ВЫХОДИТ С ОКТЯБРЯ 2011 г.

СЛОЖНЫЕ СИСТЕМЫ

МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

Октябрь - Декабрь **№ 4 (49), 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 22.12.2023 г. Подписано в печать 25.12.2023 г. 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

October-December **№ 4 (49), 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); **Kirilishina 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 25.12.2023 г. 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 Mashinostroyenia, 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

Иванов О.П., Винник М.А. О роли моментов инерции и приливного трения в термодинамическом развитии планет **4**

Новые идеи, подходы

Иванов О.П., Старцев В.В. Странные аттракторы **16**

Камшилов М.М. Эволюция биосферы **40**

Чаленко А.Ю. Самоорганизация и энтропия в природе и экономике **61**

Афанасьева В.В. Постнеклассическая теория развития **80**

CONTENTS

Fundamental research

Ivanov O.P., Vinnik M.A. On the role of moments of inertia and tidal friction in the thermodynamic development of planets **4**

New ideas, approaches

Ivanov O.P., Startsev V.V. Strange Attractors **16**

Kamshilov M. M. Evolution of the biosphere **40**

Chalenko A.Yu. Self-organization and entropy in nature and economy **61**

Afanaseva V.V. Post-nonclassical development theory **80**

УДК 524.3; 524.4; 524.5

О РОЛИ МОМЕНТОВ ИНЕРЦИИ И ПРИЛИВНОГО ТРЕНИЯ В ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОМ РАЗВИТИИ ПЛАНЕТ

Иванов О.П., канд.геол.-мин.н., ivanovop2007@yandex.ru,
Винник М.А., д.пед.н., vinnik@mail.ru

Аннотация. В свете новейших исследований о роли приливного трения и избытка инфракрасного излучения планет-гигантов солнечной системы рассмотрена роль вязко-пластичного трения при различных моментах инерции для слоистых планет на примере Земли, проведен анализ роли приливного трения на примере спутников Юпитера.

Ключевые слова: момент инерции, вращательный момент, инфракрасное тепло, вязкое трение.

Введение

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 в Земле, 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. [4].

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

Новые представления

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)SiO3, около 20% — магнезиовюститы (Mg, Fe)O.

Свойства железосодержащих минералов в нижней мантии зависят от электронного состояния атомов железа. Дело в том, что ион железа Fe2+ (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 Fe2+ 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 Fe2+ уже энергетически выгодно изменить спаривание на низкоспиновое, поскольку они при этом чуть более компактно «сидят» внутри иона.

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 Цзюн-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 (Mg0,75,Fe0,25)O.

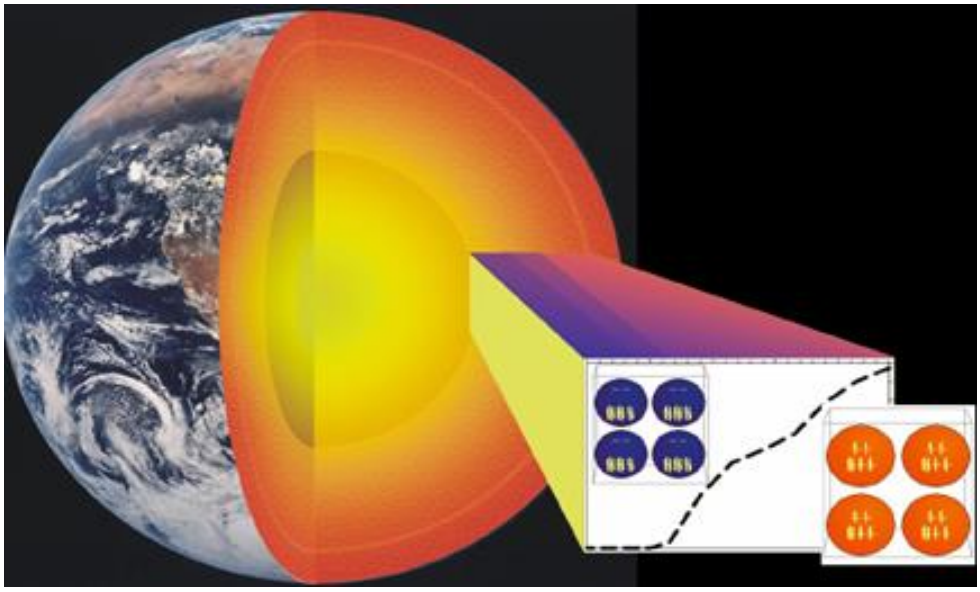


Рис.1. *Зона спинового перехода в нижней мантии показана на врезке: справа (красный цвет) — высокоспиновое железо, слева (синий) — низкоспиновое.*

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.

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.

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. [5]. Появление этих различий с нашей точки зрения связано с появлением в таких структурах свойств рефракции, ибо только рефрагированные продольные волны в соответствии с законом Ферма обладают большей скоростью даже по сравнению с просто продольными P-волнами, распространяющимися вдоль слоя.

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. [4].

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 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. Слоистость постперовскита важна и для реализации перехода кинематического тепла при изменение скорости вращения Земли в тепло-вязко-пластичного трения слоя D.

Авторский подход

Если же рассматривать другие планеты, например, газовые, то часть из них будут иметь значительно меньшую среднюю плотность, чем Земля, а их спутники ещё меньше. Для них вопрос о роли постперовскита не реален. Однако, спутниковые данные по планетам гигантам говорят о превышении величины излучаемого тепла, над получаемым от Солнца. 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 тёмная кольцевая окантовка на расстояниях нескольких сотен километров от кальдер. Имеется 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 [2].

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» [6].

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

На газовых планетах-гигантах и их спутниках из-за малой плотности вообще нет даже перовскита, но эндогенная деятельность есть. Например, "фотосъемка юпитерианских спутников, проведенная «Вояджерами», показала, что Европа является самым гладким телом в Солнечной системе.

Гипотезы объясняют особенности облика спутника Юпитера более чем вероятным существованием на ней 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 [7].*

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 эксцентричности 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 геологические процессы и, вероятно, позволяет подповерхностному океану оставаться подзем 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 Европе и Ганимеду 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. Мы вносим понятие квазирезонансов, так как кумулятивные процессы и особенно вращательные не имеют собственных резонансов из-за непрерывных изменений по массе и энергии.

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.

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 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, обращенная к Юпитеру, поднимается почти на 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”.

О кинематических источниках тепла

И не важно, что здесь ведущую роль играет приливное трение, а первопричиной является эксцентриситет (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, эти параметры присуши всем космическим 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 тоже кинематический параметр, так как он связан с эксцентриситетом. 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 тысячекилометровым размером спинового перехода для железосодержащих соединений и совершенно вольная трактовка суперплюмов с началом у слоя D с последующим утверждением о суперконтинентах.

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 [8] 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 (Фаэтона 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 возмущают 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, поглощение 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, которое вызовет сильный подъем температуры. В новом исследовании, опубликованном 1-го 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 [8].

В данной работе нас будет интересовать другой аспект — пластическое трения, возникающее в результате 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 Начиная с середины 60–х в наземных наблюдениях Солнечной системы стало отмечаться поразительное явление — аномальное внутреннее инфракрасное излучение, идущее с планеты Юпитер. коррелирует с одним общим для всех них параметром — их общей системой «вращательного момента» [9].

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 планеты (в 30 раз меньше земной), только третья версия — массированный 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°.) 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 т 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 бы был 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.

Хогленд предположил, что может существовать внешняя причина аномальной теплоотдачи. Возможно, это то, что вызывает приливы энергии на широте 19,5°. Но что может быть источником этого загадочного избытка, объяснение которого не укладывается в рамки обычных объяснений и подтверждает мистические геометрические правила?

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, сравнив 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 Wk = I ω2/2,

где Wk – момент вращения,

I – угловой момент инерции тела, ω – угловая скорость вращения.

Так как скорость вращения ядра и слоя одинаковы, то достаточно сравнить моменты инерции.

Для ядра: $I_1 = \frac{2}{5} m_1 R_1^2$;

для слоя: $I_2 = \frac{2}{5}\left(m_2 R_2^2 - m_1 R_1^2\right)$;

$m = 4/3\ \pi R^3 \rho$;

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 км; $\rho_2 = 5{,}518 \cdot 10^3$ кг/м^3;

$m_2 = 5{,}976 \cdot 10^{24}$ кг;

получим $I_2 = 97 \cdot 10^{36}$ кг м^2; R_1 = 3471 км; $\rho_1 = 11{,}8 \cdot 10^3$ кг/м^3; $m_1 = 2{,}066 \cdot 10^{24}$ кг; I_1 = $9.96 \cdot 10^{36}$ кг м^2;

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

Массу верхнего слоя m3 и его момент инерции I3 легко рассчитать, как:

$m_3 = m_2 - m_1 = 5{,}976 \cdot 10^{24} - 2{,}066 \cdot 10^{24} = 3{,}91 \cdot 1024$ кг;

$I_3 = I_2 - I_1 = 97 \cdot 10^{36} - 9{,}956 \cdot 10^{36} = 87{,}04 \cdot 10^{36}$ 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 планет, который классическая геология совершенно не воспринимает. Квазидвухслойным строением обладают все сфероидальные тела солнечной системы (планеты и спутники), даже те, где основу составляет лед, и нет радиоактивного тепла. С нашей точки зрения — это главный источник тепловой эволюции всех планетоидных тел в космосе.

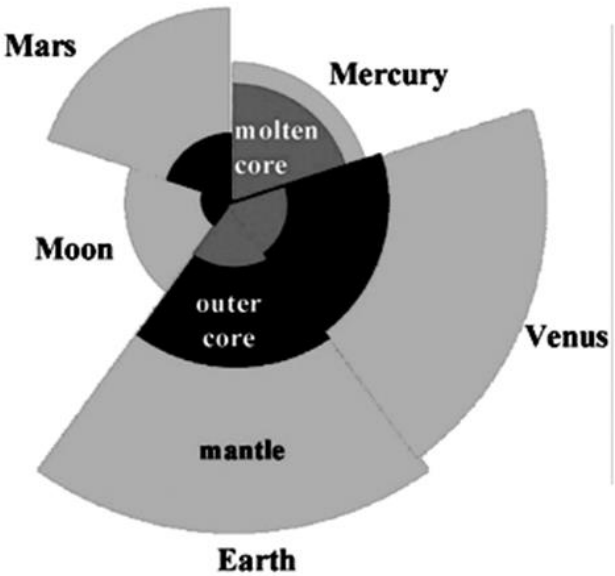


Рис.2. *Схема сравнительного двухслойного строения различных планет [10].*

Рассчитаем плотность не дифференцированной Земли (сплава) по формуле:

$$\rho = \frac{(m_3 + m_1)\cdot \rho_1\rho_3}{m_1\rho_3 + m_3\rho_1} \qquad (4.4)$$

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

Тогда $I = \frac{2}{5}mR^2 =$ 81,91·10^{36} кгм^2, т.е. момент инерции дифференцированной Земли увеличился на величину: $\Delta I = I_{совр} - I_{смеси} =$ (97,0 – 81,91) 10^{36} = 15,09·10^{36} 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 не дифференцированной 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 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 [3] или у Жарова В.Е. [1]. 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
1	Внутреннее ядро	5.862·10^{34}	5.873·10^{34}	9.851·10^{22}
2	Внешнее ядро	9.062·10^{36}	9.080·10^{36}	1.8413·10^{24}
3	Мантия	7.0157·10^{37}	7.0426·10^{37}	4.0027·10^{24}
4	Кора	8.340·10^{35}	8.3636·10^{35}	3.098·10^{22}
Сумма		8.0112·10^{37}	8.0401·10^{37}	5.9735·10^{24}

Если теперь объединить слои как в нашем случае и посчитать отношение моментов инерции, то получим следующее: для модели А-отношение 7,78, для модели С – отношение7,67. Можно приближенно принять отношение 8. Таким образом, вполне реально проскальзывание обобщенных слоев и возникновение тепла за счет вязкого трения при изменении скорости вращения Земли. Согласно исследованиям Н.С.Сидоренкова существует много явлений способствующих изменению скорости вращения Земли. Это прецессия, нутация и вариации эксцентриситета орбиты, влияние приливного трения Луны, влияние перемещения воздушных масс по поверхности Земли и др. При различных сочетаниях можно выделить ритмы скорости вращения суточного масштаба, недельные, месячные, сезонные, годичные, 10-летние, 60-70-летние, 100-летние и др. [11].

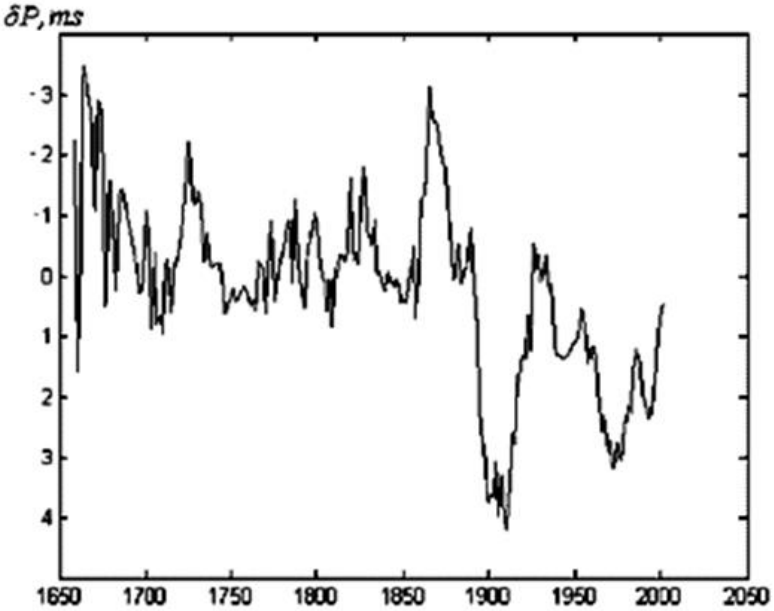


Рис. 3. *Отклонения δP длительности суток от эталонных за последние 350 лет по Н.С.Сидоренкову [11].*

ЛИТЕРАТУРА

1. Жаров В.Е. Масса и момент инерции Земли (http://lnfm1.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. Чуйкова Н.А., Максимова Т.Г.// Тр. ГАИШ, 1996, т.65, с.33-50;
4. http://gennady-ershov.ru/zemlya/termalnye-istochniki.html;
5. https://www.city-n.ru/view/159195.html;
6. 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 /;
7. https://easy-physic.ru/sputniki-planet-solnechnoj-sistemy/.
8. Astronews.ru, 10.07.2014;
9. http://www.nnre.ru/istorija/temnaja_missija_sekretnaja_istorija _NASA/p15.php;
10. http://ircamera.as.arizona.edu/NatSci102/NatSci/lectures/earth.htm;
11. http://fiz.1september.ru/2003/01/no01_1.htm;

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

Ivanov O. P., Vinnik M. A.

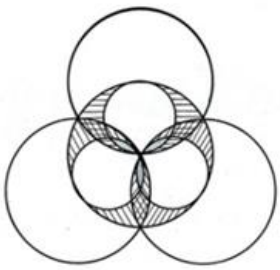
Abstract. In the light of the latest research on the role of tidal friction and excess infrared emission of the giant planets of the solar system the role of viscous friction at different moments of inertia for a layered planets for example Earth

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://lnfm1.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. N. A. Chuikova and T. G. Maksimova, Tr. GAISH, 1996, v.65, p.33-50;
4. http://gennady-ershov.ru/zemlya/termalnye-istochniki.html;
5. https://www.city-n.ru/view/159195.html;
6. 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 /;
7. https://easy-physic.ru/sputniki-planet-solnechnoj-systemy/.
8. Astronews.ru, 07/10/2014;
9. http://www.nnre.ru/istorija/temnaja_missija_sekretnaja_istorija_NASA/p15.php; 10. http://ircamera.as.arizona.edu/NatSci102/NatSci/lectures/earth.htm;
11. http://fiz.1september.ru/2003/01/no01_1.htm;

УДК: 517



СТРАННЫЕ АТТРАКТОРЫ

Иванов О.П., кан. геол.-мин. н., в.н.с. МЗ МГУ,
ivanovop2007@yandex.ru, **Старцев В.В.,** канд. техн. н., доцент
Ин-та системологии, systemology@yandex.ru

Аннотация. Наличие у не линейных уравнений общих свойств полезно, но, когда дело доходит до замеров и вычислений, каждая нелинейная система оказывалась вещью в себе. Постижение одной из них совершенно ничего не давало для проникновения в другую. Аттрактор Лоренца раскрывал стабильность и скрытую структуру системы, которая при другом подходе казалась совершенно неструктурированной. Но каким образом эта двойная спираль могла помочь специалистам изучать объекты, не имеющие к ней никакого отношения? Никто не знал.

Открыватели новых форм поступались строгостью научного стиля. Руэлль писал: «Я не упомянул об эстетическом воздействии странных аттракторов. Эти клубки кривых и рои точек вызывают порой в воображении пышные фейерверки или загадочные галактики, иногда напоминают причудливо-странное буйство растений. Перед нами огромное царство неоткрытых форм и неведомого совершенства».

Ключевые слова: странные аттракторы, динамическая система, турбулентность, фазовое пространство

В больших круговоротах — малые,
Рождающие скорость,
А в малых — меньшие и меньшие,
Рождающие вязкость.

Льюис Ф. Ричардсон

Проблема турбулентности имеет богатую историю. Все великие физики ломали над ней голову. Плавный поток разбивается на завитки и вихревые токи; беспорядочные изгибы разрушают границы между жидкостью и твердой поверхностью; энергия из крупномасштабного движения быстро перетекает в мелкие завихрения. Почему? Пожалуй, самые разумные идеи предлагали математики, большинство же физиков попросту опасались изучать турбулентность, которая казалась почти непостижимой. Доказательством тому может служить история о Вернере Гейзенберге, известном ученом, занимавшемся квантовой физикой. Последний признался на смертном одре, что хотел бы задать Господу Богу два вопроса — об основах относительности и о причине турбулентности. «Думаю, что Господь ответит мне на первый из них», — заметил Гейзенберг.

Теоретическая физика и явление турбулентности закончили игру вничью, — наука словно бы наткнулась на заколдованную черту и замерла возле нее. Вблизи магической границы, где вещество еще устойчиво, есть над чем поработать. К счастью, плавно текущая жидкость ведет себя совсем не так, как если бы каждая из бессчетного множества молекул двигалась самостоятельно: капельки жидкого вещества, находившиеся рядом в начальной точке, обычно остаются поблизости друг от друга, словно лошади в упряжке. Инженеры-гидротехники располагают вполне надежными уравнениями, описывающими поведение такого ламинарного потока: они используют знания, накопленные еще в XIX веке, когда движение жидкостей и газов являлось одной из первостепенных проблем физической науки.

К нашему времени проблема эта уже ушла в тень, и даже самые глубокие умы верили, что в динамике жидкостей не осталось тайн, кроме одной, неведомой и небесам. С практической стороны все выглядело таким понятным, что с легким сердцем могло быть отдано на откуп специалистам-техникам. По мнению физиков, динамика жидкости из научной проблемы превратилась в инженерную. Молодые светила физики и так находили себе занятие, и исследователи жидкостной динамики попадались уже только на технических факультетах университетов. Впрочем, у практиков интерес к турбулентности был несколько односторонним и сводился к тому, как устранить это явление. Иногда турбулентность даже желательна (как, например, в реактивном двигателе, где эффективное возгорание зависит от быстрого образования смеси), но в большинстве случаев она равносильна бедствию. Турбулентный воздушный поток, воздействуя на крыло самолета, затрудняет взлет. Турбулентный поток внутри нефтепровода задерживает движение жидкости. Правительства и корпорации вкладывают огромные средства в конструирование самолетов, турбинных двигателей, гребных винтов, подводных лодок и других подобных устройств, которые двигаются в жидкой или газообразной среде. Исследователей интересует кровоток в сосудах и сердечных клапанах, их заботят вихревые токи и водовороты, пламя и ударные волны при взрывах различного типа. Считается, что проектом атомной бомбы во время Второй мировой войны занимались физики-ядерщики, но в действительности же все относящиеся к ядерной физике вопросы были решены еще до начала работ, а в Лос-Аламосе занимались газо- и гидродинамическими аспектами.

Что же представляет собой турбулентность? Полную неупорядоченность при всех масштабах, крошечные вихри внутри огромных водоворотов. Турбулентность неустойчива и в высшей степени диссипативна, т. е. обладает способностью замедлять движение, истощая энергию. Она суть беспорядочное движение. Но все же каким образом течение жидкости превращается из плавного в турбулентное? Представьте себе безупречно гладкую полую трубку, в высшей степени стабильный источник водоснабжения, причем вся конструкция надежно защищена от вибрации. А теперь задайте себе вопрос: как же в потоке, текущем внутри трубы, может появиться что-то беспорядочное?

Кажется, все правила здесь терпят фиаско. Когда поток плавный, или ламинарный, небольшие помехи исчезают, однако сразу же вслед за появлением турбулентности их количество резко возрастает, загадывая науке новую загадку. Русло ручья у подножия скалы превращается в водоворот, который все увеличивается, расщепляется и кружится по мере движения воды вниз по течению, а струйка сигаретного дыма, что тихо вьется в воздухе, поднимаясь вверх над пепельницей, вдруг ускоряется и, достигнув критической скорости, распадается на бурные вихри. Порог турбулентности можно наблюдать и измерить в ходе лабораторных экспериментов; его тестируют для каждого крыла самолета или гребного винта при испытании в аэродинамической трубе. Тем не менее уловить его природу сложно. Как правило,

полученным данным не хватает универсальности, — изучение методом проб и ошибок крыла «Боинга-707» ничего не дает для проектирования крыла истребителя «F-16». Даже суперкомпьютеры оказываются почти беспомощными перед лицом хаотичного движения вещества.

Представим, что нечто сотрясает жидкость, вызывая внутри нее волны. Жидкость обладает вязкостью, и по этой причине сообщенная ей при встряхивании энергия из нее уходит. Если перестать встряхивать жидкость, она придет в состояние покоя. Что же происходит, когда вы встряхиваете жидкость? В результате этой процедуры жидкости сообщается низкочастотная энергия, низкие частоты преобразуются в более высокие, порождая все более и более стремительные вихревые токи. Этот процесс, приводящий к рассеиванию энергии жидкости, был еще в 30-х годах рассмотрен А. Н. Колмогоровым. Он разработал математическое описание динамики вихрей, рассматривая их во все меньшем и меньшем масштабе — до тех пор, пока не достиг предела, при котором вихри становились столь крошечными, что вязкость вещества на них уже не влияла.

Для большей наглядности Колмогоров представил, что вся жидкость состоит из небольших вихревых потоков и, таким образом, она везде одинакова. Подобное предположение об однородности неверно, о чем догадался еще Пуанкаре сорок лет назад, понаблюдав в бурной реке водяные завихрения, перемежавшиеся с участками спокойного течения. Таким образом, нестабильность течения локальна, и энергия фактически рассеивается лишь в части пространства. Если внимательно разглядывать турбулентный поток в любом масштабе, можно заметить, что обнаруживаются все новые и новые области спокойного течения. Таким образом, гипотеза об однородности уступает место предположению о прерывистости. Такое, отчасти идеализированное описание выглядит в высшей степени фрактальным, с чередующимися бурными и плавными зонами, которые заметны при любых масштабах, начиная от крупных и заканчивая мелкими. Но и эта картина в определенной мере представляет собой не полное отражение действительности.

Весьма близким к сформулированному выше, но в то же время самостоятельным является вопрос о том, что происходит с началом турбулентности. Каким образом поток жидкости пересекает границу между плавным и бурным? Какие промежуточные стадии пройдет турбулентность, прежде чем даст о себе знать в полной мере? На эти вопросы отвечала теория, звучавшая вполне резонно. Эта общепринятая парадигма своим появлением обязана Льву Давыдовичу Ландау, великому русскому ученому, чьи разработки в области гидродинамики до сих пор считаются одной из вершин физической науки. Модель Ландау являет собой нагромождение соревнующихся вихрей. Он предположил, что, когда в систему поступает больше энергии, в каждый момент времени возникает новая частота, не совместимая с предыдущей, словно скрипичная струна отзывается на усиление движения смычка звучанием второго диссонирующего тона, а затем — третьего, четвертого и т. д., до тех пор, пока звуки не сольются в непостижимую какофонию.

Любое жидкое или газообразное вещество представляет собой совокупность единичных частиц-молекул, число которых столь велико, что может показаться бесконечным. Если бы каждая частица двигалась сама по себе, появилось бы бесконечно много вариантов движения жидкости (говоря научным языком, бесконечно много «степеней свободы»), и уравнения, описывающие движение, включали бы бесконечное количество переменных. Однако ничего подобного не происходит: движение каждой молекулы в значительной степени зависит от движения ее соседок, и степеней свободы (по крайней мере, при спокойном течении) может быть лишь несколько. Потенциально сложные движения остаются связанными, расположенные рядом частицы не расходятся вовсе или расходятся плавно и линейно, образуя аккуратные линии на фотографиях,

сделанных в аэродинамической трубе. Частицы в струйке сигаретного дыма также некоторое время поднимаются вверх как единое целое.

Затем появляется возмущение, многообразие таинственных бурных порывов. Иногда такие движения даже получали имена: «осциллятор», «перекрестные ролики», «узел», «зигзаг», «вздутые вены» (какие бывают при варикозе). По мнению Ландау, возникающие нестабильные движения попросту скапливались, закладываясь одно на другое и создавая таким образом витки с частично совпадающими скоростями и размерами. Умозрительно такая общепринятая модель турбулентности, казалось, подходила под реальные факты, а на ее бесполезность с точки зрения математики посмотрели сквозь пальцы. Итак, Ландау, построив неразрешимую с математической точки зрения модель, сохранил свое достоинство ученого, но на взгляд практика это было полным банкротством.

Представим, что вода со слабым свистом медленно струится по трубке или течет внутри цилиндра. Мысленно увеличим давление, вызывая тем самым появление ритмичных колебаний вперед и назад. Жидкость медленно бьет в стенки трубки. Вновь нажмем на кнопку воображаемого прибора, увеличив давление. Неизвестно откуда появится вторая частота, не согласующаяся с первой. Дисгармонирующие ритмы, будто соревнуясь, накладываются друг на друга, и вот уже появилось довольно запутанное движение: волны ударяют о стенки трубки, перемешиваясь одна с другой так, что уловить их ритм невозможно. С ростом давления возникает третья, затем четвертая, пятая, шестая частоты, и все они не соответствуют друг другу, так что поток становится необычайно сложным. Возможно, это и есть турбулентность. Физики приняли такое объяснение, но ни один из них не мог предсказать, когда именно увеличение энергии повлечет возникновение новой частоты или какой она будет. Никто не разглядел этих таинственно появляющихся частот при проведении опыта, потому что теория Ландау о пороге турбулентности фактически не была еще испытана.

Теоретик проделывает эксперименты мысленно, а экспериментатору приходится еще и действовать руками. Теоретик — мыслитель, экспериментатор — ремесленник; первому не нужен помощник, второй вынужден «вербовать» студентов-выпускников, уговаривать механиков, обхаживать ассистентов лаборатории. Теоретик-чистюля работает там, где нет шума и грязи; экспериментатор же связан с объектом опыта так же тесно, как скульптор в мастерской, который часами прикован к бесформенной глине и старается то ласковым, то резким движением придать ей нужную форму. Теоретик может мысленно представлять своих коллег подобно наивному Ромео, грезящему о прекрасной Джульетте, а соратники экспериментатора, часами просиживающие в лаборатории, жалуются, курят, пьют кофе, потеют.

Эти двое нужны друг другу, однако в их отношения вкрадывается доля неравенства еще с тех древних времен, когда всякий ученый и размышлял, и ставил опыты одновременно. Хотя в некоторых, самых лучших экспериментаторах осталось что-то от теоретика, беседа ученых мужей явно не клеится. В конечном счете престиж теоретиков оказывается выше. Особенно ярко это проявляется в физике высоких энергий: теоретики буквально купаются в лучах славы, в то время как экспериментаторы становятся техниками высокой квалификации, имеющими дело с дорогостоящим и сложным оборудованием. В послевоенные десятилетия, когда блеск физики определяло исследование элементарных частиц, лучшими экспериментами стали те, что проводились на ускорителях частиц. Масса, заряд, спин, симметрия — эти абстракции зачаровывали тех, кто не принадлежал к академической среде, но пытался идти в ногу со временем, однако лишь для некоторых ученых изучение атомных частиц действительно являлось физикой. Переход к изучению все более и более мелких частиц в кратчайших временных промежутках требовал все более высокой энергии, а значит —

модернизации оборудования. Экспериментальная ветвь физики элементарных частиц с годами прогрессировала, в ней трудилось множество ученых, над постановкой крупных опытов работали целые команды. Статьи по физике частиц в журнале «Физическое обозрение» всегда выделялись тем, что перечень авторов занимал едва ли не четверть публикации.

Некоторые экспериментаторы, впрочем, предпочитали работать в одиночестве, на худой конец вдвоем. В своих опытах они задействовали те вещества, которые были доступны. В то время как определенные разделы физической науки, вроде гидродинамики, утрачивали актуальность, физика твердого тела, наоборот, выходила на первый план. Подведомственная ей сфера исследований настолько расширилась, что название дисциплины следовало бы поменять на более точное — «физика конденсированного вещества», т. е. физика материалов. В этой области, надо сказать, оборудование было куда проще, а связь между теоретиками и экспериментаторами — намного прочнее. Первые не проявляли чрезмерного снобизма, а вторые не пытались от них обороняться.

При всем том они на многое смотрели по-разному. В частности, теоретик запросто мог, прервав доклад экспериментатора, осведомиться: «Нельзя ли сделать ваши данные более убедительными? Не кажется ли вам, что данный график несколько неясен? Не стоит ли измерить данную величину в более широких пределах, чтобы получить больший объем информации?»

В ответ Гарри Суинни, выпрямившись во весь рост (около пяти с половиной футов), мог произнести с природным очарованием уроженца Луизианы, в котором чувствовалась, однако, нью-йоркская вспыльчивость: «Факты соответствуют истине. Да, это правда, при условии, что мы имеем бесконечно много „чистых“ экспериментальных данных. — И, резко повернувшись к доске, добавить: — В действительности в нашем распоряжении лишь ограниченное количество информации, да и то с погрешностями».

Суинни ставил опыты с веществами. Еще будучи студентом Университета Джона Хопкинса он почувствовал пьянящее очарование физики частиц, и это стало для него поворотным пунктом в судьбе. Поговорив как-то с Марри Гелл-Маном, от которого буквально веяло энтузиазмом, Суинни не устоял, однако, наблюдая за работой старшекурсников, он обнаружил, что все они писали компьютерные программы или паяли искровые камеры. Именно тогда Суинни завязал знакомство с опытным физиком, который приступил к исследованию фазовых переходов от твердого тела к жидкости, от немагнитного вещества к магниту, от проводника к сверхпроводнику. Довольно долгое время Суинни ютился в небольшой комнатке; размером она была с чулан, зато начинающий ученый обитал там один. Он стал заказывать приборы по каталогу, и вскоре в его скромном жилище появился лабораторный стол, лазер, зонды и кое-какое холодильное оборудование. Суинни сконструировал прибор для измерения теплопроводности углекислого газа вблизи критической точки конденсации. Многие физики полагали, что изменения теплопроводности незначительны, однако, как обнаружил Суинни, то было заблуждение: теплопроводность менялась весьма в значительных пределах. Все это будоражило. Один, в крошечной комнатке, он сделал открытие, увидев потустороннее свечение паров вещества, любой субстанции, вблизи критической точки, — свечение, названное «опаловым» из-за беловатой опаловой окраски рассеивавшихся лучей.

