979. 48 с. 2.
2. Никитин Е.Д. Функционально-динамическое почвоведение и землеведение. М., 2011.

SOIL AS A MULTIPHASE COMPLEX SYSTEM

Ivanov O.P., candidate of geological sciences, v.n.s.,ivanovop.2007@yandex.ru

Annotation. The polyfunctionality of complex evolving systems is analyzed. It is shown that not only living objects, but also various stagnant, biocontinuous systems have numerous functions in the general natural organism. The functions of the systems of dual essence – the biocosal soil and the biosocial person, which turn out to be the basic objects of studying the polyfunctionality of the systems of the existing world, turned out to be especially numerous.

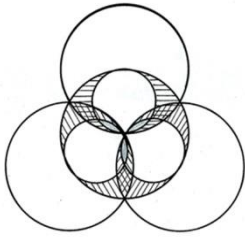
Keywords: multifunctionality, soils, complex systems, stagnant systems, living systems

REFERENCES

1. Nikitin E.D. Life and future of soils. Moscow: Knowledge, 1979. 48 p. 2.
2. Nikitin E.D. Functional-dynamic soil science and geoscience. M., 2011

УДК 538.9

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗОН СТРУКТУРНО-ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДОВ



Иванов О.П., канд. геол.-мин. н., в.н.с. МЗ МГУ имени М.В. Ломоносова., **Рукин М.Д.**, д. тех. н. МЗ МГУ имени М.В. Ломоносова, ivanovop.2007@yandex.ru

Аннотация. Проведен анализ роли бифуркационных или структурно-фазовых переходов в эволюции сложных систем с помощью феноменологического алгоритма и формализованных понятий адаптивности и устойчивости. Показано, что алгоритм позволяет оценить степень гармоничности перехода и устойчивости нового состояния. Знание особенностей наиболее кризисных зон структурно-фазовых переходов дают возможность малыми энергетическими воздействиями изменить траекторию, темп и конечную цель эволюции различных опасных природных процессов, не допуская их развития до экстремальных состояний. Знание функциональной значимости таких «акупунктурных» точек эволюционных процессов, позволяет управлять ими с минимальными энергетическими затратами в целях превентивной защиты.

Ключевые слова: самоорганизация, сложные системы, структурно-фазовый переход, нелинейная динамика, хаотическое состояние

ВВЕДЕНИЕ

Работа посвящена анализу алгоритма структурно-фазовых переходов, чтобы выяснить его возможности для изучения особенностей самоорганизации динамических систем в неравновесных состояниях. Алгоритм анализа переходов разработан на основе исследований других сценариев перехода динамических систем к хаосу.

Впервые динамический хаос был изучен М.Фейгенбаумом на примере логистического уравнения Ферхюльста, где было показано, что периодические колебания в зоне перехода усложняются, обнаруживая последовательность с удвоением периода колебаний. Затем процесс перестает быть периодическим, приводя к полосам хаотического поведения (рис. 1,2).

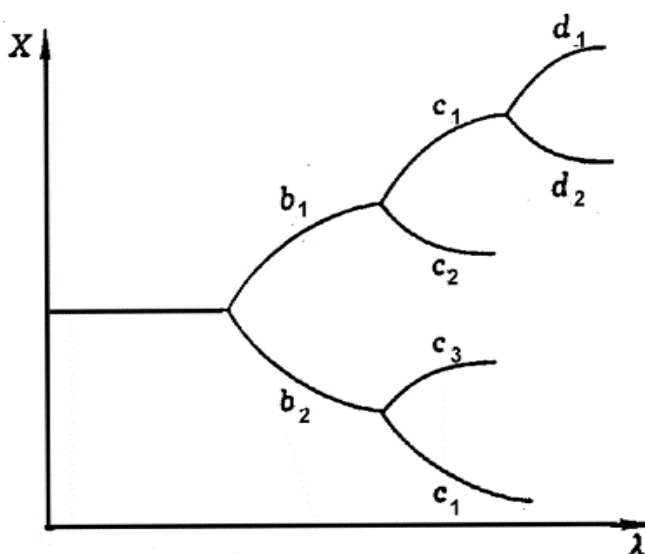


Рис.1. Показана последовательность бифуркаций при увеличении параметра λ удаленности от равновесного состояния [4]. X – параметр процесса; $b_1, b_2, c_1, c_2, c_3, c_4, d_1, d_2 \dots$ - новые устойчивые решения, возникающие в точках бифуркации после потери системой устойчивости. Самоорганизующиеся системы делают возможной адаптацию к доминирующему типу воздействий окружающей среды путем реализации последовательности переходов от одной точки бифуркации к другой.

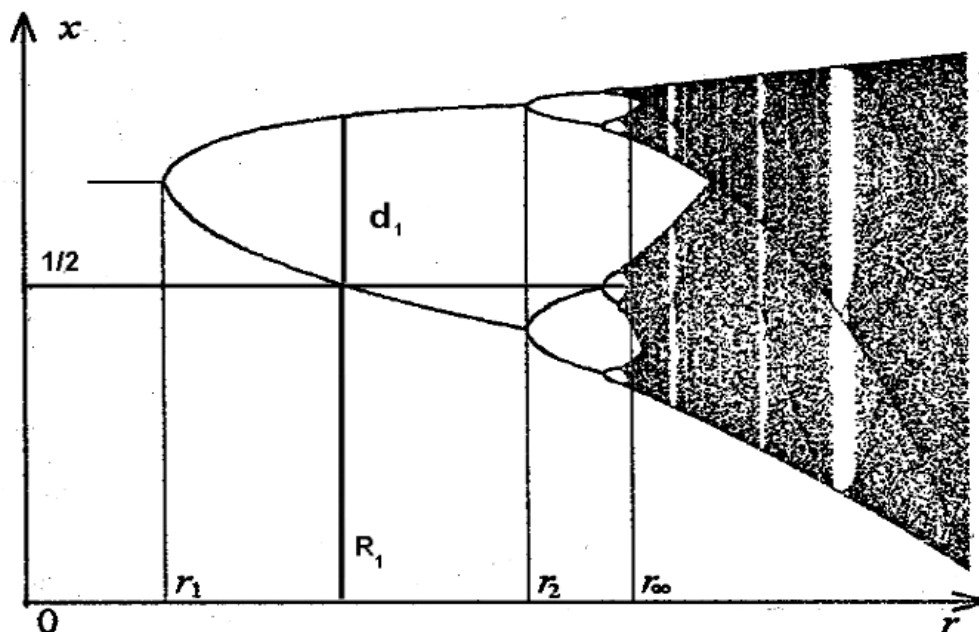


Рис.2. Показан переход системы в хаотический режим на завершающей стадии.

Рассматриваемый далее алгоритм входит в перечень методов нелинейной динамики. Теория нелинейных динамических систем берет свое начало с конца 18 века, когда Анри Пуанкаре (французский ученый - математик, физик, философ) в 1884 г. опубликовал серию работ под общим названием «О кривых, определяемых дифференциальными уравнениями», заложив математические основы ещё одного направления в неклассическом естествознании — нелинейной динамики, а в 1892 г. впервые сформулировал задачу о нелинейном взаимодействии трех космических тел (1892 г.). Но задача была решена только почти через столетие Григорием Перельманом. Тем не менее, интерес к нелинейному численному моделированию стал развиваться во многих разделах наук, например, за счет исследований в области теорий фазовых переходов (Ландау), теорий химической (Руденко А.П. (1960), динамической и термодинамической самоорганизации (Пригожин И.Р. (1962).

Конец 18, почти весь 20 век и начало 21 века знаменуют переход на нелинейное мышление по нескольким направлениям:

1. Это автоволны и автоколебания;
2. Теория нелинейных динамических процессов;
3. Теория динамического хаоса.

Первыми началась разработки теории автоколебаний и автоволн (А. Лотка 1910, Ван Дер Поль 1920. У. Брей в 1921 г. описал первую колебательную жидкофазную реакцию разложения пероксида водорода). Далее исследования Л.И.Мандельштама, А.А. Понтрягина, А.А.Витта, Н.М.Крылова, А.А.Андропова – до 1960 гг.). Еще позже С.П.Курдюмов и Е.Н.Крылов – анализ режимов с обострением.

К автоколебательным системам относились открытые системы, демонстрировавшие в состояниях неустойчивости способность к установлению незатухающих волновых колебательных движений. Существенно то, что параметры таких колебаний не были связаны с начальными условиями и зависели от самой системы (выход на них происходил из большого диапазона начальных состояний).

Математическим образом автоколебаний служит предельный цикл Пуанкаре–замкнутая изолированная траектория в фазовом пространстве, отвечающая периодическому движению или осциллятор Ван дер Поля.

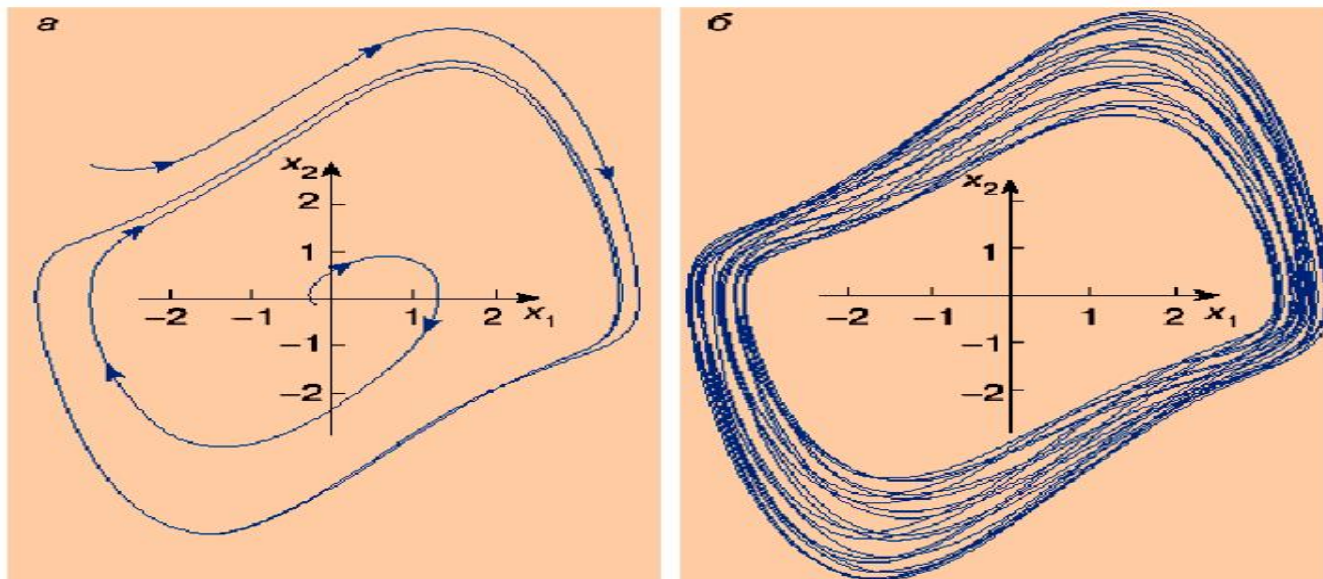


Рис.2. Схемы предельного цикла Пуанкаре в зоне перехода.

В 1952 г. разработаны нелинейные структуры А.Тьюринга; стационарная двумерная структура нелинейной динамики, возникающая вследствие волновых свойств реакционно-диффузионных сред (нелинейное уравнение диффузии, уравнение Колмогорова-Петрова-Пискунова (КПП)).

Важнейшие методические модели и теории середины 20 века - это Структуры Тьюринга, уравнение Гинзбурга-Ландау, Брюсселятор И.Р. Пригожина.

Немного раньше Б.П.Белюсов (1964 г), А.М. Жаботинский создают теорию химических автоколебаний. Более поздние исследования показали нелинейность переднего фронта таких волн.

Для динамических систем исследуются сложности фазовых траекторий и создаются новые подходы рядом ученых – А.Н.Колмогоров (1954), Д.К.Мозер (1962), В.И.Арнольд (1963). Для этого исследуется функциональная зависимость между временем и положением в фазовом пространстве каждого элемента системы.

Почти одновременно идет развитие подходов к анализу нелинейности турбулентности:

1950 г. – Ландау Л.Д. и Хопф описывают возбуждение вторичных осцилляций через каскады бифуркаций. Л.Д. Ландау опубликовал работу «К теории турбулентности» (1944). В ней Ландау рассмотрел возникновение турбулентности при увеличении числа Рейнольдса (основного управляющего параметра в задачах гидродинамики).

По сценарию, предложенному Ландау, первичное течение теряет устойчивость относительно колебательного возмущения, воздействующего на течение с некоторой частотой, возникшее осциллирующее вторичное течение, в свою очередь, теряет устойчивость при воздействии на него другого колебательного возмущения с другой частотой. В итоге после многочисленных бифуркаций, которые сопровождаются возникновением всё новых и новых частот, образующих иррациональные отношения, возникает сложный динамический режим — турбулентность. Такую картину турбулентности принято называть сценарием Ландау–Хопфа.

В 1971 г. Захаров и Шабат создают теорию уединенных волн (солитонов).

Солитон — структурно устойчивая уединённая волна, распространяющаяся в нелинейной среде. Солитоны ведут себя подобно частицам.

1960 г. – происходит осознание возможности описания неупорядоченных структур системами простых уравнений и в 1964 г. создается качественная теория динамических систем (А.М.Шарковский).

В 1970 г. Э.Лоренц исследует фазовую траекторию аттрактора для описания атмосферы, а Рюэль и Таккенс – для турбулентности;

1978 г. М.Файгенбаум создает 1-й сценарий перехода динамических систем к хаосу через удвоение периодов.

Хаос детерминированный – сложный режим, возникающий в нелинейной динамической системе вследствие её внутренней неустойчивости — система действует не как усилитель внешнего шума, а как генератор хаотического режима.

1990 г. – создан генератор с хаотическим аттрактором Анищенко-Астахова.

2000 г. – экспериментальное доказательство сценария хаотизации (М.М. Слинко, А.А.Ухарский, Н.Егер).

Утверждается понятие Аттрактор – это такие состояния системы, через которые она стремится попасть в зону центра из любого своего состояния (attract – это "притягивать", "привлекать"). Хороший пример – рулетка. Как бы крупье не бросал шарик, он в итоге прибьётся в одну из 38 лунок. Вот эти лунки и будут аттракторами для системы колесо – шарик.

Аттракторы вида узел, фокус и предельный цикл сейчас являются математическими образами установившихся режимов в динамических системах.

В 2002 г. Магницкий Н.А., Сидоров создают универсальный сценарий перехода к хаосу в системах дифференциальных уравнений с диссипацией, включая уравнения с запаздыванием и параболические системы уравнений. Начало (первые два-три периода) - это сценарий Файгенбаума, далее субгармонический каскад Шарковского до 3-го периода и далее гомоклинический каскад бифуркаций устойчивых циклов. Для систем размерностью >3 участвуют двумерные торы.

Все это становится основой для развития нелинейной динамики и развертывания ряда междисциплинарных приложений и междисциплинарных направлений.

ИНФОРМАЦИОННОСТЬ ЗОН СТРУКТУРНО-ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДОВ

Традиционно информационный подход в живой и неживой природе связан с рассмотрением системы в виде источника, канала и приёмника различных информационных воздействий. Если сигналы приносят информацию, то, следовательно, существует информационное взаимодействие [3]. Информация, содержащаяся в структурах или процессах, изменяет состояние пространства, т.е. порождает информационное поле. Максимальное изменение пространственно-временных структур происходит именно в зонах структурно-фазовых переходов, где система обладает наиболее сильной неравновесностью.

ЯВЛЕНИЕ ПЕРЕМЕЖАЕМОСТИ ЗОН ПЕРЕХОДОВ

В [8] отмечено определяющее влияние фрактальных вариаций на эволюцию самоподобных биологических структур. Известно, что все биологические системы относятся к самоорганизующимся открытым неравновесным системам, для которых характерна высокая упорядоченность. В таких системах стабилизация самоорганизующихся состояний требует наличия флуктуаций (в равновесных системах флуктуации играют дезорганизующую роль, т.к. приводят к развитию случайных процессов). Действительно в морфологии обнаружен широкий круг фрактальных структур на всех уровнях иерархии организма и наличие динамического хаоса. Позже Помо и Манневиль (Pomeau, Manneville, 1979) исследуют переход к хаосу через перемежаемость [рис.1].

Под перемежаемостью принято понимать такой вид сигнала, в котором случайным образом чередуются длинные регулярные (ламинарные) фазы (так называемые окна) и относительно короткие нерегулярные всплески. Такие сигналы обнаруживаются во многих экспериментах.

Замечено также, что число хаотических всплесков нарастает при увеличении внешнего параметра, а это означает, что перемежаемость представляет собой непрерывный переход от регулярного движения к хаотическому. Механизмы этого явления предложен Помо и Манневилем (Pomeau, Manneville, 1979). Перемежаемость 1-го рода — следствие обратной касательной бифуркации (рис.1). Переход к хаосу через перемежаемость обладает универсальными свойствами и представляет собой один из редких примеров точного решения линеаризованных ренормгрупповых уравнений.

Перемежаемость есть универсальное объяснение происхождения фликкер-шума в нелинейных системах. Помо и Манневиль так объяснили это поведение.

Устойчивым колебаниям соответствует устойчивая неподвижная точка на отображении Пуанкаре. Эта точка становится неустойчивой. Так как это может произойти лишь тремя путями (во всех трех случаях модули собственных значений линеаризованного отображения Пуанкаре больше единицы), то принято различать три рода перемежаемости.

Типичные сценарии перехода к хаосу.

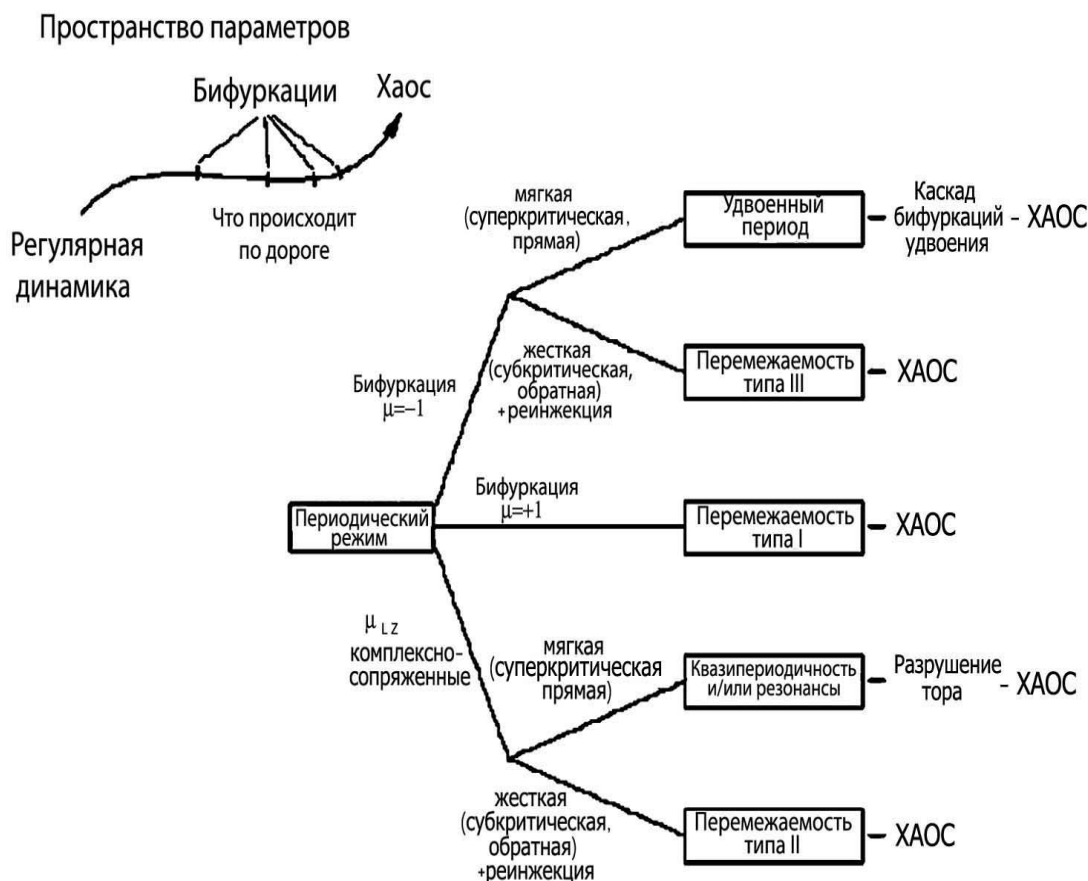


Рис.1. Основные сценарии перехода к хаосу состояния.

Несколько позже Вак Р. и др. [9] разработали модель “самоорганизующейся критичности”.

Согласно этой модели, пребывание самоорганизующейся системы вблизи критической точки определяет ее чувствительность к случайным возмущениям, которые

распространяются в системе подобно “эффекту домино”, захватывая пространственные области, расширяющегося масштаба.

ФРАКТАЛЬНОСТЬ И ФЛИККЕР-ШУМЫ ЗОН ПЕРЕХОДА

Проведенный численный эксперимент показал, что управляемая лавинно протекающим процессом система эволюционирует к новому более высокому организованному состоянию. Для этого нового состояния характерно, что пространственные и временные характеристики обладают свойствами масштабной инвариантности, фактически фрактальности. При этом пространственно неуправляемый массив элементов самоорганизуется в систему статистически самоподобных кластеров, а случайные некоррелированные возмущения - в фрактальные флуктуации со спектром фликкер-шума $1/f^\beta$, где f - частота, β - численный параметр ($0,5 < \beta < 2$). Шумы со спектром $1/f^\beta$, отражают характерный для синергетических систем режим хаотической нелинейной динамики.

В биологических системах фрактальные флуктуации проявляются на различных масштабных уровнях, а $1/f^\beta$ флуктуации, как иерархически организованный сигнал, обеспечивает быстрое взаимодействие различных структурных уровней организации системы (подсистемы) с потоком внешней информации [6]. Фрактальная размерность сигналов, как новая характеристика, может быть оценена по соотношению [8]:

$$D=(5-\beta)/2 \quad (1)$$

Из (1) следует, что низкочастотные импульсы $1/f^\beta$ при $\beta=1$ отвечают неравновесным фазовым переходам, сопровождающимся изменением типа фракталов - переход от плоских фрактальных структур к объемным. Поэтому низкочастотные шумы, отвечающие $1/f$, являются наиболее информативными. С точки зрения М.В. Быстрова [1], “закон $1/f$ ” и самоорганизация описывают по-разному единый и постоянно идущий в природе процесс созидания и творчества. При этом отмечается единственный универсальный принцип организации пространственно-временного континуума и объединения всех его динамических составляющих, связанный с золотой пропорцией.

С.Ф.Тимашовым [7] закономерности эффектов шума положены в основу прогнозирования поведения нелинейных динамических систем на различных пространственно-временных уровнях. *Эти возможности связаны с универсальными свойствами фрактальных структур, самоорганизующихся вблизи неравновесных фазовых переходов в различных системах.* Фрактальные структуры обладают многими свойствами живой клетки, т.к. они:

1. инвариантны к анализируемому объекту;
2. способны к самоподобному размножению на различных пространственно-временных уровнях;
3. способны передавать информацию системе о нарушении устойчивости своего структурного состояния;
4. обладают свойствами адаптации к внешнему воздействию;
5. способны к самоуправлению путем перестройки структуры в критических точках;
6. обладают памятью о прошедших структурных преобразованиях.

Параллельно идет развитие различных междисциплинарных подходов и направлений. Основные междисциплинарные теории динамических систем следующие.

1. Теория саморазвития открытых каталитических систем. 1964, 1969 гг. - А.П. Руденко – установление 2-х типов самоорганизации (континуальная для индивидуальных микросистем ЭОКС и когерентная – аналог Хакеновской для макросистем). ЭОКС=ЭКС+центры катализа+комплекс постоянных внешних условий.

2. Теория катастроф. Её начало от теории бифуркаций динамических систем Пуанкаре и Андронова. Автор – Арнольд В.И. (1990).

3. Несколько раньше в 1955 и 1970 г. создается **теория особенностей гладких отображений Уитни и теория бифуркаций тома** (1959), Дж. Мазера (1968), теория катастроф В.И. Арнольда (1990).

4. Теория самоорганизации гиперциклов. Авторы - М. Эйген и П.Шустер (1982 г.) – концепция образования упорядоченных макромолекул из неупорядоченного состояния на основе матричной репродукции и естественного отбора.

5. Искусственная жизнь - игровые автоматы (Цетлин, 1969), самовоспроизводящиеся автоматы (Нейман, 1971), компьютерное моделирование эволюции (Кулагина, Ляпунов, 1969), теория НК автоматов С.Кауфмана (1986 -1991). Это сеть из N булевых логических элементов. Впервые получено представление о самоорганизации генного арсенала и путях его развития в рамках эволюции. Пролог к новому пониманию теории эволюции Биосферы.

6. Аутопоэзис – (1972, Матурана 1995; Франсиско Варела 1995, и Рикард Урибе 2001). Это обобщенный организационно замкнутый процесс для живых организмов как динамической автономии. Это сеть самовоспроизводства элементов, составляющих данную сеть.

7. Анализ структурно-фазовых переходов с помощью матрицы корней обобщенного уравнения золотых сечений – В.С. Иванова – 1992 г.,

8. Фрактальный анализ реакции природных сред на сейсмические воздействия — Иванов О.П., Иванова В.С. -2003 г.

Данная работа – это продолжение развития этого подхода. Работа посвящена анализу алгоритма структурно-фазовых переходов. Поясним почему:

С позиций математического подхода зона структурно-фазовых переходов – это зоны бифуркаций или ветвлений решений. С позиций физического подхода в таких зонах исследуются фазовые переходы 1-го и 2-го рода, в которых резко меняются свойства вещества или процесса в рамках изменяющихся параметров. С наших позиций более широким является понятие структурно-фазовых переходов, где учитываются все пространственно-временные и функциональные изменения. Причины – неравновесное состояние в зоне фазового перехода и высокая чувствительность к внешним воздействиям. Параметры порядка при физических фазовых переходах – температура, давление, характеристики электромагнитных полей. Флуктуации в этих зонах играют особо важную роль, так как за счет них система существенно расширяет спектр поиска резонансных частот для подкачки энергии из вне на внутреннюю перестройку. Нелинейное взаимодействие флуктуаций обеспечивает фрактальность зоны перехода. Более того, согласно Л.Д. Ландау (1937), при фазовых переходах второго рода происходит изменение симметрии: выше точки перехода система обладает более высокой симметрией, чем ниже точки перехода. Симметрия появляется и исчезает скачком. Мы вводим понятие структурно-фазовых переходов - это зоны усложнения систем за счет появления новых подсистем в структуре системы. Пример — появление новых видов при эволюции Биосферы за счет новых типов клеток.

Предложенный здесь и ранее (2003 г.) феноменологический алгоритм позволяет описать факт вхождения сложной системы в структурно-фазовый переход и оценить ситуацию прохождения и качество того, что получилось на выходе. Современная теория

динамических систем оперирует рядом сценариев перехода системы из равновесного состояния в неравновесное хаотическое состояние, но она абсолютно бессильна в понимании принципов выхода из него, тогда как любая даже простейшая природная система легко находит такой выход за счет систем обратной связи. Проблема заключается в том, что ни современная синергетика, ни какая-либо другая междисциплинарная теория не подошли к пониманию того, как дополнить эволюционные уравнения функциями самоорганизации и это превращает теорию хаоса в чисто математический эксперимент. Проанализируем ситуацию хаотизации, чтобы оценить конструктивную роль предлагаемого далее алгоритма.

Поведение простых хаотических систем можно описать простой итерационной нелинейной зависимостью:

$$x_{n+1} = f(x_n, \lambda) \quad (2)$$

В 1971 году Н.Метрополис, М.Стайн и П.Стайн (теоретический отдел Лос-Аламосской лаборатории) открыли важное свойство итераций: при изменении параметра характер поведения итераций не зависит от конкретного вида итерируемой функции [10]. В частности, у большого класса функций при увеличении параметра происходит разрушение прежде устойчивого цикла и замена его циклом с удвоенным периодом. Это удвоение периода продолжается до возникновения хаотического поведения.

Прологом к изучению таких систем явилось уравнение П.Ф.Ферхюльста (1845 г.) для описания связи между численностью популяции и обеспечением пищей в пределах ниши ее существования. Уравнение, названное потом в биологии логистическим, имело вид:

$$N_{n+1} = N_n + \alpha N_n - \beta N_n - \gamma N_n^2 \quad (3)$$

Здесь α - коэффициент рождаемости, β - коэффициент смертности, γ - коэффициент смертности, связанный с ограниченностью пищевого ресурса. Выбор квадратичной зависимости связан с недостатком ресурсов, порождающим внутривидовую борьбу, интенсивность которой пропорциональна количеству возможных контактов между отдельными особями. Количество возможных парных контактов соответствует N^2 . Не все контакты заканчиваются летальным исходом, что и учтено коэффициентом γ . Во времена Ферхюльста еще не было понятия самоорганизации, и поэтому совершенно очевидно, что коэффициент γ дискретен и не в состоянии обеспечить обратную связь и **самоорганизованный выход системы** из математически надуманной ситуации. Тем не менее, здесь все же есть часть истины. Данная нелинейная модель может быть упрощена следующими заменами:

$$x = N(\gamma/\lambda), \text{ где } \lambda = 1 + \alpha - \beta; \quad 0 \leq \alpha; \quad \beta \leq 1; \quad 0 \leq x_n \leq 1.$$

В итоге мы получаем аналог дискретного отображения, так как прирост популяции происходит в дискретные моменты времени:

$$x_{n+1} = \lambda x_n (1 - x_n) \quad (4)$$

При разных значениях параметра график функции $f(x, \lambda) = \lambda x (1 - x)$ представляет собой квадратичную параболу:

$$\lambda x(1-x) = -\lambda \left(x - \frac{1}{2}\right)^2 - \frac{1}{4} \quad (5)$$

Файгенбаум исследовал итерационные свойства этого отображения и установил, что *поведение* таких хаотических систем отвечает сценарию удвоения периода $T \rightarrow 2T \rightarrow 4T \rightarrow \dots$. Скорость перехода определяется константой $\delta = 4,669\dots$. Суть таких переходов в том, что это как бы перебор или поиск новых зон резонанса или зон будущих дефектов, ибо трещиноватость в массиве пород при сейсмических воздействиях будет распространяться именно по ним.

Исследования показали, что переходы в точках бифуркации x_n^*/x_{n+1}^* носят самоуправляемый характер [5]. Одновременно здесь реализуется условие автомодельности:

$$x_n^*/x_{n+1}^* = (1/\lambda^*) 1/(1-x_n^*) \quad (6)$$

При $\lambda = \lambda^*$ возникает переход от упорядочения к хаотизации в зоне бифуркации. При $x_n = x_n^*$, отношение x_n/x_n^* характеризует границы изменения управляющего параметра, вплоть до которых, величина $\lambda = \lambda^*$ сохраняется постоянной.

Обозначим: $1/\lambda^* = \Delta_i$. и назовем это мерой устойчивости системы, а параметр $1/(1-x_n^*)$ - как способность системы к перестройкам при $1/\lambda^* = \text{const}$.

В свою очередь для иерархического ряда иррациональных чисел функция самоподобия может быть представлена в виде степенной зависимости:

$$F = \Delta_i^{1/m}, \quad (7)$$

где m – двоичный код.

При $\Delta_i = \text{const}$ изменения происходят в последовательности $m=1,2,4,8,\dots,m^*$, где m^* является порогом самоподобной связи Δ_i и m .

Введем понятие адаптивности как итога перехода в виде величины скачка управляющего параметра, установившегося после прохождения точки бифуркации [3]:

$$A_m = \lambda_i^* / \lambda_{i+1}^* \quad (8)$$

Рассмотрим возможность оценки состояния системы, прошедшей через переход, сравнив его с решениями обобщённого уравнения золотой пропорции (8):

$$X^{P+1} - X^P - 1 = 0 \quad (9)$$

Известно, что корни уравнения 9 связаны следующей зависимостью:

$$d_p - 1 = \Delta_i \quad (10)$$

Исследование зон структурно-фазовых переходов

Тогда спектр корней Δ_i (в соответствии с $i=1,2,3,\dots$) выглядит следующим образом: 0.618; 0.465; 0.380; 0.324;..., 0.213; при $p = 1, 2, 3, 4 \dots$ [4]

Вышеприведенный спектр нами был принят в качестве порога устойчивости структур. Важно отметить, что $1/\delta$ вплоть до третьего знака отвечает восьмому корню обобщенной золотой пропорции $1/\delta=1/4,669=0,213$, а динамическая устойчивость периодических систем контролируется величиной обратной связи и соответствует первому корню обобщенной золотой пропорции $\Delta_i = 0,618$. Системы с $0,213 \leq \Delta_i \leq 0,618$ являются переходными. На наноуровне такой процесс включает самоподобное изменение связи критериев Нуссельта и Рейнольдса при изменении кода обратной связи.

В работе [4] установлено, что в точках бифуркаций функция самоподобия отвечает самоуправляемому синтезу структур. Это позволило условие такого синтеза структур представить в виде базового алгоритма:

$$A_m = \lambda_i^* / \lambda_{i+1}^* = F = \Delta_i^{1/m} \quad (11)$$

Важно отметить, что данный алгоритм является феноменологическим. Он связывает величину скачка параметров порядка или управляющих параметров в зоне структурно-фазового перехода со степенными преобразованиями корней уравнения обобщенного золотого сечения при завершившемся процессе, позволяя оценить степень достигнутой сложной системой адаптивности и устойчивости.

Данный алгоритм был табулирован (табл. 2), поскольку мера устойчивости и код адаптации являются инвариантными. Это позволяет тестировать систему, и определять смогла ли она сохранить после преобразования прежнюю симметрию или нет, т.е. определять условие $\Delta_i = \text{const}$ с ростом m .

Если сопоставить (8), (9), (11) и данные таблицы, то при $\Delta_i = 1/\delta$, где δ - постоянная Фейгенбаума и $m \rightarrow \infty$ отношение (11) является пределом адаптивности системы $A_m^{\text{max}} = 0,99$ (при $m \cong 128$) к структурным перестройкам [5,4].

		$F = \Delta_i^{1/m}$						
i	Δ_i	m						
		2	4	8	16	32	64	128
1	0.618	–						
2	0.465	0,68						
3	0.380	0,62	0,79					
4	0.324	0,57	0,75	0,87				
5	0.285	0,53	0,73	0,85	0,92			
6	0.255	0,5	0,71	0,84	0,92	0,96		
7	0.232	0,48	0,69	0,83	0,91	0,95	0,98	
8	0.213	0.48	0.68	0.82	0.91	0.95	0.98	0.99

Табл.2. Значения меры адаптивности A_m системы к нарушению симметрии, связанной с функцией самоподобия, мерой устойчивости симметрии (Δ_i) и кодом адаптации m системы к нарушению симметрии.

В последнее время получено множество данных, подтверждающих правомочность таких оценок. Роль золотых пропорций в моделировании гармоничной самоорганизации заключается, прежде всего, в том, что параметр порядка обобщенной золотой пропорции может характеризовать как свойства воздействий окружающей среды, так и свойства симметрии объектов, подвергаемых воздействиям [6]. Эта особенность обобщенных золотых пропорций позволяет рассматривать их проявления, например, в явлениях филлотаксиса, в качестве индикатора условий окружающей среды и в дальнейшем использовать эти свойства для управления процессами самоорганизации. Недавно показана взаимосвязь фигурных чисел, определенных Диофантом, с обобщенными золотыми пропорциями. Фигурные числа представляют результаты квантовых измерений и могут использоваться в качестве моделей как решетчатых, так и не решетчатых упаковок в пространствах произвольных размерностей. Часто при исследовании непрерывной величины применяется алгоритм поиска экстремума, реализующий метод золотого сечения. Доказано, что для определенных классов исследуемых функций таких как, алгоритмы поиска экстремума, основанные на числах Фибоначчи и золотом сечении являются оптимальными (Батищев А.И., 1975; Kiefer J., 1957). Пчелы, воспроизводя шестиугольные соты, затрачивают минимум энергии при строительстве жилища с определенной полезной площадью (Вейль Г., 1968).

Точно также минимум энергии затрачивают многочисленные природные объекты (растения, моллюски, позвоночные животные и т.д.) под воздействием окружающей среды в ходе морфогенеза. При этом соединительные ткани, отделяющие одни части растения или организма от других (листья растений, камеры раковин моллюсков, суставы позвоночных), располагаются в местах, обеспечивающих минимальные затраты энергии (или роста энтропии согласно принципу Н.Н.Моисеева) в процессе жизнедеятельности. Экономия энергии или энтропии в данном случае представляет существенный фактор в процессе эволюционного отбора. Логарифмическая спираль, соответствующая золотым пропорциям, широко используется в технике, например, при изготовлении профилей вращающихся ножей и фрез, зубчатых передач [2]. По логарифмической спирали образованы раковины моллюсков, расположены семечки в подсолнухе, чешуйки в шишках.

Данный алгоритм апробирован на ряде примеров: 1) усталостное разрушение сплавов; 2) процессы кристаллизации в открытой капле раствора в присутствии ультрадисперсных порошков; 3) каскадный способ передачи сейсмических взаимодействий в сплошной среде (см. ниже).

Каскадный способ передачи взаимодействий. Рассмотрена задача о передаче энергии упругих колебаний от очага землетрясения к поверхности [4]. Важнейшие показатели свойств грунта – радиусы изосейст. Изменение радиуса изосейст характеризует степень изменения сейсмического воздействия с расстоянием от эпицентра и может служить мерой устойчивости (реакции) грунта [4]. Универсальный алгоритм, можно модифицировать применительно к сейсмическим процессам в виде:

$$r_{n+1}^* / r_n^* = \Delta_i^{1/m} \quad (11)$$

где r – радиусы изосейст, а Δ_i – степень устойчивости.

Алгоритм опробован для 15 крупных землетрясений на территории России.

Полученные результаты позволяют дать количественную характеристику как понятию изосейст, так и устойчивости грунтов [4].

Передача энергии каскадным способом в разнородных средах зачастую вызывает различные «каскадные» катастрофы. Например, землетрясение может вызвать сход оползней, лавин, обвалов. Предложенный алгоритм позволяет производить оценки риска для таких ситуаций за счет нормирования территории по сотрясаемости (адаптации) грунтов от предполагаемых сейсмозодействий.

ВЫВОДЫ

1. Точки бифуркационных или структурно-фазовых переходов являются ключевыми, так как в них гармонизируются адаптивность и динамическая устойчивость сложной системы в процессе эволюции при изменяющихся внешних условиях получения энергии.