Как и многие хаотичные по своей природе явления, фазовые переходы характеризуются особым типом макроскопичного поведения, предугадать которое, глядя на мельчайшие фрагменты, весьма сложно. При нагревании твердого тела его молекулы начинают вибрировать под действием поступающей энергии, они

устремляются к поверхности, противодействуя связывающим их силам, и тем самым вызывают расширение объема вещества. Чем сильнее нагрев, тем больше расширяется вещество, и как лопается веревка после долгого растягивания, так и изменения становятся непредсказуемыми и прерывистыми при определенных давлении и температуре. Кристаллическая структура постепенно исчезает, и молекулы удаляются друг от друга, повинуясь законам, установленным для жидкости, которые нельзя вывести из закономерностей, определенных для твердого тела. Средняя энергия атома лишь слегка поменялась, однако вещество сейчас уже жидкость, магнит или сверхпроводник, т. е. приобрело новое качество.

Гюнтер Алерс в лабораториях корпорации «AT & T Bell» в Нью-Джерси исследовал так называемый сверхжидкостный переход в жидком гелии, при котором по мере падения температуры твердое вещество превращается в жидкость с волшебными свойствами, не обнаруживающую явно выраженной вязкости или трения. Другие же занимались сверхпроводимостью. Суинни исследовал точку фазового перехода между жидкостью и паром. И он, и Алерс, Пьер Берг, Джерри Голлаб, Марцио Джиглио и другие экспериментаторы в США, Франции и Италии — новое поколение физиков, занимавшихся фазовыми переходами, — в середине 70-х годов искали новые объекты для исследований. Подобно тому как почтальон знает во всех подробностях все аллеи и дома своего участка, так и они знали назубок все особые признаки вещества, меняющего свое состояние. Они изучали предел равновесного состояния вещества.

Все исследователи фазовых переходов, почувствовав под собой коварную трясину сомнений, ступали на спасительные камни аналогии. Фазовый переход от немагнитного состояния к магнитному оказался подобен переходу «жидкость — пар». Переход от жидкости к сверхжидкости демонстрировал подобие переходу от проводника к сверхпроводнику. Математические вычисления, описывающие один опыт, применялись к множеству других, и в течение 70-х годов проблема была почти решена. Вопрос заключался лишь в том, сколь далеко можно распространить вновь созданную теорию. Какие иные изменения в окружающем нас мире при их ближайшем рассмотрении окажутся фазовыми переходами?

Использование технических приемов, практикуемых при изучении фазовых переходов, для исследования потоков жидкости нельзя назвать ни сверхоригинальной идеей, ни самоочевидным подходом.

На особую оригинальность он не мог претендовать, потому что еще в начале XX века величайшие ученые — пионеры гидродинамики Рейнольдс, Рэлей и их последователи — заметили, что в ходе тщательно контролируемого эксперимента с жидкостью движение ее качественно меняется, происходит разветвление, или бифуркация. Например, при нагревании снизу сосуда с жидкостью она из состояния покоя приходит в движение. Слишком велик был соблазн, и, поддавшись ему, специалисты предположили, что физическая природа бифуркации как раз и напоминает происходящее в веществе при фазовых переходах.

Очевидным подходом применение подобных методов не назовешь, в силу того, что описанные выше бифуркации в жидкости не вызывали, как фазовые переходы, изменения в самой субстанции, но добавляли вместо этого новый элемент — движение. Жидкость из состояния покоя переходит к движению. И по какой причине математическое описание подобных перемен должно соответствовать уравнениям для конденсирующегося пара?

В 1973 г. Суинни преподавал в городском колледже Нью-Йорка, а Джерри Голлаб — серьезный, но временами впадавший в ребячество выпускник Гарварда — работал в Хаверфорде, что на юго-востоке Пенсильвании. Тамошнее учебное заведение, буколический сельский колледж гуманитарных наук близ Филадельфии, был наиболее

подходящим местом, чтобы угробить карьеру физика. Некому было поручить работу в лаборатории или иные функции, доверяемые ментором своим протеже, — выпускников попросту не хватало. Все же Голлабу нравилось преподавать физику студентам последнего курса, и он начал преобразование физического факультета в центр, широко известный высоким качеством своих экспериментов. Тогда же, взяв оплачиваемый семестровый отпуск, он уехал в Нью-Йорк для совместной работы с Гарри Суинни.

Помня об аналогии фазовых переходов и неустойчивости, наблюдающейся в жидкости, коллеги решили заняться классической системой — жидкостью, ограниченной пространством между двумя вертикальными цилиндрами. Один из них вращался внутри другого, заставляя жидкость двигаться между двумя поверхностями. Таким образом ограничивалось возможное движение вещества в пространстве, в отличие от струй, которые остаются после движения судна в море. Вращающиеся цилиндры воспроизводили так называемый поток Куэте — Тэйлора. Как правило, для удобства внутренний цилиндр вертится внутри закрепленного остова. Когда вращение начинается, набирая скорость, появляются первые признаки неустойчивости: жидкость образует изящный рисунок, напоминающий пучки трубок, и затем вокруг цилиндра появляются, одна над другой, размытые, похожие на ленты, зоны. Частицы жидкости движутся не только в направлении вращения цилиндра, но также совершают движение вверх и вниз, вращаясь вокруг указанных выше зон. Подобное их поведение уже было рассмотрено Дж. И. Тэйлором, который увидел и измерил количественные характеристики этого явления в 1923 г.

Для изучения потока Куэте ученые сконструировали аппарат, помещавшийся на письменном столе и представлявший собой два цилиндра. Внешний стеклянный цилиндр походил на узкую банку для теннисных шариков высотой в фут и диаметром в два дюйма. Внутрь него аккуратно помещался второй стальной цилиндр, оставлявший для воды пространство примерно в одну восьмую дюйма. «Это была весьма волнующая история, — вспоминал Фримен Дайсон, один из невольных очевидцев событий следующих месяцев. — Два этих джентльмена в тесной комнатке, оборудованной под лабораторию, почти без денег, ставят прекрасный опыт, который ознаменовал начало полноценных исследований феномена турбулентности».

Оба исследователя помнили о своей научной задаче, решение которой вскоре будет вознаграждено традиционными аплодисментами и быстро предано забвению. Суинни и Голлаб намеревались подтвердить идею Ландау о пороге турбулентности, и эксперименты не давали ни малейшего повода в ней сомневаться. К тому же было известно, что физики, занимавшиеся гидродинамикой, с доверием относятся к соображениям Ландау. Сами физики, Суинни и Голлаб тоже симпатизировали этой теории, потому что она соответствовала общей картине фазовых переходов. Ландау выработал достаточно эффективную схему для их изучения, основываясь на убеждении, что подобные явления должны подчиняться универсальным законам и что они не связаны со спецификой конкретных веществ. Когда Гарри Суинни изучал критическую точку конденсации углекислого газа, он, как и Ландау, был убежден, что его открытия можно будет применить к критической точке конденсации ксенона, и оказался прав. Действительно, почему бы турбулентности не быть устойчивым ансамблем сталкивающихся волн в движущейся жидкости?

Для того чтобы справиться с бурным движением жидкости, Суинни и Голлаб заготовили целый арсенал искусных методов, отточенных за годы изучения фазовых переходов при весьма непростых обстоятельствах. У них имелись такая методика исследований и такие измерительные приборы, о которых рядовой физик не мог даже и мечтать. Для изучения кружащихся потоков они применяли лазер. Луч, светящий сквозь

воду, преломлялся или рассеивался, что поддавалось измерению методом лазерной допплеровской интерферометрии. Полученную информацию хранили и обрабатывали с помощью компьютера, который тогда, в 1975 г., был большой редкостью на столах экспериментаторов.

Ландау отмечал, что по мере возрастания потока возникают новые частоты, каждая в отдельный промежуток времени. «Мы знали об этом, — вспоминал позже Суинни, — и решили, что будем наблюдать за переходами, чтобы заметить, где именно появятся такие частоты. И мы наблюдали — в полной уверенности, что переход определен вполне ясно. Мы инициировали фазовый переход в обе стороны, то увеличивая, то уменьшая скорость вращения цилиндров, и все так и вышло».

Отчитываясь о результатах проделанной работы, Суинни и Голлаб столкнулись с тем, что между сферой чистой физики и областью гидродинамики существовала некая, весьма живая и подвижная, граница. Она, в частности, определяла, какой из многочисленных отделов Национального научного фонда должен финансировать исследования. К началу 80-х годов эксперимент Куэте — Тэйлора вновь вошел в область физики, однако в 1973 г. его считали чистой воды гидродинамикой, а специалистам этой сферы первые результаты, полученные двумя физиками в небольшой лаборатории, показались подозрительно ясными. Им просто не поверили. Ведь те, кто всю жизнь посвятил гидродинамике, совсем не привыкли к опытам, повторявшим исследования в физике фазовых переходов. Более того, с позиций гидродинамики уяснить теоретическую подоплеку опытов представлялось весьма сложным. Обратившись в очередной раз в Национальный научный фонд с просьбой о финансировании, Суинни и Голлаб получили отказ. Некоторые из экспертов просто не зачли их результаты, а другие посчитали, что в результатах отсутствует какая-либо новизна.

Но работа ни на минуту не прекращалась. «Налицо был качественно определенный переход, - говорил Суинни, - и мы сочли это необыкновенной удачей. А затем вновь двинулись вперед, искать следующий».

И вдруг последовательность, о которой писал Ландау, разрушилась. Эксперимент не подтвердил теорию. При следующем переходе поток «перепрыгнул» к состоянию беспорядочности, не обнаружив сколько-нибудь заметных циклов: ни новых частот, ни постепенного увеличения беспорядочных фрагментов. Ничего. «Все, что мы обнаружили, так это то, что он внезапно стал хаотичным». Несколько месяцев спустя на пороге лаборатории появился худощавый, обаятельный европеец.

Давид Руэлль любил повторять, что существуют два типа физиков: ученые первого типа выросли, разбирая радиоприемники (до появления физики твердого тела можно было, уставившись на провода и светящиеся теплым светом вакуумные лампы, представлять себе потоки электронов), а те, кто принадлежал ко второму разряду, любили возиться с химическими реактивами. Сам Руэлль, родившийся и выросший на севере Бельгии, принадлежал как раз ко второму типу и всем игрушкам предпочитал наборы химика — даже не наборы в нынешнем смысле этого слова, а просто химикаты, неважно, взрывчатые или ядовитые, которыми его щедро снабжал местный аптекарь. Юный Давид смешивал, взбалтывал, нагревал, кристаллизировал и иногда даже взрывал все это богатство. Он родился в Генте в 1935 г. Его мать работала тренером по гимнастике, отец занимал должность профессора лингвистики в университете. И хотя юноша сделал карьеру весьма в далеком от обыденности мире науки, его всегда привлекала мистическая сторона природы, спрятавшей свои загадки в спорах губчатых грибов, селитре, зеленовато-желтой сере и древесном угле.

Математическая физика стала той областью, где Руэлль внес значительный вклад в открытие хаоса. К началу 70-х годов он работал в Институте высших научных исследований — учебном заведении в пригороде Парижа, основанном по образцу

Института перспективных исследований в Принстоне. У него уже появилась привычка, сохранившаяся на всю жизнь: время от времени он оставлял семью и работу, чтобы с рюкзаком за спиной побродить в безлюдье Исландии или сельских районах Мексики. Порой он встречал людей, даривших ему свое радушие и гостеприимство. Разделяя с ними скромную трапезу из маисовых лепешек, мяса и овощей, ученый думал, что видит мир таким, каким тот был два тысячелетия назад. Вернувшись в институт, он снова с головой погружался в исследования. Коллеги замечали, как исхудало его лицо, как резко выступает линия бровей, как заострился подбородок. Руэлль слушал лекции Стива Смэйла о «подкове» и хаотическом потенциале динамических систем. Он размышлял о турбулентности в жидкостях и классической схеме Ландау, подозревая, что все это каким-то образом соотносится, но в то же время и противоречит друг другу.

Ученый раньше никогда не работал с потоками жидкости, но это совсем не отбило охоту к исследованиям, так же как и не обескураживало его менее удачливых предшественников. «Новое открывают, как правило, непрофессионалы, — говорил он. — На самом деле не существует сложной и глубокой теории турбулентности. Все, что мы можем выяснить о ней, имеет более общую природу, а посему доступно и людям, ранее этим не занимавшимся». Не составляло труда понять, почему турбулентность не поддавалась анализу, — поведение потоков жидкости описывали нелинейные дифференциальные уравнения, в большинстве своем нерешаемые. И все же Руэлль разработал весьма абстрактную альтернативу схеме Ландау, изложенную на языке Смэйла, где пространство использовалось как податливый материал, который можно сжать, вытянуть и согнуть, образовав формы типа «подковы». Работа была написана в Институте высших научных исследований, с перерывом на визиты к голландскому математику Флорису Такенсу, и опубликована совместно в 1971 г. В стиле статьи нельзя было ошибиться. Она являла собой чистую математику (заметьте, вышедшую из-под пера физика!) и содержала определения, теоремы и доказательства, за которыми с неизбежностью следовало: Допустим… Вот один из примеров: «Доказательство (5.2.). Допустим, что X? есть однопараметрическое семейство Ck векторных полей в Гильбертовом пространстве H, таком, что…»

И все же в заголовке публикации, которая называлась «О природе турбулентности», прослеживалась связь с реальным миром и чувствовалось нарочитое созвучие с названием знаменитой работы Ландау «К вопросу о турбулентности». Руэлль и Такенс явно желали уйти гораздо дальше математики, пытаясь предложить альтернативу традиционным взглядам на порог турбулентности. Они предположили, что источником всего сложного в турбулентности является не наложение частот, ведущих к появлению бесконечного множества независимых и перекрывающих друг друга движений жидкости, а всего лишь три отдельных движения. Кое-что в их логике казалось весьма смутным, заимствованным, да и попросту неверным, или тем, другим и третьим сразу — пятнадцать лет спустя мнения на сей счет еще расходились.

Тем не менее глубокая проницательность, комментарии, заметки на полях и вкрапления из физики сделали работу объектом внимания на долгие годы.

Наиболее соблазнительным казался образ, окрещенный авторами странным аттрактором. Это название было суггестивным, как говорят психоаналитики, т. е. самим своим звучанием рождало подсознательные ассоциации, что Руэлль ощутил позднее. Термин «странный аттрактор» приобрел такую популярность у исследователей хаоса, что Такенс и Руэлль потом оспаривали друг у друга авторство. Ни тот, ни другой не могли отчетливо припомнить, кто первый использовал термин. Такенс — высокий, румяный и неистовый норманн — временами ронял: «Вам когда-нибудь доводилось спрашивать у Господа, как он создал эту чертову Вселенную?.. Я ничего не помню… Творю, не запоминая подробностей этого процесса». На что Руэлль, главный

из соавторов, мягко замечал: «Разные люди и работают по-разному. Некоторым людям следовало бы писать статьи в одиночку, чтобы затем единолично пожинать лавры».

Странный аттрактор обитает в фазовом пространстве — одном из удивительнейших изобретений современной науки. Фазовое пространство делает возможным превращение чисел в изображения, извлекая даже малую толику существенной информации из движущихся систем, механических или жидкостных, и наглядно демонстрируя все их возможности. Физики уже имели дело с двумя более или менее простыми типами аттракторов — фиксированными точками и замкнутыми кривыми, описывающими поведение таких систем, которые достигли устойчивого состояния или непрерывно себя повторяют.

В фазовом пространстве все известные данные о динамической системе в каждый момент времени концентрируются в одной точке, которая и представляет собой данную систему в кратчайшем временном отрезке. В следующее мгновение система уже претерпит изменения, пусть даже совсем незначительные, и точка изменит свое местонахождение. Всю длительность существования системы можно изобразить на графике, следя за перемещениями точки с течением времени и наблюдая за ее орбитой в фазовом пространстве.

Но как же все данные о сложнейшей системе могут быть представлены лишь в одной точке? Если система характеризуется двумя переменными, найти ответ не составляет труда, он напрямую вытекает из Евклидовой геометрии, преподаваемой в средней школе: одна из переменных располагается на горизонтальной оси x, а другая — на вертикальной оси y. Если же система представляет собой качающийся маятник, свободный от действия силы трения, то одна из переменных является его положением в пространстве, а другая — скоростью. Они непрерывно меняются, образуя линию из точек, которая изгибается петлей, вновь и вновь повторяющей саму себя. Та же система, но обладающая более высокой энергией, раскачивающаяся быстрее и дальше, образует в фазовом пространстве петлю, схожую с первой, но большую по размерам.

Впрочем, столкнувшись с одним из проявлений реальности — трением, система начинает претерпевать изменения.

Чтобы описать поведение маятника, подверженного трению, не нужны уравнения движения: каждое его колебание фактически заканчивается на одном и том же месте, в центре, откуда начиналось движение, и скорость его в эти моменты равна нулю. Данная центральная фиксированная зона как бы «притягивает» колебания. Вместо того чтобы вечно чертить на графике петли, орбита маятника спиралью закручивается внутрь. Трение рассеивает энергию системы, что в фазовом пространстве выглядит как толчок к центру. Наблюдается движение из внешних зон с высокой энергией к внутренним зонам с низкой энергией. Аттрактор — простейший из возможных — подобен магниту величиной с булавочную головку, встроенному в лист резины.

Одним из преимуществ рассмотрения состояний системы как совокупности точек в пространстве является то, что в таком случае легче наблюдать происходящие изменения. Система, в которой переменные непрерывно увеличиваются и уменьшаются, превращается в движущуюся точку, словно муха, летающая по комнате. Если некоторые комбинации переменных никогда не возникают, ученый может просто предположить, что пределы комнаты ограничены и насекомое никогда туда не залетит. При периодическом поведении изучаемой системы, когда она снова и снова возвращается к одному и тому же состоянию, траектория полета мушки образует петлю, и насекомое минует одну и ту же точку в пространстве множество раз. Своеобразные портреты физических систем в фазовом пространстве демонстрировали образцы движения, которые были недоступны наблюдению иным способом. Так фотография природного ландшафта в инфракрасных лучах открывает те мелочи и детали, которые

существуют вне досягаемости нашего восприятия. Ученый, взглянув на фазовую картину, мог, призвав на помощь воображение, уяснить сущность самой системы: петля здесь соответствует периодичности там, конкретный изгиб воплощает определенное изменение, а пустота говорит о физической невероятности.

Даже при наличии двух переменных изображения в фазовом пространстве могли еще многим удивить. Даже на мониторах настольных компьютеров можно было построить кое-какие из них, превращая уравнения в красочные траектории.

Некоторые физики начали создавать серии движущихся картинок и снимать видеопленки, чтобы продемонстрировать их своим коллегам.

Математики из Калифорнии публиковали книги, иллюстрированные множеством красно-сине-зеленых рисунков в стиле анимации, — «комиксы хаоса», как отзывались о них, не без яда, коллеги авторов.

Но пара измерений не охватывала всего богатства систем, которые хотели изучать физики, и ученые стремились ввести больше двух переменных, что, естественно, требовало увеличения числа измерений. Каждый фрагмент динамической системы, способный к независимому перемещению, является уже новой переменной, воплощая иную «степень свободы», и для каждой такой степени требуется новое измерение в фазовом пространстве. Иначе нет уверенности, что одна-единственная точка содержит достаточно информации для описания состояния системы в каждый конкретный момент времени.

Простые уравнения, изучавшиеся Робертом Мэем, являлись однопространственными. Они позволяли обойтись одним числом — значением температуры или численности популяции, которое определяло местоположение точки на прямой, располагавшейся в одном измерении. Развернутая система Лоренца, описывавшая конвекцию в жидкостях, имела три измерения, но не потому, что жидкость двигалась в трех пространственных измерениях, а потому, что для описания состояния жидкости в каждый момент времени требовалось три вполне определенных числа.

Даже топологу с самой развитой фантазией нелегко представить пространства, обладающее четырьмя, пятью и более измерениями. Однако сложные системы имеют множество независимых переменных, поэтому математикам пришлось смириться с тем, что множество степеней свободы требует фазового пространства, где бесконечно много измерений. Так ничем не ограниченная природа дает о себе знать в бурных струях водопада или в непредсказуемости человеческого мозга. Но кто сумеет справиться с буйным, необоримым чудищем турбулентности, которому присущи многообразие форм, неопределенное число «степеней свободы», бесконечное количество измерений?

Физики имели вполне вескую причину, чтобы с неприязнью относиться к модели, поведение которой столь неясно. Используя нелинейные уравнения, описывающие движения жидкости, мощнейшие суперкомпьютеры мира не могли точно проследить турбулентный поток даже одного кубического сантиметра жидкости в течение нескольких секунд. Конечно, виновата в этом больше природа, нежели Ландау, тем не менее предложенная советским ученым схема производила эффект «поглаживания против шерсти». Даже не имея сколько-нибудь солидных знаний, физик вполне мог заподозрить, что феномен не поддается интерпретации.

Подобное ощущение выразил словами великий теоретик квантовой физики Ричард Филлипс Фейнман: «Меня всегда беспокоило, что согласно законам в их современном понимании вычислительной машине нужно выполнить бесчисленное количество логических операций, чтобы выяснилось, что же происходит в пространстве и времени, независимо от того, насколько малым является это пространство и сколь коротким — время. Как подобное может случаться в таком маленьком пространстве?

Почему требуется столько усилий, чтобы выяснить наконец, какова дальнейшая судьба отрезка времени или капельки пространства?»

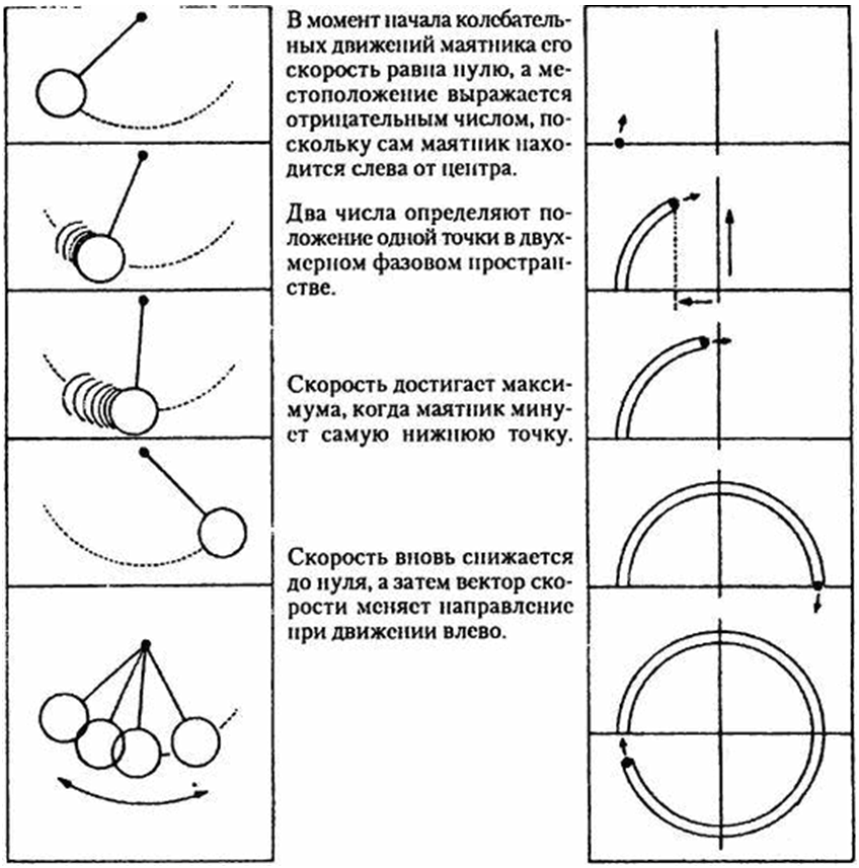
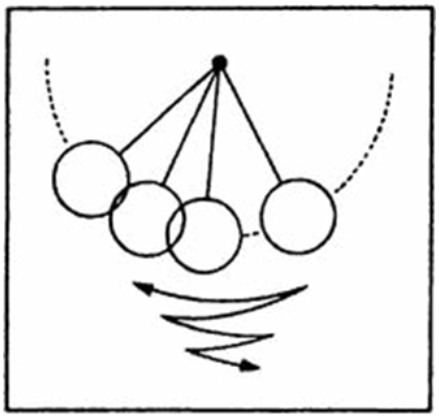


Рис. 1. *Новый способ изучения маятника.*

Одна лишь точка в фазовом пространстве (справа) передает всю информацию о состоянии динамической системы в конкретный момент времени (слева). Для простого маятника достаточно двух чисел, представляющих его скорость и местоположение.



Точки образуют траекторию, которая позволяет наглядно представить непрерывное поведение динамической системы в течение длительного периода времени. Повторяющаяся «петля» отображает систему, которая всегда воспроизводит одно и то же свое состояние. Если повторяющееся поведение устойчиво, как у часов с маятником, система при незначительных помехах возвращается к прежней орбите движения.

Странные аттракторы

В фазовом пространстве траектории вблизи орбиты как бы вовлечены в нее, а сама орбита является аттрактором.

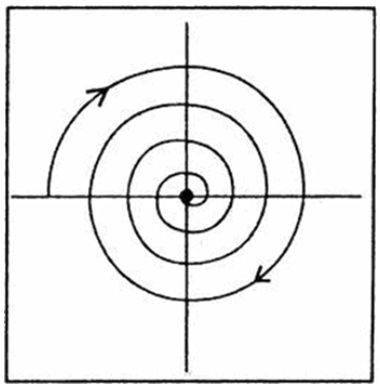


Рис. 2. *Аттрактор может являть собой одну-единственную точку. В случае с маятником, непрерывно теряющим энергию на трение, все траектории имеют форму спирали, закручивающейся внутрь, по направлению к точке, в которой система устойчива, — в таком случае движения не наблюдается вообще.*

Как и многие из тех, кто занимался хаосом, Давид Руэлль подозревал, что видимые в турбулентном потоке объекты: перепутанные струи, спиральные водовороты, волшебные завитки, появляющиеся и вновь исчезающие, — должны отражать то, что объяснялось законами физики, но еще принадлежало к сфере таинственного и неоткрытого. В его понимании рассеивание энергии в турбулентном потоке должно было вести к своеобразному сокращению фазового пространства, притягиванию к аттрактору. Бесспорно, последний не оставался неподвижной точкой, поскольку поток никогда не приходил в состояние покоя, — энергия поступала в систему и уходила из нее. Каким еще мог быть аттрактор? Помимо описанного, согласно догмату, существовал лишь один возможный тип — периодический аттрактор, или замкнутая кривая, орбита, притягивающая все близлежащие орбиты. Если маятник получает энергию от подвеса и теряет ее из-за трения, то устойчивая орбита может представлять собой замкнутую петлю в фазовом пространстве, отражающую, например, регулярные колебательные движения маятника дедушкиных часов. Неважно, где именно начнет двигаться маятник, в конечном счете он придет именно к данной орбите. Но придет ли? В силу неких начальных условий (а они характеризуются минимумом энергии) маятник остановится. Таким образом, получается, что система в действительности имеет два аттрактора, один из которых является замкнутой петлей, а другой — фиксированной точкой. Каждый из аттракторов имеет собственную «нишу» в фазовом пространстве. В целом это напоминает две речные долины, разграниченные водоразделом.

В короткий период времени каждая точка фазового пространства может означать возможное поведение динамической системы. При изучении долгосрочной перспективы единственными моделями поведения становятся сами аттракторы. Все иные типы движения преходящи. По определению, аттракторам присуще важнейшее качество — устойчивость. В реальной системе, где движущиеся элементы сталкиваются и раскачиваются из-за помех окружающей среды, движение обычно возвращается к аттрактору. Толчок способен ненадолго исказить траекторию, однако возникающие случайные движения быстро исчезают, — даже если вдруг кошка заденет часы с маятником, минута не увеличится до шестидесяти двух секунд. Однако турбулентность в жидкостях — явление иного порядка, никогда не порождающее единичный ритм. Известное свойство такого явления заключается в том, что в данный момент времени

наблюдается весь спектр возможных колебаний. Турбулентность можно сравнить с «белым шумом» или статикой. Могла ли простая детерминистская система уравнений описывать подобный феномен?

Руэлль и Такенс задались вопросом, обладает ли какой-либо иной тип аттрактора подходящим набором характеристик: устойчивостью, малым числом измерений, непериодичностью. Устойчивость означала достижение конечного состояния системы вопреки всем помехам в полном шумов мире. Малое число измерений предполагало, что орбита в фазовом пространстве должна представлять собой прямоугольник или форму типа коробки, обладающие лишь несколькими степенями свободы. Непериодичность подразумевала отсутствие повторений — ничего общего с монотонным тиканьем старых часов. С геометрической точки зрения вопрос казался чистой воды головоломкой. Какой вид должна иметь орбита, изображаемая в ограниченном пространстве, чтобы она никогда не повторяла и не пересекала саму себя? Ведь система, вернувшаяся в свое прежнее состояние, согласно принятой модели, должна следовать по своему обычному пути. Чтобы воспроизвести каждый ритм, орбита должна являть собой бесконечно длинную линию на ограниченной площади. Другими словами, она должна стать фрактальной.

Исходя из математических резонов, Руэлль и Такенс провозгласили, что описанный феномен должен существовать. Хотя они никогда не видели и не изображали его, одного заявления оказалось довольно. Впоследствии, выступая с речью на пленарном заседании Международного конгресса математиков в Варшаве, Руэлль заявил: «Научное сообщество весьма прохладно отнеслось к нашему предположению. Упоминание о том, что непрерывный спектр будет ассоциироваться с незначительным числом „степеней свободы“, многие физики посчитали просто ересью». Но были и другие — горсточка, не больше. Почувствовав всю значимость вышедшей в 1971 г. работы, они стали описывать то, что в ней подразумевалось.

На самом же деле к 1971 г. в научной литературе уже имелся один небольшой набросок того невообразимого чудовища, которое пытались оживить Руэлль и Такенс.

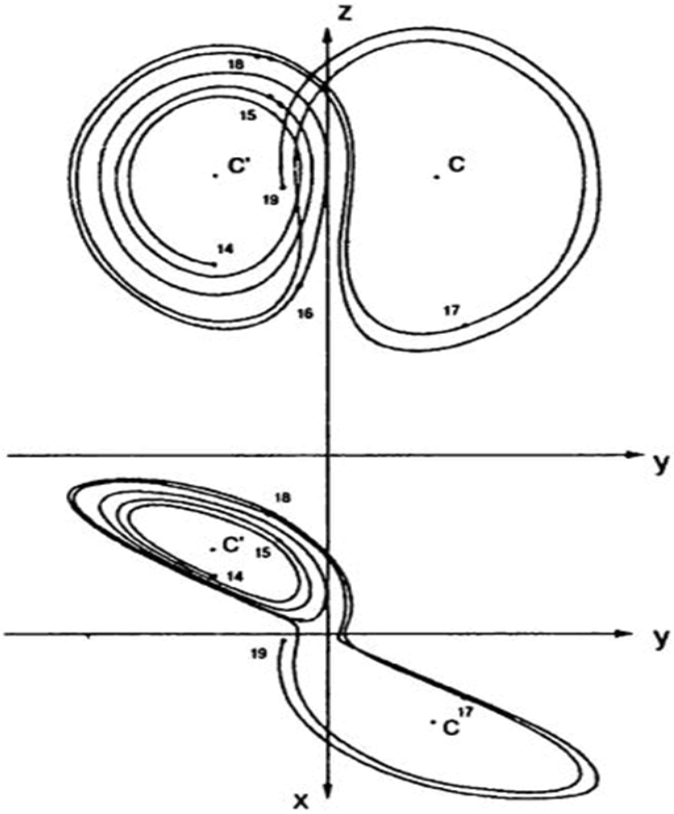


Рис. 3. *Первый странный аттрактор. В 1963 г. Эдвард Лоренц смог вычислить только первые несколько элементов аттрактора для своей простой системы уравнений. Однако он понял, что «прослойка» двух спиральных крылообразных форм должна иметь необычную структуру, неразличимую в малых масштабах.*

Странные аттракторы

Эдвард Лоренц сделал его приложением к своей статье о детерминистском хаосе, вышедшей в 1963 г. Этот образ представлял собой сложную конструкцию из двух кривых, одна внутри другой, справа и пяти кривых слева. Лишь для схематичного изображения этих семи «петель» потребовалось пятьсот математических операций, с успехом выполненных компьютером. Точка, двигаясь вдоль указанной траектории в фазовом пространстве, демонстрировала медленное хаотичное вращение потоков жидкости, что описывалось тремя уравнениями Лоренца для явления конвекции. Поскольку система характеризовалась тремя независимыми переменными, данный аттрактор лежал в трехмерном фазовом пространстве. И хотя изображен был лишь его фрагмент, Лоренц смог увидеть гораздо больше: нечто вроде двойной спирали, крыльев бабочки, сотканных с удивительным мастерством. Когда увеличение количества теплоты в системе Лоренца вызывало движение жидкости в одном направлении, точка находилась в правом «крыле», при остановке течения и его повороте точка перемещалась на другую сторону.