2. Предлагаемый алгоритм дает первую реальную возможность оценки результатов структурно-фазового перехода за счет формализованных понятий адаптивности и устойчивости. Он позволяет оценить степень гармоничности перехода и устойчивости нового состояния.

3. С позиций нового эволюционного подхода принципиально важным является знание особенностей наиболее кризисных зон структурно-фазовых переходов. Именно в них, в условиях крайней неравновесности, появляется возможность малыми энергетическими воздействиями изменить траекторию, темп и конечную цель эволюции различных Опасных природных процессов, не допуская их развития до экстремальных состояний, когда они становятся опасными. Знание специфики энергетической сущности фазовых переходов системы – это знание функциональной **значимости** «акупунктурных» точек эволюционных процессов, позволяющее управлять ими с минимальными энергетическими затратами в целях превентивной защиты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Быстров М.В. О шуме $1/f$ с точки зрения всеобщей гармонии. Синергетика и методы науки. С-Петербург: Наука, 1998, с. 375-389.
2. Винник М.А., Иванов О.П., Чаругин В.М. Новое землеройное устройство. //Естеств. и техн. науки. 2010. №2, С.266-267, 2010.
3. Жвирблис В.Е. Материя и сознание в модели вложенных миров. Сознание и физическая реальность. 1996, Т.1, №1-2.
4. Иванов О.П., Иванова В.С. Нелинейная дискретная сейсмология в свете универсальных хаотических динамических систем. Сб. Синергетика. Труды семинара Синергетика. -М.: МФТИ, 2003, Т5, С.128-151.
5. Иванова В.С. Синергетика. Прочность и разрушение металлических материалов. М.: Наука, 1992. 157 С.
6. Иванова В.С., Чернышев С.Л. Гармоничная самоорганизация динамических систем.// Надежность и качество: Труды международного симпозиума/ Под ред. Н.К.Юркова.- Пенза: Изд-во Пенз. Гос.ун.-та, 2008. С. 234
7. Тимашов С.Ф. О проблемах прогнозирования изменения состояний динамических систем. // Шумовые и деградационные процессы в полупроводниковых приборах. МЭИ, москва,1998.
8. Урицкий В.М., Музалевская Н.И. Информационная функция медленных вариаций стохастически организованной Среды. В сб. “ Живые системы под внешним воздействием”. Спб: Гидрометеоиздат, 1992, С. 244-253.

9. Bak P., Tang C., Wisenfeld K. Self-organized criticality: an explanation of 1/f noise. *Phys. Rev. Lett.* 1987, V.59, №4, pp. 381-384.
10. eigenbaum M.T. Universal behavior in nonlinear systems. *Science*, 1980, v. 1, № 1, P.4-27.

STUDY OF STRUCTURAL-PHASE TRANSITION ZONES

Ivanov O. P., cand.geol.min, md, phd, Ministry of health of the Moscow state University named after M. V. Lomonosov, **Rukin M. D.**, D. Tehn.S. Moscow state University named after M Lomonosov

Annotation. The role of bifurcation or structural-phase transitions in the evolution of complex systems is analyzed using a phenomenological algorithm and formalized concepts of adaptability and stability. It is shown that the algorithm allows to estimate the degree of transition harmony and stability of the new state. Knowledge of the features of the most crisis zones of structural and phase transitions make it possible to change the trajectory, pace and ultimate goal of the evolution of various hazardous natural processes by small energy impacts, preventing their development to extreme States. Knowledge of the functional significance of such "acupuncture" points of evolutionary processes, allows you to manage them with minimal energy costs in order to preventative protection.

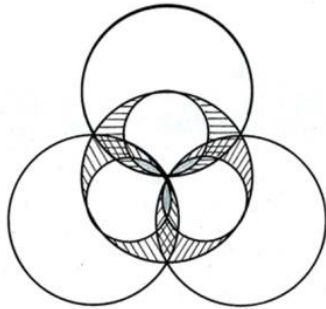
Key words: self-organization, complex systems, structural-phase transition, nonlinear dynamics, chaotic state

REFERENCES

1. Bystrov M.V. About noise 1/f from the point of view of universal harmony. *Synergetics and methods of science*. St. Petersburg: Nauka, 1998, p. 375-389.
2. Vinnik M.A., Ivanov O.P., Charugin V.M. New earthmoving device. // *Natural and tech. Sciences*. 2010. No. 2, pp. 266-267, 2010.
3. Zhvirblis V.E. Matter and consciousness in the model of nested worlds. *Consciousness and physical reality*. 1996, Vol. 1, No. 1-2.
4. Ivanov O.P., Ivanova V.S. Nonlinear discrete seismology in the light of universal chaotic dynamical systems. *Sat. Synergetics. Proceedings of the seminar Synergetics*. -M.: MIPT, 2003, T5, S.128-151.
5. Ivanova B.C. *Synergetics. Strength and fracture of metallic materials*. M.: Nauka, 1992. p.157.
6. Ivanova V.S., Chernyshev S.L. Harmonious self-organization of dynamic systems.// *Reliability and quality: Proceedings of the international symposium/ Ed. N.K. Yurkova*. - Penza: Penz Publishing House. State University, 2008. p. 234
7. Timashov S.F. On the problems of predicting changes in the states of dynamic systems. // *Noise and degradation processes in semiconductor devices*. MPEI, Moscow, 1998.
8. Uritsky V.M., Muzalevskaya N.I. Information function of slow variations of stochastically organized Medium. On *Sat. "Living systems under external influence"*. St. Petersburg: *Gidrometeoizdat*, 1992, pp. 244-253.
9. Bak P., Tang C., Wisenfeld K. Self-organized criticality: an explanation of 1/f noise. *Phys. Rev. Lett.* 1987, v.59, no.4, pp. 381-384.
10. eigenbaum M.T. Universal behavior in nonlinear systems. *Science*, 1980, v. 1, No. 1, p.4-27

УДК 524.3; 524.4; 524.5

О ПЛАНЕТАРНОЙ САМООРГАНИЗАЦИИ И РОЛИ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ В ЭНДОГЕННОМ РАЗВИТИИ ПЛАНЕТ



Иванов О.П., канд.геол.-мин.н.,в.н.с. МЗ МГУ имени М.В. Ломоносова ivanovop2007@yandex.ru

Аннотация. Обсуждена неактуальность идей, выдвигаемых ранее об источниках эндогенного тепла Земли. Показана некорректность новой модели перовскит-постперовскитового фазового перехода для границы D. В свете новых представлений нелинейной динамики, предложены новые подходы, имеющие более широкое применение для любых планетарных систем. Рассмотрена роль вязко - пластичного трения на эндогенное выделение тепла на границе D при различии моментов инерции для двухслойной модели Земли в условиях вариаций скорости вращения. Проведен анализ опубликованных данных по спутникам Юпитера о следах эндогенной активности на их поверхностях. Выдвинута идея о роли вариаций кинематических параметров (нутации и прецессии вращения, эксцентриситета обращения) на эндогенные проявления на их поверхностях как обязательном свойстве нелинейных планетных систем. Это позволяет в дальнейшем подойти к объяснению новейших исследований ученых NASA по спутниковым данным об избытке инфракрасного излучения планет-гигантов в Солнечной системе.

Ключевые слова. Момент инерции, вращательный момент, инфракрасное тепло, вязкое трение, нелинейные системы, эндогенные процессы

ВВЕДЕНИЕ

Естественен вопрос, почему делается акцент на планетарной самоорганизации? Астрономические инструментальные наблюдения последних десятилетий позволили открыть свыше тысячи аналогов Солнечной системы. До сих пор не снят вопрос о происхождении жизни на Земле и уже дискутируется вопрос панспермии с экологических позиций — жизнь занесена вместе с элементами экологической ниши, например кометами, т.е. ставится вопрос о жизни как Вселенском явлении. Планетарная форма движения материи позволяет продолжить эволюционный ряд Вселенной новыми формами самоорганизации материи, такими как разворачивание химической, биологической и социальной эволюций, становление которых реально только при превращении планеты в сложную систему.

Итак, чем можно охарактеризовать тип планетарной самоорганизации? Прежде всего, это процесс структурирования на подсистемы в условиях сильного влияния кинематических вариаций вращения и обращения планеты с момента ее возникновения и последующей эволюции. Исходные условия следующие [3].

1. Источник одиночных звезд – гигантские молекулярные облака $M \sim 10^{50} M_{\odot}$; $\rho = 10^3 - 10^7 \text{ см}^{-3}$; $T = 10 - 60 \text{ К}$.

2. Угловой момент вращения протосолнечной туманности должен быть равен: $J_0 \sim 10^{52} - 10^{53} \text{ г} \cdot \text{см}^2/\text{с}$; если значение углового момента меньше, то возникает двойная звезда, а если больше, то одиночная.

О планетарной самоорганизации и роли кинематических параметров в эндогенном развитии планет

3. Планета должна находиться на оптимальном удалении от центра масс, чтобы возникли условия для развития таких подсистем как Атмосфера, Гидросфера, Биосфера и Социум.

4. Планета должна иметь не менее двух источников энергии: 1) центральную звезду класса около G2 и 2) общепланетарные нелинейные кинематические механизмы преобразования механической энергии вращения и обращения в тепло (эксцентриситет обращения, нутация, пульсация).

Понятие о кинематическом источнике энергии выдвигается впервые. Суть его состоит в следующем.

Геофизики считают, что основными источниками внутренней тепловой энергии Земли являются:

- тепло гравитационной дифференциации;
- радиогенное тепло;
- тепло приливного трения;
- аккреционное тепло;
- тепло трения, выделяющееся за счёт дифференциального вращения внутреннего ядра относительно внешнего, внешнего ядра относительно мантии и отдельных слоёв внутри внешнего ядра.

К настоящему времени количественно оценены лишь первые четыре источника. Особо хотелось бы отметить второй источник тепла, так как эта идея без каких-либо доказательств наиболее долго господствовала в геологии.

Новейшие исследования японских физиков с помощью нейтринного детектора «KamLAND» показали, что количество образующегося тепла, за счет радиоактивного распада вдвое меньше, чем предполагалось ранее. Измерения и расчеты проводились несколько лет в период с марта 2002 года по ноябрь 2009 года. По оценкам ученых, обнаруженное количество нейтрино соответствует выделению теплоты с помощью радиоактивного распада около 20 тераВатт в год, что составляет примерно половину от всего тепла, которое расходуется на излучение. Как считают ученые, это исключает гипотезу об исключительно радиоактивном «разогреве». Оставшиеся 20 тераВатт ученые пока относят к излучению из запасов доисторического тепла Земли. [6].

Но в последнее десятилетие успехи в экспериментальной и теоретической геохимии и геофизике внесли ряд корректив в наши представления о нижней мантии.

НОВЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О МАНТИИ

Считается, что по своему составу нижняя мантия в основном представлена минералами, содержащими кислород, кремний, магний и железо, и в значительно меньших количествах — кальций, алюминий, натрий, калий. Около 70% объема нижней мантии или 40% объема всей Земли составляют перовскиты $(Mg, Fe) SiO_3$, около 20% — магнезиовюститы $(Mg, Fe)O$.

Свойства железосодержащих минералов в нижней мантии зависят от электронного состояния атомов железа. Дело в том, что ион железа Fe^{2+} (железо в минеральных солях присутствует в виде ионов) имеет четыре не спаренных электрона, каждый со спином $1/2$. Эти электроны могут спариваться либо в полный спин 2 (высокоспиновое состояние), либо в полный спин 0 (низкоспиновое). При обычных давлениях у Fe^{2+} энергетически выгоден полный спин 2. Однако при значительном повышении давления, когда можно говорить уже об уменьшении размеров тел, начинает сказываться влияние соседних атомов. В этом случае электронам в Fe^{2+} уже энергетически выгодно изменить спаривание на низкоспиновое, поскольку они при этом чуть более компактно «сидят» внутри иона.

О планетарной самоорганизации и роли кинематических параметров в эндогенном развитии планет

Геофизики-теоретики уже давно предсказывали, что в условиях нижней мантии у железосодержащих минералов может существовать широкая зона спинового перехода, когда одновременно существует высокоспиновое и низкоспиновое железо. Международной команде ученых из научных учреждений США, Венгрии и Франции во главе с Цзюнь-Фу Линем (Jung-Fu Lin) из Группы физики высоких давлений Ливерморской национальной лаборатории им. Лоуренса (Калифорния, США) удалось экспериментально (в лаборатории) подтвердить теоретические расчеты на примере представителя магнезиовюститов – минерала ферропериклаза ($Mg_{0,75}Fe_{0,25}O$).

В двух тысячи четвертом году геофизики из Йельского университета и Калифорнийского университета в Беркли (США) воспроизвели в лаборатории условия, которые устанавливаются в слое мантии Земли, примыкающем к ядру.

Было продемонстрировано, что в нижней части мантии (так называемом слое D'') при давлении примерно в 1,3 млн. раз превосходящем атмосферное и температуре около 2500 К перовскит может изменять кристаллическую структуру и преобразовываться в слоистый постперовскит. Ниже слоя D'' лежит железоникелевое ядро Земли.

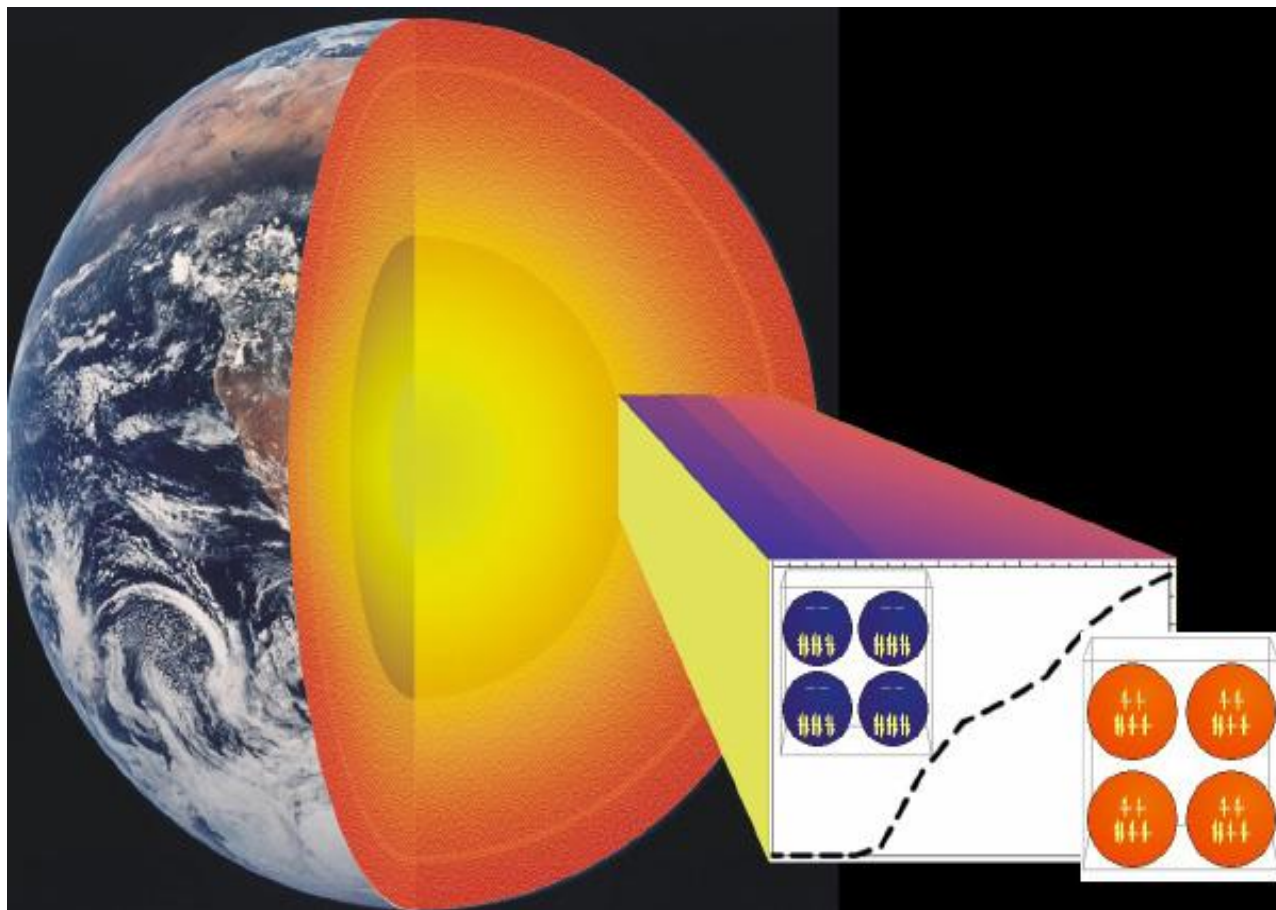


Рис.1. Зона спинового перехода в нижней мантии показана на врезке: справа (красный цвет) — высокоспиновое железо, слева (синий) низкоспиновое [5].

Основной составляющей мантии принято считать минерал перовскит. Было показано, что в нижней её части (слое D'') при давлении, примерно в 1,3 млн раз превышающем атмосферное, и температуре около 2 500 К перовскит может изменять кристаллическую структуру и преобразовываться в слоистый постперовскит.

О планетарной самоорганизации и роли кинематических параметров в эндогенном развитии планет

Взяв образец перовскита, они расположили его на алмазной наковальне и нагрели до 3 500 К. Получив постперовскит при давлении около 1,4 млн. атм., учёные продолжили его сжимать и увеличили давление до 2 млн. атм., после чего на образец было направлено рентгеновское излучение, давшее дифракционную картину.

По результатам её изучения был сделан вывод о том, что деформация структуры перовскита вполне соответствует необычным свойствам слоя D, ранее определённым в сейсмических наблюдениях. К таким «странностям» относится, к примеру, появление существенных различий в скорости распространения горизонтально и вертикально поляризованных сейсмических волн. [7]. Здесь уже возникают сомнения в правильности интерпретации данных сейсмотомографии. Появление этих различий с нашей точки зрения связано с появлением тонкослоистых структур, а в них свойств рефракции, ибо только рефрагированные продольные волны в соответствии с законом Ферма обладают большей скоростью даже по сравнению с просто продольными Р-волнами, распространяющимися вдоль слоя. Отсутствие ярко выраженной единой границы – это неравновесность условий по простиранию границы.

Исследователи попробовали выяснить, что происходит с постперовскитом в ещё более жестких условиях. Забрав образец перовскита, они расположили его на алмазной наковальне и нагрели до 3 500 К. Взяв постперовскит при давлении около 2 млн. атм., после этого на пример было ориентировано рентгеновское излучение, давшее дифракционную картину. [6].

Почти половина массы Земли состоит из Mg-перовскита, который устойчив в широком интервале давлений. Это основной минерал нижней мантии. Наиболее важным геологическим открытием XXI в. стало обнаружение (лабораторно) в D''-слое, разделяющем нижнюю мантию и ядро, фазы постперовскита. Этот минерал имеет тот же химический состав, но на 2 % более высокую плотность, чем перовскит. Фазовый переход перовскита в постперовскит влечет за собой повышение температуры на 50°C. Именно это и послужило приманкой для ложной интерпретации. Слоистость постперовскита полезна и для реализации перехода кинематического тепла при изменении скорости вращения Земли в тепло вязко-пластичного трения слоя D, но мы не будем пока хвататься за эту соломинку.

АВТОРСКИЙ ПОДХОД

Если же рассматривать другие планеты, например, газовые, то часть из них будут иметь значительно меньшую среднюю плотность, чем Земля, (табл.1).

НАЗВАНИЕ ПЛАНЕТЫ	№	МАССА (КГ)	ДИАМЕТР (ТЫС. КМ)	ПЛОТНОСТЬ (Г/СМ ³)	ТЕМПЕРАТУРА ПОВЕРХНОСТИ (°С)		ДЛИНА СУТОК (ЗЕМНЫЕ СУТКИ)	СРЕДНЕЕ РАССТОЯНИЕ ОТ СОЛНЦА (А.Е.)	ПЕРИОД ОБРАЩЕНИЯ ПО ОРБИТЕ (ГОД)	КОЛИЧЕСТВО СПУТНИКОВ
					МАКС.	МИН.				
Меркурий	1	3,3x10 ²³	4,87	5,43	+480	-180	58,65	0,387	0,24	0
Венера	2	4,87x10 ²⁴	12,1	5,25	+480		243	0723	0,62	0
Земля	3	5,976x10 ²⁴	12,756	5,518	+58	-90	1	1	1	1
Марс	4	6,4x10 ²³	3,67	3,95	0	-150	1,03	1,5237	1,88	2
Юпитер	5	1,9x10 ²⁷	143,76	1,31	-160	-160	0,41	5,2	11,86	16
Сатурн	6	5,68x10 ²⁶	120,42	0,71	-150	-150	0,44	9,54	29,46	18
Уран	7	8,7x10 ²⁵	51,3	1,27	-220	-220	0,72	19,2	84	17
Нептун	8	1x10 ²⁶	49,5	1,77	-213	-213	0,74	30	165	8
Плутон	9	1,3x10 ²²	2,32	2	-230	-230	6,4	39,4	247,7	1

Рис. 2. Характеристики планет Солнечной системы [9].

О планетарной самоорганизации и роли кинематических параметров в эндогенном развитии планет

На газовых планетах-гигантах и их спутниках из-за малой плотности вообще нет даже перовскита, но эндогенная деятельность существует. Плотность планет приведена на рис.1 выше. Для планет-гигантов она не превышает 2 г/см^3 , тогда как плотность перовскита составляет $3,97 - 4,00 \text{ г/см}^3$. Однако, спутниковые данные по планетам гигантам говорят о превышении величины излучаемого тепла, над получаемым от Солнца, т.е. о наличии следов эндогенной деятельности.

В данной работе нас будет интересовать другой аспект — пластическое трение, возникающее в результате различия моментов инерции в сферически слоистых планетах при изменении скорости вращения планеты. Поводом для таких размышлений послужило обнаружение избытков инфракрасного излучения у планет-гигантов Солнечной системы по сравнению с получаемой радиацией от Солнца. По утверждениям Хогленда, инфракрасный избыток гигантских планет очень хорошо коррелирует с одним общим для всех них параметром — их общей системой «вращательного момента» [10].

Начиная с середины 60-х в наземных наблюдениях Солнечной системы стало отмечаться поразительное явление — аномальное внутреннее инфракрасное излучение, идущее с планеты Юпитер. Позднее наблюдения, произведенные космическими аппаратами «Пионер» и «Вояжер» в 70-х-80-х, добавили другие «гигантские газовые планеты» — Сатурн, Уран и Нептун — в список миров Солнечной системы, которые каким-то образом, без наличия внутренних термоядерных процессов (как это происходит у звезд), излучают в космос больше энергии, чем получают от Солнца.

В ходе многочисленных дискуссий были установлены три возможных внутренних источника этого аномального «инфракрасного избытка»:

1. Первичное тепло. Остаточное «ископаемое термальное эхо» огромной энергии, связанной с расширением и сжатием планеты в ходе ее формирования. В соответствии с этим сценарием энергия сохраняется внутри планеты буквально миллиарды лет и при этом медленно излучается в космос.

2. Модель текучести гелия. Нагревание, происходящее из-за окончательного разделения легких элементов (гелия от водорода) в планетах — так называемых «газовых гигантах». Отделение высвобождает потенциальную энергию, когда гелий проваливается к центру планеты (что является формой сверхмедленного, непрекращающегося сжатия под действием силы тяжести).

3. Радиоактивный распад. Аномальное высвобождение энергии из-за избыточного радиоактивного распада тяжелых элементов, сконцентрированных внутри массивного «каменного ядра» газовых гигантов.

Из этих трех объяснений «энергетических аномалий» только первое применимо к Юпитеру. Из-за своей массы (318 «земных» масс) Юпитер попадает в категорию миров, которые могут удерживать это первичное тепло на всем протяжении существования Солнечной системы (почти пять миллиардов лет) и могут излучать его в количествах, поддающихся наблюдению.

Однако, когда ученые попытались на самом деле измерить количество избыточного тепла, которое излучает Юпитер, выяснилось, что «модель первичного тепла» недостаточна для оценки инфракрасного излучения Юпитера. Даже сегодня коэффициент нынешнего соотношения поглощаемой солнечной энергии (пять миллиардов в год) и излучаемой внутренней энергии Юпитера по-прежнему два к одному. Это намного превосходит тот избыток, который можно было бы предположить по прошествии столь огромного промежутка времени.

После второго полета «Вояжера» в 80-х все стали склоняться ко второй версии объяснения «внутреннего тепла» — «Модели текучести гелия» — из-за теплового избытка, излучаемого Сатурном. Однако по причине сравнительно небольшой массы

О планетарной самоорганизации и роли кинематических параметров в эндогенном развитии планет

планеты (в 30 раз меньше земной), только третья версия — массивированный внутренний радиоактивный распад — могла бы дать реальное объяснение еще более странному инфракрасному излучению Урана и Нептуна. При этом во всех трех объяснениях возникают серьезные трудности, если речь идет о планетах легче Юпитера.

Во время первого полета «Вояжера» к Урану и Нептуну его оборудование зафиксировало едва различимый (но все же заметный) «инфракрасный избыток» Урана, составлявший от 1,14 до 1. У Нептуна же, который, в сущности, является планетой-близнецом Урана, отношение внутреннего тепла к получаемому солнечному свету составляло, как ни удивительно, три к одному.

Однако проводившиеся одновременно с этим гравиметрические измерения доплеровского эффекта не обнаружили аномального скопления тяжелых элементов возле ядер этих планет. Хотя именно это было бы необходимо, если бы наблюдаемый избыток инфракрасного излучения был на самом деле вызван концентрацией радиоактивных элементов внутри планет.

Будучи не в силах доказать модель радиоактивного распада, физики занялись поисками альтернативных объяснений избыточного выделения энергии Ураном. Вскоре они увлеклись одной из черт, которая выделяла Уран из ряда других тел Солнечной системы, — его ярко выраженный «осевой наклон».

В сравнении с другими планетами нашей системы, Уран имеет «отклонение» (технический термин) около 98° плоскости своей орбиты относительно Солнца. Нептун в этом смысле «более нормальный» — около 30° . (Для сравнения) отклонение Земли составляет около $23,5^\circ$.) Это приводит к новой версии, «модели последней коллизии». В соответствии с ней, задолго до своего формирования Уран в силу неизвестных причин столкнулся с другим крупным объектом, возможно, со странствующей малой планетой. По теории, это, в дополнение к уже имеющейся на планете ситуации, могло значительно увеличить количество в геологическом смысле «новейшей» внутренней энергии Урана, повышая внутреннюю температуру до определенного значения. Эта модель доказывает, что повышенная температура в Уране, вызванная крупной космической коллизией, могла вызвать существующее в настоящем избыточное инфракрасное излучение, что и было отмечено «Вояжером» в 1986 году.

К сожалению, и в этой модели быстро обнаружились «узкие» места. Во-первых, Уран излучает всего лишь «немного больше единицы» (больше исходящей, чем поглощаемой энергии) на том расстоянии, на котором он находится от Солнца, в то время как Нептун излучает почти в три раза больше энергии, чем получает от Солнца. Если для сравнения «уравнять» эти планеты, т. е. если принять во внимание их различные расстояния от Солнца, их абсолютное внутреннее излучение энергии «немного больше единицы», то есть почти одинаково. Если бы модель последней коллизии была верна, Уран должен был бы излучать намного больше энергии, чем Нептун. Фактически же разницы почти нет. Если малая планета, астероид или еще больший по размеру объект относительно недавно столкнулся с Ураном, причиной избыточного тепла планеты послужило явно не это.

Более того, даже на ряде спутников планет (Каллисто, Ганимед, Ио, Европа и др.) фиксируются следы эндогенной активности (гейзеры из смеси газа, воды, льда. А на Ио действуют вулканы из сернистых образований).

Вулканы Ио подразделяются на несколько типов. Первые, которых большинство, имеют температуру порядка 350—400 К и скорость выброса газовых продуктов около 500 м/с, высоту выброса до 100 километров, осадки преимущественно белого цвета. Вторые отличаются высокой температурой кальдеры, со скоростью выброса газа около 1 км/с и высотой выброса до 300 км. Главной их отличительной чертой является темная кольцевая окантовка на расстояниях нескольких сотен километров от кальдер. Имеется

О планетарной самоорганизации и роли кинематических параметров в эндогенном развитии планет

гипотеза о гейзерном происхождении второго типа извержений, когда происходит внезапный фазовый переход жидкость-газ (например, на Земле такие процессы наблюдаются на вулканах острова Святой Елены). Состав продуктов извержений — сера, сернистый газ и некоторые сульфиды, а также силикатные магмы.

По отсутствию метеоритных кратеров на поверхности Ио можно говорить о том, что поверхность эта очень молодая, около 1 миллиона лет, и сформирована она из продуктов извержений. Толщина слоя отложений оценивается от 3-4 до 20-30 км.

На поверхности Ио насчитывается более 10 активных горячих пятен температурой от 310 до 600 К, размеры пятен колеблются в пределах от 75 до 250 км. «Вояджер-1» зафиксировал 8 таких объектов, а через 4 месяца «Вояджер-2» обнаружил в активном состоянии 7 из них. Наивысшая температура в 600 К была зафиксирована в 1979 году в кальдере, получившей название «Пеле» [11].

Вулкан Ио Амирани является источником крупнейшего активного лавового потока во всей Солнечной Системе. Плотность Ио – 3,528 г/см³.

Аналогично и для юпитерианских спутников. Фотосъемка юпитерианских спутников, проведенная «Вояджерами», показала, что они не только имеют малую среднюю плотность, но и эндогенно активны.

Гипотезы объясняют особенности облика спутника Юпитера более чем вероятным существованием на Европе глобального ледяного покрова, под которым находится полурастопленная ледяная каша (шуга), смесь жидкой воды и многочисленных льдинок. Суммарная толщина этих слоев равняется 100 м. Эти слои составляют внешнюю кору спутника, тогда как есть и вторая, внутренняя, сложенная каменными породами.

Орбитальный путь Европы практически круглый из-за незначительности показателя эксцентриситета в 0.09. Плотность спутника 3,014±0,05 г/см³, и это говорит о том, что здесь никаких переходов перовскита в постперовсакит не может существовать, и в то же время много свидетельств об эндогенном разогреве спутника – гейзеры из протяженных трещин на ледяной поверхности спутника.

Наименование спутника	Радиус спутника, км	Радиус орбиты, тыс. км	Средняя плотность, г/см ³	Вторая космическая скорость, м/с	Планета
Луна	1737	384,4	3,55	2038	Земля
Фобос	12	9,38	2,20	11	Марс
Ио	1815	422,6	3,57	2560	Юпитер
Европа	1569	670,9	2,97	2040	Юпитер
Каллисто	2400	1883	1,86	2420	Юпитер
Титан	2575	1221,9	1,88	2640	Сатурн
Оберон	761	587,0	1,50	770	Уран
Тритон	1350	355,0	2,08	1450	Нептун

Таблица 1. Характеристики больших спутников планет [11].

О планетарной самоорганизации и роли кинематических параметров в эндогенном развитии планет

Когда Европа приближается к Юпитеру из-за эллиптичности орбиты, их приливное взаимодействие усиливается, и спутник слегка вытягивается вдоль направления на планету. Спустя половину периода обращения Европа отдаляется от Юпитера, и приливные силы слабеют, позволяя ей вновь стать более круглой. Кроме того, из-за эксцентricности орбиты Европы её приливные горбы периодически смещаются по долготе, а из-за наклона оси её вращения - по широте. Величина приливных деформаций, согласно расчётам, лежит в пределах от 1 м (если спутник полностью твёрдый) и до 30 м (если под корой есть океан). Эти регулярные деформации способствуют перемешиванию и нагреву недр Европы. Тепло стимулирует подземные геологические процессы и, вероятно, позволяет подповерхностному океану оставаться жидким. Первоисточник энергии для этого процесса – вращение Юпитера вокруг своей оси. Его энергия превращается в энергию орбитального движения и посредством приливов, вызываемых этим спутником на Юпитере, а далее передаётся Ганимеду и Каллисто при помощи орбитальных квазирезонансов - их периоды обращения относятся как 1:2:4. Если бы не взаимодействие Европы с другими спутниками, её орбита со временем стала бы круглой из-за диссипации приливной энергии, и нагрев недр прекратился бы.

Над южной полярной областью Европы зафиксированы признаки выбросов водяного пара. Вероятно, это результат действия гейзеров, бьющих из трещин её ледяной коры. Согласно расчётам, пар вылетает из них со скоростью примерно 700 м/с на высоту до 200 км, после чего конденсируется и падает обратно. Активность гейзеров максимальна во время наибольшего отдаления Европы от Юпитера. Открытие сделано по наблюдениям телескопа «Хаббл», сделанным в декабре 2012 года. Во время прилива поверхность этого спутника Юпитера поднимается на целых 30 метров.

Кроме Европы, подобные гейзеры известны на Энцеладе. Но, в отличие от гейзеров Энцелада, гейзеры Европы выбрасывают чистый водяной пар без примеси льда и пыли. Зафиксированная мощность гейзеров Европы достигала 5 тонн в секунду, что в 25 раз больше, чем на Энцеладе. На спутнике Ио даже действуют вулканы.

О КИНЕМАТИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКАХ ТЕПЛА

И неважно, что здесь ведущую роль играет приливное трение, а первопричиной является эксцентricитет (хотя и незначительный) эллипса обращения вокруг главного тела – планеты и плюс наклонение орбиты обращения к плоскости экватора планеты. Важно лишь то, что это кинематические параметры, и это в пользу нашей гипотезы о том, что кинематика вращений и обращений как планет, так и их спутников, скорее всего, и являются, как и на Земле, дополнительным и постоянным источником эндогенного тепла. Более того, кинематические параметры присущи всем космическим планетоидным образованиям. Одновременно это позволяет объяснить спутниковые данные NASA, об избыточном инфракрасном излучении ряда планет-гигантов и Земли.

Для авторов важно, что исключена перовскит - постперовскитовая модель, как очередной плод пустой фантазии. Важно то, что и приливное трение - это кинематический параметр. А это позволяет нам отстаивать для кинематических параметров статус кинематического планетарного источника тепла, ответственного за планетарную стадию эволюции. Подтолкнуло нас к такому поиску несопоставимость толщины слоя D с почти тысячекilометровым размером спинового перехода для железосодержащих соединений и совершенно вольная трактовка суперплюмов с началом у слоя D с последующим утверждением о суперконтинентах.

О планетарной самоорганизации и роли кинематических параметров в эндогенном развитии планет

На наш взгляд должен существовать единый механизм, не зависящий от состава космических тел, но имеющийся у всех тел. На такую универсальную роль претендовать могут только динамические параметры, свойственные всем космическим телам, например, вариации кинематических параметров обращения относительно главных центров масс — для спутников — это их планеты, а для планет — Солнце. К таким параметрам относятся эксцентриситеты обращения, нутации и прецессии вращения.

Модели молодых планетарных систем [12] указывают на то, что гигантские планеты часто нарушают орбиты более маленьких внутренних планет. Даже если такое взаимодействие не приводит немедленно к катастрофе, оно может привести к тому, что планета выйдет на изменчивую эксцентрическую орбиту, в результате повысится вероятность столкновения с другими объектами, поглощения планеты звездой или, наоборот, выталкивания планеты из системы. Еще одна возможная опасность эксцентрической орбиты — это величина приливного стресса, который испытывает планета, которая то приближается к звезде, то отдаляется от нее. Рядом со звездой сила гравитации вполне может деформировать планету, а, отдаляясь от звезды, планета может восстановить свою форму. Наличие в солнечной системе двух поясов астероидов (Фазтона и Койпера) возможно свидетельствует в пользу идеи экстремальных перестроек на начальной стадии развития.

В последнее время ученые NASA стали уделять особое внимание вопросам приливного трения на планетах. Модели молодых планетарных систем указывают на то, что гигантские планеты часто нарушают орбиты более маленьких внутренних планет. Даже если такое взаимодействие не приводит немедленно к катастрофе, оно может привести к тому, что планета выйдет на изменчивую эксцентрическую орбиту, в результате повысится вероятность столкновения с другими объектами, поглощения планеты звездой или, наоборот, выталкивания планеты из системы. Другая возможная опасность эксцентрической орбиты — это величина приливного напряжения, которое испытывает планета, которая то приближается к звезде, то отдаляется от нее. Рядом со звездой сила гравитации вполне может деформировать планету, а, отдаляясь от звезды, планета может восстановить свою форму.

Одновременно такие вариации кинематики планеты могут генерировать трение между сферическими слоями, например, планеты Земля, которое вызовет разогрев и повышение температуры. В новом исследовании, опубликованном 1 июля в издании *Astrophysical Journal*, ученые исследовали влияние приливных стрессов на планеты, состоящие из множества слоев — таких, как скалистая кора, мантия и железное ядро.

В результате они пришли к выводу, что некоторые планеты могут передвинуться на более безопасную орбиту в 10-100 раз быстрее, чем считалось возможным ранее, — всего за несколько сотен тысяч лет, а не за миллионы лет [12].

В данной работе нас будет интересовать другой аспект — пластическое трение, возникающее в результате различия моментов инерции в сферически слоистых планетах при изменении скорости вращения планеты. Поводом для таких размышлений послужило обнаружение избытков инфракрасного излучения у планет-гигантов солнечной системы по сравнению с получаемой радиацией от Солнца. По утверждениям Хогленда инфракрасный избыток гигантских планет очень хорошо коррелирует с одним общим для всех них параметром — их общей системой «вращательного момента» [10].

Мы постараемся без привлечения положений гиперпространственной физики показать, что различие моментов инерции даже в рамках самой планеты Земля без учета дополнительных воздействий спутника Луны могут быть причиной выделения тепла, возникающего от вязко-пластического проскальзывания сферических слоев с разными моментами инерции при изменении скорости вращения Земли.

УПРОЩЕННАЯ МЕТОДИКА РАСЧЕТА

На раннем этапе эволюции Земли, когда она еще представляла собой дифференцированное тело, она имела другие радиус, плотность и угловой момент вращения. Зная современные параметры Земли, можно было бы посчитать разницу моментов вращения. Но у нас нет надежных палеоданных. Поэтому предельно упростим задачу, сравним современное состояние и предполагаемое состояние с этим же радиусом, но уже с осредненной плотностью. Для приближенной оценки роли слоистости на момент инерции Земли этого достаточно [2].

Для упрощения также предположим, что Земля сферическая и состоит из ядра (твердое и жидкое) и внешнего слоя (литосфера и мантия).