Аттрактор был устойчивым, непериодическим, имел малое число измерений и никогда не пересекал сам себя. Если бы подобное случилось и он возвратился бы в точку, которую уже миновал, движение в дальнейшем повторялось бы, образуя периодичную петлю, но такого не происходило. В этом-то и заключалась странная прелесть аттрактора: являвшиеся взору петли и спирали казались бесконечно глубокими, никогда до конца не соединявшимися и не пересекавшимися. Тем не менее они оставались внутри пространства, имевшего свой предел и ограниченного рамками коробки. Почему такое стало возможным? Как может бесконечное множество траекторий лежать в ограниченном пространстве?

До того как изображения фракталов Мандельбро буквально наводнили научный мир, представить себе особенности построений подобных форм казалось весьма трудным. Сам Лоренц признавал, что в его собственном экспериментальном описании присутствовало «явное противоречие». «Очень непросто слить две поверхности, если каждая содержит спираль и траектории не стыкуются», — сетовал ученый.

Однако в массе компьютерных вычислений он все же разглядел слабо просматривавшееся решение. Лоренц понял, что, когда спирали явно начинали соединяться, поверхности должны были делиться, образуя отдельные слои, словно в стопке писчей бумаги. «Мы видим, что каждая поверхность состоит на самом деле из двух поверхностей, так что, когда они сходятся, появляется уже четыре. Продолжая подобную процедуру, заметим, что возникает восемь поверхностей и т. д.

В итоге мы можем заключить, что налицо бесконечное множество поверхностей, каждая из которых находится чрезвычайно близко к одной из двух соединяющихся поверхностей». Не удивительно, что в 1963 г. метеорологи оставили подобные рассуждения без внимания.

Десятилетие спустя Руэлль, узнав о труде Лоренца, был буквально ошеломлен. Впоследствии он посетил Лоренца, однако вынес из этой встречи чувство легкого разочарования. Общие научные интересы исследователи обсуждали совсем недолго; с характерной для него робостью Лоренц избегал полемики и постарался придать визиту светский характер: ученые с женами посетили художественный музей.

Пытаясь отыскать ключи к решению загадки, Руэлль и Такенс пошли двумя путями. В частности, они попытались дать теоретическое обоснование странных аттракторов. Являлся ли аттрактор Лоренца типичным? Возможны ли какие-то иные формы?

Второй тропинкой, по которой пошли ученые, стала экспериментальная деятельность. Она преследовала цель подтвердить или опровергнуть весьма далекое от математики убеждение, что странные аттракторы применимы к хаосу в природе.

В Японии исследование электронных схем, имитировавших колебание механических струн, но в ускоренном темпе, привело Иошисуке Уэда к обнаружению последовательности невероятно прекрасных странных аттракторов. В Германии Отто Рёсслер, непрактикующий доктор медицины, пришедший к исследованию хаоса через химию и теоретическую биологию, попробовал взглянуть на странные аттракторы сквозь призму философии, оставив математику на втором плане. Его имя стало ассоциироваться с одним из простейших аттракторов — узкой лентой со сгибом, которую изучали довольно широко в силу легкости ее построения. Однако ученый облек в зримую форму и аттракторы с большим числом измерений. «Представьте сосиску, внутри которой заключены одна в другой еще сосиски, — говорил он. — Выньте ее, сверните, сожмите и положите обратно». Действительно, сгибание и сжатие пространства оказались ключом к построению странных аттракторов и, возможно, даже к динамике порождавших их реальных систем. Рёсслер чувствовал, что эти формы олицетворяли принцип самоорганизации окружающего мира. Его воображению рисовалось нечто вроде ветроуказателя на аэродроме. «Замкнутый с одного конца рукав с отверстием на другом конце, куда рвется ветер, — разъяснял исследователь. — Вдруг ветер оказался в ловушке. Его энергия совершает нечто продуктивное, подобно дьяволу в средневековой истории. Принцип таков, что природа делает что-то против своей воли и, запутавшись сама в себе, рождает красоту».

Создание изображений странных аттракторов вряд ли можно назвать обычным делом. Запутанные пути орбит вьются сквозь три и более измерений, образуя в пространстве темный клубок, который похож на детские каракули и наделен внутренней структурой, невидимой извне. Чтобы представить подобную трехмерную «паутину» в виде плоских картин, ученые сначала применили технику проекции. Рисунок являл собой тень, отбрасываемую аттрактором на поверхность. Однако, если странные аттракторы довольно сложны, проекция смазывает все детали, и взору предстает путаница, которую почти невозможно расшифровать. Более эффективная техника заключается в построении так называемой обратной схемы, или схемы (сечения) Пуанкаре. Суть ее сводится к отделению «ломтика» запутанной сердцевины аттрактора и перенесению его в двухмерное пространство, подобно тому как патологоанатом помещает срез ткани на предметное стекло микроскопа.

Схема Пуанкаре лишает аттрактор одного измерения и превращает непрерывную линию в совокупность точек. Преобразуя аттрактор в схему Пуанкаре, ученый ни на минуту не сомневается, что сохранит самую суть движения. Он может вообразить, к примеру, что странный аттрактор вьется, словно пчела, у него перед глазами и орбиты аттрактора перемещаются вверх и вниз, влево и вправо, взад и вперед по дисплею компьютера, и каждый раз, когда орбита аттрактора пересекает плоскость экрана, она оставляет светящуюся точку в месте пересечения. Такие точки либо образуют похожее на кляксу пятно произвольной формы, либо начинают вычерчивать некий контур на экране.

Описанный выше процесс соответствует отбору образцов состояния системы, который ведется не постоянно, а лишь время от времени. Когда брать пробу, т. е. из какой области странного аттрактора вырезать ломтик, — дело исследователя. Временной интервал, в котором содержится наибольшее количество информации, должен соответствовать некоему физическому свойству динамической системы. Например, на схеме Пуанкаре можно отражать скорость отвеса маятника каждый раз, когда он проходит через самую низкую точку. Или экспериментатор волен выбрать определенный регулярный промежуток времени, «замораживая» последовательные состояния во вспышках воображаемого света, исходящего из стробоскопического источника.

Странные аттракторы

В любом случае в получаемых изображениях проявится в конце концов изящная фрактальная структура, о которой догадывался Эдвард Лоренц.

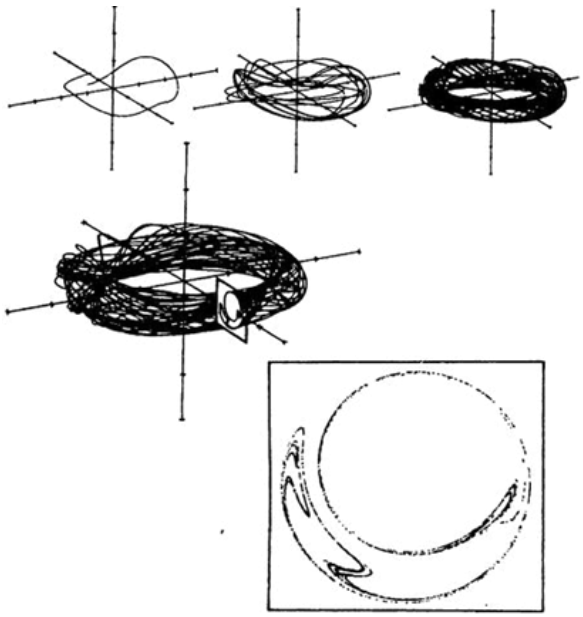


Рис. 4. *Структура аттрактора. Странный аттрактор, как показано на верхних рисунках, сначала имеет одну орбиту, затем десять, затем сто. Он описывает хаотичное поведение ротора-маятника, колеблющегося по всему кругу и регулярно приводимого в движение притоком энергии. Через некоторое время, когда на рисунке появится тысяча орбит (ниже), аттрактор превратится в запутанный клубок. Чтобы можно было исследовать его внутреннее строение, компьютер делает поперечный срез аттрактора — так называемое сечение Пуанкаре (рисунок в рамке). Этот прием уменьшает число измерений с трех до двух. Каждый раз, когда траектория пересекает плоскость, она оставляет на ней точку. Постепенно возникает весьма детализированный образ. Показанный здесь образец состоит более чем из восьми тысяч точек, каждая из которых находится на орбите, окружающей аттрактор. Фактически система замеряется в регулярные промежутки. Одни данные утрачиваются, зато другие выявляются во всем их разнообразии.*

Наиболее доступный для понимания и самый простой странный аттрактор был построен человеком, весьма далеким от загадок турбулентности и гидродинамики, — астрономом Мишелем Эноном из обсерватории Ниццы на южном побережье Франции. Бесспорно, в каком-то отношении астрономия дала толчок изучению динамических систем. Планеты, двигающиеся с точностью часового механизма, обеспечили триумф Ньютона и вдохновили Лапласа. Однако небесная механика значительно отличалась от земной: земные системы, теряющие энергию на трение, являются диссипативными, чего нельзя сказать об астрономических, считающихся консервативными, или гамильтонианскими. На самом же деле в масштабе, близком к бесконечно малому, даже в астрономических системах наблюдается нечто вроде торможения. Оно происходит, когда звезды излучают энергию, а трение приливно-отливного характера истощает кинетическую энергию движущихся по орбитам небесных тел. Однако для практического удобства астрономы в своих вычислениях пренебрегают рассеиванием, а без него фазовое пространство не будет складываться и сжиматься так,

чтобы образовалось бесконечное множество фрактальных слоев. Странный аттрактор не может возникнуть. А хаос?

Не один астроном сделал карьеру, обойдя стороной динамические системы, но не таков был Энон. Он родился в Париже в 1931 г., всего на несколько лет позже Лоренца. Энон тоже являл собой тип ученого, которого неумолимо влечет к математике. Ему нравилось решать небольшие конкретные вопросы, которые могли быть привязаны к определенным физическим проблемам, — по его собственному выражению, «не то, что делают современные математики». Когда компьютеры стали доступны даже любителям, машина появилась и у Энона. Собрав ее собственноручно, ученый наслаждался компьютерными забавами. Кстати, задолго до описываемых событий он исследовал особенно сложную проблему из области гидродинамики. Она касалась сферических кластеров — шаровидных скоплений звезд, в которых число светил доходило до миллиона. Это древнейшие и наиболее интересные объекты ночного неба. Плотность их внушает изумление. Как такое огромное количество звезд сосуществует в ограниченном объеме пространства и эволюционирует во времени, астрономы пытались выяснить в течение всего XX века.

С точки зрения динамики, сферический кластер, включающий в себя множество тел, представляет собой довольно важный предмет исследования. Когда речь идет о паре объектов, особых сложностей не возникает — Ньютон полностью разрешил эту проблему: каждое из пары тел, например, Земля и Луна, описывает идеальный эллипс вокруг общего центра тяжести системы. Но добавьте хотя бы еще один обладающий тяготением объект, и все изменится. Задача, в которой фигурируют три тела, уже более чем трудна. Как показал Пуанкаре, в большинстве случаев она неразрешима. Можно просчитать орбиты для некоторого временного интервала, а с помощью мощных вычислительных машин удается проследить их в течение более длительного периода, пока не возникнут помехи, однако уравнения аналитически не решаются, т.е. долгосрочный прогноз поведения системы из трех тел выполнить невозможно. Устойчива ли Солнечная система? Конечно, ей присуще подобное свойство, но даже сегодня никто не уверен в том, что орбиты некоторых планет не изменятся до неузнаваемости, заставив небесные тела навсегда покинуть Солнце.

Система вроде сферического кластера слишком запутанна, чтобы подходить к ней столь прямолинейно, как к вопросу о трех телах. Однако динамику кластера можно изучить, прибегнув к некоторым хитростям. Вполне допустимо, в частности, рассматривать единичные звезды, путешествующие в пространстве, в некотором усредненном гравитационном поле с определенным центром тяготения. Время от времени две звезды подойдут друг к другу достаточно близко, и в таком случае каждое из взаимодействующих тел следует рассматривать уже по отдельности. Астрономы поняли, что сферические кластеры вообще не должны являться устойчивыми: внутри них обычно образуются так называемые бинарные звездные системы, в которых звезды парами перемещаются по небольшим компактным орбитам. Когда с подобной системой сталкивается третья звезда, одна из трех, как правило, получает резкий толчок. Со временем энергия, полученная ею благодаря такому взаимодействию, достигнет уровня, достаточного для того, чтобы звезда набрала скорость, позволяющую вырваться из кластера. Таким образом одно из тел покидает систему, а пространство кластера после этого слегка сжимается. Когда Энон выбрал кластер темой своей докторской диссертации, он произвольно предположил, что сферическое звездное скопление, изменив свой масштаб, останется внутренне подобным. Произведя расчеты, ученый получил потрясающий результат: ядро кластера «сплющится», приобретая кинетическую энергию и стремясь к бесконечно плотному состоянию. Подобное трудно было вообразить. Да и данные исследования кластеров, полученные к тому времени, не

подтверждали этот вывод. Однако теория Энона, впоследствии названная гравитационно-термальным коллапсом, постепенно овладевала умами ученых.

Ободренный результатом и готовый к неожиданностям, весьма вероятным в научной работе, астроном занялся более легкими вопросами динамики звезд. Он попытался применить математический подход к давно известным задачам. Посетив в 1962 г. Принстонский университет, Энон впервые получил доступ к компьютеру и, подобно Лоренцу в Массачусетском технологическом институте, начал моделировать орбиты звезд вокруг их центров тяжести. В рамках разумного упрощения галактические орбиты можно рассматривать как орбиты планет, но с одним лишь исключением: центром гравитации здесь является не точка, а трехмерный диск.

Энон пошел на компромисс. «Для большей свободы исследований, — говорил он, — забудем на мгновение, что проблема взята из астрономии». Хотя ученый не упомянул об этом, «свобода исследования» частично означала возможность использования компьютера. Объем памяти его вычислительной машины, весьма тугодумной, был в тысячу раз меньше, чем у персональных компьютеров, появившихся двадцать пять лет спустя. Но, как и другие специалисты, позднее работавшие над проблемами хаоса, Энон полагал, что упрощенный подход себя полностью оправдает. Концентрируясь лишь на самой сути своей системы, он сделал открытия, которые можно было применить и к другим, более сложным системам. Спустя несколько лет расчет галактических орбит все еще считался «забавой теоретиков», тем не менее динамика звездных систем превратилась в объект скрупулезных и дорогостоящих исследований. К ней обратились в основном те, кого интересовали орбиты частиц в ускорителях и стабилизация плазмы в магнитном поле.

За период около 200 миллионов лет звездные орбиты в галактиках обретают три измерения, уже не образуя эллипсов совершенной формы. Реально существующие трехмерные орбиты наглядно представить так же непросто, как и воображаемые конструкции в фазовом пространстве. Это побудило Энона прибегнуть к приему, сравнимому с составлением схем Пуанкаре: ученый вообразил, что на одном конце галактики вертикально расположили плоский лист таким образом, чтобы каждая орбита, подобно лошади, минующей на скачках финишную черту, проходила сквозь него. Энон отмечал точку, в которой орбита пересекала плоскость, и прослеживал движение точки от одной орбиты к другой.

Энон отмечал точки вручную, но многие специалисты, применявшие подобную технику, уже работали с компьютером, наблюдая, как точки вспыхивают на экране, словно фонари, зажигающиеся один за другим с наступлением сумерек. Типичная орбита начиналась с точки в левом нижнем углу изображения, затем, при следующем обороте, точка на несколько дюймов смещалась вправо, новый оборот слегка отклонял ее вправо и вверх и т. д. Поначалу распознать какую-либо форму в этой россыпи было трудно, однако, когда количество точек переваливало за 10–12, начинала вырисовываться кривая, напоминающая своими контурами очертания яйца. Последовательно появляющиеся точки фактически образовывали вокруг кривой окружность, но, поскольку они не появлялись на том же самом месте, со временем, когда количество их возрастало до сотни или тысячи, кривая очерчивалась четко.

Описанные орбиты нельзя назвать полностью регулярными, так как они никогда с точностью не повторяются. Однако не будет ошибкой считать их предсказуемыми и далекими от хаотичных, ибо точки никогда не возникают внутри кривой или вне ее. Вернувшись к развернутому трехмерному изображению, можно отметить, что кривые рисуют контур тороида, или бублика, а схема Энона — его поперечное сечение. До поры до времени ученый лишь наглядно изображал то, что его предшественники считали уже доказанным, — периодичность орбит. В обсерватории Копенгагена почти двадцать лет,

с 1910 по 1930 г., астрономы тщательно наблюдали и просчитывали сотни орбит, однако их интересовали лишь периодичные. «Я, как и другие в то время, был убежден, что все орбиты должны характеризоваться регулярностью», — вспоминал Энон. Однако, вместе со своим студентом-дипломником Карлом Хейльсом, он продолжал рассчитывать многочисленные орбиты, неуклонно увеличивая энергетический уровень своей абстрактной системы. И вскоре ему открылось нечто совершенно новое.

Сначала яйцеобразная кривая стала изгибаться, принимая более сложные очертания и образуя восьмерку. Затем она разбилась на несколько отдельных форм, напоминавших петлю (каждая орбита изгибалась петлей). Далее, на более высоких уровнях энергии, произошла еще одна внезапная метаморфоза. «Настала пора удивляться», — писали исследователи. Некоторые из орбит обнаружили такую нестабильность, что точки беспорядочно «скакали» по всему листу бумаги. В отдельных местах еще просматривались кривые, а кое-где точки уже не складывались в линии. Изображение впечатляло: очевидный законченный беспорядок, в котором ясно проглядывали остатки стабильности. Все вместе рисовало контуры, наводившие астрономов на мысли о неких «островках» или «гряде островов». Они пытались работать на двух разных компьютерах, пробовали иные методы интегрирования, но результаты упрямо не изменялись, и ученым оставалось только изучать и размышлять.

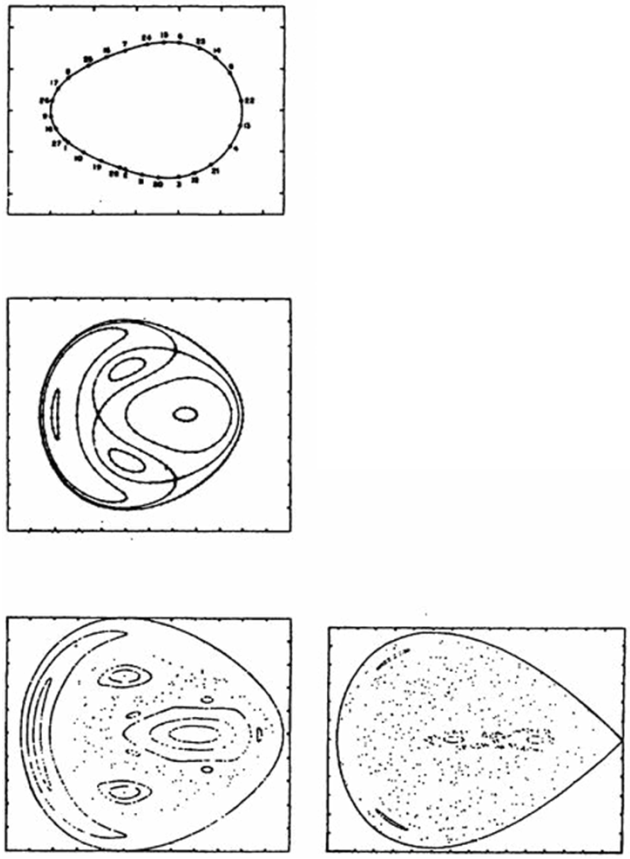


Рис. 5. *Орбиты вокруг центра галактики. Пытаясь осмыслить траектории, описываемые звездами в пространстве галактики, М.Энон рассматривал пересечения орбит с плоскостью. Получавшиеся в итоге образы зависели от общего количества энергии в системе. Точки стабильной орбиты постепенно формировали непрерывную кривую, а на других уровнях энергии обнаруживалась сложная структура — смесь хаоса и упорядоченности, представленная зонами разброса точек.*

Странные аттракторы

Основываясь на собственных числовых данных, Энон и Хейльс предположили наличие глубокой структуры в полученных изображениях. Они выдвинули гипотезу, что при сильном увеличении появится все больше и больше мелких островков и, возможно, так будет продолжаться до бесконечности. Ощущалась острая необходимость в математическом доказательстве. «Однако рассмотрение вопроса с точки зрения математики казалось не таким уж легким».

Энон обратился к другим вопросам, однако четырнадцать лет спустя, узнав о странных аттракторах Давида Руэлля и Эдварда Лоренца, астроном заинтересовался ими. В 1976 г. он уже работал в обсерватории Ниццы, расположенной высоко над уровнем Средиземного моря, на Большом Карнизе, и там услышал рассказ заезжего физика об аттракторе Лоренца. Гость, по его словам, пытался с помощью различных уловок прояснить изящную «микроструктуру» аттрактора, не добившись, впрочем, ощутимого успеха. Энон решил, что займется этим, хотя диссипативные системы и не входили в сферу его интересов («иногда астрономы относятся к ним с опаской — уж слишком они беспорядочны»).

Ему показалось разумным сконцентрироваться только на геометрической сущности объекта исследования, абстрагируясь от его физического происхождения. Там, где Лоренц и другие ученые применяли дифференциальные уравнения, описывающие непрерывные изменения в пространстве и времени, Энон использовал разностные, которые можно было рассматривать во времени раздельно. По его глубокому убеждению, ключом к разгадке являлись повторяющиеся операции растягивания и свертывания фазового пространства — те самые, что имитируют действия кондитера, который раскатывает тесто для пирожных, складывает его, затем, вновь раскатав, опять складывает, формируя таким образом хрупкую многослойную структуру. Энон, изобразив овал на листе бумаги и решив растянуть его, избрал для этой операции алгоритм, согласно которому каждая точка овала смещалась в новое положение на фигуре, которая аркой поднималась над центром. Выполняемая процедура была похожа на построение карты — точка за точкой овал превращался в «арку». Затем Энон начал вторую операцию — на сей раз сжатие, которое сдвигало внутрь бока арки, делая ее уже. А третье преобразование вернуло узкой фигуре ее прежние размеры, и она точно совпала с первоначальным овалом. Для целей вычисления все три построения могли быть объединены в одной-единственной функции.

По духу преобразования Энона повторяли идею «подковы» Смэйла. Вычисления, которых требовала вся процедура, отличались такой легкостью, что их можно было без труда выполнить на счетной машинке. Каждая точка имеет две координаты: x, обозначающую ее положение на горизонтальной оси, и y, задающую положение на оси вертикальной. Чтобы вычислить новое значение переменной x, необходимо взять предыдущее значение y, прибавить к нему 1 и вычесть предыдущее значение x в квадрате, умноженное на 1,4. Для расчета значения y нужно умножить предыдущее значение x на 0,3. Таким образом, получаем: $x_{новое} = y + 1–1{,}4x$?; $y_{новое} = 0{,}3x$. Энон почти наугад выбрал начальное положение и, взяв калькулятор, начал откладывать точки, одну за другой, пока их число не достигло нескольких тысяч. Затем с помощью компьютера IBM-7040 он быстро просчитал координаты пяти миллионов точек. Подобная операция доступна любому, поскольку здесь требуется лишь персональный компьютер с графическим дисплеем.

Сначала казалось, что точки беспорядочно «прыгают» по экрану, производя такой же эффект, что и сечение Пуанкаре, которое изображает трехмерный аттрактор, «блуждающий» туда-сюда по поверхности дисплея, но достаточно быстро проглядывает отчетливый контур, искривленный, словно плод банана. Чем дольше выполняется программа, тем больше появляется деталей. Кажется, что части рисунка имеют даже

толщину. Однако в дальнейшем последняя распадается на две отчетливые линии, которые, в свою очередь, расходятся на четыре: две идут рядом, а две другие удалены друг от друга. Увеличив изображение, заметим, что каждая из четырех упомянутых линий включает в себя две и так далее, до бесконечности. Как и аттрактор Лоренца, аттрактор Энона обнаруживает бесконечное движение в обратном направлении, словно нескончаемая вереница матрешек, вложенных одна в другую.

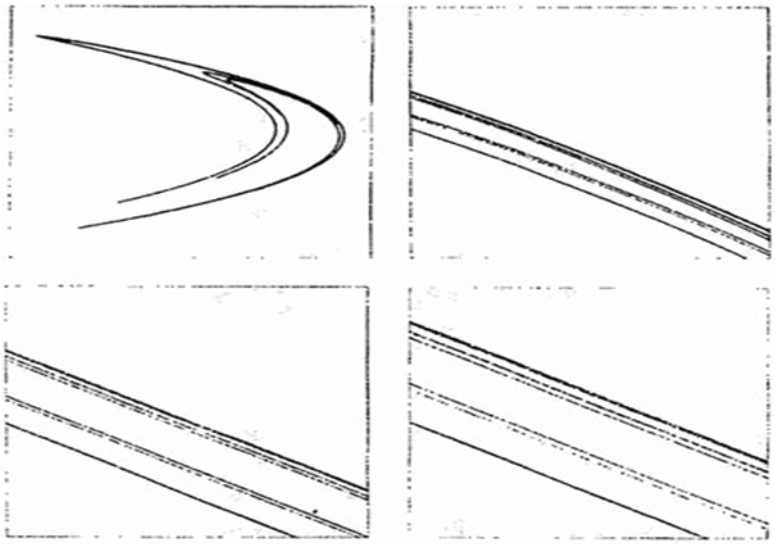


Рис. 6. *Аттрактор Энона. Несложная комбинация складывания и растяжения породила аттрактор, легко просчитываемый, но тем не менее плохо понимаемый математиками. С появлением тысяч и миллионов точек возникает все больше и больше деталей. То, что кажется одной линией, при увеличении оказывается парой. Потом выясняется, что линий уже четыре. И все же невозможно предсказать, останутся ли две последовательно появившиеся точки рядом или расположатся далеко друг от друга.*

Скрытая деталь — одни линии внутри других — в своей законченной форме может быть обнаружена в серии изображений, сделанных при все большем и большем увеличении. Однако сверхъестественное воздействие странного аттрактора можно ощутить и по-иному, наблюдая зарождение состоящей из точек формы, возникающей словно призрак из тумана. Появляющиеся точки столь беспорядочно «разбегаются» по поверхности экрана, что присутствие в их множестве какой-либо структуры, не говоря уже о столь запутанной и хрупкой, кажется невероятным. Любые последовательно обнаруживаемые точки находятся произвольно далеко друг от друга, так же как любые две точки в начале турбулентного потока располагаются рядом. Задав любое количество точек, невозможно предугадать, где появится следующая. Можно лишь предположить, что она будет находиться где-то в пределах аттрактора.

Точки с такой степенью случайности «разбредаются» перед глазами, а узор кажется столь эфемерным, что о принадлежности наблюдаемой формы к аттракторам поневоле забываешь. Эти очертания — отнюдь не любая траектория, описываемая динамической системой; по отношению к данной траектории все остальные сходятся в одну точку. Именно поэтому выбор начальных условий не имеет ровно никакого значения. Пока начальная точка лежит вблизи аттрактора, следующие несколько точек будут необычайно быстро сходиться к аттрактору.

Странные аттракторы

Когда в 1974 г. Давид Руэлль приехал к Голлабу и Суинни в их скромную лабораторию, то обнаружилось, что теория и эксперимент у нее связаны весьма слабо. Актив был таков: немного математики, довольно смелой, но сомнительной в техническом отношении; один цилиндр с турбулентной жидкостью, поведение которой не особо примечательно, но явно противоречит общепринятой теории. Ученые провели всю первую половину дня за обсуждением исследований, а потом Суинни и Голлаб вместе с женами уехали в отпуск в Адирондакские горы, где у четы Голлаб был домик. Они не видели странный аттрактор своими глазами и не постигли многое из того, что происходит на пороге турбулентности, но были твердо убеждены, что Ландау ошибся, а Руэлль гораздо ближе подошел к истине.

Странный аттрактор, этот фрагмент мироздания, ставший зримым благодаря компьютеру, начинался как простая вероятность. Он лишь отмечал собой ту сферу, куда не удалось проникнуть богатому воображению многих ученых XX века. Когда вычислительные машины сделали свое дело, специалисты поняли, что полученное изображение, словно лицо давно знакомого человека, мелькало везде: в мелодии турбулентных потоков, за флером подернувших небо облаков. Природа была обуздана. Казалось, беспорядок введен в русло, разложен на узоры, в которых подспудно угадывался общий мотив.

Прошли годы, и признание феномена странных аттракторов подготовило благодатную почву для революции в изучении хаоса, дав тем, кто занимался расчетами, ясную программу исследований. Странные аттракторы стали искать везде, где в явлениях природы ощущалась неупорядоченность. Многие утверждали, что основой погоды на планете Земля служит не что иное, как странный аттрактор. Другие, сведя воедино миллионы цифр из сводок фондовых бирж и обработав их на компьютерах, вглядывались в результаты в надежде обнаружить аттрактор и там.

В середине 70-х годов такие открытия еще принадлежали будущему. Тогда никто не увидел аттрактора в итогах проведенного опыта, а ведущие к нему тропы застилал туман. Странный аттрактор наполнял математическим содержанием неизвестные дотоле основные характеристики хаоса, в частности «сильную зависимость от начальных условий». «Смешение» являлось другим свойством, имеющим смысл, скажем, для конструктора реактивных двигателей, интересующегося оптимальной комбинацией топлива и кислорода, но никто не знал, как измерять такие характеристики, привязывая к ним числа. Странные аттракторы казались фрактальными, т.е. их истинная размерность была дробной. Никто не знал, как измерить ее или как использовать результаты подобных измерений для решения реальных задач инженерии.

Самое же главное — никто не мог сказать, приоткроют ли странные аттракторы завесу тайны над нелинейными системами. Все еще казалось, что, в отличие от систем линейных, легко решаемых и классифицируемых, нелинейные системы не поддаются классификации — не найти двух похожих. Ученые уже подозревали наличие у них общих свойств, но, когда дело доходило до замеров и вычислений, каждая нелинейная система оказывалась вещью в себе. Постижение одной из них совершенно ничего не давало для проникновения в другую. Аттрактор Лоренца раскрывал стабильность и скрытую структуру системы, которая при другом подходе казалась совершенно неструктурированной. Но каким образом эта двойная спираль могла помочь специалистам изучать объекты, не имеющие к ней никакого отношения? Никто не знал.

Все равно ученые ликовали. Открыватели новых форм поступались строгостью научного стиля. Руэлль писал: «Я не упомянул об эстетическом воздействии странных аттракторов. Эти клубки кривых и рои точек вызывают порой в воображении пышные фейерверки или загадочные галактики, иногда напоминают причудливо-странное

буйство растений. Перед нами огромное царство неоткрытых форм и неведомого совершенства».

ЛИТЕРАТУРА

1. http://www.libma.ru/nauchnaja_literatura_prochee/haos_sozdanie_novoi_nauki/p6.php

STRANGE ATTRACTORS

Ivanov O.P., Can. geol.-min. Ph.D., leading researcher MH MGU, ivanovop2007@yandex.ru, **Startsev V.V**., Ph.D. tech. PhD, Associate Professor, Institute of Systemology, Russian Academy of Sciences

Abstract. Having non-linear equations share properties is useful, but when it comes to measurements and calculations, every non-linear system is a thing in itself. Comprehension of one of them gave absolutely nothing for penetration into the other. The Lorenz attractor revealed the stability and hidden structure of a system that, otherwise, seemed completely unstructured. But how could this double helix help specialists study objects that have nothing to do with it? No one knew.