Известно, что $W_k = I\omega^2/2$, где W_k – момент вращения, I – угловой момент инерции тела, ω – угловая скорость вращения. Так как скорость вращения ядра и слоя одинаковы, то достаточно сравнить моменты инерции.

$$\text{Для ядра: } I_1 = \frac{2}{5} m_1 R_1^2 \quad ; \quad \text{для слоя: } I_2 = \frac{2}{5} (m_2 R_2^2 - m_1 R_1^2) \quad ; \quad m = 4/3 \pi R^3 \rho;$$

где m_1, R_1 – параметры ядра, а m_2, R_2 – параметры Земли, ρ – плотность вещества.

Для Земли используем общепринятые следующие значения:

$$R_2 = 6371 \text{ км}; \rho_2 = 5,518 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3; m_2 = 5,976 \cdot 10^{24} \text{ кг}; \text{ получим}$$

$$I_2 = 97 \cdot 10^{36} \text{ кг м}^2;$$

$$R_1 = 3471 \text{ км}; \rho_1 = 11,8 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3; m_1 = 2,066 \cdot 10^{24} \text{ кг}; I_1 = 9,96 \cdot 10^{36} \text{ кг м}^2;$$

Здесь плотность для Земли принята в соответствии с международным соглашением, а плотность ядра взята как среднее между известными плотностями твердого и жидкого ядра.

Массу верхнего слоя m_3 и его момент инерции I_3 легко рассчитать как:

$$m_3 = m_2 - m_1 = 5,976 \cdot 10^{24} - 2,066 \cdot 10^{24} = 3,91 \cdot 10^{24} \text{ кг};$$

$$I_3 = I_2 - I_1 = 97 \cdot 10^{36} - 9,956 \cdot 10^{36} = 87,04 \cdot 10^{36} \text{ кг м}^2.$$

Попутно обратим внимание на соотношение моментов инерции верхнего слоя и обобщенного ядра: $I_3 / I_1 = 87,04 \cdot 10^{36} / 9,956 \cdot 10^{36} = 8,74$, т.е. моменты инерции обобщенного ядра и слоя мантии и литосферы отличаются почти в 9 раз. Это важно с позиций неравномерности вращения Земли, так как эти слои при вариациях скорости будут испытывать весьма различное воздействие инерции, поэтому теплота вязкого трения может выделяться только на границе их раздела. Именно поэтому слой D, согласно томографическим данным, более разогрет, чем жидкое ядро и имеет рельефный облик. Здесь мы имеем принципиально иной механизм разогрева планеты – нелинейная динамика взаимодействия подсистем, который классическая геология совершенно не воспринимает. Квазидвухслойным строением обладают все сфероидальные тела Солнечной системы (планеты и спутники), даже те, где основу составляет лед, и

О планетарной самоорганизации и роли кинематических параметров в эндогенном развитии планет

заведомо нет радиоактивного тепла. С нашей точки зрения — это реальный источник тепловой эволюции всех планетоидных тел в космосе. Вопрос только в том, какие моменты инерции сопоставлять.

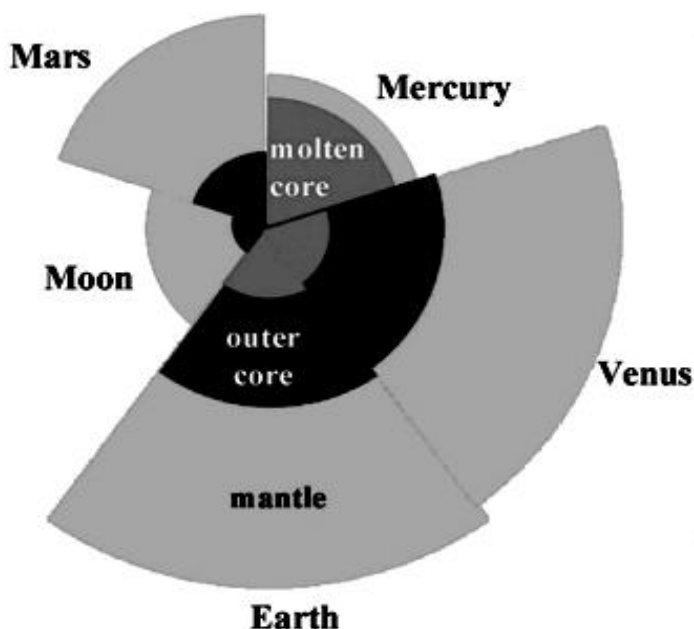


Рис.3. Схема сравнительного двухслойного строения различных планет [13].

Рассчитаем плотность не дифференцированной Земли (сплава) по формуле:

$$\rho = \frac{(m_3 + m_1) \cdot \rho_1 \rho_3}{m_1 \rho_3 + m_3 \rho_1} \quad (1)$$

Подставив известные значения масс и плотностей, получим: $\rho = 5,5 \cdot 10^3 \text{ кгм}^3$.

Тогда $I = \frac{2}{5} mR^2 = 81,91 \cdot 10^{36} \text{ кгм}^2$, т.е. момент инерции дифференцированной Земли

увеличился на величину: $\Delta I = I_{\text{совр}} - I_{\text{смеси}} = (97,0 - 81,91) 10^{36} = 15,09 \cdot 10^{36} \text{ кгм}^2$.

Таким образом, вращение Земли приводит к дифференциации вещества по плотности к центру вращения и максимизации момента инерции относительно оси вращения.

Приведенный расчет носит оценочный характер, так как введен ряд сильных упрощений. Во-первых, не ясно соотношение радиуса недифференцированной Земли и радиуса смеси или сплава, ибо вопрос далеко не простой. С одной стороны, в условиях вращения должно происходить уплотнение и уменьшение радиуса Земли. С другой

О планетарной самоорганизации и роли кинематических параметров в эндогенном развитии планет

стороны, геологические данные говорят о том, что Земля постоянно разогревалась и разогревается, увеличивая радиус.

Во-вторых, энергия вращения не могла исчезнуть. Тогда остается предположить, что менялся параметр угловой скорости вращения, так как полный момент вращения зависит от нее. Согласно палеонтологическим данным по исследованию кораллов и строматолитов известно, что 500 млн. лет назад было 420 дней в году, а не 365,2422 суток. Но из этого абсолютно не ясно, год был длиннее (иной эллипс обращения), или Земля вращалась медленнее.

Мы можем обратиться к более точным расчетам с более сложными моделями Земли, как это сделано у Чуйковой и Максимовой [4] или у Жарова В.Е.[10]. Предполагалось, что сжатие границы ядро-мантия равно 1/391, а сжатие внутреннего ядра равно 1/412.

В результате для модели PREM были получены значения масс и моментов инерции различных оболочек Земли, представленные в таблице ниже.

	A	C	M
	кг · м ²		кг
Внутреннее ядро	$5.862 \cdot 10^{34}$	$5.873 \cdot 10^{34}$	$9.851 \cdot 10^{22}$
Внешнее ядро	$9.062 \cdot 10^{36}$	$9.080 \cdot 10^{36}$	$1.8413 \cdot 10^{24}$
Мантия	$7.0157 \cdot 10^{37}$	$7.0426 \cdot 10^{37}$	$4.0027 \cdot 10^{24}$
Кора	$8.340 \cdot 10^{35}$	$8.3636 \cdot 10^{35}$	$3.098 \cdot 10^{22}$
Сумма	$8.0112 \cdot 10^{37}$	$8.0401 \cdot 10^{37}$	$5.9735 \cdot 10^{24}$

Здесь А и С экваториальные моменты инерции. Для получения двухслойной модели остается просуммировать, т.е. объединить слои, как в нашем случае, и посчитать отношение моментов инерции, то получим следующее: для модели А-отношение 7,78, для модели С – отношение 7,67. Можно приближенно принять отношение 8. (Наша приближенная оценка отношения близка к 9).

Таким образом, очевидно, что при вариациях скорости вращения вполне реально проскальзывание обобщенных слоев друг относительно друга по границе D и возникновение тепла за счет вязко-пластичного трения при изменении скорости вращения Земли. Согласно исследованиям, существует много явлений, способствующих изменению скорости вращения Земли. Это взаимодействия прецессии, нутации и вариаций эксцентриситета орбиты, влияние вариаций приливного трения Луны, влияние перемещения воздушных масс по поверхности Земли и др. При различных сочетаниях можно выделить ритмы скорости вращения суточного масштаба, недельные, месячные,

О планетарной самоорганизации и роли кинематических параметров в эндогенном развитии планет

сезонные, годовые, 10-летние, 60-70-летние, 100-летние и др. [8]. Данные наблюдений по изменению скорости вращения Земли приведены на рис.4 ниже.

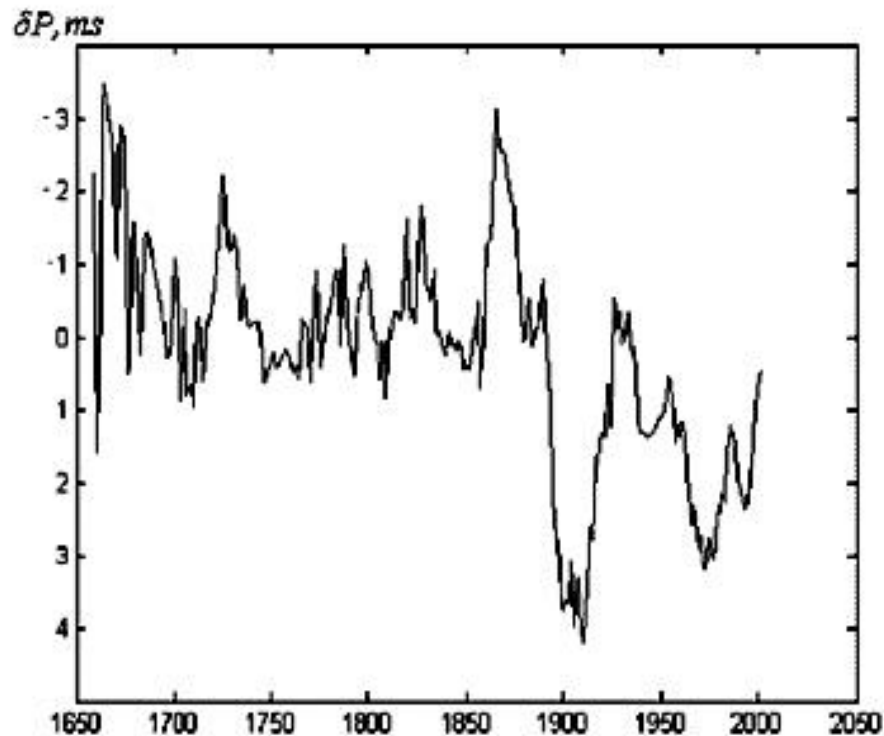


Рис. 4. Отклонения δP длительности суток от эталонных за последние 350 лет по Н.С. Сидоренкову [8].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жаров В.Е. Масса и момент инерции Земли (<http://Infml.sai.msu.ru/~chujkova/Trudi/zharov.htm>)
2. Иванов О.П. Автореферат докторской диссертации «Междисциплинарный подход к изучению сложных систем опасных природных процессов. М.: Отдел оперативной печати Геологичес. ф-та МГУ имени М.В. Ломоносова, 2010, 49 с;
3. Сафронов В.С. Эволюция допланетного облака и образование Земли и планет.М.,1969,113 с;
4. Чуйкова Н.А., Максимова Т.Г.// Тр. ГАИШ, 1996, т.65, с.33-50;
5. Jung-Fu Lin et al. Spin Transition Zone in Earth's Lower Mantle // Science. 2007. V. 317. P. 1740–1743.
6. <http://gennady-ershov.ru/zemlya/termalnye-istochniki.html>
7. <https://www.city-n.ru/view/159195.html>
8. http://fiz.1september.ru/2003/01/no01_1.htm
9. <https://easy-physic.ru/sputniki-planet-solnechnoj-sistemy/>
10. http://www.nnre.ru/istorija/temnaja_missija_sekretnaja_istorija_NASA/p15.php
11. https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D1%83%D0%BB%D0%BA%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%B7%D0%BC_%D0%BD%D0%B0_%D0%98%D0%BE/
12. Astronews.ru,10.07.2014
13. <http://ircamera.as.arizona.edu/NatSci102/NatSci/lectures/earth.htm>

ON THE ROLE OF MOMENTS OF INERTIA IN THE THERMAL DEVELOPMENT OF THE PLANETS

Ivanov O. P., cand.geol.min, MD, PhD, Ministry of health of the Moscow state University named after M. V. Lomonosov,

Annotation. In the light of the latest research on the role of tidal friction and excess infrared emission of the giant planets of the solar system the role of viscous friction at different moments of inertia for a layered planets for example Earth

Key words: The moment of inertia, torque, infrared heat, viscous friction

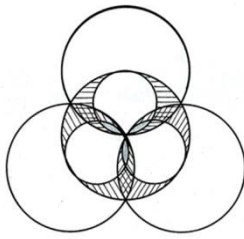
REFERENCES

1. Zharov V.E. Mass and moment of inertia of the Earth (<http://Infm1.sai.msu.ru/~chujkova/Trudi/zharov.htm>)
2. Ivanov O.P. Abstract of doctoral dissertation “Interdisciplinary approach to the study of complex systems of hazardous natural processes. M . Department of Operational Printing Geological. Faculty of Moscow State University named after M.V. Lomonosov, 2010, 49 s;
3. Safronov V.S. Evolution of the pre-planetary cloud and the formation of the Earth and planets. M., 1969, 113 s;
4. N. A. Chuikova and T. G. Maksimova, Tr. GAISH, 1996, v.65, p.33-50;
5. Jung-Fu Lin et al. Spin Transition Zone in Earth's Lower Mantle // Science. 2007. V. 317. P. 1740–1743.
6. <http://gennady-ershov.ru/zemlya/termalnye-istochniki.html>
7. <https://www.city-n.ru/view/159195.html>
8. http://fiz.1september.ru/2003/01/no01_1.htm
9. <https://easy-physic.ru/sputniki-planet-solnechnoj-sistemy/>
10. http://www.nnre.ru/istorija/temnaja_missija_sekretnaja_istorija_NASA/p15.php
11. https://en.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D1%83%D0%BB%D0%BA%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D0%B7%D0%BC_%D0%BD%D0%B0_%D0%98%D0%BE/
12. Astronews.ru, 07/10/2014
13. <http://ircamera.as.arizona.edu/NatSci102/NatSci/lectures/earth.htm>

УДК 101.1

СИНЕРГЕТИКА И СЛОЖНОСТЬ

Данилов Ю.А. канд. физ.мат.н., доц., ст.н.с. ФИАН РАН

**1. ПРЕДЫСТОРИЯ**

На стыке XIX и XX веков научное сообщество пребывало в радужном настроении — и не без основания: казалось, ещё несколько штрихов, и картина мира будет построена. Классическая наука к концу XIX века по праву могла гордиться своими достижениями. Со времён Ньютона мир, который древние разделяли на подлунную и надлунную сферы, стал единым, в нём действовали единые познаваемые (и, как полагали представители естественнонаучных и философских кругов, в значительной мере познанные) законы.

Подведение итогов превратилось в гордую демонстрацию блестящих достижений классического естествознания и точных наук и стало удобным поводом для определения перспектив. Так, на II Международном конгрессе математиков в августе 1900 года в Париже Давид Гильберт в своём докладе сформулировал 23 проблемы, которые, по его мнению, математика XIX века завещала решить математике XX века. Как показали последующие события, Гильберт не ошибся в определении «точек роста» математики: решение каждой из 23 проблем Гильберта становилось заметным шагом в развитии математической науки и было заметным продвижением. Не менее проницательным оказался и патриарх физики XIX века Уильям Томсон (с 1802 г. лорд Кельвин). В своих «Балтиморских лекциях» он прозорливо указал на два «тёмных облачка» на блистающем небосводе классической физики. Из одного «тёмного облачка» вскоре выросла специальная теория относительности Эйнштейна, из другого — квантовая механика. Но существовало ещё одно «тёмное облачко», укрывшееся от проницательного взгляда лорда Кельвина за горизонтом — нелинейная динамика. В 1884 г. Анри Пуанкаре опубликовал серию работ под общим названием «О кривых, определяемых дифференциальными уравнениями», заложив математические основы ещё одного направления в неклассическом естествознании — нелинейной динамики.

Благостные иллюзии о познании мира средствами классического естествознания развеялись довольно скоро: в декабре 1900 г. в своём докладе на Берлинском заседании Немецкого физического союза Макс Планк выдвинул дерзкую гипотезу квантов, согласно которой электромагнитная энергия могла поглощаться и излучаться не сколь угодно малыми, а конечными порциями — квантами, величина которых пропорциональна частоте излучения. Гипотеза квантов позволила Планку решить давно стоявшую в физике острую проблему получения единой кривой распространения энергии в спектре излучения чёрного тела. (Об остроте проблемы можно судить хотя бы потому, что она получила название «ультрафиолетовой катастрофы».) И хотя у самого Планка квант ещё не был физической сущностью, а гипотеза квантов носила характер чисто математического приёма, позволившего проинтерполировать две известные ранее ветви кривой распределения энергии в спектре электромагнитного излучения, введение гипотезы квантов позволило Планку устранить ультрафиолетовую катастрофу. Физической сущностью квант стал в 1905 г., когда Эйнштейн понял, что электромагнитное излучение не только поглощается и испускается, но и распространяется квантами. На представлении о физически реальном кванте Эйнштейн построил свою знаменитую теорию фотоэлектрического эффекта,

за которую в 1921 г. был удостоен Нобелевской премии по физике. «Полнокровная» квантовая теория была создана в конце 1920-х годов усилиями Зоммерфельда, Гейзенберга, Паули, Шрёдингера, Борна и других исследователей.

Свою неклассическую специальную теорию относительности Эйнштейн опубликовал в 1905 г. в работе «К электродинамике движущихся сред».

Если квантовая теория порывала с неявно содержащейся в классической физике гипотезой о безграничной делимости энергии, то специальная теория относительности заставила отказаться от ньютоновского абсолютного пространства и абсолютного времени, влила новое содержание в понятие синхронизма событий и слила существовавшие ранее в отрыве одно от другого понятия пространства и времени в единый четырёхмерный континуум «пространство — время».

Третья, скрытая за горизонтом «тучка», в полной мере проявила себя в 1930-е годы, когда насущные потребности развития техники, в частности радиофизики, вынудили физиков перейти от линейного приближения к нелинейным моделям. Первое время казалось, что такой переход не сопряжён со столь коренной ломкой классических представлений, как создание квантовой теории или специальной теории относительности. Область линейных явлений была столь привычна, столь хорошо «обжита», оборудована хорошо разработанным математическим аппаратом, над созданием которого не одно столетие трудились самые блестящие умы, что покидать её без особой надобности физикам очень не хотелось. Высказывались робкие надежды, что нелинейность, возможно, удастся преодолеть с помощью введения в линейные модели (в основном дифференциальные уравнения) небольших добавочных членов. Высказывались также опасения (вызванные трудностью решения малоизвестных тогда нелинейных дифференциальных уравнений), что создать нелинейную теорию, сравнимую по широте охвата явлений и универсальности с линейными теориями, вряд ли удастся, и нелинейные теории сведутся к коллекционированию того или иного набора частных решаемых случаев моделей нелинейных явлений. Много позднее эти опасения были наголову разбиты (вспомним хотя бы «солитонистику», универсальности Фейгенбаума, цепочки Годы и многие другие нелинейные модели, не уступающие по ширине охвата явлений линейным моделям и к тому же точно решаемые). Первым, кто понял бесперспективность «линейного подхода» к нелинейным явлениям и правильно оценил необходимость изучения нелинейных явлений как таковых, без сведения их к линейному приближению, слегка «подпорченному» малым дополнительным членом, стал академик Леонид Исаакович Мандельштам, сформулировавший программу воспитания (или выработки) у физиков нелинейной интуиции — «нелинейного мышления» — на основе арсенала идей и образов первично нелинейных не сводимых к малым добавочным членам в линейных математических моделях. Л.И. Мандельштам, его коллега академик Николай Дмитриевич Папалекси, ученики и последователи А.А. Андронов, А.А. Витт, С.Э. Хайкин, С.М. Рытов и другие во многом осуществили программу создания «нелинейного мышления». Разработанная ими теория нелинейных колебаний стала предтечей синергетики и позволила понять и проанализировать многие явления различной природы, объяснение и тем более предсказание которых было не по силам линейной теории.