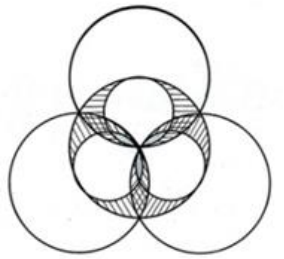
The discoverers of new forms compromised the rigor of the scientific style. Ruelle wrote: “I have not mentioned the aesthetic impact of strange attractors. These tangles of curves and swarms of dots sometimes conjure up magnificent fireworks or mysterious galaxies, sometimes they resemble a bizarre riot of plants. Before us is a vast realm of undiscovered forms and unknown perfection.

Key words: strange attractors, dynamical system, turbulence, phase space

REFERENCES

1. http://www.libma.ru/nauchnaja_literatura_prochee/haos_sozdanie_novoi_nauki/p6.php

УДК: 575



ЭВОЛЮЦИЯ БИОСФЕРЫ

Камшилов М.М. – док. биол. н., проф.

Аннотация. Работа посвящена проблеме эволюции биосферы. Рассматриваются вопросы происхождения биосферы, ее организация, факторы и закономерности эволюции. Особое внимание уделено влиянию человека на атмосферу.

Ключевые слова: биосфера, эволюционный процесс, саморегуляция, естественный отбор, закономерности эволюции

Закономерности Эволюции Биосферы

Мы должны представить себе картину большой мировой машины, или трансформатора энергии, состоящего из множества подчиненных единиц, каждая из которых в отдельности и все вместе, как целое, участвуют в едином круговороте. А. Лотка

Закономерности эволюции биосферы обусловлены тремя категориями факторов: своеобразием отношения биосферы к среде, взаимодействием живого и неживого в пределах биосферы, особенностями взаимных отношений между организмами.

1. Среда биосферы, включающая космические, геологические и геохимические факторы, определяет саму возможность существования жизни. При ее существенных изменениях биосфера вынуждена к ним приспосабливаться, реагируя вымиранием групп организмов, не способных к приспособлению, и усиленным развитием более выносливых. Об этом уже шла речь в главе второй. Сохраняются, как правило, одноклеточные и сравнительно мало специализированные многоклеточные. Происходит то, что известный американский палеонтолог Э. Коп назвал в конце прошлого века переживанием неспециализированного. Таким образом, во время критических изменений в среде биосферы живое бывает вынуждено как бы отступать в ходе прогрессивной эволюции. В качестве одного из примеров подобных отступлений можно указать на вымирание высокоспециализированных рептилий в меловом периоде, уступившим место сравнительно примитивным видам млекопитающих.

2. Взаимодействие живого и неживого в пределах биосферы включает контуры обратных связей и потому, по мере развития жизни, биосфера начинает выступать в качестве саморегулирующейся системы. Способность к саморегуляции обеспечивает относительную устойчивость биосферы в целом, равно как и ее отдельных компонентов-биогеоценозов. Эта устойчивость обязана точному воспроизведению всех элементов биосферы на всех ее уровнях. Точность воспроизведения в свою очередь зависит от особенностей воспроизведения живого.

3. Живая составляющая биосферы подчиняется биологическим факторам, среди которых особое значение имеют наследственность, изменчивость, особенности формирования фенотипа, борьба за существование и естественный отбор.

Закономерности эволюции неживых компонентов биосферы в последнее время детально рассмотрены в монографиях М. И. Будыко (1977), А. П. Виноградова (1967),

А. И. Перельмана (1973, 1975). Поэтому здесь будут представлены преимущественно закономерности эволюции биоты как ведущей части биосферы.

Структура жизни

Особую роль в структуре жизни играет особь. Ламарк и его последователи выводили всю эволюцию из изменений, происходящих в особях. Известный советский эволюционист К. М. Завадский (1971) назвал такой подход «организмоцентризмом». Неодарвинисты, напротив, не считали особь существенной.

Выяснение роли в эволюции определенной изменчивости показало, что в случае необратимых изменений среды признаки особи, ее фенотип, также могут изменяться необратимо, причем более или менее одинаково у всех членов популяции. Особь приобретает значение не только как объект отбора, но и как концентратор внешней информации. Оставляя для размножения те или иные особи и, следовательно, их генотипы, естественный отбор сохраняет способы интеграции внешней информации, т. е. конкретные фенотипы. Особь — основной субстрат жизни, в котором накапливается наследственная информация, исторический опыт. Не случайно именно особи характеризуются наибольшей интегрированностью.

Можно составить ряд прогрессивного усложнения внутренних связей.

Биосфера состоит из относительно независимых биогеоценозов, в совокупности составляющих экосферу, и связанных с ней неживых компонентов планеты. Биогеоценоз — совокупность популяций различных видов, приуроченных к определенному местообитанию. Виды связаны друг с другом различными категориями связей более тесно, чем биогеоценозы. Видовая популяция — уже некая целостность, особенно, если учесть генеалогические связи между поколениями; особь — в высшей степени интегрированное единство разнородных частей.

В силу специфических особенностей каждый структурный уровень биосферы играет свою особую роль в ее эволюции. Особь — это в первую очередь лаборатория новообразований; популяция — первичная ячейка деятельности естественного отбора; биогеоценоз — первичная ячейка эволюции, в нем содержатся все основные компоненты биотического круговорота; наконец, биосфера — многокомпонентная саморегулирующаяся система, сохраняющая относительную устойчивость и способная прогрессивно развиваться. Новое появляется в особи, а его конечная судьба и значение определяются положением вида в биосфере.

Анализ циклической структуры жизни позволяет обнаружить еще одну весьма существенную особенность организации живого. Многие крупные таксоны животных и растений в ходе адаптивной радиации распадаются на сходные экологические типы. Так, например, среди отрядов насекомых и позвоночных существуют аналогичные жизненные формы: растительноядные, хищники, сапрофаги. Среди водных ракообразных различных отрядов встречаются фильтраторы, хищники, растительноядные формы. Хищники и паразиты есть не только в мире животных, но и среди грибов и зеленых растений. Подобный параллелизм в образовании сходных адаптивных форм в различных таксонах увеличивает сложность организации жизни. Цикл оказывается составленным из большого числа параллельных нитей, сплетенных в «объемистый канат» из отдельных взаимодействующих видов. Новые виды не всегда заменяют старые, а, вплетаясь в циклическую структуру жизни параллельно с существующими, делают ее более прочной. При этом между параллельными нитями (птицы и звери, насекомые и грибы и т. д.) возникают конкурентные отношения, создающие информационные связи — предпосылку к усложнению организации. Подобное «утолщение» цикла жизни также представляет собой один из аспектов ее прогрессивного развития.

С точки зрения систематики, структура биосферы выглядит как иерархическая система: виды объединяются в роды, роды — в семейства, затем идут отряды, типы. В соответствии с классическими представлениями, развитие жизни происходило путем

последовательных дивергенций. В результате подобного процесса разновидность становилась видом, вид давал начало роду, род — семейству и т. д. Так выглядит процесс развития жизни, если в качестве отправного пункта избрать вид. Возможна, однако, и другая точка зрения: крупные таксонические единицы произошли не в итоге развития более мелких, а наоборот, мелкие представляют собой продукт дифференциации крупных.

Если рассматривать эволюцию жизни как процесс дифференциации материи, вторая точка зрения представляется более правильной. Ведь сначала возник круговорот органического вещества, в котором постепенно выделились отдельные виды организмов. Дивергенция выступает как способ дифференциации живого. В грубые отношения синтетиков и деструкторов постепенно встраиваются все новые и новые звенья. При этом дифференциация большой системы представляется как прогрессирующая интеграция ее элементов во все новые сгустки организации. Так происходило образование химических элементов в космосе, так образовывалось органическое вещество, так создавались первые организмы, так возникли первые многоклеточные и т.д. На этом же принципе основывается индивидуальное развитие особи. Специфическая интеграция малоспецифической внешней информации ведет к дифференциации организма на ткани, системы органов. Во всех случаях малодифференцированное возникает раньше специального, а специальное развивается как прогрессирующая интеграция элементов малоспецифического.

Мозг высших организмов — наиболее удивительный продукт дифференциации материи — возник как итог интеграции нервных элементов. Его основное назначение — обеспечение выживания сложных организмов в сложной среде. Американский математик Г. Цопф пишет: «Мозг (или его „интересные“ части, если здесь вообще уместно пользоваться словом „часть“) представляет собой неотъемлемую подсистему, не только связанную с остальной системой, но, вероятно, и специфическую для нее. Слепое выхватывание его из целого может дать нам совсем не то, что мы ожидаем... основная масса нервной системы не предназначена для тех „полезных“ видов деятельности, которые мы хотим воспроизвести. Она предназначена не для наслаждений чистого мышления о произвольных проблемах, а скорее для ограниченной, грязной ежедневной работы — поддержания и координации некоторых скучных и незаметных мелких констант. Можно привести веские доводы в пользу того взгляда, что „высшие“ умственные функции определенно служат грубым низшим процессам». Иначе говоря, высшие функции мозга — лишь надстройка над более простыми, но весьма важными другими его функциями. Они продукт интеграции нервных элементов в коре головного мозга.

Неравномерность эволюции

Весьма важная особенность эволюции — ее неравномерность. Она обнаруживается как при анализе эволюции в целом, так и при изучении эволюционных преобразований отдельных групп. Прекрасный пример — становление перепончатокрылых. В настоящее время наряду с панорпами, возникшими сотни миллионов лет назад, живут и процветают высшие перепончатокрылые, далеко ушедшие в своей эволюции. Постепенно завоевывая все новые и новые биотопы, представители этого отряда насекомых не сдали и старых позиций. Неравномерность эволюционного процесса еще более наглядно вырисовывается при сопоставлении высших и низших форм жизни. Ведь на земной поверхности наряду с высшими многоклеточными организмами живет и процветает огромная масса сравнительно низко организованных живых существ. «Весь тип одноклеточных, — пишет А. Н. Северцов, — по своему

строению представляет собой пережиток невероятно отдаленной от нас по времени фауны».

Кажется, что они остановились в своем развитии. Подобное впечатление обманчиво. Низшие организмы — не какой-то случайный пережиток прошлого, они — необходимая составная часть целостной системы органического мира, основа его существования и развития, без которой невозможен внутренний обмен между членами этой системы.

Органический мир представляется в виде сети взаимодействующих видов, охватывающей практически весь земной шар. Высшие организмы выделяются как сгустки живого вещества, концентраторы продуктов синтеза низших форм. Многоклеточные становятся как бы «кладовыми» органического вещества, в силу чего они приобретают функцию своеобразных инициаторов новых форм биохимической активности низших организмов (поставляя все новые и новые субстраты). Они создают предпосылки для проникновения одноклеточных в биотопы, ранее ими не освоенные (глубины океана, пещеры, ткани многоклеточных). Иначе говоря, с появлением на Земле многоклеточных взаимозависимость между видами еще более усложняется, одновременно увеличивается устойчивость органического мира как целого, освоение живым все новых и новых биотопов.

«У различных микро- и макроорганизмов возникающие в процессе эволюции новые сочетания биохимических реакций далеко не всегда полностью подменяют собой старые звенья обмена, а лишь дополняют их, являются как бы добавочными „надстройками“ на прежних внутренних химических механизмах протоплазмы... В связи с изменением условий существования в процессе эволюции и совершенствования обмена на его первичные механизмы накладываются все новые и новые надстройки, у разных организмов разные, но основа организации всей вообще живой материи сохраняется прежней», — отмечает А. И. Опарин, говоря об эволюции биосинтезов.

Та же закономерность, видимо, проявляется и в эволюции органического мира. В процессе развития живой материи происходит наращивание все новых и новых этажей на достаточно крепком фундаменте одноклеточных организмов. В силу этого основные биогеохимические функции живого, без которых невозможно длительное существование жизни на Земле, сохраняются. «Мы можем представить себе мир, населенный только бактериями, но нельзя представить его заселенным только позвоночными или, скажем, только деревьями». Неравномерность развития органического мира оказывается также своеобразным способом повышения обмена энергией, веществом и информацией между разноорганизованными группами живых существ. Этим путем осуществляется сохранение достигнутого и движение вперед по пути прогрессивного развития. Ясно, что в прогрессивном развитии участвуют не только высшие, но и низшие формы, ферментативный аппарат которых становится все более гибким, позволяющим осуществлять основные биохимические функции гораздо эффективней и экономичней.

Во второй главе, когда шла речь об эволюции материи, подчеркивалась неравномерность этого процесса. По-видимому, неравномерность эволюции органического мира представляет собой частичный случай глобальной закономерности, выражающийся в том, что было представлено в виде «Эволюционного ландшафта». Иначе говоря, неравномерность развития принадлежит к числу фундаментальных закономерностей развития материи; она проявляется на всех уровнях ее эволюции от формирования звезд и галактик до возникновения многообразия форм жизни.

Проблема неравномерности эволюции имеет еще один аспект. Неравномерно развиваются не только представители различных групп организмов. Одна и та же, достаточно крупная группа в разные периоды своей истории развивается с различной

скоростью. А. Мюллер (1955) проследил динамику формирования числа родов у разных классов позвоночных животных. У амфибий максимальное количество родов образовалось в карбоне; темп родообразования крайне замедлился в юре и в мелу, он несколько возрос в середине третичного периода. Темп родообразования рептилий был наивысшим в перми, конце триаса, в мелу, частично в третичное время; в середине триаса, в начале юры и в начале третичного периода он был минимальным. Если учесть темп образования родов всех позвоночных (5105 родов), обнаруживается его относительно равномерное нарастание с силура до конца третичного периода.

Причины изменения темпов эволюции отдельных групп трудно объяснить, если искать их в пределах этих групп. Напротив, они становятся очевидными в свете представлений об эволюции биосферы. В ходе ее развития происходят закономерные изменения среды жизни каждой эволюирующей группы, а следовательно, и переоценка приспособленности групп. Немалое значение имеют и изменения среды биосферы. Во всех случаях, однако, ведущую роль в процессе приспособления к изменившимся условиям играют взаимные отношения между организмами, не случайно названные Дарвином самыми важными из всех отношений.

Единство жизненного субстрата

Жизнь возникла более 3 млрд. лет назад и не прекращается. Организмы, живущие ныне, представляют собой прямых потомков первичного протобиоценоза или протобиоценозов. «Подобно тому как жизнь нового существа есть не что иное, как продолжение жизни существ, ему предшествовавших, и протоплазма его есть также не что иное, как распространение протоплазмы его предков. Это все та же протоплазма, это все одно и то же существо», — писал Клод Бернар. Современные данные о принципиальном сходстве основного субстрата жизни всех организмов придают мысли замечательного французского физиолога особую актуальность.

Можно привести несколько категорий фактов, доказывающих единство жизненного субстрата всех организмов. На первое место, конечно, следует поставить данные, подтверждающие, что все организмы пользуются одним и тем же генетическим кодом. «Азбука жизни» у всех организмов одинакова.

Как результат существования единого наследственного кода оказалась возможной передача у бактерий наследственных признаков не непосредственно от клетки к клетке, а через бактериофагов. С. М. Гершензоном (1965) получены данные о том, что отдельные наследственные особенности высших организмов могут также передаваться от особи к особи, а может быть, и от вида к виду посредством вирусов. Открывается возможность генотерапии, т. е. исправления наследственных дефектов ДНК путем переноса нормальной ДНК с помощью вирусов в дефектные клетки. Первые весьма обнадеживающие результаты в этом направлении были получены в 1971 г. сотрудниками американского института здравоохранения К. Мериллом, М. Гейером и Д.Патрициани. Некоторые люди страдают тяжелой наследственной болезнью. У них отсутствует фермент, способный перерабатывать галактозу (составную часть молочного сахара). За синтез фермента ответствен определенный ген, довольно широко распространенный у различных организмов. Имеется он, в частности, у бактерий — кишечной палочки. Мерилл и его сотрудники использовали культуру тканей больного человека. Растущие в культуре фибробласты (клетки соединительной ткани) также не были способны перерабатывать галактозу. С помощью бактериофага ученым удалось перенести ген, ответственный за синтез недостающего фермента, из кишечной палочки в фибробласт человека. После этой операции фибробласт стал синтезировать отсутствующий ранее фермент, и галактоза начала успешно перерабатываться.

Другая категория фактов — гибридизация соматических клеток. Биологи и медики давно и с большим успехом пользуются методом культивирования клеток тела вне организма. Ж. Барский, С. Сорье и Ф. Корнефер в 1961 г. смешали культуры двух различных типов раковых клеток мыши, различающихся по некоторым морфологическим признакам, в частности по форме хромосом, и через несколько месяцев обнаружили клетки-гибриды. В них содержались хромосомы клеток исходных культур. В некоторых случаях гибридные клетки обладали даже большей жизнеспособностью, чем исходные.

После того как методика гибридизации клеток различных штаммов одного и того же вида была разработана, различные исследователи предприняли попытки гибридизировать соматические клетки, взятые от разных видов. Успешной оказалась гибридизация соматических клеток мыши и крысы, хомячка и мыши и, наконец, мыши и человека. Гибриды соматических клеток мыши и человека по форме больше походили на клетки мыши. Это объяснялось тем, что в них сохранились все хромосомы мыши и лишь немногие — от 2 до 15 — из 46 хромосом человека.

Совместимость соматических клеток таких далеко эволюционно разошедшихся форм, как мышь и человек, конечно, весьма удивительна. Она указывает на сохранение в течение миллионов лет принципиального сходства основных жизненных отправлений клеток, несмотря на большие различия в индивидуальном развитии особи. Эти факты особенно интересны еще и потому, что хорошо установлена несовместимость яйцеклетки и спермия, принадлежащих к разным видам. По-видимому, несовместимость половых клеток возникла не как побочный результат дивергенции, а как специальное приспособление, препятствующее гибридизации.

Еще одна категория фактов — это явления паразитизма и симбиоза, но об этом уже говорилось раньше. Все эти факты показывают, что, несмотря на поражающее многообразие форм жизни, в ее основе лежат одни и те же фундаментальные процессы, роднящие нас не только с отдаленными предками, но и со всеми ныне живущими организмами. «Поскольку мы признаем реальную прямую или косвенную материальную непрерывность всех видов, — писал в 1956 г. итальянский зоолог Г. Колози, — то совокупность всех видов современности и прошлого составляет, так сказать, один организм, сложенный из комплекса частей (видов), дифференцировавшихся, но связанных между собой».

Движущие силы и приспособительная форма эволюционного процесса

В биологии было много попыток ответить на вопрос об основных движущих факторах эволюции. Для одних жизнь развивается, повинуясь некоему жизненному порыву. Для других ее развитие тождественно с ростом. Третьи в качестве движущих сил называют наследственную изменчивость, отбор и изоляцию. Наконец, четвертые на первое место выдвигают естественный отбор. При этом, к сожалению, не всегда ясно различаются два понятия: движущие силы эволюционного процесса и его приспособительная форма. Вода в реке течет, подчиняясь силе тяжести, форма реки определяется ландшафтом местности, обусловливающим конфигурацию ее берегов. Без берегов рек не бывает, но не берега движут воду в реке.

Органическую эволюцию движет никогда не затухающее противоречие между безграничной способностью к воспроизведению и ограниченной возможностью на каждом данном историческом этапе использовать материальные ресурсы внешней среды. Активная сторона противоречия — способность к воспроизведению, обусловленная синтезом макромолекул протоплазмы, т. е. то, чем живое отличается от тел неживой природы.

Вслед за Эразмом Дарвином, часто независимо от него, столь различные исследователи, как Ч. Дарвин, В. И. Вернадский, Н. К. Кольцов, Т. Г. Морган, Дж. Хаксли, почти в одних и тех же выражениях говорят о способности к умножению своего рода как о наиболее характерном свойстве живых существ при сопоставлении их с телами неживой природы. И. И. Шмальгаузен пишет о способности к самовоспроизведению как о само собой разумеющейся предпосылке эволюционного процесса.

Способность к воспроизведению может быть осуществлена лишь будучи облеченной в форму приспособительного процесса. Первое условие, которое должно выполняться и фактически выполняется, — это наличие биотического круговорота, основанного на взаимодействии фотосинтетиков и деструкторов. Длительно воспроизводиться могут только круговые процессы. Поэтому и жизнь с ее способностью к воспроизведению могла возникнуть и развиться лишь в форме круговорота органического вещества. После работ В. И. Вернадского и американского математика А.Лотки, а также в связи с проникновением в биологию идей кибернетики этот вывод становится все более очевидным.

Способность к воспроизведению приводит к тому, что можно назвать «давлением жизни». В результате «давления жизни» происходил и происходит захват наследственно-гетерогенным живым новых мест. Захват нового места (нового источника вещества или энергии) неизбежно сопровождается изменениями живого. Если это изменение в новых условиях жизнеспособно, оно сохранится, если нет — погибнет. В случае выживания организм приобретает информацию о новом способе взаимодействия со средой.

Естественный отбор, как об этом неоднократно писал Дарвин, не может вызывать изменчивость. Однако, закрепляя признаки, он придает наследственной изменчивости определенную фенотипическую форму, тем самым предопределяя дальнейшие эволюционные возможности. Обусловливая приспособительную форму эволюционного процесса, естественный отбор выступает как творческий фактор эволюции.

Теория естественного отбора создана Ч. Дарвином более 100 лет назад. Однако и по сей день биологи различных научных направлений по-разному оценивают значение этого агента: для одних отбор, несомненно, является единственным и достаточным фактором, вызывающим эволюционный прогресс; по мнению других, отбор сам по себе ничего создавать и ничего усиливать не может. Он не является творческим фактором исторического развития. Третьи допускают, что даже без естественного отбора эволюция могла бы иметь место. Такое различие во взглядах зависит от того, что разные исследователи вкладывают в метафорическое выражение «естественный отбор» неодинаковое содержание.

Естественный отбор представляет собой выражение и результат взаимодействия организмов в биосфере. Это взаимодействие противоречиво. Каждому живому существу, в силу закономерностей роста и размножения, присуща тенденция извлекать из окружения максимальную пользу. Поскольку, однако, подобная тенденция присуща всем соревнующимся, она неизбежно ведет к ограничению экспансионистских устремлений каждого. Это ограничение выражается в отстранении от размножения особей, менее приспособленных к конкретным условиям существования, к взаимному приспособлению видов.

При изменении условий соотносительная плодовитость разных особей, популяций, видов изменяется. Ранее побеждаемые могут становиться победителями. Иначе говоря, характер борьбы за существование и специфика естественного отбора определяются особенностями биосферы. Биосфера в целом в конечном итоге

обусловливает, какая из конкурирующих тенденций получит преимущество. Внешне это выражается в переживании одних и гибели других.

При таком понимании естественный отбор в принципе не отличается от факторов индивидуального развития особи. В самом деле, клеточное ядро характеризуется различными, явно конкурирующими процессами. Специфика взаимодействия с цитоплазмой определяет, какие из процессов получают преимущественное развитие. Клетка в системе многоклеточного организма также характеризуется наличием различных потенций. Какая из этих потенций будет выбрана и получит развитие, зависит от места клетки в системе организма. Организм «выбирает» из набора тенденций, присущих клетке, тенденции, соответствующие ее месту в организме. Когда зачаток глаза тритона (глазной бокал), растущий от зачатка мозга, изнутри касается поверхностного слоя клеток, клетки уплощаются и превращаются в зачаток хрусталика глаза. Если воспрепятствовать контакту, хрусталик не развивается. Можно зачаток глаза пересадить в другое место, под слой клеток будущей кожи. В этом случае над глазным бокалом вместо кожи развивается хрусталик. Иначе говоря, клетки будущей кожи обладают несколькими возможностями развития. Взаимодействие с глазным бокалом направляет их специализацию в сторону хрусталика.

Наконец, специфика развития, заключенная в генотипе, реализуется по-разному в зависимости от особенностей среды. Среда определяет (т.е. в сущности тоже «выбирает»), какая из возможностей развития осуществится.

Сколь ни различны приведенные примеры, в них действительно обнаруживается нечто общее: возникновение нового в результате взаимодействия активных, обладающих многими потенциями систем. Иначе говоря, во всех случаях мы имеем дело с обменом специфичностью (информацией) между взаимодействующими членами системы более высокого порядка (клетка, ткань, организм, популяция, вид, биогеоценоз, биосфера).

Сходство между развитием зародыша из яйца, эволюцией видов под контролем естественного отбора и эволюцией биосферы оказывается значительно большим, чем кажется при одностороннем подходе к этим процессам. Во всех случаях возникновение нового — развитие —оказывается результатом взаимодействия сложных активных частей системы. Непременным итогом такого взаимодействия являются различные формы отбора и выбора. Открытый Дарвином естественный отбор, таким образом, представляет собой частный случай универсальной закономерности развития, свойственной всей природе. С его помощью происходит накопление наследственной информации. Поскольку в разных условиях интегрируется разная информация, естественный отбор выступает как фактор видообразования. Таким образом, и в этом случае возникновение нового обусловлено интеграцией элементов предыдущего уровня развития. Интегрирующий фактор — естественный отбор, интеграция, как и в ранее перечисленных примерах формирования нового, предшествует дифференциации.

Жизнь начинает вырисовываться в виде спирали, состоящей из двух основных ветвящихся стволов (фотоавтотрофов и гетеротрофов). В отличие от ветвей деревьев ветви жизни находятся в постоянном взаимодействии друг с другом, образуя экологическую сеть. Спираль движется за счет квантов света; в нее постоянно вовлекаются минеральные элементы, образуя вместе со спиралью биосферу. Поглощая все новые и новые порции энергии, трансформируя вещество, используя различные источники информации, жизнь расширяется. Постоянно возникает противоречие между потенциально безграничной способностью к размножению и ограниченными возможностями на каждом данном историческом этапе использовать новые материальные средства к существованию. Это противоречие между живым и неживым исторически разрешается на базе изменчивости и естественного отбора путем овладения

новыми источниками жизнедеятельности, что ведет к прогрессивному расширению взаимодействия между биотическим и абиотическим, к постоянным перестройкам биотических отношений и среды жизни, к накоплению информации.

При изменениях в биосфере, вызванных разными причинами, биотическими и абиотическими, не все организмы оказываются в равной степени способными продолжать свое существование. Вымирают, как правило, относительно специализированные виды. Односторонние и узкие связи со средой заменяются более широкими и многосторонними. Содержание жизни все время меняется. Устойчивость жизни возрастает. В главе 5 было показано, что возникновение относительно стабильных признаков представляет собой реакцию живого на изменчивость внешних факторов. Собственно, то же самое, видимо, имеет место и в эволюции биоса в целом. Ведь и здесь сохраняется лишь то, что выживает вопреки изменчивости условий жизни. Относительная стабильность живого, таким образом, представляет собой реакцию на изменчивость внешних факторов.

Жизнь представляет собой своеобразное единство детерминированности и случайности. Законы детерминизма обеспечивают передачу накопленной информации и, следовательно, сохранение достигнутого. Однако, поскольку в результате жизнедеятельности и абиогенных причин изменяется среда, строгий детерминизм вступает в противоречие с реальностью. Законы случайности, проявляющиеся в изменчивости, ведут к разрушению достигнутого, создавая предпосылки для выхода из противоречия и приобретения новой информации. Сохранение жизни, следовательно, возможно лишь при постоянном изменении ее содержания. Эволюция — неотъемлемая особенность жизни.

Живое существует за счет постоянного притока из окружающей среды энергии, вещества и информации. Энергия, преимущественно фотоны света, используется в процессе жизни однократно, она течет через систему. Как считают А. Лотка и В.И.Вернадский, энерговооруженность жизни с ходом эволюции должна возрастать. Организмы, приобретшие способность усваивать новую порцию фотонов или лучше использующие химическую энергию, запасенную в других организмах, получают преимущества и в ходе эволюции постепенно включаются в биотический круговорот, рационализируя его, увеличивая суммарный поток энергии через живую систему.

Вещество, входящее в круговорот жизни, испытывает постоянные превращения. В результате расширения сферы жизни в течение геологических периодов, очевидно, происходило увеличение массы вещества, вовлеченного в биотический круговорот. Однако прямой зависимости развития жизни от массы вовлеченного в жизненный круговорот вещества не наблюдается. Во всяком случае в настоящее время. В некоторые периоды жизни происходило явное ее уменьшение, например, захоронение массы живого в каменном угле и других ископаемых биогенного происхождения. По-видимому, по мере расширения жизни имело место включение в биотический круговорот рее новых минеральных элементов, увеличивающее химическое разнообразие субстрата жизни.

Что весьма существенно изменяется в процессе эволюции, так это организованность жизни и, следовательно, мера организованности — запас информации. Консервация информации в форме молекулярных, морфофизиологических структур в характерных чертах биотического круговорота — наиболее важная особенность органической эволюции как ведущего процесса в эволюции биосферы.

В первых главах неоднократно обсуждался вопрос об основных условиях возникновения сложного из относительно простого. Эти условия сохраняют свое значение на всех этапах развития жизни.

1. Биосфера представляет собой многокомпонентную иерархическую систему.

2. Различные компоненты системы связаны между собой разными категориями связи. Наиболее стабильные связи сохраняются (т. е. отбираются!).

3. Имеется постоянный источник энергии — излучение Солнца.

4. Прогрессирующая буферность биосферы, обусловленная ее многокомпонентностью, обеспечивает стабильность вновь возникающих систем. Ведь в итоге отбора сохраняются лишь достаточно стабильные системы.

5. Наследственная изменчивость, изменение условий жизни в итоге жизнедеятельности, а также в результате абиогенных причин открывают неограниченные возможности прогрессивной эволюции.

Условия формообразования

Изучение истории развития жизни на Земле позволило обнаружить чрезвычайно интересные явления. В древнейшей системе палеозойской эры — кембрии — уже встречались все типы беспозвоночных животных. В силуре найдены остатки всех классов животного мира, за исключением амфибий, птиц и млекопитающих. В последующие периоды формообразование продолжалось, однако новые типы уже не возникали.

Создается впечатление взрывного характера формообразования в первые периоды развития жизни. Причины подобного явления следует, конечно, искать в особенностях биосферы того времени. Насыщенность жизнью была невелика, конкурентные отношения между организмами в пределах вида и между видами были слабыми и многие мутантные особи имели шансы выжить и оставить потомство. Естественный отбор отметал только неспособных размножаться. Проб было много, а критиков мало. Жизнь переживала период «фантастического экспериментирования». Затем по мере повышения ее плотности на сцену выступило соревнование за использование материальных ресурсов.

Те виды организмов, которые оказались способными извлечь пользу из бесполезных дотоле признаков, продолжали развиваться, неспособные вымирали, освобождая место для других жизненных форм.

Эпохи бурного формообразования повторялись по мере завоевания отдельными видами новых мест на земной поверхности. Каждый раз завоевание нового местообитания, ставя вид на какой-то период времени вне конкуренции с другими видами, сопровождалось интенсивным формообразованием, получившим название адаптивной радиации. История развития жизни на земле полна такими примерами. Достаточно упомянуть адаптивную радиацию различных отрядов насекомых, в частности описанную в предыдущей главе радиацию перепончатокрылых, адаптивную радиацию мезозойских рептилий, расцвет в начале кайнозоя птиц и млекопитающих.

По мере уплотнения и усложнения биосферы усилилась ее буферность. Это выражается, с одной стороны, в повышении устойчивости биосферы по отношению к различным внешним абиотическим воздействиям, с другой — в торможении формообразования. Для распространения нового теперь уже недостаточно, чтобы оно было просто жизнеспособным; в условиях обостренного соревнования с другими видами оно должно стать более жизнеспособным, чем исходное.

Усиление буферных свойств биосферы превращает ее в хорошо отрегулированную систему, обеспечивающую входящим в ее состав видам относительно константную среду существования. Наследственная изменчивость, обусловливающая в ранние эпохи своеобразную эволюционную маневренность видов, при стандартизации среды жизни утрачивает это свойство.