2. ИСТОРИЯ

В истории культуры термин «синергия» — совместное, согласованное действие нескольких начал — встречалось и раньше. Так, у средневековых теологов можно встретить упоминание о «синергии» — единении или слиянии человека и Бога в молитве. У физиолога Шеррингтона мы встречаем термин «синергия», означающий слаженную работу сгибающих и разгибающих мышц.

Термин «синергетика» как название нового междисциплинарного направления научных исследований был введён Германом Хакеном в курсе лекций, прочитанных им в 1969 г. в университете Штутгарта. Научное сообщество встретило появление синергетики без особого энтузиазма, более того, градом незаслуженных упрёков, необоснованных обвинений. В чём только ни упрекали новое направление научных исследований его противники и (не всегда добросовестные) критики: они утверждали, будто синергетика — денотат пустого понятия и не имеет ни собственного предмета исследования, ни присущего только ей метода исследования, будто она излишне математизирована и представляет собой одну из разновидностей физикализма, будто синергетика лишена неперменного отличительного атрибута науки — прогностической силы, и развивается не интенсивно, а экстенсивно.

Но вот минули три десятилетия, наполненные неустанными трудами проф. Г. Хакена, его сотрудников, учеников, единомышленников и даже, как ни парадоксально, некоторых противников, упорно не желающих признавать синергетику, но обогативших её новыми идеями, понятиями и методами, и со всей очевидностью выяснилось, что все опасения, сомнения и упрёки в адрес синергетики несостоятельны.

3. ЧТО ТАКОЕ СИНЕРГЕТИКА?

Современная синергетика стала признанным междисциплинарным направлением научных исследований. Она занимается изучением сложных систем, состоящих из многих элементов, частей, компонентов, подсистем, взаимодействующих между собой сложным (нелинейным) образом.

Свой выбор термина «синергетика» проф. Г. Хакен объясняет следующим образом: «Я выбрал слово «синергетика» потому, что за многими дисциплинами в науке закреплены греческие термины. Я искал такое слово, которое выражало бы совместную деятельность, общую энергию что-то сделать, так как системы самоорганизуются, и поэтому может показаться, что они стремятся породить новые структуры. Я обратился тогда за советом к моему школьному другу Гансу Кристофу Вольфу, который хорошо разбирался в греческом, и мы с ним обсудили различные понятия. Я преследовал цель привести в движение новую область науки, которая занимается вышеуказанными проблемами. Уже тогда я видел, что существует поразительное сходство между совершенно различными явлениями, например, между излучениями лазера и социологическими процессами или эволюцией, и что это должно быть только вершиной айсберга. Правда, в то время я не подозревал, что эта область может оказать влияние на столь многие и отдалённые области исследования, как, например, психология и философия» [11, с. 53].

В отличие от других научных направлений, обычно возникавших на стыке двух наук (например, физической химии, химической физики и даже астроботаники), когда одна наука давала новому направлению предмет, а другая — метод исследования, синергетика опирается, так сказать, на «внутренние точки» наук — на сходство математических моделей, описывающих процессы, происходящие в системах совершенно различной природы; в силу этого синергетика наряду с познанием нового — когнитивной функцией, присущей истинной науке, выполняет, причём весьма естественно, не менее важную коммуникативную функцию, осуществляя «перевод» понятий одной области науки на язык понятий, возможно, весьма далёкой от неё совершенно другой области науки. В этом смысле синергетику, как уже упоминалось выше, с полным основанием можно считать истинной преемницей теории колебаний, которая занимается изучением колебательных процессов в системах различной природы — по словам Л.И. Мандельштама, «говорит на интернациональном языке науки».

Разумеется, изучением сложных систем занимается не только синергетика, но используемые синергетикой идеи и методы делают синергетический подход уникальным, причём не только в концептуальном, но и в операциональном плане. В книге «Принцип работы головного мозга» в разделе 1.2 «Цели синергетики» Герман Хакен так характеризует специфичность синергетического подхода. «Сложные системы состоят из большого числа отдельных частей, элементов или подсистем, нередко сложным образом взаимодействующих между собой. Один классический рецепт, позволяющий «справиться» с такими системами, принадлежит Декарту. Он предложил разлагать сложную систему на всё более мелкие детали до тех пор, пока не будет достигнут уровень, на котором эти детали, или части, станут понятными. Нетрудно видеть, что такого подхода придерживается молекулярная биология. С другой стороны, взаимодействию на макроскопическом уровне присуще наличие качественно новых свойств и особенностей. Не подлежит сомнению, что в нашем понимании взаимосвязей между микроскопическим и макроскопическим уровнями всё ещё остаётся огромный разрыв. Цель синергетики состоит в том, чтобы преодолеть его. Вместе с тем, как будет показано, в большинстве случаев структуры создаются не какой-то организующей рукой, а самими системами, действующими без всякого воздействия извне. В рамках подхода, который можно было бы назвать декартовым, существует ещё одна трудность. Для описания отдельных частей необходимо огромное количество информации, обработать которое никто не в состоянии. Это вынуждает нас создавать адекватные методы сжатия информации. Простым примером того, как достигается такая цель, может служить наше ощущение температуры. Как известно, газ, например, воздух, состоит из мириад молекул, движения каждой из которых в отдельности мы не замечаем. Вместо этого мы каким-то образом интегрируем по их движению и ощущаем только некоторую температуру. Аналогично этому в большинстве случаев отдельные слова означают целые классы, категории объектов или сложные действия.

Можно ли развить общую теорию, которая позволит адекватно сжимать информацию совершенно автоматически? Как будет показано в дальнейшем, такое сжатие информации происходит в тех случаях, когда система качественно изменяет своё макроскопическое состояние. В неорганическом мире существует ряд таких резких изменений, называемых фазовыми переходами. Примерами таких переходов могут служить замерзание, когда вода (жидкость) переходит в твёрдое состояние (лёд), возникновение намагниченного состояния или наступление сверхпроводимости. Как мы увидим из дальнейшего, аналогичные качественные изменения, хотя и на гораздо более высоком уровне сложности, в изобилии встречаются в биологии» [13, с. 14–15].

Бич всех направлений, занимающихся изучением сложных систем, состоящих из большого числа взаимодействующих частей, — обилие информации, подлежащей обработке для получения детального описания поведения системы. Чтобы уменьшить объём информации до сколько-нибудь приемлемого объёма, прибегают к так называемому «сжатию информации», которое, как правило, сопровождается её частичной потерей. Например, в кинетической теории газов вместо отслеживания траектории отдельных частиц переходят к усреднённым характеристикам, например, вместо импульса, передаваемого частицами стенке сосуда, предпочитают говорить о давлении, создаваемом газом. Синергетический подход осуществляется путём перехода от многочисленных параметров состояния к гораздо менее многочисленным параметрам порядка в силу так называемого принципа подчинения. Такое сжатие информации обратимо: после решения задачи от параметров порядка обратным преобразованием можно вернуться к исходным параметрам состояния.

Синергетический подход позволяет не только переформулировать в новых терминах известные истины и факты, т.е. по существу объяснить специалистам,

работающим в различных областях науки, что они «говорят прозой», но и способствует новому, порой неожиданному пониманию старого материала. Например, проведённый Г. Хакеном и физиологом Келсо анализ моторной деятельности животных и человека выявил ранее неизвестные факты, а проведённый А. Баблюнц и его сотрудниками анализ хаотической электрической активности головного мозга спящего человека позволил совершить неожиданное открытие: выяснилось, что число управляющих параметров столь сложного состояния удивительно мало.

Несмотря на зрелый по человеческим меркам возраст, синергетическое направление всё ещё продолжает формироваться, обогащаясь новыми идеями и методами [12,15,14,16].

4. ПЕРСПЕКТИВЫ

Французскому географу Буржелю синергетика помогла в решении проблем урбанистики, греческому специалисту по средствам связи Джону (Иоаннису) Николису — в создании новой концепции передачи информации, социологу А.П. Назаретяну — в разработке модели антропогенных кризисов.

Выше мы уже упоминали о коммуникативной функции синергетики. Синергетика Г. Хакена — это язык, на котором естественно и удобно описывать эволюцию и жизнь систем различной природы, в частности, специфическое явление самоорганизации — спонтанное явление более сложных, чем существовавшие ранее структур, а концептуальный аппарат синергетики позволяет проследить все перипетии эволюции сложных систем, наблюдая за ними «сверху вниз», холистически — от целого (системы) к деталям, а не «снизу вверх», от деталей и частных к целому, как это принято при редуционистском (декартовском) подходе. Обратимое сжатие информации — отличительная черта синергетического подхода — позволяет, минуя детали, описывать и понимать эмергентные свойства и самоорганизацию сложной системы, что особенно важно при изучении столь сложных систем, как человек, его нервная система, в частности головной мозг, способный к самопознанию, и различные — культурные, социальные, экономические и т.д. сообщества, где далеко не все детали известны и понятны.

В интервью с проф. Г. Хакеном по случаю тридцатилетия синергетики [11], ему был задан вопрос: «Ещё в своих книгах 70-х годов Вы указывали на далеко идущие и широкомасштабные возможности применения синергетики, включая применение к пониманию сугубо человеческих социальных процессов. Было ли в ходе развития синергетики что-нибудь неожиданное для Вас? Возможно, обнаружились новые возможности применения, которые Вы первоначально не предполагали?»

Ответ Г. Хакена гласил: «Хотя синергетика возникла в рамках естественных наук, мне всегда представлялось, что её важнейшие приложения будут касаться специфических человеческих и социальных процессов. Причём для меня уже неоднократно возникали сюрпризы в развитии синергетики. Например, интересные эксперименты по исследованию движения пальцев, проведённые Келсо, которые удалось очень хорошо объяснить с помощью понятий синергетики [12]. Ещё одним неожиданным приложением стал синергетический компьютер [12, с. 286–315]. Оба новых понятия синергетики могут применяться в информатике» [11, с. 59].

И далее: «Какие области применения Вы рассматриваете как наиболее перспективные и многообещающие? Какие проблемы остаются ещё открытыми для исследования?».

Проф. Г. Хакен: «Очень важной областью является, на мой взгляд, медицина, где проводятся увлекательные фундаментальные исследования. На первый план для меня выступают исследования головного мозга: мы изучаем МЭГ

(магнитоэнцефалограммы) и ЭЭГ (электроэнцефалограммы), применяя методы анализа нового типа, и я очень рад, что эти методы всё более совершенствуются, а также заменяются новыми».

Для дальнейшего исследования существует, несомненно, огромное число проблем, и я бы не взялся перечислить их здесь все. К ним относятся, например, развитие новых компьютеров, которые работают по синергетическим принципам, более скрупулёзное исследование экономических процессов, которые являются в высшей степени сложными и одновременно кооперативными, т.е. синергетическими, и многие другие проблемы» [11, с. 59–60].

5. УГРОЗА РАСШИРИТЕЛЬНОГО ПОНИМАНИЯ СИНЕРГЕТИКИ

Сейчас, когда поубавилось число скептиков, сомневающихся в наличии у синергетики своего предмета исследования, своего метода исследования и прогностической силы, над этим перспективным междисциплинарным направлением научных исследований нависла новая угроза чрезмерно расширительного толкования её терминов и понятий, приводящего к размыванию основ синергетики и появлению иллюзорных представлений как о своего рода панацее. Наш труд, по крайней мере в его трети, предназначен для того, чтобы избавить тех, кто видит в синергетике ключ к решению всех проблем современной науки, от несбыточных иллюзорных надежд, вернуть их на твёрдую основу реальных возможностей предложенного Г. Хакеном междисциплинарного подхода и придать синергетическим идеям и понятиям их первоначальный естественнонаучный смысл.

6. ТЕЗАУРУС: ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ СИНЕРГЕТИКИ

Л.И. Мандельштам предостерегал от введения строгих определений на раннем этапе развития теории. По его словам, вводить строгие определения — всё равно, что заворачивать новорождённого младенца в колючую проволоку. Приводимые ниже определения не претендуют на математическую строгость. Это скорее пояснения, позволяющие понять суть понятия и правильно использовать соответствующий термин.

Динамическая система — система любой природы, состояние которой эволюционирует во времени.

Параметры (переменные) состояния — параметры (переменные), набор значений которых однозначно определяет состояние системы.

Управляющие параметры — те из параметров состояния, изменение которых позволяет изменять состояния системы (управлять состоянием).

Параметры порядка — функции параметров состояния, значения которых, как и значения самих параметров порядка, определяют состояние системы.

Принцип подчинения — принцип, утверждающий, что существуют функции параметров состояния (параметры порядка), которые, как и сами параметры состояния, определяют состояние системы.

Число параметров порядка, как правило, много меньше числа параметров состояния. Переход от параметров состояния к параметрам порядка позволяет осуществлять сжатие информации о системе.

Круговая причинность — принцип, утверждающий, что существуют функции, обратные тем, которые задают параметры порядка в зависимости от значений параметров состояния. Круговая причинность делает сжатие информации (см. п. 5) в синергетике обратимым.

Линейная система — система, удовлетворяющая принципу суперпозиции состояний, если в системе существуют режимы u_1 и u_2 , то существует и режим $\alpha u_1 + \beta u_2$ — произвольная линейная комбинация (суперпозиция) состояний u_1 и u_2 .

Теорема единственности — теорема, доказанная для линейных систем: при данных начальных или краевых условиях в системе существует только один режим.

Нелинейная система — система, воздействующая на себя; состояние на выходе системы служит её начальным состоянием. Связь выхода системы с её входом называется обратной связью. Для нелинейных систем — систем с обратной связью — принцип суперпозиции не выполняется.

Устойчивость (по Ляпунову) — система называется устойчивой по Ляпунову, если режимы, мало отличающиеся (на ϵ) в начальный момент времени отличаются на конечную величину (ϵ) в любой последующий момент времени.

Эффект бабочки — присущая нелинейным системам чувствительная зависимость от начальных условий (неустойчивость по Ляпунову), режимы, мало отличающиеся в начальный момент времени, в последующем экспоненциально быстро расходятся. (Название эффекта заимствовано из рассказа «И грянет гром» Брэдли.)

Горизонт событий (предсказуемость) — временной интервал, на протяжении которого поведение динамической системы предсказуемо, т.е. детерминировано.

Случайность — строго математического определения случайности не существует даже для последовательности нулей и единиц.

Случайность по фон Мизесу — по мере продвижения по последовательности доля нулей и единиц стремится к $1/2$.

Случайность по А.Н. Колмогорову — последовательность сложно устроена, если её описание не проще самой последовательности. Случайность по Колмогорову эквивалентна сложноустроенности.

Случайность по Мартин-Лёфу — последовательность нулей и единиц случайна, если она типична, т.е. не содержит никаких «особых примет» — не принадлежит малому множеству последовательностей с особыми примерами.

Хаос детерминированный — сложный режим, возникающий в нелинейной динамической системе вследствие её внутренней неустойчивости — система действует не как усилитель внешнего шума, а как генератор хаотического режима.

Меры хаоса — числовые характеристики, позволяющие (по различным критериям) сравнивать хаотические режимы динамических систем, выяснять, какой из двух хаотических режимов хаотичнее.

Самоорганизация — спонтанное (без воздействия извне) возникновение в динамической системе более сложных по сравнению с ранее существовавшими структур или состояний. Иногда синергетику называют теорией самоорганизации.

7. ВОЗНИКНОВЕНИЕ И ЭВОЛЮЦИЯ ПОНЯТИЯ «САМООРГАНИЗАЦИЯ»

Понятие «самоорганизация» возникло в 1970-х годах — первоначально как собирательное название многочисленных явлений, наблюдавшихся в сложных системах, изучением которых занимается синергетика. Осознание центральной роли самоорганизации в круге проблем, изучаемых синергетикой, равно как и понимание того, что и как происходит в системе при возникновении новых пространственных, временных и пространственно-временных структур, пришло позже. Первоначально исследователи ограничивались «комплектованием зоопарка» — составлением более или менее подробных перечней явлений самоорганизации в системах различной природы. И лишь по завершении периода «первоначального накопления» синергетику стали называть направлением, занимающимся изучением самоорганизации [13].

На начальном этапе внимание исследователей было почти всецело сосредоточено на том обстоятельстве, что самоорганизация, как о том свидетельствует само название этого явления, происходит без какого бы то ни было воздействия извне. Предыдущее

состояние системы утрачивает устойчивость, и вместо него появляется («самоорганизуется») новое, первоначально устойчивое состояние, которое в ходе дальнейшей эволюции также может потерять устойчивость и, в свою очередь, уступить место новому состоянию. Важная особенность самоорганизации — сжатие информации — оставалась незамеченной. Между тем сжатие информации при самоорганизации происходит весьма специфическим образом. Множество параметров состояния отходит на задний план, уступая место гораздо более малочисленным параметрам порядка, характеризующим самообразовавшиеся новые структуры. Можно сказать, что самоорганизация основополагающих принципов синергетики — принцип подчинения.

Анализ обширного эмпирического материала позволил сделать неожиданное открытие — обнаружить своего рода «структурный базис» эволюции — набор простейших структур или паттернов, из которых по определённым сценариям система синтезирует более сложные структуры. Это открытие оказалось тем более неожиданным, что самоорганизующиеся системы нелинейные, и принцип суперпозиции — принципиальная отличительная особенность линейных систем — в них не действует.

Разумеется, этим неожиданности, подстергавшие исследователей нелинейных систем, не исчерпывались. Выяснилось, что вопреки традиционным представлениям о хаосе как о синониме беспорядка хаос может обладать тонкой и сложной организацией.

8. ФРАКТАЛЫ

Ярким примером хаоса, наделённого тонкой структурой, могут служить самоподобные и самоаффинные объекты, получившие с лёгкой руки Бенуа Мандельброта название фракталы и мультифракталы.

В трёх своих книгах «Фрактальные объекты: форма, случай и размерность» (изд-во «Фламарион», 1975), «Фракталы: форма, случай и размерность» (изд-во «Фримен», 1977), «Фрактальная геометрия природы» (изд-во «Фримен», 1977), Бенуа Мандельброт предложил изумлённому научному миру, по существу, новую неевклидову геометрию — неевклидову не в смысле отказа от аксиомы о параллельности, принятой в традиционной евклидовой геометрии, а замены её другой аксиомой, как это было сделано в геометрии Н.И. Лобачевского и Я. Бойяи, а в смысле отказа от незримо присутствовавшего в «Началах» Евклида требования гладкости; геометрии — в соответствии с определением геометрии как науки об инвариантах группы преобразований, данным в 1872 г. в «Эрлангенской программе» Феликса Клейна, — фрактальная геометрия занимается изучением объектов, инвариантных относительно самоаффинных и самоподобных преобразований, образующих группы.