Большое значение приобретает постоянство в воспроизведении признаков, обеспечивающее виду место в биотическом круговороте. Это достигается двумя путями: переходом к различным формам бесполого размножения, что действительно имеет

место, и повышением пороговых уровней морфогенетических реакций. Последнее приводит к тому, что изменчивость ДНК перестает проявляться на фоне нормальных морфологических признаков. Это было, в частности, нами обнаружено при анализе проявления наследственной изменчивости у дрозофилы на фоне нормального глаза и глаза, измененного мутацией, — «безглазия».

Постоянство условий воспроизведения резко снижает масштаб определенной изменчивости. Главное значение в эволюции приобретает слабо проявляющаяся неопределенная изменчивость — так называемые малые мутации.

Противоречивые взаимоотношения естественного отбора и формообразования хорошо обнаруживаются в тех случаях, когда по каким-либо причинам интенсивность естественного отбора снижена. В качестве первого примера следует назвать широкую радиацию форм домашних животных и культурных растений. Огромный наследственный потенциал видов, вовлеченных человеком в хозяйственную деятельность, позволил за сравнительно короткий срок создать и лошадку-пони, и огромного тяжеловоза, фантастическое разнообразие пород собак, тонкорунных и курдючных овец, молочных и мясных пород коров, ценнейшие сорта пшеницы, хлопка, картофеля, подсолнечника, кукурузы и т. д.

При формировании новых пород животных и сортов растений использовалась как неопределенная, так и определенная изменчивость. Ведь их создание, как правило, происходило в условиях улучшенного содержания и кормления, с применением тренировки (раздой коров, тренинг рысистых лошадей), с использованием удобрений. Ни одна порода и ни один сорт в том виде, в котором они созданы человеком, не могли бы длительно существовать в природе. Естественный отбор немедленно исключил бы их из числа тех, кто достоин занимать место в биотическом круговороте.

Другой пример — лабораторные культуры различных организмов, в частности дрозофилы. В генетических лабораториях, культивирующих эту муху, длительное время сохраняется поразительное разнообразие форм. Здесь и безглазые, и бескрылые, и четырехкрылые; окраска глаз в разных линиях варьирует от бесцветной белой до нормальной красной и от красной разных оттенков до темно-коричневой, цвета сепии. Многие из мутантов, сохраняющиеся в лаборатории, выделены из диких популяций дрозофилы. Но там естественный отбор их немедленно отбраковывает, так как они не выдерживают конкуренции с «нормальными» мухами. В лаборатории соревнование мутантов и нормальных особей отсутствует, естественный отбор сведен до минимума. Поэтому все мутанты и выживают.

Третий пример относится к естественным условиям. Е. Д. Уортингтон изучал фауну рыб рода Haplochromys в нескольких африканских озерах. В озерах Виктория-Киога и Эдуард-Джордж отсутствуют крупные хищники. Это благоприятствовало широчайшей радиации видов Haplochromys. Одни виды питаются мелким планктоном и имеют маленький рот и волосовидные зубы, другие охотятся за рыбой, у них рот большой с большими зубами, третьи поедают моллюсков, их зубы имеют плоскую коронку, приспособленную для дробления раковин.

Численность эндемичных видов, т. е. видов, свойственных только этим озерам, составляет 58 для озера Виктория-Киого и 18 для озера Эдуард-Джордж. В двух других озерах (Альберт и Рудольф) присутствуют активные хищники — нильский окунь (Lates) и рыба-тигр (Hydrocyon). В итоге количество видов рода Haplochromys снизилось до четырех видов в озере Альберт и до трех в озере Рудольф.

Сходная картина вырисовывается при сравнении фауны рыб в африканских озерах Ньяса и Танганьика, возникших, по-видимому, в раннем кайнозое. В первом из них хищники отсутствуют — число эндемичных видов рыб достигает 171. Во втором

озере обитают хищники — число эндемиков снижается до 90, несмотря на то, что в этом озере условия жизни более разнообразны, чем в озере Ньяса.

Нечто аналогичное наблюдается в озере Байкал. Его фауна характеризуется исключительным разнообразием рачков-бокоплавов. Найдено 250 видов, входящих в состав 37 родов, из которых 35 родов — эндемики Байкала. На всей остальной территории Советского Союза известно всего 28 родов пресноводных бокоплавов; из них широко распространено в наших реках только три рода. По мнению И. И. Шмальгаузена, широкая радиация байкальских бокоплавов вызвана не отсутствием поедающих их хищников, а успешной защитой от хищников взрослых форм; результаты те же, что и при отсутствии хищников.

Сходные явления обнаруживаются при изучении видообразования на изолированных островах. Еще Дарвин описал широчайшую адаптивную радиацию вьюрков на Галапагосских островах, чему также благоприятствовало отсутствие хищников. Со времен наблюдения Дарвина число примеров, подтверждающее усиление формообразования при снижении интенсивности отбора, существенно возросло.

Обсуждая подобные случаи, Дж. Хаксли приходит к выводу: «Сниженное давление отбора благоприятствует повышенной изменчивости. Это справедливо не только для видов или подвидов, но и для целых групп. В первом случае это проявляется в высокой изменчивости, в последнем — в усиленной эволюционной дивергенции и радиации».

Односторонняя трактовка взаимоотношений естественного отбора и формообразования может привести и действительно привела некоторых ученых к недооценке значения естественного отбора. Известный русский палеонтолог Д. Н. Соболев писал: «Отбор не образует новых жизненных форм, он не создает, а уничтожает». А вот что говорил один из основателей генетики, крупнейший американский ученый Т. Г. Морган: «...естественный отбор может быть применен для объяснения отсутствия огромного ряда появившихся форм, но это означает только то, что большинство из этих форм не были ценными в смысле выживания. Отсюда следует, что естественный отбор не играет созидающей роли в эволюции».

В связи с этими высказываниями Соболева и Моргана нелишне напомнить, как понимал взаимоотношение изменчивости и отбора сам Ч. Дарвин: «Несмотря на безусловную необходимость изменчивости, все-таки, если мы посмотрим на какой-нибудь в высшей степени сложный и превосходно приспособленный организм, изменчивость отодвигается на совершенно второстепенное, по сравнению с отбором, место». И это несомненно так. Благодаря деятельности естественного отбора происходит накопление полезных изменений, извлекается польза из бесполезного, поддерживается определенный уровень организации. Об этом уже шла речь при анализе результатов опытов с отбором на холодоустойчивость у дрозофилы, а также экспериментов, демонстрирующих разрыв связи между плодовитостью самок дрозофилы и размером глаз.

Противоречивые взаимоотношения естественного отбора и формообразования обнаруживаются не только тогда, когда интенсивность отбора снижена, но и в противоположных случаях, когда она возрастает.

Видоизмененные культивированием виды животных и растений, сформировавшиеся вне конкурентных отношений с дикими видами, не выдерживают соревнования с ними и, будучи выпущенными в природу, либо вымирают, либо дичают. Мутантные формы дрозофилы, внесенные в естественные популяции этих мух, очень скоро перестают обнаруживаться. Специальными опытами советских и иностранных ученых было показано, что их концентрация в популяциях быстро падает.

Еще Дарвин обращал внимание на то, что растения и животные — пришельцы с материка, как правило, довольно быстро уничтожают многообразие форм, свойственное океаническим островам. Особенно свирепствуют крысы, мыши, козы, одичавшие свиньи, собаки и кошки. Под их воздействием, в частности, быстро беднеет самобытная фауна и флора Галапагосских островов.

Некоторые насекомые, будучи у себя на родине существами малочисленными и безвредными, попадая в районы, где отсутствуют их враги и конкуренты, превращаются в злостных вредителей, уничтожают урожай культурных растений и древесные насаждения.

Уже эти примеры, число которых можно было бы значительно увеличить, показывают, что развитие внеконкурентных отношений, внеконкурентной борьбы за существование, благоприятствуя формообразованию, вместе с тем снижает стойкость в борьбе за жизнь. Поэтому не должны вызывать удивления зарегистрированные палеонтологами факты массового вымирания крупных таксонов после периода бурного расцвета. Появление новых хищников и конкурентов, равно как и изменение абиотических условий биосферы, — вполне достаточные основания для вымирания мало приспособленных к таким изменениям видов.

Некоторые исследователи пытались объяснить вымирание отдельных видов или более крупных систематических групп их старением (Дж. Брокки). Виды, как и особи, якобы переживают период молодости, зрелости, старости, заканчивающейся смертью. Эта примитивная по форме и идеалистическая по своей сущности теория могла возникнуть в результате трактовки эволюции отдельных видов как развития, совершенно независимого от биосферы с ее биотическими и абиотическими компонентами. Одностороннее представление об эволюции привело к односторонней теории.

Анализ эволюции биосферы показывает, что вымирание видов и более крупных таксонов — неизбежное следствие развития жизни. Характерная черта этого развития — чередование периодов относительно спокойного хода процесса с периодами бурного формообразования, своеобразными революциями в биосфере. Преобразование бескислородной атмосферы в кислородную в итоге фотосинтеза вызвало одну из первых революций. Ее результат — вымирание массы анаэробных организмов и начало развития аэробов. Следующая революция — возникновение многоклеточных. Они вышли из конкуренции с одноклеточными и стали развиваться в значительной мере независимо от них. Можно предполагать новый взрыв формообразования.

В начале кембрия стали в массе встречаться животные, строящие раковины. Сначала раковины были фосфатными; затем у моллюсков и плеченогих появились более прочные известковые. В качестве причины появления в это время раковин у неродственных групп животных М.Руттен (1973) называет вызванное жизнедеятельностью изменение газового состава атмосферы.

Выход на сушу ознаменовал следующий переломный момент в развитии живого. Он опять-таки, по-видимому, связан с предшествующей жизнедеятельностью зеленых растений, в результате которой увеличилось содержание в атмосфере кислорода и возник озоновый экран.

Грандиозная революция произошла в середине мелового периода 95—105 млн. лет назад. Быстро развились покрытосеменные, произошла перестройка фаун насекомых, рептилий, млекопитающих.

Каждая революция, сменяемая затем относительно спокойным процессом адаптивной радиации и прогрессирующей специализации, таила в себе зародыш будущих революционных преобразований. Ведь при этом изменялись структура биосферы, распределение биогенных элементов, короче говоря, среда жизни видов. Изменение среды жизни открывало возможность прогрессивного развития видов,

до того бывших «на задворках» эволюционного процесса. Так, в начале кайнозоя стали усиленно развиваться млекопитающие и птицы. «Неожиданно» оказавшись вне конкуренции, они дали широкую радиацию форм, не меньшую, чем радиация форм мезозойских пресмыкающихся. Естественный отбор обеспечил этой радиации адаптивный характер.

Чередование периодов относительно спокойного развития видов с периодами революционных преобразований свидетельствует о весьма интересной закономерности эволюции. Эволюирующее живое все время как бы стремится вырваться из тисков конкуренции и естественного отбора. Завоевание новых областей, проникновение в новые экологические условия, иначе говоря, адаптивная радиация — все это выражение тенденции эволюирующего живого развиваться вне конкуренции. Это тенденция приводит, однако, в конечном итоге к тому, что одни формы конкуренции сменяются другими, более сложными; временное ослабление естественного отбора уступает место его усилению. Лишь в ветви, ведущей к человеку, тенденция развиваться вне конкуренции и без контролирующей роли естественного отбора нашла свое достаточное полное выражение. В. И. Кремянский (1941) в своей интереснейшей статье о самоустраняющейся деятельности естественного отбора детально рассмотрел ход этого важного процесса.

Порожденная естественным отбором, тенденция вида развиваться вне конкурентных отношений позволяет вступить на путь разрыва связей с другими видами — связей, которые ранее обусловливали особенности их развития в определенном направлении. А. С. Серебровский (1973) разбирает пример перехода к бесполому размножению многих цветковых растений. Цветковые растения развивались в тесном взаимодействии с насекомыми-опылителями. Перекрестное опыление гарантирует высокую выживаемость потомства и большую наследственную пластичность на базе комбинативной наследственной изменчивости. Однако одновременно с этими явными преимуществами оно не лишено и крупных недостатков. Перекрестно опыляющиеся растения оказываются в полной зависимости от опыляющих их насекомых. Снижение численности насекомых-опылителей, вызываемое самыми различными, факторами как биотическими, так и абиотическими, например, погодными условиями, снижает продуктивность перекрестно опыляемых растений. Так, клевер часто остается бесплодным из-за отсутствия шмелей. Получают преимущество растения, способные размножаться без перекрестного опыления. Такова, например, фиалка Viola mirabilis, обладающая способностью образовывать наряду с обычными цветками, опыляемыми насекомыми, нераскрывающиеся цветки, в которых семена развиваются путем самоопыления — клейстогамии. Клейстогамия позволила этой фиалке проникнуть в лес, в места, мало посещаемые насекомыми, и начать цвести ранней весной, когда насекомых еще мало. Родственный вид — фиалка трехцветная (V. tricolor) — цветет на открытых местах в сезон, богатый насекомыми. У других цветковых растений развиваются разнообразные способы бесполого размножения: апогамия (развитие клеток зародышевого мешка без оплодотворения), размножение корневищами, луковицами, клубнями, усами и т. д.

Особый интерес представляет апомиксис, т. е. бесполосеменное размножение. По данным известного советского генетика С. С. Хохлова, апомиксис у покрытосеменных растений установлен у видов более 300 родов, принадлежащих к 80 семействам. Он наиболее распространен среди видов прогрессивных групп, таких как злаки (56 родов), сложноцветные (28 родов). Апомикты имеют широкое распространение, причем некоторых из них, например, мятлик луговой (Poa pratensis), мелколепестник канадский (Erigeron canadensis), одуванчик, за последние 200—300 лет значительно расширили ареалы, переселившись на другие континенты. Такие виды,

как мятлик луговой, встречаются во всех климатических зонах от Арктики до Антарктиды. Численность особей апомиктических видов весьма высока. Достаточно назвать представителей родов мятлика, щавеля, ястребинки, одуванчика, лапчатки, манжетки, лютика.

Изучение изменчивости апомиктических видов позволило обнаружить колоссальный внутривидовой полиморфизм. «Самые крупные по числу видов и самые полиморфные роды покрытосеменных растений являются апомиктическими», — пишет С. С. Хохлов.

Некоторые исследователи трактуют переход к апомиксису как явление регрессивное, ведущее в эволюционный тупик. Фактические данные противоречат такой точке зрения. С. С. Хохлов и А. С. Серебровский рассматривают апомиксис как явление прогрессивное. Разрыв связи с насекомыми-опылителями привел к тому, что плодоношение у апомиктов перестало зависеть от погодных условий во время цветения, часто неблагоприятных для переноса пыльцы. Семенная продуктивность апомиктов более высока по сравнению с близкими видами, размножающимися путем перекрестного опыления с помощью насекомых.

Перекрестное опыление дает видам два преимущества по сравнению с самоопылителями и вегетативно размножающимися видами. Во-первых, у перекрестников увеличивается размах изменчивости, так как наследственные изменения, возникающие у одного полового партнера, комбинируются с таковыми у другого. Во-вторых, потомство от перекрестного оплодотворения, как правило, более жизнеспособно, чем потомство самоопылителей. Этому фактору Дарвин придавал особенно большое значение.

Однако оба преимущества могут достигаться и иными путями. У апомиктов эти иные пути, кажется, уже и обнаруживаются. В противоположность перекрестникам у них после радиационных и химических воздействий сразу же в первом поколении выявляется широкий спектр мутаций. По мнению С. С. Хохлова, это связано со своеобразием строения ядра — отсутствием парных хромосом. Если у организмов с нормальным диплоидным хромосомным комплексом проявлению мутации гена, возникшей в одной из хромосом, в какой-то мере препятствует неизменный ген в гомологичной хромосоме, то у апомиктов это препятствие отсутствует. Кроме того, у апомиктов число хромосом менее стабильно, чем у близких нормально опыляющихся видов, что, конечно, также благоприятствует изменчивости.

Второе преимущество перекрестников — большая жизнеспособность семян от перекрестного оплодотворения, видимо, также может быть достигнута иными средствами. По С. С. Хохлову, наблюдается «значительное в сравнении с сексуальными формами повышение у апомиктов энергетического уровня семяпочек, связанное с рядом структурно-физиологических усовершенствований, что резко интенсифицирует обменные процессы в семяпочке и в развивающихся семенах».

Широчайшее распространение апомиксиса, его независимое возникновение в различных таксонах и в разных формах показывают, что это новшество обусловлено не какими-то частными процессами внутривидового масштаба. Переход к апомиксису знаменует новый этап в эволюции биосферы, характеризующийся большей автономизацией в развитии видов цветковых растений.

Возникнув как продукт взаимодействия с насекомыми, цветковые растения достигли высокого совершенства. В ряде случаев взаимозависимость растения и опыляющего его насекомого превратилась в абсолютную взаимозависимость, что существенно ограничило пути дальнейшего развития. Разрыв этой связи, ставший возможным после достижения растениями определенного уровня развития в условиях

хорошо отрегулированной биосферы, открывает перед ними новые направления эволюции.

Образно выражаясь, за длительный период совместной эволюции с насекомыми-опылителями цветковые растения многому у них «научились» и теперь уже могут обходиться без своих учителей.

Однако за возможность продолжать независимую эволюцию цветковым растениям придется расплачиваться. Ведь их яркие венчики стали бесполезными. Если с помощью естественного отбора ярким краскам не будет найдено новое применение, они раньше или позже исчезнут. У некоторых видов растений это исчезновение уже началось. В. Л. Комаров приводит в качестве примера виды рода манжеток (Alchemilla), имеющих маленькие зеленые недоразвитые цветы.

Сохранению ярких красок может теперь содействовать человек. В таком случае их «польза для растений» будет определяться эстетическими вкусами людей.

Эволюция цветковых растений в направлении разрыва связи с насекомыми, естественно, вызовет изменение и в эволюции насекомых. Питающиеся пыльцой и нектаром должны будут изменить пищевой объект. Иначе говоря, намечаемое новое направление в эволюции цветковых растений, вызванное какими-то сдвигами в биосфере, таит в себе зародыш новых революционных преобразований в биотическом круговороте Земли.

Как уже говорилось, направление эволюционных преобразований вида определяется его местом в биотическом круговороте. От этого зависит, станет ли вид развиваться прогрессивно, или будет длительное время сохраняться в неизменном состоянии, или, наконец, вовсе исчезнет из биосферы.

А. Н. Северцов рассматривает два очень интересных примера. Первый пример — эволюция вида под влиянием вновь появившегося хищника. В зависимости от соотношений сил и возможностей хищника и жертвы эволюция жертвы пойдет в различных направлениях. Если хищник подавляюще активен, жертве, чтобы сохраниться, нужно эволюировать по пути пассивной защиты: развитие покровительственной окраски, дурного запаха, несъедобности, уход под землю, образование покрова из игл и т. п. В другом случае, когда между силами хищника и жертвы существует лишь незначительная разница в активности, так что наиболее чуткие, зоркие и быстрые особи преследуемого вида могут спастись от хищника активной защитой, переход к пассивным приспособлениям уже перестает быть единственно возможным. «Среди преследуемого вида будут выживать наиболее сильные, наиболее ловкие, наиболее быстро бегающие особи, и от них произойдет новая раса потомков, которым уже не будет нужно переселяться под землю, но которые будут эволюировать в прогрессивном направлении на поверхности Земли».

В качестве другого примера А. Н. Северцов рассматривает филогенетическое преобразование глаз в зависимости от изменения интенсивности освещения. При значительном ослаблении света глаза развиваются прогрессивно: увеличиваются их размеры, повышается чувствительность ретины, расширяется зрачок. Так эволюировали глаза ночных птиц (сов, филинов, сычей), ночных млекопитающих, многих глубоководных рыб. При переходе в полную темноту глаза уменьшаются в размерах или даже вовсе исчезают (кроты, слепыши из млекопитающих, пещерные животные и глубоководные рыбы, живущие в полной темноте). Таким образом, «переход в среду со слабым, даже значительно более слабым освещением ведет к прогрессивному развитию глаз; переход в совершенно темную среду ведет к атрофии глаз».

Следовательно, направление эволюции вида определяется не просто местом в биосфере, но степенью и скоростью изменения особенностей этого места. При медленных и не слишком сильных изменениях возможны прогрессивные

преобразования вида. При быстрых и радикальных сохраняются лишь виды, способные к сужению связей со средой, т. е. переходящие на путь пассивной обороны. При изменениях, превышающих возможности изменчивости, вид вымирает. Иначе говоря, «...направление изменений зависит от соотношения между интенсивностью и скоростью изменения среды и организацией и функциями изменяющегося животного».

Таким образом, для успеха формообразования должны соблюдаться следующие условия:

1. Сравнительно медленные изменения абиотической среды.
2. Благоприятные условия питания, обеспечивающие достаточно высокую численность особей вида.
3. Наследственная изменчивость, позволяющая не отставать от преобразования биосферы.
4. Отсутствие потребителей подавляющей мощности.
5. Наличие потребителей, уничтожающих мало жизнеспособных.
6. Разнообразие связей с организмами других видов, позволяющее приспосабливаться к изменяющимся условиям, вытесняя из них менее приспособленных.
7. Способность по достижении определенного уровня развития изменять связи с окружением.
8. Наличие в среде неосвоенного потенциала вещества, энергии и информации.

Поражающее разнообразие форм организмов создает впечатление безграничных формообразовательных возможностей живых существ. Подобное впечатление ошибочно.

Во-первых, как уже говорилось, биохимический субстрат жизни обнаруживает удивительный консерватизм. У всех эукариот клетки в принципе построены одинаково; более того, некоторые элементарные структуры, такие как жгутики и реснички, имеют практически одинаковое строение у одноклеточных жгутиконосцев и в дыхательном эпителии млекопитающих.

Во-вторых, повторно и независимо в различных ветвях животного мира наблюдается появление ряда биохимических признаков, например, мочевой кислоты, гемоглобина, зрительного пигмента. Последний пример особенно интересен. Глаза членистоногих, моллюсков и позвоночных развились совершенно независимо. Анатомически и эмбриологически они существенно различны. Однако зрительный пигмент у них идентичен, представляя собой комбинацию специфического белка, опсина, с производным витамина А (ретиненом). Известный американский биохимик Дж. Уолд по этому поводу пишет: «Организмы, отдаленные по своим биологическим свойствам, будучи поставлены перед специфической, физиологической проблемой могут повторно развивать идентичные молекулярные структуры», и далее «...организмы, под непрерывным давлением естественного отбора, не имеют иного выбора, кроме переоткрытия вновь и вновь, как и в нашем примере, той же самой молекулярной структуры».

В-третьих, независимо и повторно могут развиваться и достаточно сложные органы и структуры. Академик М. С. Гиляров приводит ряд интересных примеров. Так, липидосодержащая эпикутикула, защищающая тело от испарения, развилась независимо у представителей различных групп членистоногих (скорпионы, сальпуги, пауки, сколопендры, насекомые); трахейная система дыхания, представляющая собой пример оптимального решения снабжения внутренних тканей кислородом при наименьшей затрате воды, развилась независимо у разных групп паукообразных, многоножек, насекомых, наземных многощетинковых червей. При этом сходство простирается до деталей электронно-микроскопического строения.

Наконец, в-четвертых, основные направления, по которым идет приспособление организмов к среде, также не безграничны. Активное передвижение требует дифференциации переднего и заднего конца, двусторонней симметрии. На переднем конце концентрируются органы ориентировки и захвата пищи, что обусловливает формирование головного отдела, в принципе сходно построенного у представителей самых различных групп животных. Иначе говоря, «адаптация к условиям среды в пределах даже крупных таксонов способна идти ограниченным числом путей».

Жизнь и второе начало термодинамики

В соответствии со вторым началом термодинамики в изолированных системах наблюдается тенденция к обесцениванию энергии, выражающаяся в росте энтропии. В организмах не происходит явного возрастания энтропии, наоборот, она скорее уменьшается. На эту особенность живых существ указывали физики и биологи, начиная с конца прошлого века. Многим казалось, что жизнедеятельность организмов явно противоречит принципу возрастания энтропии. В настоящее время стало очевидным, что в действительности никакого противоречия нет. Организмы — не изолированные системы. По мнению А. И. Опарина, «характерным для организмов является их непрерывное взаимодействие с окружающей внешней средой, в силу чего их нужно рассматривать как поточные или открытые системы. Свойственное им стационарное (а не статическое) состояние поддерживается постоянным не потому, что они приблизились к „максимальной энтропии“ или что их свободная энергия находится в минимуме (как это происходит при термодинамическом равновесии), а вследствие того, что открытые системы непрерывно получают свободную энергию из внешней среды в количестве, компенсирующем ее уменьшение в системе».

Известный английский биолог-статистик, один из авторов генетической теории естественного отбора Р. Фишер в 1930 г. вывел основную теорему естественного отбора. Он обращает внимание на примечательное сходство этой теоремы с выражением второго начала термодинамики. Отличие заключается лишь в том, что на месте энтропии в теореме Фишера стоит степень соответствия условиям, степень приспособленности к условиям.

Согласно теореме Фишера, в ходе эволюции у живых организмов возрастает способность использовать жизненные ресурсы, что неизбежно выражается в росте организованности органического мира. С точки зрения И. И. Шмальгаузена, это происходит следующим образом: «Более активные особи, лучше использующие ресурсы внешней среды для роста, жизни и размножения, вытесняют в процессе смены поколений менее активных особей. Более устойчивые особи, т. е. лучше противостоящие различным вредным влияниям, также вытесняют путем преимущественного размножения менее устойчивых особей. В обоих случаях более упорядоченные формы организации с более низким уровнем энтропии вытесняют менее упорядоченные формы организации с более высоким уровнем энтропии». Одним словом, в процессе естественного отбора повышается информационное содержание органического мира, степень его организованности. Приспособленность представляет собой биологическую форму организации. Теорема Фишера говорит о росте организованности живой системы в итоге деятельности естественного отбора.

В соответствии со вторым началом термодинамики самопроизвольно происходят лишь процессы, ведущие к обесцениванию энергий, к потере структурности, к дезорганизации. В органическом мире также наблюдаются процессы дезорганизации и распада.

В результате размножения у подавляющего большинства организмов от пары родителей появляется огромное количество зародышей, исчисляемое у некоторых рыб и моллюсков миллионами. Из этого количества жизней в условиях стационарности

сохраняются лишь две. Остальные гибнут, становясь жертвой многочисленных врагов и микроорганизмов. Таким образом, сохранение вида достается ценой гибели подавляющей массы его представителей. Коэффициент выживания составляет доли процента. Это явное выражение энтропии.

Для противодействия энтропии хищник вынужден истреблять травоядных животных. На прирост 1 кг биомассы хищника требуется съесть примерно 10 кг травоядных. Следовательно, хищник как «самоорганизующаяся система» живет за счет дезорганизации травоядных, вызывая эту дезорганизацию в масштабе, оставляющем далеко позади масштаб собственной самоорганизации. Математики и физики, интересующиеся термодинамическими или только информационными аспектами проблемы, на этом, как правило, ставят точку.

Биолога интересуют последствия «дезорганизующей деятельности хищника». Оказывается, хищник — не только «дезорганизатор», но и фактор отбора, т. е. фактор, ответственный за прогресс.

Действительно, эволюция травоядных, явно ведущая к морфофизиологическому прогрессу, происходит в итоге «дезорганизующей» деятельности хищника. Таким образом, дезорганизация живых организмов одновременно оказывается организующим фактором.

Поскольку каждый вид организмов представляет собой лишь отдельное звено в эволюционном процессе, ни один из них не может быть ни абсолютным «организатором», ни абсолютным «дезорганизатором». Все они выступают и как дезорганизаторы, и как агенты отбора, т. е. как факторы совершенствования механизмов жизни.

В процессе эволюции жизни изменяется неорганическая среда, однако это изменение никак нельзя назвать дезорганизацией. Скорее можно говорить о преобразующей и реорганизующей роли жизни по отношению к окружающей неорганической природе.

Поскольку в эволюции жизни решающую роль играет накопление информации, а не энергетическая или вещественная сторона, постольку и жизнь не должна быть дезорганизующим фактором. Она и на самом деле не является таковым, особенно если учесть, что поставщиком энергии служит солнечное излучение —практически неиссякаемый источник.

В органическом мире постоянно обнаруживается организующая роль дезорганизации. Н. К. Кольцов, рассматривая проблему прогресса в эволюции, обращает внимание на распространение регрессивных явлений. Однако «огромное значение регрессивных процессов в эволюции животного царства не должно удивлять нас, — пишет он, — так как это явление вытекает из применения второго закона термодинамики, т. е. общей направленности исторического процесса к переходу из сложного в простое». Несмотря на тенденцию к регрессу и упрощению, сложность и дифференциация организмов в филогенезе в результате отбора непрерывно возрастает. «Это есть следствие статистических закономерностей, накопления с течением времени редчайших, маловероятных комбинаций, сочетающих сложную дифференцировку генотипа с его стойкостью и с достаточной приспособленностью фенотипа к внешним условиям».

Регресс и дегенерация как явления макроэволюции, свойственные отдельным видам, действительно не могут трактоваться иначе, как выражение «общей направленности исторического процесса к переходу из сложного в простое». Однако при рассмотрении в плане эволюции биосферы они приобретают иное значение. Увеличивая гетерогенность живого, его неравномерность, регресс и дегенерация выступают как факторы усложнения всей живой макросистемы. Увеличивая разнообразие

биотической среды, они создают предпосылки к морфофизиологическому прогрессу других видов.

Многие часто возникающие мутантные изменения отдельных генов резко снижают жизнеспособность организма. Такие мутации нередко представляют собой явные нарушения генной структуры, они могут рассматриваться как деструктивные, снижающие приспособленность организма к среде. Как впервые показал Фишер, естественный отбор стремится уменьшить деструктивный эффект подобных мутаций путем повышения их рецессивности, т. е. ослабления проявления в гетерозиготе. Это достигается путем образования различных компенсационных механизмов, повышающих устойчивость нормы. Согласно И. И. Шмальгаузену повышение устойчивости нормы связано с формированием коррелятивных связей в развитии органов, с увеличением стабильности процесса развития. И в этом случае деструкция генов — явное выражение тенденции к распаду, упрощению — ведет к формированию особенностей, которые представляются, несомненно, прогрессивными.

Строение многоклеточных организмов, а также, по-видимому, смерть индивидов и вымирание отдельных видов многими исследователями также рассматриваются как выражение роста энтропии.

Таким образом, и в органическом мире в отдельных процессах и явлениях наблюдается явная тенденция к упрощению, дегенерации, распаду. Однако эти явления нередко выступают как средство повышения организованности. В общем потоке жизни они таковыми являются, по-видимому, всегда. Вспомним, что говорил о природе Гёте: «Жизнь — ее лучшее изобретение; смерть для нее средство для большей жизни».

В процессе эволюции у организмов возникали многочисленные приспособления против деструктивного влияния внешних воздействий. В общей форме эти приспособления можно охарактеризовать как способность к саморегуляции.

По И. И. Павлову, организм — в высшей степени саморегулирующаяся система, сама себя поддерживающая, восстанавливающая, направляющая и даже совершенствующая. И. И. Шмальгаузен считает, что организм можно рассматривать как сложную систему, способную к авторегуляции.

Способность к саморегуляции функций особенно отчетливо проявляется у высших организмов. П. К. Анохин в 1935 г., экспериментируя с собаками, соединял нервы, идущие от органов дыхания, с осязательным центром мозга, а осязательные нервы — с центром дыхания. Такие животные в ответ на раздражение ноги кашляли; при дыхании у них в такт с грудной клеткой двигалась лапа. Через некоторое время, однако, нервные центры «переучивались» и начинали выполнять функции, требуемые для нормальной жизни.

Человек при помощи особых очков может увидеть окружающий мир перевернутым. Первые мгновения испытуемый совершенно теряется, однако через четыре дня все нормализуется и он уже не терпит никаких неудобств. Если снять очки, мир снова становится перевернутым. Но оказывается, что одного зрения для подобного «переучивания» мозговых центров недостаточно. Испытуемый должен ходить, двигать руками. Если он ездит в кресле на колесиках, «переучивания не происходит».

Разнообразие форм поведения, а следовательно, и способность к саморегуляции зависят от богатства внутренних связей: «... чем меньше связей в системе, тем меньше у нее возможных форм поведения». «Самым существенным фактором в организации целостной системы, к какой бы категории эта система не относилась (машины, организмы, общество), — пишет П. К. Анохин, — является циркуляция в ней информации. Только благодаря непрерывному обмену информацией между отдельными частями системы может осуществляться их организованное взаимодействие, заканчивающееся полезным эффектом».

Способность к саморегуляции обеспечивает адаптивный ответ и на такие внешние воздействия, которые, по-видимому, никогда не встречались в жизни не только особи, но и вида. Диким медведям никогда, конечно, не приходилось кататься на велосипеде. Однако их можно этому научить. Дыхательный центр мозга не участвовал непосредственно в возбуждении дыхательной активности лапы, однако, будучи связан с нервами, идущими от лапы, он быстро «переучивается» и начинает регулировать функции движения. Крыса, лишенная всех конечностей, в природе вряд ли могла бы выжить, но в опытах Э. А. Асратяна она не только выжила, но научилась двигаться, катаясь и переворачиваясь.

Как показывают классические опыты И.П.Павлова с собаками, лишенными органов чувств, исследования П. К. Анохина, работы Э.А.Асратяна, Э.Ш.Айрапетьянца, саморегуляция осуществляется лишь в тех случаях, когда в организм поступает информация из внешней среды. По-видимому, саморегуляция — в своей основе приспособительная реакция — невозможна без поступления внешней информации. Так как способность к саморегуляции — свойство, несомненно, противодействующее возрастанию энтропии, поступление и переработка внешней информации — способ борьбы с ростом энтропии.

Машина — произведение человеческого ума и рук — во время работы «питается» чистой энергией. Постепенно она изнашивается. Чтобы вернуть машине прежнюю работоспособность, требуется заменить износившиеся части на новые, иначе говоря, дать ей новую упорядоченность взамен утраченной. Организм в отличие от машины поглощает информацию, усваивая вещество и энергию. Поглощение информации — важное условие жизнедеятельности. С потерей способности поглощать информацию теряется способность к саморегуляции со всеми вытекающими из этого последствиями.

Можно сделать и обратный вывод: если способность к поглощению информации представляет собой средство повышения саморегуляции, организмы, поглощающие большую информацию, должны обладать определенными преимуществами. Значит, естественный отбор будет способствовать накоплению информации, т.е. усложнению организации, что фактически и имеет место.

EVOLUTION OF THE BIOSPHERE

Kamshilov M.M. - doc. biol. n., prof.

Abstract. The work is devoted to the problem of biosphere evolution. Questions of the origin of the biosphere, its organization, factors and patterns of evolution are considered. Particular attention is paid to the influence of man on the atmosphere.

Key words: biosphere, evolutionary process, self-regulation, natural selection, patterns of evolution

УДК: 530

САМООРГАНИЗАЦИЯ И ЭНТРОПИЯ В ПРИРОДЕ И ЭКОНОМИКЕ

Чаленко А. Ю. – канд. тех. н., с.н.с. Ин-та экономико-правовых исследований НАН Украины, achalenko@mail.ru

Аннотация. Современная теория развития включается такие понятия, как энтропия, диссипативные и консервативные структуры, равновесные системы и т.п.

Показано как на их основе можно построить более общую процессную схему, которая давала бы полное описание социальной динамики.

Ключевые слова: энтропия, диссипативные структуры, экономика, природа, материя, самоорганизация

Современная теория развития включается такие понятия, как энтропия, диссипативные и консервативные структуры, равновесные системы и т.п. Но что стоит за этими понятиями?

Не являются ли они не вполне корректными, что ведет к неправильному пониманию процесса развития? Как на их основе можно построить более общую процессную схему, которая давала бы полное описание социальной динамики?

Базовые определения

Прежде чем рассматривать глобальные проблемы материального мира необходимо определиться, что же это такое – энтропия?

Термин и понятие "энтропия" (от греч. en, trope – поворот, превращение) впервые ввел выдающийся немецкий физик, один из основателей термодинамики и молекулярно-кинетической теории теплоты, Рудольф Клаузиус в 1865 году. Научная задача, породившая данное понятие, состояла в установлении соответствия между количеством теплоты, подводимой к объекту (системе) и изменением его температуры. Опытным путем было обнаружено дополнительное свойство, состоящее в зависимости передачи тепла от степени "внутренней упорядоченности" системы, что и стало причиной появления в науке нового понятия – энтропии. По определению, энтропия представляет собой меру обесценивания энергии, ее потери, рассеивание в окружающее пространство и т.д. Таким образом, термин и его содержание, имеющий чисто физический характер, в силу своей универсальности породил новую общенаучную парадигму.

Возможно, это событие так и осталось бы незамеченным для широкой публики, но увеличение энтропии, по мнению приверженцев данной парадигмы, должно было привести к тому, что все температуры в мире когда-нибудь обязательно сравняются, тепловая энергия перестанет превращаться в механическую, весь мир замрет и наступит "тепловая смерть" [1, с.143].

Такие выводы и претензии на фундаментальность и всеобъемлющую сущность энтропии привели к широчайшему ее применению в научных исследованиях. Д ля примера рассмотрим некоторые из них.

Энтропия в теории информации: величина, характеризующая степень неопределенности системы; в теории систем: величина, обратная уровню организации системы [2, с.30.]. Статистическая физика рассматривает энтропию как меру вероятности пребывания системы в данном состоянии – принцип Больцмана [3, с.139.]. Энтропия как мера неопределенности состояния любой вполне упорядоченной физической системы, или поведения любой системы, включая живые и неживые объекты и их функции [4]. Термодинамическая энтропия микрочастиц или молекулярного (микроскопического) множества используется для описания тепловых процессов в физике [5, с.25.]. Если термодинамическая энтропия есть мера неупорядоченности (или беспорядка) микрочастиц, то энтропия в широком смысле – мера неупорядоченности (или беспорядка) любого объекта по любым признакам. Величина энтропии измеряет степень гомогенности структуры объекта [6]. В медицине понятие энтропии также нашло свое применение при описании жизнеспособности человеческого организма [7].

Понятие "энтропия" связано с превращением, а лучше сказать, с изменением чего-либо, отражает неопределенность поведения любой не вполне упорядоченной системы вплоть до макроскопических множеств. Нобелевский лауреат Илья Пригожин, основоположник теории неравновесных необратимых процессов в природе и обществе, разработал новую теорию диссипативных (рассеиваемых, переходящих в другое состояние) структур, и тем самым впервые доказал, что неравновесность является источником организации (или самоорганизации) и энтропии (меры беспорядка) в природе и обществе. Обосновывая свою теорию, И.Пригожин доказал теорему о неравновесных процессах, в соответствии с которой установившемуся состоянию соответствует минимум энтропии. Он показал, что при внешних условиях, препятствующих равновесному состоянию, энтропия увеличивается, а если препятствия отсутствуют – энтропия достигает абсолютного минимума (нуля) [8].

Парадигма энтропии не обошла своим влиянием и экономику. Оказалось чрезвычайно удобным объяснять научно непредвиденные аномалии социально-экономического развития влиянием энтропии. То есть задуманное не получилось потому, что система оказалась "неупорядоченной", недостаточно информативной, распыленной, чрезмерно демократичной и т.д., в общем – плохая энтропия. Понятие энтропии в экономике сформулировано весьма расплывчато, не имеет четкого определения, например: "Энтропия в экономике – это количественный показатель беспорядка, мера излишней работы при достижении поставленной цели, доля неполезных побочных процессов или явлений, сопровождающих какую-либо деятельность" [9]. Энтропийный закон в замкнутой экономической системе характеризует меру хозяйственного порядка-беспорядка за временной цикл взаимодействия через реализуемые стабильные и дестабилизированные режимы экономического обмена [10, с.77.].

Таким образом, энтропия в экономике стала наиболее абстрактным выражением многочисленных процессных аномалий и поэтому постоянно увеличивает число своих приверженцев и количество научных исследований.

Научно-исследовательская программа "Энтропия"

Произведем фальсификационный анализ энтропийной теории по известной методологии К.Поппера–И.Лакатоса [11]. Представим научно-исследовательскую программу (НИП) "Энтропия" в форме твердого ядра – собственно парадигмы энтропии, и защитного пояса – понятий энтропии, используемых в различных сферах науки. Схематично НИП "Энтропия" представлена на рис.1.

Рис.1. *НИП "Энтропия".*

Твердое ядро НИП в общем случае, по существующим теоретическим представлениям, определяет потери в объекте, которые фокусируются в понятии энтропии – мере неупорядоченности системы. В качестве защитного пояса, где проявляются признаки твердого ядра НИП, предлагаются различные объекты из сферы знаний и системы, а также вселенная, ноосфера, научные дисциплины, что вызывает определенные несоответствия.

Вообще следует принять за аксиому, что потери возможны только в движущейся материи (объектах). Объект в состоянии покоя (если таковое существует) потерями, а значит, энтропией не обладает и не может обладать. Что же является признаком движения? Ответ оказывается парадоксально простым – процесс. Именно процесс, его стадийность, течение определяет движение объекта из одного состояния – входа (начало процесса), в другое состояние – выход (конец процесса). При этом сам процесс, как правило, имеет несколько альтернативных направлений, которые исследователь классифицирует как полезную функцию и потери.

Вот тут и начинается разночтение энтропии как разновидности потерь, которые приписываются объекту. Как уже указывалось выше, это обесценение энергии в термодинамике, физике, химии, неопределенность в информатике, неоднозначность результатов решений в экономике и управлении, неопределенность жизнеспособности субъекта в биологии и медицине, неопределенность результатов развития ноосферы, вселенной, прочих материальных объектов и т.д.

Фальсификация НИП "Энтропия"

Фальсификация НИП «Энтропия» в современном ее толковании возможна по следующим признакам:

1) Нечеткое определение объекта исследования привело к разночтениям самого понятия энтропии. Сейчас энтропия трактуется чрезмерно широко, применяется практически без исключения ко всем объектам материального мира, как к статическим, так и к динамическим (в состоянии движения), к системам и прочим интегрированным структурам. На самом деле понятие энтропии применимо только к процессам. Отсутствие процесса указывает на отсутствие движения, а значит, не может порождать потери и их функцию – энтропию. В существующей НИП процессная функция не является доминирующей, так как исторически сложилось преобладание структурной функции.

2) К сфере действия энтропии по существующей парадигме отнесены объекты материального и нематериального мира, без соответствующей демаркации. Это вносит понятийную неопределенность самого термина "энтропия", несогласованность и невозможность логической сопоставимости понятий "материальная энтропия" и "нематериальная энтропия". Нет реальной возможности определить общую энтропию, так как неизвестны законы суммирования различных видов энтропии.

3) Конфликтность признаков понятия "энтропии" в теориях, составляющих защитный пояс НИП. Логика в общем одна и та же – потери, однако в каждой из рассматриваемых теорий, энтропия потерь имеет свою, существенно отличающуюся от других, эпистемологию, что не позволяет производить фундаментальных обобщений.

4) Неопределенность источников энтропии. Знаменитые исследования И.Пригожина позволили выявить некоторые источники энтропии и представить их как особо организованные диссипативные структуры. Однако механизм диссипации, порождающий энтропию, до сих пор раскрыт не полностью. Считается, что потери в силу своей необратимости могут задавать направление (стрелу) времени.

5) Незавершенность формирования твердого ядра НИП. Существующее понятие энтропии не удовлетворяет требованиям однозначности, системности, отсутствует демаркация в отношении процессных приложений.

Из сказанного вытекает, что современная НИП "Энтропия" может быть сфальсифицирована по указанным признакам, а потому допускает существенную реконструкцию и уточнения. Данные уточнения относятся, прежде всего, к определению "твердого ядра" – научного понятия энтропии как результата определенного процесса, а также к стандартизации логики научных понятий защитного пояса.

Проблема исследования состоит в необходимости уточнения НИП "Энтропия" и создания парадигм, релевантно отражающих динамические процессы в естественной науке и экономической деятельности человека.

Целью исследования является создание нового твердого ядра НИП – теоретических положений о движении материи и энтропии.

Для достижения поставленной цели предложено решение следующих задач:

исследование сущности самоорганизации материи;

фальсификация понятия диссипативных структур;

определение движения материи как процесса;

определение основных элементов процесса движения материи и их взаимодействий;

разработка парадигмы о процессах материи и энтропии, основы твердого ядра НИП;

исследование природных и экономических проявлений энтропии, роли человеческого фактора.

Исследование сущности самоорганизации материи

Парадокс И.Пригожина. В физике различают два типа самоорганизации или фазовых переходов: консервация и диссипация. Диссипативная самоорганизация – это фазовый переход необратимых структур вдали от состояния равновесия. Макроскопические структуры возникают в результате сложного нелинейного взаимодействия большого числа микроскопических элементов при некоторых критических условиях. По существующим научным представлениям, устойчивость возникающих структур обеспечивается балансом нелинейности и диссипации энергии. Илья Пригожин и ученые Брюссельской школы попытались определить движение материи как существование "диссипативных структур". Данный термин был впервые введен в 1967 г. и определял результаты развития собственных внутренних

неустойчивостей в системе, что, в конечном итоге, вызывало ее самоорганизацию [12, с.71-72].

Согласно мнению И.Пригожина, изложенному в работе "Порядок из хаоса": "Основным условием возникновения явлений самоорганизации является существование каталитических эффектов. В то время как в неорганическом мире обратная связь между "следствиями" (конечными продуктами) нелинейных реакций и породившими их "причинами" встречается сравнительно редко, в живых системах обратная связь, напротив, является скорее правилом, чем исключением. Автокатализ (присутствие вещества X ускоряет процесс образования его же в результате реакции) лежит в основе классического механизма регуляции, обеспечивающего согласованность метаболической функции. Основной механизм, с помощью которого молекулярная биология объясняет передачу и переработку генетической информации, по существу, является петлей обратной связи, т.е. нелинейным механизмом (с.142). …Активность материи связана с неравновесными условиями, порождаемыми самой материей (с.165). …К особенностям эволюции сложных систем относится то, что каждое отдельное действие или локальное вмешательство в систему обретает коллективный аспект, который может повлечь за собой совершенно неожиданные глобальные изменения (с.181). …Источником порядка является неравновесность. Неравновесность есть то, что порождает порядок из хаоса (с.252). …Необратимость есть источник порядка на всех уровнях. Необратимость есть тот механизм, который создает порядок из хаоса (с.257). …Именно энтропийный барьер гарантирует единственность направления времени, невозможность изменить ход времени с одного направления на противоположное (с.260)" [13].

Парадокс заключается в том, что в представленной теории упорядочение материальных систем происходит благодаря неравновесности. По мнению И.Пригожина, неравновесность порождает порядок и энтропию, что обеспечивает движение материи во времени. При этом равновесная система, по представленной логике, вообще не имеет права на существование.

Самоорганизация системы. Полученные выводы указывают на эффект усложнения природных систем, основанный на явлении самоорганизации. И.Пригожин выделяет следующие этапы самоорганизации:

- активная среда. По мнению представителей Брюссельской школы, рождение структур возможно только в особой среде, способной к самоорганизации, которую называют активной. Элементы этой среды должны выводиться из состояния равновесия внешними потоками энергии. Особенностью активной среды являются нелинейные взаимодействия составляющих элементов. Активные среды разнообразны по типам: физические, химические, биологические, социальные и т.д.;

- инверсия. В состоянии равновесия действие равно противодействию, что обеспечивает симметрию. Инверсия состоит в нарушении равновесного состояния, общепринятого подхода и реализации качественно нового состояния – порядка;

- параметры порядка. Система, обладающая бесконечным числом степеней свободы, находится в состоянии хаоса. При выделении из нее небольшого количества переменных – параметров порядка, формируется макроскопическая переменная, позволяющая описать процесс самоорганизации;

- когерентное взаимодействие. Установившиеся при данных условиях параметры порядка подчиняют себе остальные. В системе появляются внутренние механизмы согласованного (когерентного) взаимодействия элементов. При этом система становится неуправляемой извне. Самоорганизация системы происходит под действием параметра порядка. Дарвиновский принцип естественного отбора является примером самоорганизации;

- когерентность. Когерентность составляет основу самоорганизации, обеспечивая единство целого и части, определяет возникновение корреляций между элементами системы. Это выражается в согласованном поведении на макроуровне хаотически движущихся микроэлементов. Система ведет себя так, как если бы каждый ее элемент был информирован о ее состоянии. Система приобретает новые свойства, не присущие входящим в нее объектам, откликается на внешнее воздействие как единое целое. Когерентность, означающая согласованное поведение элементов, представляет собой механизм сборки, объединение отдельных элементов в определяющее понятие "порядок".

- порядок как когерентность коллективного состояния. В общественной жизни когерентность является одной из основных составляющих спектра человеческих отношений. На заре цивилизации кооперативное начало ограничивалось семьей, затем – стадом, племенем. Сейчас оно охватывает всю планету: общий рынок, таможенный союз, общую валюту и т.д. [14].

Фазы процесса самоорганизации в теории И.Пригожина описываются как следствия, без указания первоначальных причин, которые должны, безусловно, гарантировать новое качественное состояние – порядок. При этом порядок характеризуется большим количеством связей между элементами, которые обеспечивают самостоятельное и даже аномальное поведение системы в данный момент времени.

Пример самоорганизации системы, на который ссылается И.Пригожин. Реакция Белоусова-Жаботинского представляет собой яркое подтверждение взаимодействия элементов самоорганизации материи, будучи одной из первых исследованных и наиболее впечатляющих реакций этого типа:

$$Ce^{3+} \rightleftarrows Ce^{4+}$$

Суть данной химической реакции следующая. В термостатированной колбе исследуется окислительно-восстановительная реакция в растворе серной кислоты H2SO4, малоновой кислоты CH(COOH)2, сульфата церия Ce2(SO4)3 и бромата калия KBrO3. При добавлении в раствор индикатора окислительно-восстановительной реакции (ферроина) можно следить за ходом реакции по изменению цвета или, более точно, по спектральному поглощению.

При достаточно высокой концентрации веществ, участвующих в реакции, наблюдаются необычные явления: цвет раствора периодически (при определённых концентрациях) меняется от красного (при избытке Ce4+) до синего (при избытке Ce3+). Кривая изменения поглощения света показывает, что в системе происходят колебания, причём могут наблюдаться как периодические, так и хаотические колебания [15].

Срыв колебательного процесса на некоторое время достигался перемешиванием реагентов в колбе при помощи стеклянной палочки, причем колебания восстанавливались через некоторое время и продолжались до полного расходования реагентов.

В 1955 г. И.Пригожин показал, что в открытой системе около стационарного состояния, достаточно удаленного от химического равновесия, возможны химические колебания [16]. Однако остается неясным, что же представляют описанные колебания: порядок или его отсутствие? Происходит ли самоорганизация системы или, наоборот, наступает хаос? Вот в чем главный парадокс парадигмы И.Пригожина.

Фальсификация парадигмы самоорганизации диссипативных структур

По приведенной парадигме движения, логика самоорганизации системы описывается следующими признаками:

В системе происходит консервация и диссипация энергии.

При этом консервативное состояние формирует хаос – равновесные обратимые процессы.

Диссипативное состояние представляет собой фазовый переход необратимых структур вдали от состояния равновесия, что может и должно вызывать самоорганизацию системы.

Существуют некоторые критические условия, при которых возникает сложное нелинейное взаимодействие микроскопических элементов, порождающее устойчивые макроскопические структуры в диссипативном состоянии.

Движение материи определяется существованием "диссипативных структур", которые определены как следствия без доказательства причин. Непонятно, откуда вдруг они возникают?

Источником порядка, по мнению И.Пригожина, является неравновесность. "Неравновесность – есть то, что порождает порядок из хаоса" – достаточно спорное предположение.

Необратимость есть источник порядка на всех уровнях, представляет механизм, создающий порядок из хаоса. Энтропия определяет потери в системе, которые носят необратимый характер.

Энтропийный барьер гарантирует единственность направления времени, невозможность изменить ход времени с одного направления на противоположное. Можно предположить, что малая энтропия или ее гипотетическое отсутствие остановит время.

Движение материи по И.Пригожину определяется исключительно наличием диссипативных структур, которые порождают время в системе и обеспечивают ее самоорганизацию. Однако данный признак является достаточно условным, так как не вытекает из логики существования материи. Диссипация принята как некое состояние, при этом четкой демаркации этого явления не представлено. Указывается только, что она возникает в "состояниях, далеких от равновесия", которые также сложно определить (в природе отсутствуют весы, которые измеряют это "равновесие – неравновесие").

Консервация энергии в системе, согласно рассмотренной парадигме, представляет собой обратимый процесс, а значит, по И.Пригожину, исключает течение времени, в результате чего сложно говорить о движении материи. Получается, что материальным миром управляет только диссипация, однако в реальной природе это не так, что требует более убедительных доказательств.

Энтропия принята как источник неравновесности и диссипации на основании того, что потери не могут быть возвращены в систему, а значит, невозможна обратимость времени. Но признак необратимости не является решающим в самоорганизации системы, как это утверждает И.Пригожин. Обратимость материи совершенно не предусматривает обратимости времени. Само время в системе не определено, указывается только, что оно является некоторой характеристикой движения материи. При этом выделяют "машины времени" – стабильные циклические процессы, принятые за эталон, повторяемость и счетность которых позволяет сопоставлять параметры движения материи.

Следует отметить, что мы привыкли связывать время с человеческой памятью – способностью фиксации состояний системы. Если предположить, что память отсутствует, то каждое явление природы будет представляться новым, настоящим, без прошлого и будущего. Именно память позволяет зафиксировать отдельные состояния материи и выстраивать их последовательно в виде траектории движения. Именно память позволяет определить длительность наблюдаемых состояний и сопоставить их с какими-либо машинами времени. То есть память является причиной возникновения времени

в материальной системе. Возникает логичный вопрос, что такое память – свойство только человеческого интеллекта или всеобщее свойство материи? Существует ли память материи? В некоторой степени да, так как любой материальный процесс оставляет за собой текущие изменения (след) в окружающей среде, однако данный вопрос требует более детального исследования, выходящего за рамки данной работы.

В результате проведенного анализа показано, что парадигма о диссипативных структурах и ее следствиях – самоорганизации системы, энтропии и направлении стрелы времени, не полностью релевантны. Отсюда следует вывод о возможной фальсифицируемости парадигмы самоорганизации диссипативных структур.

Применение процессного подхода к раскрытию сущности самоорганизации

Методология процессного подхода IDEF0 (Integrated Definition Function Modeling) впервые была предложена Дугласом Россом в 1973 г. в аэрокосмической промышленности США для удовлетворения потребности в разработке методов анализа взаимодействия процессов в производственных системах. Методология IDEF0 была принята в качестве федерального стандарта США и успешно применяется в самых различных отраслях науки, производства и бизнеса для анализа, проектирования и представления деловых процессов. В настоящее время методология IDEF0 широко используется исследователями не только в США, но и во всем мире [17].

Стандартный процесс, по методологии IDEF0, определяется как: преобразование "входа" в "выход" под действием "управления" с использованием "механизма". Графическая нотация процесса в системе моделирования [19] представлена на рис.2.

Процесс отображается блоком в виде прямоугольника, к левой стороне которого направлена стрелка "Вход", к верхней – "Управление", к нижней – "Механизм". Из правой стороны блока выходит стрелка "Выход". Вход интерпретируется как совокупность исходных данных, объектов, ресурсов, которые преобразуются процессом, или как начальное состояние объекта, системы. Выход представляет собой продукт процесса, конечное состояние объекта, системы, результат отработки определенного жизненного цикла процесса. Управление – составная часть процесса, определяющая воздействие на жизненный цикл, по которому вход преобразуется в выход. Механизм – составная часть процесса, обеспечивающая управляющее воздействие и жизненный цикл. Механизм представляет собой ресурсы, которые напрямую не переходят в выход, но участвуют в процессных преобразованиях. Одним из главных элементов процесса является жизненный цикл (стрелка внутри прямоугольника).

Декомпозиция процесса предусматривает разбиение его на составные части – подпроцессы. Полученные подпроцессы определяют функционирование элементов процесса, их взаимодействия между собой и в составе процесса.

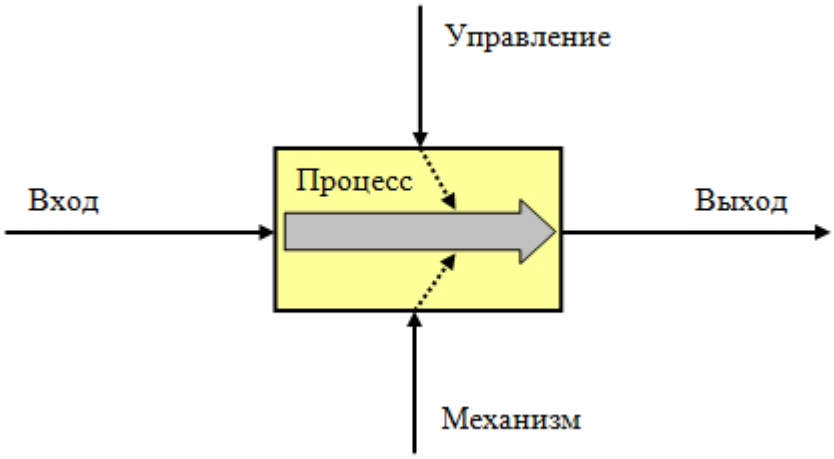


Рис.2. *Стандартная схема процесса*

Принцип декомпозиции позволяет выполнять многократные дробления процессов, начиная с макроуровня и обеспечивая переход на уровни с минимальной степенью агрегирования. В результате такой декомпозиции появляется реальная возможность определения элементов для каждого подпроцесса и процесса в целом.

Методология процессного подхода является, пожалуй, единственной, отражающей такие характеристики, как управление, обратная связь и ресурсы. Другая особенность данной методологии заключается в том, что она развивалась как язык описания функционирования систем общего вида, что позволяет использовать ее практически для любых научных задач и категорий, вне зависимости от масштабов явления.

Особое внимание необходимо обратить на логику процессного подхода, по которой движение определяется как процесс, формирующий состояния системы. Указанные состояния описываются Входом и Выходом и не влияют на ход самого процесса, что методологически очень важно.

Особенности естественно-природного процесса

Рассмотрим процесс существования (движения) материи, представленный на рис.3.

Данный процесс происходит без участия человека. Входом является исходное состояние материи, выходом – ее конечное состояние. Так как движение материи не определено во времени, понятия исходного и конечного состояний приняты условно с тем, чтобы показать текущие изменения. Непрерывность процесса движения материи на схеме отображается пунктирной линией, которая связывает выход текущего состояния с входом будущего, то есть обеспечивает непрерывность движения материи. В процесс введено замещение – перераспределение части входных параметров в механизм (ресурсы) процесса, что соответствует реальному состоянию материи. При этом материальные объекты могут присутствовать в одних процессах в виде Входов, для других процессов это будут Выходы и Механизмы.

В качестве Управления имеем законы материального мира (сохранения, движения, гравитации и т.д.). Механизм представляет собой природные ресурсы, обеспечивающие процесс. Как видно из модели (рис.3), отдельными выходами процесса являются обратная связь по управлению (ОСУпр) и обратная связь по механизму (ОСМех). Откуда возникли эти обратные связи? Как они влияют на ход процесса? Определить это можно при рассмотрении самого процесса движения материи.

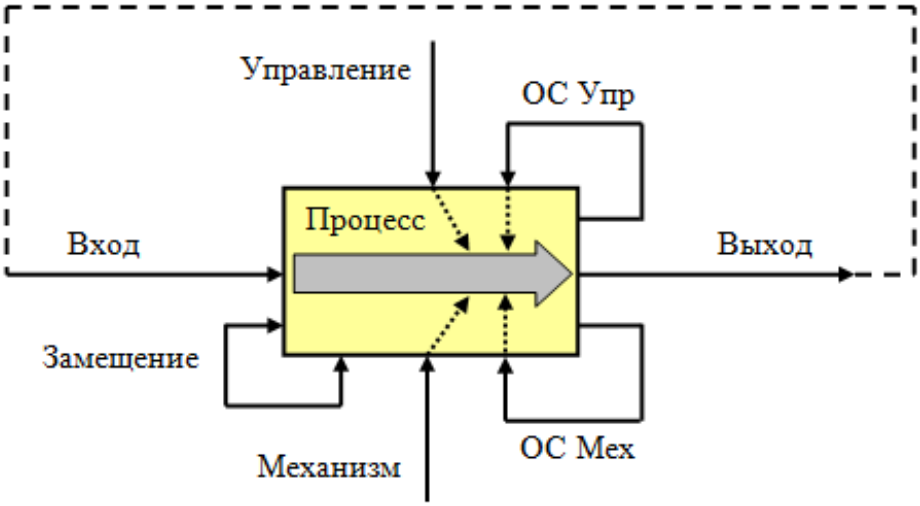


Рис.3. *Процесс в естественной природе без участия человека.*

Работает модель следующим образом. Преобразование Выхода процесса в его Вход обеспечивает непрерывность движения материи. Однако процесс движения в силу неравномерности среды происходит локально, вовлекает в себя все новые и новые материальные объекты (скорость взаимодействия конечна), а потому Управление (законы природы) изменяет свое воздействие на процесс также локально, в строго ограниченной области. В результате общее Управление в материальном мире дополняется локальным управлением, которое может существенно влиять на ход самого процесса и его интенсивность. Механизм – природные ресурсы, обеспечивающие его существование, также не могут быть бесконечными. Ресурсы обладают локально-конечным свойством, а значит, также подвергаются изменениям. В результате получаем, что основной процесс на локальном уровне претерпевает аномалию, то есть имеет существенные отличия, вызванные локальными изменениями Управления и Механизма. В схеме процесса, приведенной на рис.3, указанные изменения обеспечиваются действием обратных связей ОСУпр и ОСМех.

Жизненный цикл процесса определяется локальным Управлением и локальным Механизмом, а состояния процесса – Входом и Выходом. Обратные связи ОСУпр и ОСМех постоянно вносят изменения в жизненный цикл и при определенных фазовых соотношениях могут вызывать линейные изменения, апериодические колебания, периодические колебания, как это наблюдается, например, в реакции Белоусова-Жаботинского. Обратные связи оказывают существенное влияние на Управление и Механизм на локальном уровне, чем могут быть объяснены изменения состояния материи (Выход), определяемые как самоорганизация системы. В результате реакция Белоусова-Жаботинского доказывает локальность процесса движения материи! То есть переход от начального к конечному состоянию химической системы происходит не равномерно, а при наличии локальных отклонений Управления и Механизма, воспринимаемыми нами как некий порядок – колебания в системе.

Следует отметить, что в природе существует бесконечное множество процессов, которые связаны между собой как состояниями – Входами и Выходами, так и элементами – Управлениями и Механизмами. В результате мы имеем процессы, которые способны производить как локальную структуризацию материи (самоорганизацию), так и ее дезорганизацию – разрушение ее локальной структуры. При этом указанные состояния равновероятны, тепловой смерти вселенной, которой нас пугают физики, не может быть. То есть возможен как "порядок из хаоса", так и "хаос из порядка". При этом энтропия как функция потерь в системе не может быть однонаправленной. Любые потери одного процесса, Выход – например, тепло от трения, могут переходить в другие процессы в виде их элементов – Механизма, Управления, чем вызывается самоорганизация или дезорганизация на локальном уровне.