Бенуа Мандельброт создал неевклидову геометрию негладких, шероховатых, изъеденных причудливыми ходами, порами, трещинами и отверстиями, извилистых и т.п. объектов, бывших до этого своего рода математическими критериями. По молчаливому уговору, ранее такие объекты исключались из рассмотрения в пользу более «благообразных» усреднённых, сглаженных отполированных объектов. Между тем именно такие неправильные объекты составляют большинство объектов, встречающихся в природе. Гордые слова Галилея «Философия записана в этой огромнейшей книге Природы, которая всегда открыта перед нами (я говорю о Вселенной), но понять написанное невозможно, пока не изучишь язык и не распознаешь письма, которыми она написана. А написана она на математическом языке, и письмами её являются треугольники, круги и другие геометрические фигуры...», из его сочинения «Пробирных дел мастер» ныне надлежит трактовать так: «...треугольники, круги, фракталы и другие геометрические фигуры...».

Сам Бенуа Мандельброт охарактеризовал созданную им теорию как морфологию бесформенного: «Почему геометрию часто называют «холодной» и «сухой»? Одна из причин заключается в её неспособности описать форму облака, горы, береговой линии или дерева. Облака — не сферы, горы — не окружности, древесная кора — не гладкая, молния распространяется не по прямой.

В более общем плане я утверждаю, что многие объекты в Природе настолько нерегулярны и фрагментированы, что по сравнению с Евклидом — термин, который в этой работе означает всю стандартную геометрию, — природа обладает не просто большой сложностью, а сложностью совершенно иного уровня. Число различных масштабов длины природных объектов для всех практических целей бесконечно велико». Сверхсложная геометрия фрактальных сред накладывает свой отпечаток на разыгрывающиеся в них процессы. На фракталах по-новому, чем в традиционных сплошных средах, происходит диффузия, протекают химические реакции, происходит рассеяние акустических и электромагнитных волн. Но фракталы с их самоподобной и самоаффинной структурой служат регулярными моделями случайных (хаотических) сред — своего рода аналогом вполне интегрируемых систем классической механики. (Хотя вполне интегрируемые системы являются скорее исключениями, чем правилом, все учебники аналитической динамики заполнены именно вполне интегрируемыми системами: рассмотрение их позволяет развить интуицию, столь необходимую для анализа общих, не вполне интегрируемых систем. Фракталы с их тонкой самоаффинной и самоподобной структурой позволяют развить интуицию, необходимую для работы со случайными средами.)

9. СПЕЦИФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СИНЕРГЕТИКИ

В интервью по случаю тридцатилетия созданного им междисциплинарного направления Г. Хакен так охарактеризовал специфические особенности синергетики [11].

Исследуемые системы состоят из нескольких или многих одинаковых или разнородных частей, которые находятся во взаимодействии друг с другом.

Эти системы нелинейны.

При рассмотрении физических, химических и биологических систем речь идёт об открытых системах, далёких от теплового равновесия.

Эти системы подвержены внутренним и внешним колебаниям.

Системы могут быть нестандартными.

В системах происходят качественные изменения.

В этих системах обнаруживаются эмергентные новые качества.

Возникают пространственные, временные, пространственно-временные или функциональные структуры.

Структуры могут быть упорядоченными или хаотическими.

Во многих случаях возможна математизация.

10. СЛОЖНОЕ ПОВЕДЕНИЕ ПРОСТЫХ СИСТЕМ

Заголовок этого раздела по существу представляет собой «формулу открытия», совершённого в русле синергетических исследований и развеявшего долго державшийся миф о том, что сложное поведение якобы является исключительной прерогативой сложных систем. Обилие элементов, частей или деталей в сложных системах означает, что для их описания требуется огромное количество информации, нередко превышающее объём памяти и возможности её обработки. Возникает неполнота описания и, как следствие, непредсказуемость (и, следовательно, сложность) поведения системы.

На мифе (или добросовестном заблуждении?) о монополии сложных систем на сложное поведение зиждились попытки отождествить сложность системы с числом её элементов — мощностью системы как множества. Несостоятельность такого понимания сложности была убедительно продемонстрирована теорией самовоспроизводящихся автоматов фон Неймана. В его книге [5], реконструированной Берксом по отрывочным записям лекций фон Неймана (Беркс совершил научный подвиг, сравнимый с реконструкцией давно вымерших животных по крохотной детали их скелета, выполненной Кювье), первоначально была описана система, способная к сложному поведению — самовоспроизведению, которая состояла из более чем 200 деталей, но позднее был построен пример самовоспроизводящегося автомата, состоявшего из на порядок меньшего числа деталей.

Сложность — одно из тех интуитивно ясных, но упорно не поддающихся формализации понятий, которые играют важную роль в концептуальном аппарате синергетики. В эпоху Ньютона полагали, будто детерминированность поведения динамической системы исключает возможность сложности. Радость от обретения возможности описания величин не статичных, а изменяющихся во времени (по терминологии Ньютона — флюксий), их производных (по терминологии Ньютона — флюэнт) и возможности восстановления флюксий по известному соотношению между флюэнтами, т.е. с помощью решения дифференциальных уравнений, была столь велика, что самая мысль о сложном поведении флюксий казалась кощунственной. Ньютоновская вселенная функционировала наподобие хорошо отлаженного часового механизма, и сложность (тем более хаотичность), казалось, напрочь исключалась из репертуара возможных вариантов поведения динамических систем. Наиболее яркая формулировка ньютоновского детерминизма принадлежит Лапласу и известна под названием «демона Лапласа». Суть её сводится к следующему: «Состояние системы Природы в настоящий момент есть, очевидно, следствие того, каким оно было в предыдущий момент, и если мы представим себе разум («демон»), который в данное мгновение постиг все связи между объектами Вселенной, то он сможет установить соответствующие положения, движения и общие воздействия этих объектов в любое время в прошлом или в будущем» (1776).

Прозрение пришло много позднее — в конце XIX века. В работе на соискание премии короля Норвегии Оскара Анри Пуанкаре установил причину неинтегрируемости знаменитой проблемы трёх тел — сложное поведение сепаратрис гиперболических особых точек: «Если попытаться представить себе фигуру, образованную этими двумя кривыми [устойчивым и неустойчивым многообразиями седловой особой точки] и их бесчисленными пересечениями, каждое из которых соответствует двояко-асимптотическому решению, то эти пересечения образуют нечто вроде решётки, сети с бесконечно тесными петлями; ни одна из двух кривых никогда не должна пересекать самоё себя, но она должна навиваться на самоё себя очень сложным образом, чтобы пересечь бесконечно много раз все петли сети.

Поражаешься сложности этой фигуры, которую я даже не пытаюсь изобразить. Ничто не является более подходящим, чтобы дать нам представление о сложности задачи трёх тел и, вообще, всех задач динамики, в которых нет однозначного интеграла и в которых ряды Болина расходятся» [10].

На смену старому, ньютоновскому, пониманию детерминизма пришло новое понимание, не исключающее сложное, хаотическое поведение динамических систем и проводившее такой физико-математический оксиморон как «детерминистический или динамический хаос».

В «жизни» динамической системы регулярная динамика не отделена непроницаемой стеной от сложных режимов — от хаоса. Между регулярной динамикой

и хаосом существуют переходы, происходящие по тем или иным сценариям. Первоначально устойчивое состояние динамической системы претерпевает бифуркацию — теряет устойчивость и сменяется новым состоянием, которое первоначально устойчиво, но при изменении параметров состояния в дальнейшем также может потерять устойчивость, т.е. претерпеть новую бифуркацию и уступить место новому состоянию. Серия бифуркаций, претерпеваемых динамической системой на пути от регулярной динамики к хаосу, называется сценарием перехода к хаосу.

Отправным пунктом в исследовании проблем перехода к хаосу по общему признанию принято считать работу Ландау [2] «К теории турбулентности» (1944). В ней Л.Д. Ландау рассмотрел возникновение турбулентности при увеличении числа Рейнольдса (основного управляющего параметра в задачах гидродинамики). По сценарию, предложенному Ландау, первичное течение теряет устойчивость относительно колебательного возмущения, воздействующего на течение с некоторой частотой, возникшее осциллирующее вторичное течение, в свою очередь, теряет устойчивость при воздействии на него другого колебательного возмущения с другой частотой. В итоге после многочисленных бифуркаций, которые сопровождаются возникновением всё новых и новых частот, образующих иррациональные отношения, возникает сложный динамический режим — турбулентность.

Хотя Л.Д. Ландау рассматривал гидродинамическую задачу, нарисованная им картина носит столь общий характер, что её с равным основанием можно отнести ко всем динамическим диссипативным системам. Позднее (1948) аналогичные представления были развиты Эбергардом Хопфом в работе «Математический пример, демонстрирующий особенности турбулентности» [18]. Такую картину турбулентности принято называть сценарием Ландау–Хопфа.

В 1963 году американский метеоролог Эдвард Лоренц опубликовал статью «Детерминированное непериодическое течение», в которой изложил результаты численного решения системы трёх нелинейных дифференциальных уравнений, моделирующих динамику жидкости в подогреваемом снизу слое [3]. Основной акцент в анализе полученных результатов Лоренц сделал на взаимосвязи между сложной динамикой и присущей системе неустойчивостью траекторий. Именно в этой работе Лоренц ввёл термин «эффект бабочки».

В 1971 году, опираясь на достижения математического аппарата синергетики — так называемой нелинейной динамики, Давид Рюэль и Флорис Такенс в 1971 г. опубликовали работу «О природе турбулентности» [20]. В ней они подвергли критике сценарий Ландау–Хопфа, указав на то, что уже после 3–4 бифуркаций динамика может стать турбулентной, в частности, у системы может возникнуть характерный для случайного процесса сплошной спектр. Рюэль и Такенс связывали это обстоятельство с возникновением в фазовом пространстве «странного аттрактора» и неустойчивостью траекторий на странном аттракторе. Разумеется, работа Рюэля и Такенса, историческое значение которой отчасти определялось предложенным ими ключевым термином «странный аттрактор», также оказалась уязвимой для критики. Многие вопросы, возникающие в связи с предложенным ими сценарием перехода к турбулентности, пока остаются открытыми.

Особо подчеркнём, что работы Ландау, Хопфа, Рюэля и Такенса, посвящённые гидродинамическим системам, в действительности носят общий характер, и их результаты и выводы распространяются на все динамические диссипативные системы.

Изучение динамического хаоса привлекло внимание исследователей к важному классу математических моделей, в силу исторических причин, не пользовавшихся должным вниманием, — к дискретным отображениям, задаваемым рекуррентными соотношениями. К традиционным математическим моделям — дифференциальным

уравнениям — дискретные отображения относятся, как часы с дискретной индикацией времени (в роли показаний таких часов выступает индекс, нумерующий последовательные приближения) к часам с непрерывной индикацией времени: зависимость решения дифференциального уравнения непрерывна и (в классических случаях) даже дифференцируема.

При всей своей (во многом кажущейся) примитивности дискретные отображения служат удобными моделями для изучения и демонстрации многих синергетических эффектов и явлений, позволяющих исследователям понять, что происходит в более сложных ситуациях. Динамический хаос возникает уже в простейших нелинейных дискретных отображениях, например, в кусочно-линейных (треугольное отображение или отображение «зуб пилы») и квадратичных (логистическом отображении, или отображении Ферхюльста). Кроме того, на дискретные отображения не распространяется теорема Пуанкаре–Бендиксона, доказанная для дифференциальных уравнений и ограничивающая возможные варианты двумерных динамических систем (недаром А.А. Андронов, стремясь избавиться от ограничительных пут теоремы Пуанкаре–Бендиксона, провозгласил лозунг: «Выйти из плоскости!», честь реализовать который выпала в 1963 г. Эдварду Лоренцу): двумерные дискретные отображения отличаются несравненно большим разнообразием режимов по сравнению с двумерными динамическими системами, описываемыми дифференциальными уравнениями.

Над соотношением простого и сложного размышляют многие современные исследователи. Так, лауреат Нобелевской премии Илья Романович Пригожин и его сотрудник Грегуар Николис видят элементы сложного поведения в «неравновесности, обратных связях, переходных явлениях, эволюции», или более подробно: это — «возникновение бифуркационных переходов вдали от равновесия и при наличии подходящих нелинейностей, нарушение симметрии выше точки бифуркации, а также образование и поддержание корреляций макроскопического масштаба» [6, с. 53, 96].

По мнению Джона (Иоанниса) Николиса, сложность связана с субординации уровней, иерархическим принципом построения и, кроме того, с необходимостью должна рассматриваться в эволюционном аспекте» [8].

Один из основателей института в Санта-Фе (1984), ставшего признанным центром по изучению сложного, Мюррей Гелл-Манн в своей книге «Кварк и ягуар» [17] стремится показать, что мир кварков имеет, как ни странно, много общего с миром блуждающего в ночи ягуара. Два полюса — простое и сложное — взаимосвязаны. «Кварк символизирует фундаментальные физические законы, которые управляют универсумом и всем веществом в нём... Ягуар символизирует сложность окружающего нас мира, в особенности то, как мир проявляет себя в сложных адаптивных системах...».

Гелл-Манн предложил новый термин «plectics», который, по его мнению, удачно выражает взаимоотношения простого и сложного во всём их многообразии. Этот термин имеет греческое происхождение и семантически связан с «искусством переплетения», «составления», «усложнения».

Таким образом, в современной теории сложности происходит переход «from complexity to perplexity».

По мнению президента Немецкого общества по изучению сложных систем и нелинейной динамики К. Майнцера (почётным президентом этого Общества избран профессор Герман Хакен), описание сложного невозможно без представления о нелинейности и современных нелинейных моделей (т.е. без «нелинейного мышления» в смысле Л.И. Мандельштама).

«Стоит ещё раз подчеркнуть, — пишет Майнцер, — что линейное мышление может быть опасным в нелинейной сложности реальности... Наши врачи и психологи должны научиться рассматривать людей как сложных нелинейных существ,

обладающих умом и телом. Линейное мышление может терпеть неудачу в установлении правильных диагнозов... Мы должны помнить, что в политике и истории монокаузальность может вести к догматизму, отсутствию толерантности и фанатизму... Подход к изучению сложных систем порождает новые следствия в эпистемологии и этике. Он даёт шанс предотвратить хаос в сложном нелинейном мире и использовать креативные возможности синергетических эффектов» [19].

11. САМООРГАНИЗАЦИЯ И СЛОЖНОСТЬ

Г.Г.Малинецкий и А.Б.Потапов предложили дифференцировать понятие «сложность». По их мнению, «термин "сложность" имеет двоякий смысл. С одной стороны, его можно понимать как сложность устройства, т.е. наличие в некоторой системе большого числа элементов и/или нетривиальных связей между ними. А с другой стороны, речь может идти о сложности внешних проявлений системы безотносительно её внутреннего устройства, т.е. в нетривиальном поведении. Хотя эти две "сложности" во многом взаимосвязаны, они не эквивалентны, и мы будем употреблять понятие "сложность" только во втором из упомянутых значений, если не оговорено обратное» [4, с. 287].

На математическом уровне сложность неразрывно связана с нелинейностью описания, поскольку к линейным системам применим принцип суперпозиции, позволяющей независимо рассматривать различные действующие факторы, части системы и т.п., что гарантирует её простоту.

На физическом уровне описание, как правило, возможно лишь в статистических терминах, как то: плотность вероятности, коррекция, ляпуновские показатели, математическое ожидание, дисперсия и т.п. Это происходит в силу характерного для многих нелинейных систем хаотического поведения, ограничивающего возможности детерминированного описания, либо в силу очень большого числа составляющих систему элементов, делающего такое описание практически бесполезным.

На философском уровне наиболее существенным является осознание того обстоятельства, что чем более изощрён и специфичен механизм некоторого явления, тем реже оно должно реализовываться. А поскольку практически всё сколько-нибудь важное или интересное в природе так или иначе связано со сложностью, то лежащие в её основе механизмы должны быть просты и универсальны» [4, с. 287–288].

Мы неоднократно использовали термин «система». Настала пора уточнить его. Существует термодинамическая классификация систем, связанная с детализацией энергетического обмена и обмена веществом между системой и окружающей средой. Согласно этой классификации, системы подразделяются на открытые (обменивающиеся энергией и, возможно, веществом с окружающей средой) и закрытые (нет обмена веществом). Последние, в свою очередь, подразделяются на изолированные (нет и обмена энергией), адиабатически изолированные (нет теплообмена, но возможно изменение объёма при совершении работы) и замкнутые (возможен теплообмен при постоянстве объёма).

Как показали эксперименты и весь опыт синергетических исследований, во многих открытых нелинейных системах вдали от равновесия происходит самоорганизация. При этом обычно возникают либо пространственно неоднородные стационарные (т.е. не изменяющиеся со временем) образования, которые И.Р.Пригожин предложил называть диссипативными структурами [7], либо возникают периодические или непериодические колебания, которые по предложению Р.В. Хохлова стали называть автоволновыми процессами [1].

В основе образования диссипативных структур и возникновения автоволновых процессов лежит явление самоорганизации, т.е. выделение из большого, иногда бесконечно большого числа переменных (параметров состояния), описывающих систему, небольшого числа величин (называемых параметрами порядка), к которым по истечении достаточно продолжительного промежутка времени подстраиваются остальные степени свободы системы. Параметры порядка не обязательно должны совпадать с какими-то параметрами состояния. Они могут быть новыми, возникшими в ходе самоорганизации, т.е. эмергентными.

По мнению Г.Г. Малинецкого и А.Б. Потапова [4], в настоящее время на смену эре диссипативных структур и автоволновых процессов в синергетике приходит эра самоорганизованной критичности, поставщиками идей которой становятся нейронаука, теория риска, биология, психология, теоретическая история (Big History) и другие области, связанные с анализом сложных систем.

12. ТЕЗАУРУС-2 (ПРОДОЛЖЕНИЕ)

Ни Тезаурус-1, ни Тезаурус-2, ни теоретико-множественное объединение любого конечного числа тезаурусов, содержащих конечное число терминов, не может исчерпывающим образом охватить все понятия и термины синергетики. Сознвая это, мы тем не менее представляем в помощь читателю-гуманитарию по необходимости ограниченный набор терминов, понимание которых важно для чтения литературы по синергетике, нелинейной динамике и другим разделам нелинейной науки.

Аттрактор — притягивающее множество в фазовом пространстве.

Бассейн — область притяжения аттрактора — та часть фазового пространства, из которой траектории стремятся к аттрактору.

Гетероклиническая структура — структура, образованная пересечением устойчивого и неустойчивого многообразий двух различных седловых особых точек.

Гомоклиническая структура (гомоклиника) — структура, образованная пересечением устойчивого и неустойчивого многообразий одной и той же седловой точки.

Гомоклинический хаос — сложное (хаотическое) поведение динамической системы, обусловленное спецификой геометрии гомоклинической структуры. Наиболее подробно исследован в работах Л.П.Шильникова и его учеников и сотрудников.

Стрела времени — однонаправленность времени. Термин «стрела времени» предложен в 1928 году Эддингтоном в его книге — «The Nature of the Physical World» («Природа физического мира») — Ann Arbor: University of Michigan Press, 1958. Наиболее глубоко различные аспекты стрелы времени — от физических до философских — исследованы в трудах И.Р. Пригожина и его сотрудников (см, например, [9]).

Бифуркация:

а) потеря устойчивости предыдущим режимом динамической системы и смена его (обычно двумя) новыми первоначально устойчивыми режимами;

б) точка, в которой происходит бифуркация в смысле п. а).