В качестве примеров можно рассматривать процессы геосферы, где были глобальные потепления, обледенения и колебательные режимы. При этом устанавливался определенный порядок и самоорганизация процессов системы (жизненный цикл). Даже природные процессы по временам года вблизи пограничного состояния – температуры кристаллизации воды, воспринимаются нами как локальные структурные изменения. Выход колебаний температуры в зону выше точки кристаллизации воды приводит к самоорганизации природы в направлении весна–лето. Выход колебаний температуры в зону ниже точки кристаллизации воды приводит к дезорганизации природы в направлении осень–зима. При этом процессы самоорганизации и дезорганизации системы являются относительными. Всегда существует точка зрения, согласно которой дезорганизация системы может быть представлена как ее самоорганизация и наоборот. Например, переход осень-зима может рассматриваться как самоорганизация природной системы в сторону энергосбережения.

Энтропия в системе. Как следует из приложения процессного подхода к описанию движения материи, изменения происходят не в каких-либо консервативных или диссипативных структурах, а в ходе самого процесса существования (движения) материи. Поэтому структуры (диссипативные, консервативные) есть промежуточные состояния, которые не могут производить самоорганизацию, а скорее являются индикаторами процесса, указанием на то, что развитие идет в заданном направлении при когерентном взаимодействии. Само когерентное взаимодействие равновероятно участвует как в процессах самоорганизации, так и дезорганизации. Например, катастрофа, после ее начала развивается самостоятельно, включая когерентные взаимодействия множества элементов, и в результате порождает новое состояние системы, которое можно оценивать как порядок или как хаос. В результате энтропия может трактоваться как некоторый остаток Выхода основного процесса. Например, если основной процесс имеет Выход, определяемый сочетанием элементов Вход, Управление, Механизм, в результате чего формируется предсказуемый результат, то на выходе обязательно присутствуют аномалии, которые не подчиняются процессу и выступают как потери. Таким образом, энтропия с точки зрения процессного подхода выступает как внепроцессная функция, которая требует своего обоснования и которая может быть определена в рамках совершенно другого процесса.

Скорость процесса и его элементов. Как известно, изменения в природе осуществляются за счет действия группы процессов, скорости которых существенно различаются. При этом возникают различные комбинации скоростей процессов движения материи, порождающие фазовые сдвиги, колебания, бифуркации и другие явления. Гипотетически в данной статье положено, что времени в природе не существует, есть только память и смена состояний процесса, группы процессов. При этом время принята как некоторая относительная величина (эталонный процесс), которая синхронизирует события и фиксируется при помощи памяти. Без памяти понятие времени бессмысленно, так как именно память формирует траекторию процесса и само время.

Гипотеза о движении материи и энтропии

На основании рассмотренной процессной модели о движении материи предполагается научная гипотеза о естественно-природном процессе и его энтропии в системе со следующей формулой. Установлено неизвестное ранее свойство материального мира, основанное на взаимодействиях элементов процесса движения материи – входа, выхода, управления, механизма, при котором на локальном уровне возникают обратные связи по управлению и механизму, приводящие к изменениям процесса движения материи, в результате чего материальная система на выходе переходит в локальные состояния самоорганизации или хаоса, а энтропия играет роль фактора демаркации указанных состояний.

На основании выдвинутой гипотезы получаем движение материи как процесс, в котором на локальном уровне могут происходить различные отклонения, порождающие структуры (по И.Пригожину). При этом диссипация и консервация энергии системы позволяют формировать порядок и хаос в системе, что является относительным. Указанные состояния на локальном уровне могут проявлять значительную устойчивость, которая поддерживается достаточно долго. Энтропия, определяющая потери в системе, является фактором демаркации, то есть определяет нашу "точку зрения" на процесс и то, что мы принимаем в качестве потерь процесса.

Следует отметить, что Управление и Механизм одного процесса могут распространяться на другие процессы, приводя их в когерентность. В результате когерентных взаимодействий происходит формирование некоторого макропроцесса,

обеспечивающего развитие системы в заданном направлении (самоорганизация), причем структуры (промежуточные состояния) выступают как входы-выходы процесса жизненного цикла.

На основании предложенной гипотезы доказывается, что структуры, которые были приняты И.Пригожиным как основа самоорганизации материальной системы, не могут играть роль источника движения, так как являются всего лишь промежуточными состояниями материи. Именно процесс обеспечивает движение материи и развитие ее как в направлении "порядок из хаоса", так и в обратном направлении – "хаос из порядка".

Процессная интерпретация реакции Белоусова-Жаботинского

На основании изложенного процессного подхода реакция Белоусова-Жаботинского может быть описана двумя процессами:

- трендом, связанным с расходованием химических реагентов окислительно-восстановительной реакции;
- отклонениями, носящими колебательный характер, вызванными локальными изменениями элементов процесса: Управления (скорости реакции) и Механизма (концентрациями реагентов, участвующих в реакции).

Указанные процессы на локальном уровне могут носить колебательный характер, что позволяет создавать "химические часы". После окончания реакции никакой "самоорганизации" системы не происходит, колебания – всего лишь локальные изменения, которые затухают при исчерпании ресурсов процесса (реагентов).

Отсюда следует вывод, что никаких диссипативных и консервативных структур в природе не существует, есть только взаимодействие элементов процесса (движения материи), обратные связи процесса, фазовые сдвиги между взаимодействиями элементов процесса. Вернее, указанные структуры И.Пригожина возникают как характеристики (индикаторы) процесса движения материи, но они носят акцидентный, иллюстративный характер.

Более правильным следует признать реализацию процесса, в данном случае окислительно-восстановительной реакции, который ввиду наличия обратных связей по Управлению и Механизму, порождает на локальном уровне колебания концентраций химических реагентов. Это указывает на целесообразность применения процессного подхода к раскрытию сущности самоорганизации, консервации и энтропии материальных систем.

Особенности естественно-природного процесса при участии человека

Рассмотрим процесс движения материи при участии человека. Для этого модифицируем модель естественно-природного процесса, как это показано на рис.4. Модель включает: собственно процесс, Вход, Выход, Управление, Механизм, Замещение, ОСУпр, ОСМех, процесс жизненного цикла. Отличительной особенностью модели является присутствие интеллектуального звена – человека. При этом человек принимает участие в Управлении путем производства Информации, а также в Механизме – трудовые ресурсы (ТР). Интеллект в модели является продуктом некоторого "порядка", который присущ только человеку, неотделим от него и вряд ли существовал ранее. Археологическими раскопками пока еще не доказано существование в прошлом нечеловеческого интеллекта.

Участие человека в процессе движения материи предусматривает формирование Задачи управления и Задачи механизма, которые представляют собой интеллектуальные обратные связи.

Задача управления возникает на основе полученного человеком эмпирического опыта, который преобразуется в науку – систему положений, теорий, отображающую

материальную действительность. Наука формирует выход – информацию, используемую в качестве управления процесса, и запас – знания, своеобразную память об эмпирическом опыте и теоретических положениях. Знания используются как ресурс (механизм) науки.

Задача механизма возникает на основе необходимости повышения квалификации ТР и решается с помощью образования. Выходом процесса образования является Квалификация, входом – задача механизма, ресурсом – знание. В результате образование формирует квалифицированные ТР и направлено на повышение эффективности процесса жизненного цикла.

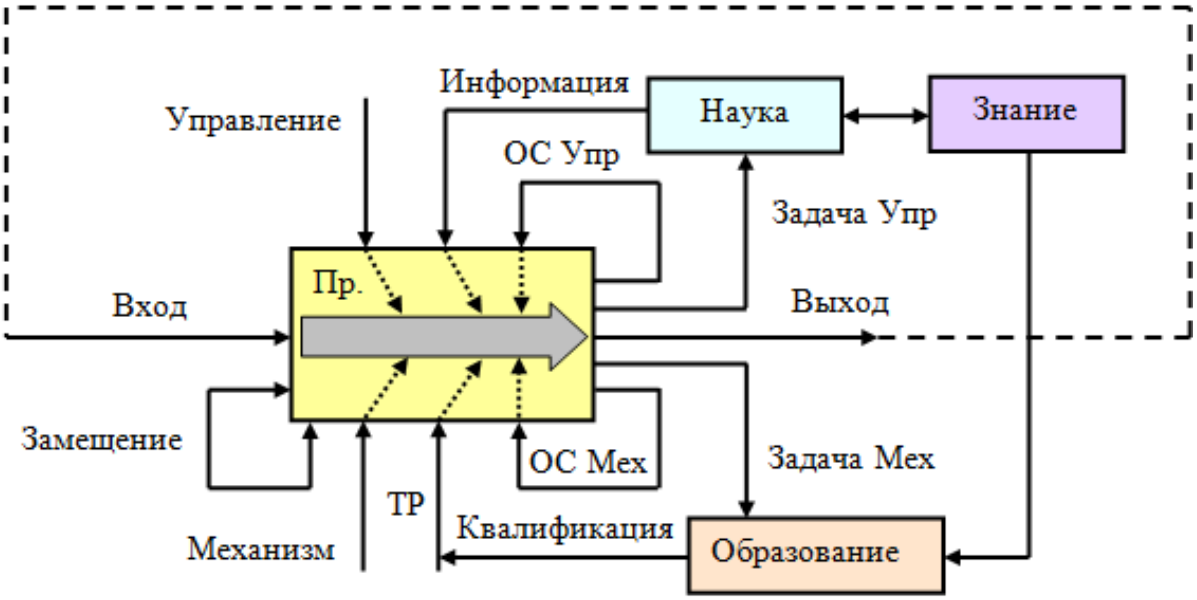


Рис.4. *Процесс в естественной природе при участии человека.*

Работает модель следующим образом.

Природные процессы обеспечивают преобразование Входа в Выход при участии Управления, Механизма, Замещения, ОСУпр, ОСМех, как это было описано выше (рис.3). Однако при участии человека формируются дополнительные выходы, определяющие его потребности. Это Задача Упр, которая состоит в интеллектуальной оценке процесса и возможности использования его в своих интересах, и Задача Мех, определяющая те ресурсы, которые следует создать для эффективной реализации Задачи Упр.

Задача Упр формирует Науку – систему отражения окружающей действительности и управляющих воздействий в природе. Управляющие воздействия науки выражаются в Информации, которая, согласно данной модели, является когерентным управлением, обеспечивающим процесс жизненного цикла (стрелка внутри блока). Знание представляет собой кодированную память науки – всевозможные сведения об эмпирическом опыте и теоретических положениях, полученных на основе научных исследований.

Задача Мех реализуется в Образовании, которое не относится к науке, но использует Знание для передачи их трудовым ресурсам, в результате чего последние повышают свою Квалификацию. В результате процесс жизненного цикла получает от человека не только управление в форме Информации, но и квалифицированные трудовые ресурсы – Механизм, способный когерентно поддерживать процесс.

Следует отметить, что наличие интеллекта, связанного с присутствием человека, в модели обеспечивает дополнительные преимущества, что позволяет:

- использовать выборочно существующие ОСУпр и ОСМех для достижения конкретного результата, связанного с хозяйственной деятельностью. Например, посадка овощей весной гарантирует их вызревание осенью;
- более рационально формировать Замещение (распределение природных ресурсов между Входом и Механизмом) с целью получения положительного эффекта от хозяйственной деятельности;
- создавать дополнительное Управление на основе Информации, получаемой от функционирования Науки с целью обеспечения результатов хозяйственной деятельности. Например, создание новых технологий, которые повышают эффективность определенного процесса жизненного цикла;
- улучшать ТР за счет повышения Квалификации работников на основе Образования. При этом повышается эффективность труда и управления, что обеспечивает эффективность процессов жизненного цикла;
- накапливать запасы Знаний о движении материи, что позволяет формировать новые представления о материальной экономической системе, новые научные парадигмы;
- создавать условия процессного резонанса (когерентности), при котором Информация и Квалификация трудовых ресурсов воздействуют на процесс жизненного цикла синфазно с Управлением и ОСУпр, а также с Механизмом и ОСМех, в результате чего обеспечивается синергетический эффект хозяйственной деятельности;
- сокращать влияние нежелательной энтропии на процессы в экономической системе, чем обеспечивается повышение эффективности хозяйственной деятельности.

Добавление интеллекта в материальную систему оказывает существенное влияние на энтропию процесса, которая в данном случае получает дополнительные факторы в виде Информации и Квалификации трудовых ресурсов. При этом энтропия в естественной природе при участии человека имеет дополнительную когерентность, связанную с действием интеллекта.

Гипотеза о движении материи и энтропии при участии человека

На основании рассмотренной процессной модели движения материи при участии человека нами была предложена соответствующая гипотеза. Согласно этой гипотезе, человеческая деятельность носит производительный характер и направлена на создание наилучших условий существования человека. При этом интеллект позволяет анализировать и синтезировать данные об окружающей среде с тем, чтобы когерентно использовать локальные изменения Управления и Механизма процесса движения материи. Весь смысл человеческой деятельности состоит в подчинении природы своим интересам, создании локального резонанса Управления при помощи Информации и локального резонанса Механизма при помощи повышения Квалификации трудовых ресурсов. В качестве примера можно привести: использование огня, приручение животных, культуру земледелия, промышленное производство, жилищное строительство и т.д.

Человеческое существование в материальной системе всегда учитывает и использует энтропию природных процессов для достижения положительного эффекта.

Энтропия и экономика

Экономическая деятельность человека во многом определяется как процессами материального мира, так и его способностью осуществлять преобразования природы. Во многих случаях человек может использовать энтропию природы для собственных

нужд. Например, с давних времен используются ресурсы: геотермальной энергии, гидроэнергии, энергии ветра и т.д. Причем все эти энергоресурсы в естественной природе являются потерями, которые при движении материи бесполезны и составляют энтропию материального мира. Однако при осуществлении собственной экономической деятельности человек может выступать как хозяин процессов использования природной энтропии, в которых существуют специфические Вход, Выход, Управление, Механизм, Обратные связи, Наука, Знания, Образование. Причем в каждом из перечисленных элементов данного процесса также существуют свои потери, то есть энтропия. Как определить такую множественную энтропию в экономике?

Данный вопрос в настоящее время практически не изучен и требует хотя бы гипотетического решения. Действительно, экономическая деятельность человека в современном мире опирается на научные знания, где важным элементом является достижение когерентности человеческой деятельности и природных процессов. Именно научное знание явлений природы, законов движения материи, свойств материальных объектов позволяет человеку подстроиться, приспособиться к текущим изменениям и получить при этом полезный (экономический) эффект.

Поэтому энтропия в экономике – это не только потери движения материи, но также и потери человеческой деятельности (управленческой, производственной, интеллектуальной, ресурсной), которые носят симбиотический характер. Например, планирование носит ярко выраженный управленческий характер, позволяет выполнить поставленную цель при использовании заданных ресурсов процесса. Ошибки планирования (управления) определяются как энтропия человеческой деятельности. Однако возможны непредвиденные изменения ресурсов (энтропия природных процессов), которые существенно влияют на производство, что не позволяет достичь запланированного результата. Это требует создания стратегических и текущих планов, где последние предназначены для корректировки человеческой деятельности в зависимости от изменений энтропии природы.

В качестве примера когерентного энтропийного процесса при участии человека можно привести накопление и сход снежных лавин в условиях высокогорья. Если данное явление не причиняет вреда человеку, его просто не замечают. Но когда в результате схода большой лавины может быть нанесен значительный материальный ущерб, человек принимает предупредительные меры – осуществляет подрыв и искусственный сброс лавины заранее, когда масса накопленного снега лавины (малая энтропия) еще не представляет опасности. Таких примеров, где человек взаимодействует с природой, можно привести множество. И в каждом из них человеческая деятельность опирается на науку (опыт), которая выступает как особый вид управления – информация. В рассмотренной модели под информацией следует понимать управленческие действия, обоснованные наукой, или результаты научной деятельности, которые непосредственно используются в управлении и процессах жизненного цикла.

При определении энтропии в экономике, согласно представленной модели, получаем сложную зависимость взаимодействия элементов процесса, в том числе человеческой деятельности. Поэтому простое суммирование или какое-либо усреднение энтропий элементов процесса не может быть корректным. Необходимо оценивать взаимосвязи в системе, функциональные зависимости процессов жизненного цикла, Управления и Механизма, что порождает более сложные логические и математические взаимосвязи.

В целом, взаимодействие энтропии природы и энтропии человеческой деятельности представляет многовариантную задачу, которую целесообразно решать в каждом конкретном случае отдельно. При этом учитываются факторы природы,

производственной деятельности, экономической среды, человеческих возможностей, обстоятельств непреодолимой силы.

Выводы

Проведенное исследование показало известную неопределенность понятия энтропии в природе. Современная парадигма энтропии дала развитие соответствующей научно-исследовательской программы (НИП), которая имеет существенные недостатки.

Анализ современного состояния НИП "Энтропия" показал возможность ее фальсификации, что предопределяет новые направления научных исследований.

Рассмотрен парадокс И.Пригожина, согласно которому основой развития материи является наличие особых диссипативных структур, позволяющих достигать состояния самоорганизации или порядка. При этом понятие диссипативных структур раскрыто не полностью, доступно фальсификации, а потому требует научных исследований и опровержений.

Рассмотрены фазы самоорганизации по И.Пригожину на примере реакции Белоусова-Жаботинского, которая не дает однозначного толкования происходящей самоорганизации диссипативных структур.

Произведена фальсификация парадигмы самоорганизации диссипативных структур, в результате чего доказана невозможность создания порядка при помощи каких-либо структур в принципе. Предложен процессный подход как более полно раскрывающий сущность указанной парадигмы и определяющий локальные изменения в материальной системе.

Рассмотрены особенности естественно-природного процесса без участия человека, определено взаимодействие элементов процесса. Установлено свойство локализации управления и механизма, в результате которого формируются обратные связи, приводящие к аномальным отклонениям в системе. Предложено новое объяснение реакции Белоусова-Жаботинского с использованием процессного подхода и локальных изменений элементов процесса.

Сформулирована научная гипотеза о движении материи и энтропии, в основе которой лежат не диссипативные структуры, а естественно-природный процесс. В результате пересмотрена концепция возникновения порядка из хаоса, обоснованная взаимодействием локального управления и локального механизма.

Разработана модель процесса движения материи при участии человека. Сформулирована научная гипотеза о движении материи с участием человека, определены условия, при которых человеческое воздействие на природу дает положительный эффект. Предложено новое понятие энтропии в материальной системе с учетом человеческой деятельности.

Доказано, что энтропию природной системы и энтропию производственной деятельности человека нельзя просто суммировать. Необходимо произвести декомпозицию процесса, выделить его составные элементы, определить взаимодействия элементов и только потом рассчитывать их вклад в общую энтропию системы.

Рассмотрена экономическая деятельность как когерентные природные и социальные процессы, взаимодействие которых формирует новую комбинированную энтропию. Предложены основные принципы расчета энтропии процесса при участии человека.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дубнищева Т. Концепции современного естествознания. Учебное пособие/ Глава 4. Концепции классической термодинамики и статистической механики/ Понятие

"энтропия". Суть спора о "тепловой смерти Вселенной". – Электронный источник. Режим доступа: http://www.gumer.info/bibliotek_Buks/Science/dubn/04.php
2. Корольков Б.П. Термодинамические основы самоорганизации (монография). - Иркутск. ИрГУПС. 2011. 120 с.
3. История науки. Понятийный аппарат: Терминологический словарь/ сост. Н.И.Кобзева. Оренбург. ОГУ. 2010. 143 с.
4. Различные формы энтропии/ Market journal. Электронный источник. Режим доступа: http://www.market-journal.com/voprosiupravleniya/2.html
5. Прангишвили И.В. Энтропийные и другие системные закономерности: Вопросы управления сложными системами. М. Наука. 2003. 428 с.
6. Шитиков В.К., Розенберг Г.С. Оценка биоразнообразия: попытка формального обобщения/ Структурный анализ экологических систем. Количественные методы экологии и гидробиологии (Сборник научных трудов, посвященный памяти А.И.Баканова). Тольятти. СамНЦ РАН. 2005. С. 91-129.
7. Энтропия как показатель адаптации человека к новым жизненным условиям/ Medical Science/ Электронный источник. Режим доступа: http://medscience.asia/articles/entropiya
8. Энтропия и сущность теории И.Пригожина. Электронный источник. Режим доступа: http://www.market-journal.com/voprosiupravleniya/9.html
9. Кокшотт П., Райт И. Вероятностный подход в экономике/ Информация, деньги и стоимость. Электронный источник. Режим доступа: http://left.ru/2009/2/cockshott184.phtml
10. Янковский Н.А., Макогон Ю.В., Рябчин А.М. Инновационные и классические теории катастроф и экономических кризисов: монография/ Под ред. Макогона Ю. В. Донецк. ДонНУ. 2009. 331 с.
11. Пушкарева Н.В. Постпозитивизм – Поппер, Лакатос, Фейерабенд, Кун. Электронный источник. Режим доступа: http://www.disser.ru/library/70/247.htm
12. Николис Г., Пригожин И. Самоорганизация в неравновесных системах: от диссипативных структур к упорядоченности через флуктуации. М. Мир. 1979. 512 с.
13. Пригожин И., Стенгерс И. Порядок из хаоса: Новый диалог человека с природой: Пер. с англ./ Общ. ред. В.И.Аршинова, Ю.Л.Климонтовича и Ю.В.Сачкова. М. Прогресс. 1986. 432 с.
14. Диссипативная структура. Этапы образования диссипативных структур (самоорганизация). Электронный источник. Режим доступа: http://solidstate.karelia.ru/~KOF/OLD/kse-pact/lectures/text/glava9_1.html
15. "Химический маятник" – реакция Белоусова-Жаботинского. Электронный источник. Режим доступа: http://sota.ee/forum/index.php?PHPSESSID=7aff34735b80bef3b696ce782de9a05d&topic=625.0
16. Пригожин И. Введение в термодинамику необратимых процессов. М. Издательство иностранной литературы. 1960. 128 с.
17. Методология функционального моделирования IDEF0. Руководящий документ РД IDEF 0-2000. М. Госстандарт России. 2000. 75 с.

SELF-ORGANIZATION AND ENTROPY IN NATURE AND ECONOMY

Chalenko A. Yu. - Ph.D. those. Sci., Senior Scientist Institute of Economic and Legal Studies of the National Academy of Sciences of Ukraine, achalenko@mail.ru

Abstract. The modern theory of development includes such concepts as entropy, dissipative and conservative structures, equilibrium systems, etc. But what is behind these concepts?
Are they not quite correct, which leads to a misunderstanding of the development process? How, on their basis, can a more general process diagram be constructed that would give a complete description of social dynamics?

Key words: entropy, dissipative structures, economics, nature, matter, self-organization

REFERENCES

1. Dubnishcheva T. Concepts of modern natural science. Textbook / Chapter 4. Concepts of classical thermodynamics and statistical mechanics / The concept of "entropy". The essence of the dispute about the "thermal death of the Universe". – Electronic source. Access mode: http://www.gumer.info/bibliotek_Buks/Science/dubn/04.php

2. Korolkov B.P. Thermodynamic foundations of self-organization (monograph). - Irkutsk. IrGUPS. 2011. 120 p.

3. History of science. Conceptual apparatus: Terminological dictionary / comp. N.I. Kobzeva. Orenburg. OSU. 2010. 143 p.

4. Various forms of entropy / Market journal. electronic source. Access mode: http://www.market-journal.com/voprosiupravleniya/2.html

5. Prangishvili I.V. Entropy and other system regularities: Problems of control of complex systems. M. Science. 2003. 428 p.

6. Shitikov V.K., Rozenberg G.S. Biodiversity assessment: an attempt at a formal generalization / Structural analysis of ecological systems. Quantitative methods of ecology and hydrobiology (Collection of scientific papers dedicated to the memory of A.I. Bakanov). Tolyatti. SamNTs RAS. 2005. S. 91-129.

7. Entropy as an indicator of human adaptation to new living conditions / Medical Science / Electronic source. Access mode: http://medscience.asia/articles/entropiya.

8. Entropy and the essence of I.Prigozhin's theory. electronic source. Access mode: http://www.market-journal.com/voprosiupravleniya/9.html

9. Cockshott P., Wright I. Probabilistic approach in economics / Information, money and value. electronic source. Access mode: http://left.ru/2009/2/cockshott184.phtml

10. Yankovsky N.A., Makogon Yu.V., Ryabchin A.M. Innovative and classical theories of catastrophes and economic crises: monograph / Ed. Makogon Yu. V. Donetsk. DonNU. 2009. 331 p.

11. Pushkareva N.V. Postpositivism - Popper, Lakatos, Feyerabend, Kuhn. electronic source. Access mode: http://www.disser.ru/library/70/247.htm

12. Nicolis G., Prigogine I. Self-organization in non-equilibrium systems: from dissipative structures to orderliness through fluctuations. M. Mir. 1979. 512 p.

13. Prigogine I., Stengers I. Order out of chaos: A new dialogue between man and nature: Per. from English / Common. ed. V.I.Arshinov, Yu.L.Klimontovich and Yu.V.Sachkov. M. Progress. 1986. 432 p.

14. Dissipative structure. Stages of formation of dissipative structures (self-organization). electronic source. Access mode: http://solidstate.karelia.ru/~KOF/OLD/kse-pact/lectures/text/glava9_1.html

15. "Chemical pendulum" - Belousov-Zhabotinsky reaction. electronic source. Access mode:

http://sota.ee/forum/index.php?PHPSESSID=7aff34735b80bef3b696ce782de9a05d&topic=625.0

16. Prigogine I. Introduction to thermodynamics of irreversible processes. M. Publishing house of foreign literature. 1960. 128 p.

17. IDEF0 functional modeling methodology. Guidance document IDEF WP 0-2000. M. Gosstandart of Russia. 2000. 75 p.

УДК: 165

ПОСТНЕКЛАССИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ РАЗВИТИЯ

Афанасьева В.В. – док. филос. н., канд. физ-мат.н., член Петровской академии наук и искусств, проф., проф. филос. фак-а Саратовского гос-го ун-та, **Анисимов Н.С.**

Аннотация. Показана огромная роль нелинейного языка в формировании нового нелинейного мировоззрения, создавшего новую нелинейно-синергетическую парадигму современной науки.

Во-первых, развитие этого языка индуцировало развитие нелинейной динамики и становление ее как новой науки.

Во-вторых, этот язык обогатил многие науки такими понятиями, как "детерминированный хаос", "странный аттрактор", "диссипативные структуры", "фрактал","бифуркация", теперь ставшими общенаучными.

В-третьих, этот язык лег в основу нового "нелинейного" мышления".

В-четвертых, нелинейный язык, особенно привлекательный для молодых ученых, способствовал притоку новых талантливых ученых сил в нелинейную динамику. Все вышеперечисленное сыграло решающую роль в становлении новой общенаучной нелинейной парадигмы, невозможной и немыслимой без нового языка.

Именно благодаря этому языку современные ученые смотрят на мир "нелинейным зрением", не представляя себе действительность линейной, несравненно обогащая свои представления обо всем существующем и развивающемся.

Итак, эйдетически варьируя понятие "хаос", очертили круг систем, допускающих хаотическое поведение, выяснили методологические принципы исследования подобных систем, определили характерные черты хаотического развития и тем самым прошли "вторую ступень" феноменологического анализа детерминированного хаоса.

Ключевые слова: нелинейная динамика, нелинейно-синергетическая парадигма, хаос, самоорганизация, системы

1. Нелинейная динамика и синергетика как постнеклассическая методология гуманитарных исследований

В настоящее время не вызывает сомнения тот факт, что хаос и другие нелинейные явления наблюдаются в огромном диапазоне систем. Нелинейность, детерминированный хаос и самоорганизация, обнаруживая себя в огромном числе реальных микро-, макро- и мега-систем, физических, химических, биологических, неизбежно приводят к формированию единого нелинейного взгляда на процессы развития систем любой природы.

Формирующееся вместе с успехами нелинейной динамики и синергетики новое нелинейной мировоззрение начинает затрагивать и поле наук гуманитарных, таких как социология, экономика, эпистемология, история. По словам А.С. Борщова, “направление, возникшее в недрах естественных наук,… посягает на гуманитарную общенаучную парадигму". Целесообразность подобного рассмотрения уже обсуждалась.

С нелинейно-синергетических позиций рассматриваются общественно-исторические процессы, вводятся исторические модели, обсуждается возможность "проигрывания" исторических вариантов. Так, исследуются процессы самоорганизации общественного сознания, в частности процесс формирования коллективных

предпочтений в мнениях избирателей на выборах, который происходит как процесс конкуренции структур, представляющих собой "политические стереотипы", динамика политического менталитета Российского общества. С синергетических позиций рассматриваются попытки создания глобальных картин современности и проблемы экологии, строятся модели биосферы как самоорганизующейся системы. Исследуются проблемы управления в технике, социологии, экономике. Идеи синергетики плодотворно используются в теории организаций. Как процесс самоорганизации изучается динамика научного знания.

Обсуждаются синергетические стратегии образования. С синергетических позиций рассматриваются искусство, эмоции, красота, творческие процессы.

Происходит то, что Е.Н. Князева назвала "синергетическим вызовом культуре". Несмотря на определенную инертность научного сообщества в принятии новых идей нелинейно-синергетическая парадигма постепенно овладевает гуманитарными науками, давая единую методологию исследования сложных гуманитарных систем и единый целостный подход к рассмотрению любых процессов развития, позволяя рассматривать мир не как существующий, а как развивающийся, эволюционирующий, подчиняющийся единым закономерностям.

Нелинейная динамика и синергетика к настоящему времени стали межнаучными, транснаучными дисциплинами. Дискуссии о применимости этих дисциплин в поле гуманитарных наук не прекращаются. Основным аргументом противников применения идей нелинейной динамики и синергетики в гуманитарной области знания является тот факт, что объекты познания гуманитарных наук не описываются адекватно никакими математическим моделями и, следовательно, не могут рассматриваться такими строгими науками как синергетика и нелинейная динамика.

Однако синергетика и нелинейная динамика являются универсальными науками. Они обладают гораздо большей степенью универсальности, чем, например, теория относительности, поскольку их методы применимы к описанию самых разных уровней природы, как живой, так и неживой. Более того, они по сути своей онтологичны, описывая все системы в контексте возникновения, существования, развития и исчезновения. Помимо сверхсложного математического описания процессов развития, нелинейная динамика и синергетика дают методологию исследования различных систем. Нелинейно-синергетическое описание следует “не букве, но духу” нелинейной динамики и синергетики, применение нелинейного и синергетического методов не означает строгого математического исследования той или иной системы, а предполагает применение нелинейных идей к описанию динамики последней, а затем проверку того, укладываются ли имеющиеся факты в получившуюся модель, такой процесс феноменологичен.

Гуманитариев не может не привлекать красота и стройность обеих наук, возможность построения с их помощью определенных моделей "гуманитарного". Нелинейный подход в принципе "гуманен" и "оптимистичен": он оставляет право на существование разным режимам, движениям, возможностям, позволяет всем им соседствовать, сосуществовать.

Хотя типичными для процессов развития являются не только образование упорядоченных структур, но и хаотизация движений, детерминированный хаос оказывается "странно привлекательным", "веселым". Разрушая отжившее, он дает жизнь новым движениям, обеспечивает возникновение новых возможностей. Нелинейное рассмотрение привлекательно еще и потому, что позволяет прояснить или хотя бы почувствовать взаимосвязь всех явлений, посмотреть на мир, как на очень сложную, но единую систему, не просто существующую, но постоянно развивающуюся по законам нелинейной динамики.

Такой взгляд на мир подобен взгляду с самолета или из космоса. Многие детали при этом неразличимы, зато видно то, что не удается увидеть с Земли: главные особенности рельефа, береговые линии океанов, морские течения. Однако наблюдатель, совершающий подобное рассмотрение, удален от наблюдаемого объекта не в пространстве, а во времени. Он рассматривает системы и процессы из Вневременья, из Вечности, поэтому может видеть прошлое и предсказывать будущее. Возможность предсказания, прогноза поведения рассматриваемой системы на больших временах – еще одна положительная особенность рассмотрения. При этом исследователь в состоянии предсказать не точный ход процесса развития, а его возможные пути, а искусство исследования заключается в том, чтобы обнаружить все возможности и определить наиболее вероятную.