Н-теорема Больцмана — теорема, согласно которой при временной эволюции к равновесному состоянию энтропия системы возрастает и остаётся неизменной при достижении равновесного состояния. (Н от английского heat — тепло).

Энтропия является мерой неопределённости (хаотичности). По теореме Больцмана при временной эволюции к равновесному состоянию степень хаотичности монотонно возрастает и достигает максимального значения в равновесном состоянии.

S-теорема Ю.Л. Климонтовича — критерий относительности упорядоченности открытых систем. (S от английского слова self-organization — самоорганизация).

КАМ-теория — предложенная в 1950-х годах А.Н. Колмогоровым, В.И. Арнольдом и Юргеном Мозером теория, описывающая регулярное и хаотическое поведение динамических систем.

Реакция Белоусова–Жаботинского — колебательная химическая реакция в гомогенной системе, открытая Б.П. Белоусовым в 1951 г.; А.М. Жаботинский выяснил кинетику реакции, построил её математическую модель и уточнил первоначальную гипотезу Б.П. Белоусова. Реакция Белоусова–Жаботинского породила мощную волну исследований гомогенных химических и биохимических исследований, лёгших в основу теории биологических часов.

Система Тьюринга — математическая модель, состоящая из системы двух дифференциальных уравнений, описывающих реакцию между двумя гипотетическими веществами-морфогенами и диффузию продуктов этой реакции. По мысли Алана Тьюринга, такая модель призвана была объяснить периодичность в строении некоторых животных, например, кольчатых червей, и растений.

Модель Тьюринга породила множество аналогов, созданных для описания периодических твердотельных структур и химических реакций. Названия таких моделей строились по единому образцу: название географического пункта, где работают создатели модели, плюс окончание слова осциллятор, например, орегонатор (модель, созданная в университете штата Орегон) или брюсселятор (модель, созданная школой И.Р. Пригожина в Международных институтах химии и физики Сольвэ в Брюсселе).

Брюсселятор — частный случай модели Тьюринга — одно дифференциальное уравнение диффузии с кубическим нелинейным членом, описывающим химическую реакцию, происходящую при тройном столкновении молекул реагирующих веществ, — события гораздо более редком, чем парное столкновение. Выбор кубической нелинейности, аналогичной нелинейности в предложенной Гейзенбергом теории ферромагнетизма, обусловил успешное применение брюсселятора для описания динамики различных физических систем, но создал определённые трудности при подыскании удовлетворяющей модели химической реакции. Такой реакцией оказалась реакция Чепмена — образование молекул озона O_3 в верхних слоях атмосферы.

13. ОТКАЗ ОТ ОПИСАНИЯ НА УРОВНЕ ТРАЕКТОРИЙ

Каждая из двух «тучек» на горизонте классической науки, о которых упомянул в своих «Балтиморских лекциях» Уильям Томпсон (лорд Кельвин), разрастаясь, превратилась в новую неклассическую науку. Рождение каждой из этих наук повлекло за собой отказ от каких-то классических представлений: квантовая механика — отказ от представления о безграничной делимости энергии (по Планку, электромагнитная энергия могла поглощаться и излучаться только конечными порциями — квантами, а Эйнштейн понял, что электромагнитная энергия может и распространяться только квантами), специальная теория относительности (СТО) — отказ от представления о бесконечной скорости распространения сигнала (согласно СТО, ни один сигнал не может распространяться быстрее света).

Естественно возникает вопрос: к отказу от какого классического представления привело рождение нелинейной науки и, в частности, синергетики? Такое представление действительно есть в классике. Это представление о траектории как о геометрической линии, т.е. по Евклиду, «длина без ширины». Физически описание поведения динамической системы на языке траекторий означало бы, что у нас имеется прибор со столь высокой разрешающей способностью, что он позволяет нам «видеть» геометрическую линию. Разумеется, в действительности разрешающая способность любого прибора конечна, а это означает, что мы можем «видеть» не индивидуальную траекторию, а только целый пучок индивидуальных траекторий, находящихся в трубке,

поперечное сечение которой определяется разрешающей способностью прибора. Все траектории внутри пучка для нас неразличимы. Имеет смысл говорить лишь о некотором вероятностном распределении траекторий внутри пучка, причём, по терминологии И.Р.Пригожина и И.Стенгерс, это вероятностное распределение несводимо, т.е. траектории внутри пучка невозможно индивидуализировать, — от распределения вероятностей невозможно перейти к отдельным траекториям, распределение вероятностей несводимо.

Несводимые вероятностные распределения коренным образом изменяют описание динамических систем и даже понимание физических законов.

Вот что говорят об этом И.Р.Пригожин и И.Стенгерс: «Традиционно существовали две формулировки физических законов: одна — в терминах траекторий или волновых функций, другая — в терминах статистических ансамблей. Но такая статистическая формулировка не была несводимой. Она была вполне применима к отдельным траекториям или волновым функциям. Иначе говоря, при статистическом подходе не появлялись новые динамические свойства. В результате необратимое приближение к равновесию традиционно было принято связывать с приближённостью, «крупнозернистостью» описания, а стрелу времени приписывать неполноте нашего знания. Предложенная нами несводимая формулировка порывает с этой ситуацией. Необратимость и вероятность становятся объективными свойствами. Они выражают то обстоятельство, что наблюдаемый нами физический мир не может быть сведён к отдельным траекториям или отдельным волновым функциям. Переход от ньютоновского описания в терминах траекторий или шрёдингеровского описания в терминах волновых функций к описанию в терминах ансамблей не влечёт за собой потери информации. Наоборот, такой подход позволяет включить новые существенные свойства в фундаментальное описание неустойчивых хаотических систем. Свойства диссипативных систем перестают быть только феноменологическими, а становятся свойствами, не сводимыми к тем или иным особенностям отдельных траекторий или волновых функций.

Но существуют классические системы, устойчивые и обратимые во времени. Как мы теперь понимаем, они соответствуют предельным ситуациям, исключительным случаям. В квантовой механике ситуация ещё более сложная, так как нарушение симметрии во времени явно признаётся необходимым для наблюдения квантового мира, т.е. для перехода от амплитуд вероятности к вероятности. В нашей формулировке законов природы характерные (представляющие) ситуации принадлежат к классу неустойчивых хаотических систем, которые мы отождествили с существованием несводимых вероятностных представлений. Это новое определение динамического хаоса включает в себя его обычное определение (в простых ситуациях, например, в случае дискретных отображений, оба определения эквивалентны) и допускает обобщение на более сложные ситуации, соответствующие подавляющему большинству случаев, представляющих физический интерес» [9, с. 253–254].

14. ЧТО ТАКОЕ НЕЛИНЕЙНАЯ ДИНАМИКА?

Итак, мы познакомились с важным разделом нелинейной физики — синергетикой, её основными понятиями и узнали, какое место она занимает в системе современных наук. Богатая свежими физическими и философскими идеями, синергетика использует новый математический аппарат — нелинейную динамику, которая также отличается от классического математического анализа Ньютона и Лейбница. В этом разделе мы постараемся, не вдаваясь в детали, помочь читателю составить общее представление о нелинейной динамике.

Нелинейная динамика — раздел современной математики, который занимается исследованием нелинейных динамических систем.

Под динамической системой условилось понимать систему любой природы (физическую, химическую, биологическую, социальную, экономическую и т.п.), состояние которых определяется набором величин, называемых параметрами состояния, или динамическими переменными, такими, что их значения в любой последующий момент времени по определённому правилу получаются из их значений в начальный момент времени. Это правило осуществляет оператор эволюции.

Нелинейная динамика использует при изучении систем нелинейные модели — чаще всего дифференциальные уравнения и дискретные отображения.

Дать точное определение того, что составляет предмет нелинейной динамики, ничуть не легче, чем определить, что составляет предмет теории колебаний. Перефразируя Л.И. Мандельштама («Лекции по теории колебаний»), можно сказать, что «было бы бесплодным педантизмом стараться «точно» определить, какими именно процессами занимается теория колебаний. Важно не это. Важно выделить руководящие идеи, основные общие закономерности».

Следует подчеркнуть, что нелинейной называется теория, в частности нелинейная теория динамических систем, или нелинейная динамика, использующая нелинейные математические модели. Но нелинейная теория не обязательно ограничивается изучением нелинейных явлений или закономерностей.

Мир нелинейных закономерностей или функций, так же как и стоящий за ним мир нелинейных явлений, страшит, покоряет и неотразимо манит своим неисчерпаемым разнообразием. Здесь нет места чинному стандарту, здесь безраздельно господствует изменчивость и буйство форм. То, что точно схватывает и переходит характерные особенности одного класса нелинейных функций, ничего не говорит даже о простейших особенностях типичного представителя другого класса нелинейных функций. Геометрический образ нелинейной функции — кривая на плоскости, искривлённая поверхность или гиперповерхность в пространстве трёх или большего числа измерений. На одинаковые приращения независимой переменной одна и та же нелинейная функция откликается по-разному в зависимости от того, какому значению независимой переменной придаётся приращение. Почти полным «безразличием» к изменению одних и повышенной, острой чувствительностью к изменению других значений независимой переменной нелинейные функции поразительно контрастируют с линейными функциями. Любая линейная функция откликается на приращение независимой переменной одним и тем же приращением своего значения, в какой бы части области определения ни находилось то значение независимой переменной, которой придаётся приращение. Именно здесь и проходит демаркационная линия между миром линейных и нелинейных явлений и зависимостей.

Что же касается границы между линейными и нелинейными теориями, то её принято проводить по иному признаку. Теория считается линейной или нелинейной в зависимости от того, какой — линейный или нелинейный — математический аппарат, какие — линейные или нелинейные — математические модели она использует.

Неповторимая отличительная особенность линейной теории, безвозвратно утрачиваемая при переходе к нелинейной теории — принцип суперпозиции — позволяет физику конструировать любое состояние из определённого набора частных состояний, образуя их линейные комбинации, или суперпозиции.

Физики, делавшие первые, ещё неуверенные шаги в области нелинейного, где всё было «не так», всё или по крайней мере многое противоречило устоявшимся линейным представлениям и линейной интуиции, питали несбыточную надежду, что милый их сердцу привычный математический аппарат путём различного рода ухищрений (малых

добавочных членов) удастся приспособить к решению новых нелинейных задач. Тех, кто питал такие надежды, ожидало разочарование: линейный математический аппарат отторгал чужеродную ткань нелинейных включений. «Искусственная линеаризация» оказывалась малоэффективной и «большей частью ничему не научила, а иногда бывала прямо вредной» (Л.И. Мандельштам).

Особенностью нелинейной теории было не только отсутствие принципа суперпозиции, но и наличие обратной связи: система воздействовала на самоё себя.

Неправильное перенесение линейного опыта и линейной интуиции на нелинейную почву не только лишено последовательности и наносит ущерб эстетической привлекательности теории (тем самым сигнализируя о нарушении сформулированного П.А.М. Дираком критерия математической красоты физической теории), но и чревато грубым искажением существа происходящих процессов. Руководствуясь обманчивыми показаниями ставшего ненадёжным компаса линейной теории, нетрудно впасть в ошибку и проглядеть важный эффект, не имеющий линейных аналогов.

Ещё на дальних подступах к бескрайним просторам нелинейности исследователь вынужден отказаться от линейных вех, способных скорее дезориентировать, чем указывать верное направление. Не располагая готовым математическим аппаратом или не успев выбрать подходящее оружие в обширном арсенале математических средств и методов, физик порой был вынужден становиться на путь своего рода «математического старательства» и приниматься решать нелинейные задачи «поштучно», используя их специфические индивидуальные особенности и полагаясь больше на удачу — пресловутый старательский «фарт». «Тот путь, конечно, сам по себе правилен, — писал Л.И.Мандельштам в предисловии к знаменитой (и многострадальной) «Теории колебаний» А.А. Андропова, А.А. Витта и С.Э.Хайкина. — Идя по нему, ряд исследователей получил весьма ценные результаты, сохранившие своё значение и в настоящее время. И сейчас, иногда, удобно в том или ином случае идти по этому пути».

Но не говоря уже о том, что фактически такие решения разрозненных отдельных задач не имели достаточного математического обоснования, весь этот путь в качестве, так сказать, большой дороги вряд ли целесообразен, так как он не ведёт к установлению тех общих точек зрения, той базы, как математической, так и физической, которая необходима для достаточно полного и всестороннего охвата области нелинейных колебаний в уже известной нам её части, и, что ещё важнее, для успешного дальнейшего планомерного развития».

Выделенные курсивом слова «нелинейных колебаний» не умаляют общности утверждения. Их вполне можно заменить словами «нелинейной физики», ведь они принадлежат Л.И. Мандельштаму.

Чтобы не влачить жалкое существование приживалки линейной теории и не быть низведённой до положения учёной хранительницы обширного собрания разрозненных решённых задач, нелинейная физика должна была обрести внутреннее единство и автономию от своей предшественницы — линейной физики. Необходимо создать «нелинейную культуру, включающую надёжный математический аппарат и физические представления, адекватные новым задачам, выработать нелинейную интуицию, годную там, где оказывается непригодной интуиция, выработанная на линейных задачах» (А.А. Андронов).

Основоположником и создателем нелинейного физического мышления стал замечательный физик — наш соотечественник академик Леонид Исаакович Мандельштам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зыков В.С. Моделирование волновых процессов в возбудимых средах. М.: Наука, 1984. С. 166.
2. Ландау Л.Д. К проблеме турбулентности // ДАН СССР. 1944. Т. 44. № 8. С. 339–342.
3. Лоренц Э. Детерминированное непериодическое течение // В сб. «Странные аттракторы» (Под ред. Я.Г. Синая и Л.П. Шильникова). М.: Мир, 1981. С. 88–116.
4. Малинецкий Г.Г., Потапов А.Б. Современные проблемы нелинейной динамики. М.: УРСС, 2002.
5. Нейман Дж. фон. Теория самовоспроизводящихся автоматов. М.: Мир, 1971.
6. Николис Г., Пригожин И. Познание сложного. М.: Мир, 1990.
7. Николис Г., Пригожин И. Самоорганизация в неравновесных системах. М.: Мир, 1979. С. 152.
8. Николис Дж. Динамика иерархических систем. Эволюционное представление. М., 1989.
9. Пригожин И., Стенгерс И. Время, хаос, квант. М.: Прогресс, 1999.
10. Пуанкаре А. Избранные труды. Т. 2. М.: Наука, 1972. С. 339.
11. Синергетике 30 лет. Интервью с профессором Хакеном. Проведено Е.Н. Князевой // Вопросы философии. 2000. № 3. С. 53–61.
12. Синергетическая парадигма. Многообразие поисков и подходов. М.: Прогресс-Традиция, 2000.
13. Хакен Г. Принципы работы головного мозга. М.: Per Se, 2001.
14. Хакен Г. Синергетика. Иерархия неустойчивостей в самоорганизующихся системах. М.: Мир, 1985.
15. Хакен Г. Синергетика. М.: Мир, 1980.
16. Хакен Г., Хакен-Крелль М. Тайны восприятия. М.: Институт компьютерных исследований, 2002.
17. Gell-Mann M. Quark and the Jaguar. Adventures in the Simple and the Complex. London: Abacus, 1995. P. 11.
18. Hopf E. A mathematical example displaying the features of turbulence // Comm. Pure Appl. Math. 1948. V. 1. P. 303–322.
19. Mainzer K. Thinking in Complexity. The Complex Dynamics of Matter, Mind, and Mankind. Berlin; Springer-Verlag, 1994. P. 13.
20. Ruelle D., Takens F. On the nature of turbulence // Comm. Math. Phys. 1971. V. 20. P. 167–192.
21. <http://www.bestreferat.ru/referat-394837.html>

SYNERGETICS AND COMPLEXITY

Danilov Y.A. cand. ph. and math, ass. prof., senior researcher FIAN RAS

1 ANNOTATION

At the turn of the 19th and 20th centuries, the scientific community was in a rosy mood - and not without reason: it seemed that a few more strokes, and the picture of the world would be built. By the end of the 19th century, classical science could rightfully be proud of its achievements. Since the time of Newton, the world, which the ancients divided into the sublunar

and supralunar spheres, has become a single, uniform cognizable (and, as the representatives of natural science and philosophical circles believed, largely cognized) laws acted in it.

Summing up turned into a proud demonstration of the brilliant achievements of classical natural science and the exact sciences and became a convenient occasion to determine the prospects. So, at the II International Congress of Mathematicians in August 1900 in Paris, David Hilbert in his report formulated 23 problems that, in his opinion, the mathematics of the 19th century bequeathed to solve the mathematics of the 20th century. As subsequent events showed, Hilbert was not mistaken in determining the "points of growth" of mathematics: the solution of each of Hilbert's 23 problems became a noticeable step in the development of mathematical science and was a noticeable advance. The patriarch of nineteenth-century physics, William Thomson (since 1802, Lord Kelvin), was no less perceptive. In his "Baltimore Lectures" he sagaciously pointed out two "dark clouds" in the shining firmament of classical physics. From one "dark cloud" Einstein's special theory of relativity soon grew, from another - quantum mechanics.

REFERENCES

1. Zykov B.C. Modeling of wave processes in excitable media. M.: Nauka, 1984. S. 166.
2. Landau L.D. On the problem of turbulence // DAN SSSR. 1944. V. 44. No. 8. S. 339–342.
3. E. Lorenz, "Deterministic non-periodic flow," in Proc. "Strange Attractors" (Edited by Ya.G. Sinai and L.P. Shilnikov). Moscow: Mir, 1981, pp. 88–116.
4. Malinetsky G.G., Potapov A.B. Modern problems of nonlinear dynamics. M.: URSS, 2002.
5. Neumann J. fon. Theory of self-reproducing automata. M.: Mir, 1971.
6. Nicolis G., Prigogine I. Knowledge of the complex. M.: Mir, 1990.
7. Nicolis G., Prigogine I. Self-organization in non-equilibrium systems. M.: Mir, 1979. S. 152.
8. Nicolis J. Dynamics of hierarchical systems. evolutionary presentation. M., 1989.
9. Prigogine I., Stengers I. Time, chaos, quantum. Moscow: Progress, 1999.
10. Poincare A. Selected Works. T. 2. M.: Nauka, 1972. S. 339.
11. Synergetics is 30 years old. Interview with Prof. Haken. Conducted by E.N. Knyazeva // Questions of Philosophy. 2000. No. 3. S. 53–61.
12. Synergetic paradigm. Variety of searches and approaches. Moscow: Progress-Tradition, 2000.
13. Haken G. Principles of the brain. M.: Per Se, 2001.
14. Haken G. Synergetics. Hierarchy of instabilities in self-organizing systems. M.: Mir, 1985.
15. Haken G. Synergetics. M.: Mir, 1980.
16. Haken G., Haken-Krell M. Secrets of perception. M.: Institute of Computer Research, 2002.
17. Gell-Mann M. Quark and the Jaguar. Adventures in the Simple and the Complex. London: Abacus, 1995. P. 11.
18. Hopf E. A mathematical example displaying the features of turbulence, Comm. Pure Appl. Math. 1948. V. 1. P. 303–322.
19. Mainzer K. Thinking in Complexity. The Complex Dynamics of Matter, Mind, and Mankind. Berlin; Springer-Verlag, 1994. P. 13.
20. Ruelle D., Takens F. On the nature of turbulence, Comm. Math. Phys. 1971. V. 20. P. 167–192.
21. <http://www.bestreferat.ru/referat-394837.html>