Анализ существующих синергетических исследований систем различной природы, позволяет сформулировать следующие принципы нелинейно-синергетической методологии исследования:

1. Парадигмальность или универсальность – процессы самой различной природы описываются в рамках единой универсальной парадигмы, существует единый нелинейно-синергетический взгляд на все, происходящее в мире;

2. Динамичность - исследование всех явлений в движении, изменении, развитии, то, что И.Пригожин охарактеризовал как принцип “от бытия к становлению”;

3. Феноменологичность – исследователь сознательно рассматривает процесс на основании некоторых общих соображений, не учитывая мелких деталей, строит модель, каркас исследуемого явления, а затем проверяет правильность теоретического построения;

4. Принцип обратной связи – постулируется существование всеобщих обратных связей всех изучаемых явлений и процессов и их характеристик;

5. Адихотомичность представлений – из-за существования нелинейных связей противоположности и противопоставления понятий преодолеваются, уничтожаются, возникают синтетические образования из понятий, объединяющие стороны дихотомии;

6. Праксичность - влюченность исследователя в исследуемый процесс, возможность повлиять на изучаемые процессы с помощью получаемых результатов.

Нелинейно-синергетическая методология в настоящее время широко применяется в гуманитарных исследованиях, в описании процессов эволюции любых систем. Нелинейно-синергетический взгляд на процессы эволюции Е.Н. Князева назвала "эволюционной мудростью".

Став новой гуманитарной парадигмой, нелинейная динамика и синергетика оказываются настолько универсальными, что требуют философского обоснования. Более того, тот факт, что новые представления о детерминированном хаосе и самоорганизации ломают сложившиеся физические и естественнонаучные стереотипы о возможных движениях, а представления о фрактальности – взгляд на пространство и структуру материального мира, заставляет предположить, что идеи нелинейной динамики и синергетики могут изменить и собственно философские представления о движении, развитии, пространстве и т.д.

Два основных взаимоисключающих аргумента против введения идей синергетики и нелинейной динамики в философию: недопустимость перенесения новейших идей естественных наук в философию и отсутствие философской новизны – могут и должны получить контраргументы. Опровержением первого аргумента служит все развитие философии. Опровергнуть представление о том, что все явления, вновь открытые нелинейной динамикой и синергетикой, так или иначе уже анализировались с позиций разных философских воззрений и не имеют философской новизны, можно лишь, проанализировав новые явления и идеи и сравнив их с традиционными.

Итак, развитие философии во многом было связано с успехами конкретных наук, последние определяли существование значительных философских учений, а философские доктрины, отрицающие значения наук в развитии философии, зачастую использовали результаты наук опосредованно. В истории философии всегда было достаточно попыток сделать философское учение достоверным, приближая его к той или иной естественной науке. Подобные попытки всегда объявлялись натуралистическими даже в случаях, когда в их основании лежали идеи такой эйдетической науки, как математика. Желание отгородить философию от результатов положительных наук, сделать философию "чистым" продуктом духа не могло остановить процесса сближения философии с науками. Отрицание влияния развития науки на развитие философии оставалось беспочвенным. Натуралистические тенденции в философии присутствовали всегда, иногда достигая крайних и даже неприемлемых форм (вспомним "животных-автоматов" Декарта), но в итоге обогащали философию, определяя ее развитие. Всякое расширение предмета познания, связанное с открытием конкретными науками новых явлений, влияло на философию. Любой значительный научный феномен, любая значительная научная доктрина не просто получала философское обоснование, но и некоторым образом меняла сугубо философские представления.

Наука давала пищу для философского ума. Примеров того, как отдельные науки влияли на развитие философии, огромное множество. Остановимся лишь на самых ярких из них.

Первой наукой, которая оказала существенное влияние на философию, была математика.

Попытки приблизить философию к математике лежали в основании своеобразной арифметической метафизики пифагорейцев. Пифагорейцы представляли синтез единства и множества в форме числа, которое они признавали причиной всего существующего, началом всякой меры, гармонии и пропорциональности. Они сводили все качественные свойства к математическим соотношениям. Описать философские истины математическими соотношениями пытался и Платон в своем учении о соотношении идей и чисел. Подобные же идеи прослеживаются у неопифагорейцев и неоплатоников.

Наиболее отчетливо и ясно мысль о применении математических принципов к построению философских истин выразил Декарт, причем сделал это настолько убедительно и ясно, что вся последующая философия Спинозы, Лейбница, даже Канта, Фихте и Гегеля оказалась проникнута тем же идеалом дедуктивно-математического выведения системы идей о началах и основных законах бытия из немногих аксиоматически достоверных истин разума, положительных или отрицательных. С успехами математики напрямую было связано развитие неокантианства и неопозитивизма.

С XVII века начались попытки связать поиск философских истин с успехами физики.

Опираясь на успехи физики, Бэкон положил начало методологии, новому эмпиризму и материализму. Торжество ньютонианского механицизма, экстраполированного Лагранжем и Эйлером на смежные с физикой науки, привело к господству философского детерминизма, наиболее четко сформулированному Лапласом.

Развитие учения о теплоте, теории электричества и внутренние трудности механики, появление множественности трактовок физических явлений, неоднозначности восприятия экспериментов привели к необходимости заменить физические представления на психологические, в результате чего возникла философия

махизма. При этом в философии закрепились понятия такой естественной науки как психология.

Общеизвестно, что огромный стимул философия как целое и философия науки, в частности, получила от физики после открытия теории относительности и квантовой механики. Дискуссии по обоснованию и интерпретации квантовой механики выросли в целый раздел философии науки.

Успехи теории эволюции привели к попыткам эволюционного моделирования познания и знания на основании представлений, выработанных биологической теорией эволюции.

Основной тезис эволюционного рассмотрения теории познания: "Развитие знание представляет собой эволюцию, продолженную другими средствами". Ярко выраженный натурализм подобного рассмотрения связан с экстраполяцией идей теории эволюции и генетики на теорию познания и философию науки. Наиболее четко биологический подход к познанию прослеживается у К. Лоренца и Ж. Пиаже. Сторонником более мягкого варианта эволюционной эпистемологии стал К.Поппер.

Отрицание натурализма, задание антинатуралистического тона рядом философских направлений, как правило, оставалось только постулатом, новейшие идеи естествознания так или иначе присутствовали практически в любой антинатуралистической концепции.

Кантианство и неокантианство несвободно от идей математики. Так, неокантианцы широко пользовались представлениями о рядах, последовательностях в своих философских изысканиях. Неопозитивисты, пытаясь определить структуру научного знания, применяли аппарат математической логики, приняли атомарную модель научного языка и т.д.

Наиболее последовательным противником натурализма в философии считается Г.Гуссерль.

Однако феноменологический метод Гуссерля во многом эквивалентен феноменологическому методу, применяемому в ряде таких значительных областей физики, как термодинамика, электродинамика, теория колебаний и волн, квантовая механика.

Физическое феноменологическое рассмотрение "отрезает" все несущественное, не принимает во внимание конкретную реализацию, конкретное воплощение того или иного процесса или явления, пытаясь выяснить его сущность, найти общее, присущее единичным объектам познания, практически занимается эйдетической вариацией. Феноменологическая редукция, приостановка привычных суждений, лежит в основе построения величайших физических теорий, от гелиоцентрической картины мира до теории относительности, квантовой механики, синергетики. Физика немыслима без интуиции, которая не только постигает, но и созидает физические феномены, о чем уже говорилось в первой главе. Эти умозаключения призваны свидетельствовать не в пользу натурализма феноменологии, а в пользу эйдетичности многих физических теорий, сходных с феноменологией методами исследования. Феноменология, создавая региональные онтологии наук, тем самым признает право наук на участие в построении единой доктрины философии науки. Итак, величайшие достижения положительных наук часто служили "пищей", "сырьем" для философской мысли, зачастую та или иная философская доктрина строилась по образу и подобию конкретной науки.

Согласно определению Гераклита Эфесского, "философия есть размышление о великих загадках жизни, о противоречиях, на которые всюду наталкивается пробудившийся ум в познаваемой им действительности". Гегель считал, что все сущее старается стать философией, а Шеллинг полагал, что философ должен заглядывать в глубину творческого процесса самообразования природы, постигать сущность

внутреннего начала природы, быть способным конструировать развитие природы a priory. Именно поэтому философия не может пройти мимо вновь открытых универсальных нелинейных явлений, которые, в первую очередь, меняют традиционные представления о развитии.

2. Постнеклассические представления о развитии

Исследование феномена детерминированного хаоса и связанных с ним нелинейных явлений неизбежно приводят к переосмыслению классических представлений о развитии.

Более глубокое осмысление этих феноменов связано с "погружением" вглубь философии, в частности с переосмыслением некоторых философских принципов и категорий. А.С. Борщов назвал это обстоятельство "вызовом философии вообще и диалектике, в частности".

При этом возникают следующие вопросы: насколько правомерно применение идей нелинейного развития, возникших в таких естественных науках, как нелинейная динамика и синергетика, для описания процессов развития на философском уровне? Как сильно меняются традиционные философские представления о развитии? Как подобное изменение связано с философской традицией?

Построение системы фундаментальных категорий качественной теории, конститутуирование последней в качестве региональной онтологии и существование отображения этой системы в систему философских категорий (см. первую главу) позволяют рассматривать динамические категории как обладающие необходимой степенью универсальности и “транслировать” законы нелинейного развития на философский уровень. Сравнение возникающих при этом представлений с традиционными показывают их существенные различия.

Развитие и философская традиция. Философия традиционно содержала идеи о развитии, изменении, эволюции, учение о развитии определило существование значительных философских систем. Понятие "развитие" приобрело характер всеобъемлющего философского принципа. Еще в космогонических учениях древних, а также в атомизме Демокрита есть элементы эволюционных представлений, поскольку эти учения касались мирообразования, т.е. старались объяснить возникновение порядка из хаоса и образование мира из сочетания атомов. На Анаксимандра и Эмпедокла, по-видимому, не вполне обоснованно указывали как на предшественников Дарвина. Однако на ранних этапах идеи развития использовались лишь для объяснения процессов мироздания, но идеи развития не применялись к настоящему состоянию мира.

Высшим законом всего сущего считал изменение Гераклит. Жизнь вечно движется, рождается, становится. Согласно Гераклиту, все вещи изменяются, каждый момент видимого бытия есть уже момент протекший. Движутся небо, вода, воздух, вещества, чувства, движется наше сознание. Пребывающего бытия нет, ибо процесс изменения, генезиса никогда не прекращается. Все устойчивое и пребывающее есть лишь обман чувств. Состояние относительно, процесс абсолютен. Удивительно, насколько эти представления о движении соответствуют современным, ведь им уже 25 веков!

Идеи развития использовал и Аристотель при объяснении перехода возможности в актуальное бытие. Он же пытался определить закономерности перехода одних политических форм в другие. Плотин использовал представление об эманации (истечении), представляющей собой, по сути дела, регресс. В средние века идеи эволюции практически не использовались. Следует, однако, отметить попытку Блаженного Августина построить эволюцию истории как подготовительный процесс к созданию Царства Божьего на земле. В эпоху возрождения идеи развития наиболее

ясно высказал Джордано Бруно, представлявший единое бытие состоящим из системы монад разной сложности, объединенных Мировой душой, формирующей и направляющей все. В "Атлантиде" Бэкона можно встретиться с совершенно ясно выраженным мнением о возможности изменения видов растений и животных. У Лейбница встречаются представления о монадах и законах их развития. У самого Канта представления о развитии встречаются в докритических сочинениях. В "Критике силы суждения" (часть II, п.81) встречается упоминание об эволюционной теории и касается рождения животных. У Фихте и Шеллинга теория развития получает вполне отчетливое обоснование. Единство всех сил природы, их внутреннее родство и связь, постепенное развитие природы по ступеням неорганического и органического мира – вот основные идеи Шеллинга, с которыми согласится любой современный ученый. Природу конструируют "динамические процессы", в бесконечном процессе бытия могут возникнуть новые и неизведанные формы жизни. В наиболее законченном виде идеи развитии выражены в философии Гегеля. Гегель применил представления о развитии к явлениям духовного мира и к истории. Согласно Гегелю, Истина раскрывается не в неподвижном бытии или в ничто, а в живом процессе, переходе, становлении. За Гегелем должна быть признана огромная заслуга установления в философии понятия процесса, развития. В действительности все находится в процессе, в развитии, не существует никаких безусловных границ между сферами бытия, нет ничего отдельного, несвязанного со всем. Гегель сформулировал и законы развития идеального, законы диалектики, которым впоследствии Маркс и Энгельс придали материалистическое звучание.

В сфере естествознания идеи развития легли в основу теории эволюции, провозглашенной Дарвином, Ламарком и Геккелем. Ф.Спенсер создал грандиозную синтетическую теорию эволюции, распространив идеи биологической эволюции на мир живой и неживой природы.

Идеи эволюции легли в основу построения эволюционной эпистемологии. Исследования, проводимые в ее русле, используют достижения не только биологии, но и психологии, химии, космогонии для описания процесса познания. В последние годы эволюционная эпистемология стала использовать и концепции нелинейной динамики и самоорганизации.

Итак, философия с древности использовала идеи развития, создания сложного из простого, определившие становление значительных ее доктрин. Новая революция в естествознании, связанная с формированием синергетики и нелинейной динамики, не может остаться незамеченной философией. Основной аргумент против применения идей нелинейного развития в философии, их натурализм, не выглядит убедительным. Во-первых, Натуралистические концепции, приходящие в философию из естествознания, прежде всего из физики, уже во многом определили развитие философии и ни в коей мере не повредили ей. Во-вторых, натурализм нелинейной динамики и синергетики кажущийся, представления о нем возникли благодаря огромному числу реальных систем, демонстрирующих явления детерминированного хаоса и самоорганизации, однако сами эти науки фундируются универсальными эйдетическими онтологиями, весьма абстрактными, далекими от натурализма и пригодными для описания любых процессов развития. Поэтому применение идей нелинейной динамики и синергетики о сложном характере развития всех систем, об их взаимосвязи вполне в духе философской традиции, более того подготовлено всем развитием философии.

Особенности нелинейного развития. Исследуем, как вновь открытые нелинейные явления меняют сложившиеся представления о развитии. Несмотря на разнообразие современных философских представлений о развитии, доминирующим является традиционный эволюционный взгляд на процессы развития.

Существенные особенности нелинейного развития удается выделить, исследовав "эволюционный" блок системы фундаментальных категорий нелинейной динамики.

Сравнение нелинейно-синергетического и эволюционного методов исследования процессов развития позволяют выделить их существенные отличия.

Поливариантность развития. Эволюционный взгляд на процессы развития по определению предполагает существование единого основного направления развития с усложнением существующих форм: "Развитие – закономерное качественное изменение материальных и идеальных объектов, характеризующееся как необратимое и направленное". Нелинейное представление о развитии предполагает многообразие, поливариантность путей развития любой сложной системы, вытекающую из принципа множественности возможных состояний (мультистабильности) нелинейных систем и множественности возможных типов бифуркаций и сценариев перехода к хаосу. Отсутствие единого направления – основная черта нелинейного развития.

Для доказательства этого положения обратимся к системе фундаментальных категорий качественной теории динамических систем. Поскольку элементами построенной системы являются универсальные динамические категории, а связи между ними определяются законами нелинейной динамики, полученными строгими математическими методами и подтвержденными экспериментами с огромным числом реальных систем различной природы, то полученные при исследовании этой системы результаты являются универсальными. Все многообразие процессов нелинейного развития описывается срезом “аттрактор – бифуркация – сценарий перехода к хаосу – странный аттрактор”, причем все связи между элементами цепочки бинаправлены. Каждая категория этой цепочки содержит обширную информацию о возможностях развития. Так, в ячейке “аттрактор” находятся все возможные упорядоченные состояния динамической системы, а в ячейке “бифуркация” - все возможные бифуркации. Это означает, что любое из возможных состояний системы (а их множество, т.к. нелинейные системы в принципе мультистабильны) может меняться разными способами, и результат этого изменения может быть разный. Бинаправленность связей означает существование поворотов развития. Например, после бифуркации аттрактор может превратиться в странный аттрактор, а может и в простой, странный аттрактор – в простой или снова в странный и т.д. Реализация этих процессов зависит от начальных условий и параметров системы. Таким образом, любая динамическая система может развиваться множеством способов, менять и даже обращать направление своего развития – факт, не укладывающийся в классические представления о развитии.

Вводя представление о главном, основном направлении развития, эволюционный метод объявляет все процессы, не укладывающиеся в этот общий "курс", "тупиковыми", "неудачными", "ошибочными". Нелинейное представление о развитии, выдвигая множественность направлений развития в качестве основного принципа, объявляет все

направления развития значимыми, не сравнивает их, считает, что все они имеют право на жизнь, ибо их существование определяется сложнейшими законами движения.

Поливариантность развития закономерна и неизбежна в сложных нелинейных системах, это общий, а не частный случай. Нелинейный взгляд рассматривает развитие не как единую дорогу, а как сложную сеть пересекающихся, переплетенных, "петляющих" дорог.

Отсутствие представлений о прогрессе и регрессе. Нелинейно-синергетический метод изменяет и сложившееся представление о прогрессе и регрессе. Прогресс как поступательное развитие по восходящей линии и регресс как возврат к старым, отжившим состояниям теряют смысл при нелинейном рассмотрении. В самом деле, бинаправленность связей системы динамических категорий подразумевает возможность чередования “простых” и “сложных” движений. Изменение форм движений нелинейных

систем идет не от простого к сложному (прогресс) и не от сложного к простому (регресс), а являет собой последовательность простых и сложных форм, возвраты к прежним состояниям, что и наблюдается в действительности. Нелинейное движение в принципе отвергает представление о прямой, восходящей линии развития, нелинейное всегда "криволинейно", прямая линия слишком проста, чтобы описывать сложные процессы, она лишь частный, простейший случай кривой. Перефразируя Ф.Хундертвассера, писавшего, что "прямая линия ведет человечество к упадку", хочется сказать, что прямая ведет к упадку и мышление. Поэтому в нелинейном представлении о развитии нет понятий "прогрессивного" и "регрессивного", все формы состояний и движений равноправны и одинаково значимы для процессов развития, нет "восходящего" и "нисходящего" путей.

Никакое состояние нелинейной системы не может называться "прогрессивным" или "регрессивным" по отношению к предшествующему, такие оценки при нелинейном рассмотрении невозможны. Если состояния сравниваются, то только по более конкретным критериям Нелинейные представления снимают дихотомию категорий “прогресс” и ”регресс”, а нелинейные процессы реально демонстрируют отсутствие прогресса и регресса.

Закономерность хаотического развития. Нелинейное развитие означает возможность возникновения как упорядоченных, так и хаотических режимов движения, более того предполагает хаотические режимы развития типичными и закономерными. Существование детерминированного хаоса – закон нелинейного развития. В построенной системе динамических категорий “странный аттрактор” входит в “цепочку развития”, сложные процессы развития обязательно содержат хаотические движения в качестве этапа (этапов).

Эволюционные представления предполагают закономерным только упорядоченное развитие, хаосу отводится место побочного, нежелательного и редкого явления. Не вызывает сомнения, что подобные представления о развитии являются упрощенными, ведь окружающий нас мир наполнен хаотическими процессами. Нелинейный метод исследования предполагает, что хаотические режимы являются не переходными, пограничными состояниями, возникающими после бифуркаций перед установлением упорядоченных состояний, а, напротив, - полноценными, долгоживущими, типичными состояниями, зачастую определяющими развитие системы в течение очень долгого времени и преобладающими по сравнению с упорядоченными состояниями. Подобные хаотические процессы полностью описываются понятием "странный аттрактор".

Таким образом, нелинейное рассмотрение постулирует типичность хаотических процессов развития. Равным образом, нелинейное рассмотрение подразумевает типичность превращений хаотических процессов развития в упорядоченные, и наоборот.

Возможность выявления "механизмов" развития и управления ходом развития.

Нелинейное рассмотрение процессов развития фундируется строгими науками, поэтому в ряде случаев при описании процессов развития возможно создание математических моделей. Исследование этих моделей методами теории бифуркаций дает возможность выявить "скрытые механизмы" развития, "заглянуть за кулисы" процессов и в некоторых случаях использовать полученные знания, направляя движения по одному из множества возможных путей. В нелинейных системах возможность изменения направления развития связана с выбором начальных условий, что в ряде случаев вполне достижимо. Должным образом меняя начальные условия (начальное состояние системы), можно повернуть развитие в нужном направлении. Сразу подчеркнем, что, изменяя начальные условия, мы только выбираем одно из возможных направлений, предусмотренных законом развития системы, но никоим образом не

создаем его. Эволюционное рассмотрение предполагает направление развития раз и навсегда определенным и неизменным.

В системе основных категорий нелинейной динамики возможность изменения пути развития обусловлена бинаправленными связями ячеек “начальные условия” ”параметры”, ”бифуркация”, ”аттрактор”, ”странный аттрактор”.

Изучение “скрытых механизмов” развития требует расшифровки информации в соответствующих ячейках, т.е. математического или физического исследования конкретной динамической системы.

Представления о революциях и бифуркациях. Закономерность и разнообразие критических ситуаций (катастроф). Существующие представления о развитии предполагают возникновение на определенных этапах развития революций, резких, коренных, качественных изменений, и скачков в развитии. Нелинейное рассмотрение заменяет понятие "революция" понятием "бифуркация". Подобная замена не есть игра терминами, "бифуркация" – понятие более общее и полное. Нелинейная динамика вводит классификацию бифуркаций и исследует их, в результате чего возникает знание того, какие бифуркации существуют, как они происходят и чем отличаются друг от друга. Категория “бифуркация” является универсалией для большого числа разнообразных переходов системы из одного состояния в другое. Например, возможны так называемые "мягкие" и "жесткие" бифуркации. "Жесткие" бифуркации соответствуют классическим представлениям о революции: состояние системы резко, скачком изменяется. "Мягкие" бифуркации меняют состояние системы таким образом, что многие ее характеристики остаются почти неизменными, а сама система, тем не менее, переходит в новое состояние, например, регулярный процесс становится хаотическим. Подчеркнем, что "мягкие" бифуркации не означают медленного, плавного изменения состояния – состояние меняется мгновенно, этому изменению соответствует новое качество, но многие характеристики системы почти не изменяются. Примером мягкой бифуркации может служить, например, процесс таяния снега при нулевой температуре, когда практически при одинаковых термодинамических характеристиках существуют либо вода, либо снег. Трудно сказать, когда в состоянии термодинамического равновесия снег превращается в воду, так мало меняются температура и плотность, но тем не менее этому превращению соответствует определенный момент времени. Представления о "бифуркациях", которых насчитывается множество, позволяют классифицировать различные переходы систем в новое состояние, дают более глубокое понимание процессов перехода. Понятие "революция" соответствует одному из возможных типов бифуркаций, поэтому революция - это частный случай бифуркации.

Разнообразные критические явления оказываются столь типичными для нелинейного развития, что разрушают сложившийся "миф порядка", согласно которому желаемым и "безопасным" направлением протекания любого процесса объявляется упорядоченное безкризисное развитие. Нелинейные представления о развитии предполагают катастрофы и кризисы не только неизбежными и закономерными, но в ряде случаев и полезными для процессов развития, ибо всякая катастрофа есть рождение нового и дает новые перспективы.

Таким образом, постнеклассические (нелинейно-синергетические) представления о развитии различных систем значительно отличаются от классических (эволюционных).

Нелинейно-синергетический метод закладывает фундамент для создания постнеклассической теории развития, описывающей развитие систем любой природы и являющейся обобщением эволюционной теории развития. Принципами постнеклассической теории развития являются: 1. поливариантность и равноправность направлений развития, возможность выбора нужного направления; 2. Отсутствие

представлений о прогрессе и регрессе, снятие дихотомии "прогресс-регресс"; 3. закономерность и многообразие критических ситуаций; 4. закономерность процессов самоорганизации; 5. закономерность хаотического развития.

Нелинейно-синергетичекая методология исследования и идеи постнеклассической теории развития могут использоваться для изучения процессов развития гуманитарных систем: социологии, экономики, философии, эпистемологии, истории.

3. Постнеклассическая интерпретация диалектики

С точки зрения универсальности нелинейности и хаоса важнейшим представляется вопрос об общих законах развития систем с детерминированным хаотическим поведением. Знание законов развития конкретных систем и классов систем с хаотическим поведением, полученное теоретически и экспериментально, дает нам представление о сложности протекающих в них процессов, но, как было показано в предыдущем параграфе, не вполне согласуется с классическими философскими представлениями о движении и развитии.

Сложность исследования поведения даже отдельно взятой нелинейной системы, огромное число подобных систем в природе, универсальность нелинейных явлений заставляют отказаться от поисков ответа на этот вопрос в рамках конкретных наук или даже комплексов наук. По-видимому, ответ на него может быть получен только на философском уровне.

С этой точки зрения представляется важным проанализировать общие законы развития систем с детерминированным хаотическим поведением на основе классической диалектики и проверить, укладываются ли эти законы в классические рамки, или эти рамки следует раздвинуть. Более строго исследовательская проблема должна быть сформулирована так: каковы общие законы развития систем с хаотическим поведением, сохраняются ли для подобных систем законы диалектики в их традиционном звучании или их необходимо интерпретировать в соответствии с вновь открытыми особенностями поведения нелинейных систем?

Следует подчеркнуть, что нелинейная динамика предполагает наличие неких общих "сценариев", "тенденций" развития различных нелинейных систем, и поэтому с точки зрения нелинейного рассмотрения существование общих законов развития, подобных законам диалектики, является необходимым. Высказываются мнения, что "новая парадигма в методологии общественных наук… либо будет включать диалектику как частный метод синергетики, либо вообще заменит ее принципиально новыми подходами к действительности". По мнению других авторов, с таким подходом нельзя согласиться, поскольку в этом случае смешиваются общенаучный и философский уровень анализа.

Новые представления о развитии требуют становления новой диалектики, эти изменения уже назрели, о них говорят и пишут.

Поскольку нелинейные представления о процессах развития "нарушают некоторые нормы диалектического мышления", не укладываются в рамки классических законов диалектики, эти законы следует переинтерпретировать так, чтобы учитывать все новые открытия нелинейной динамики и синергетики. Постнеклассическая диалектика в этом случае ни в коей мере не будет частным методом синергетики, поскольку, происходя из классической диалектики, будет являться ее обобщением, подобно тому, как теория относительности обобщает классическую механику. В постнеклассической диалектике должны найти место представления о множественности состояний нелинейных систем, о множественности возможных путей развития, о хаосе. Постнеклассическая интерпретация диалектики, объясняющая последние открытия

современного естествознания, могла бы послужить весомым аргументом "за" в развернувшемся споре противников и сторонников диалектики и сохранить за диалектикой статус универсального и мощного метода исследований, а не "частного метода синергетики".

В настоящее время диалектика определяется как наука о наиболее общих законах развития природы, общества, мышления. Согласно принципам диалектики, в действительности все находится в процессе, в развитии, не существует никаких безусловных границ между сферами бытия, нет ничего отдельного, несвязанного со всем. Рассматривая все явления в развитии, диалектика с необходимостью подразумевает и возможность собственного изменения и развития, это вытекает из ее собственных принципов. Диалектика Гегеля разрушила фиктивный мир, в котором существовали твердые, неподвижные понятия и определения, готовые неизменные предметы, заменив его миром постоянно меняющимся и развивающимся, и, сама являясь частью этого мира, неизбежно должна меняться.

Характерные для гегелевской философской системы требование от идеи, чтобы она оправдывала свою истинность осуществлением в действительности, и, с другой стороны, требование от действительности, чтобы она была осмысленной, обязательно приводят к необходимости пересмотра диалектики в свете новых представлений о развитии, и напротив, к необходимости осмысления новых открытий нелинейной динамики и синергетики с точки зрения диалектики. Отказ от подобного рассмотрения приведет к тому, что пропасть между естественными науками и философией, в настоящее время несомненно существующая, будет углубляться и далее, а философский взгляд на общие законы развития будет подменяться естественнонаучными взглядами.

Универсальность построенной эйдетической предполагает, что отношения между ее категориями описывают общие сущностные законы развития самых разных процессов: движения простых механических осцилляторов, биологические, социальные процессы, даже развитие мысли. Следовательно, выводы из подобного рассмотрения являются универсальными и могут быть распространены на процессы разной природы. Основной принцип диалектики, согласно которому природный, исторический и духовный миры представляются в виде процесса, т.е. в непрерывном движении, изменении, преобразовании, для нелинейных систем не просто сохраняется, а приобретает особую важность. Однако характер этого изменения усложняется – это и должны отражать законы диалектического развития, интерпретированные с учетом новейших представлений универсальных наук о движении. Во введенной нами системе основных категорий нелинейной динамики “диалектический” блок образуют связанные категории “начальные условия” + ”параметры” (”количество”), ”аттрактор” (”качество”), ”бифуркация” (”переход”), ”странный аттрактор”, ”устойчивость”, “неустойчивость”. Анализ связей между этими категориями дает возможность исследовать все богатство взаимодействий между ними и интерпретировать законы диалектики.

Закон перехода количественных изменений в качественные. Закон перехода количественных изменений в качественные сформулирован в очень общем виде и из-за своей общей формулировки допускает упрощенные толкования и иллюстрации, приводящие к неполным и неверным представлениям о развитии. Его постнеклассическая интерпретация должна учитывать следующие особенности развития нелинейных систем.

1) Непредсказуемость результирующего качества

На первый взгляд кажется, что системы с детерминированным хаотическим поведением служат самым лучшим примером действия закона перехода количественных изменений в качественные в его классическом варианте. Ярким выражением действия

этого закона являются бифуркации – резкие, качественные изменения состояния системы, происходящие при изменении некоторых параметров, характеризующих ее состояние.

Рассматривая их схематически и поверхностно, можно считать, что они являются чистейшей демонстрацией работы закона диалектики. В самом деле, плавно меняя параметры системы, можно добиться резкого, скачкообразного изменения ее состояния.

Мы имеем дело с примером, который мог бы стать таким же хрестоматийным, как превращение воды в лед при изменении температуры. Именно подобное истолкование закон перехода количественных изменений в качественные и получал до недавнего времени.

Такая интерпретация правомерна только в тех случаях, когда в системе (будь то механический осциллятор или развивающаяся мысль) при выбранных значениях параметров существует единственное состояние. Однако мультистабильность нелинейных систем и вытекающая из нее множественность возможных типов превращений подобным рассмотрением не учитываются. В самом деле, нелинейные системы являются в принципе мультистабильными, это означает, что для большинства нелинейных систем в момент бифуркации существует не одна, а несколько возможностей изменить свое состояние. Из-за мультистабильности, типичной для нелинейных систем, зачастую нельзя предсказать, в какое состояние рассматриваемая система перейдет после бифуркации. Представим себе воду, которая после замерзания превращалась бы в лед различного вида: зеленый, желтый или красный, - а то и вовсе бы в песок или пар. И если для превращения воды в лед такая ситуация не может казаться реальной, то для мыслительных процессов она не удивительна. Еще более усложняет ситуацию тот факт, что во время нашего наблюдения в рассматриваемой системе существуют и другие состояния, которые могут претерпевать бифуркации одновременно с тем, которое мы изучаем, и оказывать влияние на рассматриваемое состояние. В динамике мысли подобные состояния, по-видимому, соответствуют работе подсознания.

После бифуркации система может оказаться в одном из возможного набора состояний, причем реализация такой возможности зависит от целого ряда факторов, которыми не всегда можно управлять. Таким образом, в нелинейных системах изменение параметров (количественных характеристик) часто приводит к непредсказуемому изменению качества.

Непредсказуемость результирующего качества определяется именно множественностью возможных состояний, столь типичной для нелинейных систем.

2) Влияние нелинейных связей системы с окружающим миром Фрактальность границ бассейнов различных состояний – еще одно свойство нелинейных систем. Если границы фрактальны (т.е. имеют очень сложную форму), переходы от состояния к состоянию могут происходить без бифуркаций и зависеть только от начальных условий. Выбор же начальных условий определяется не самой системой, а существующими связями системы с внешним миром, он "навязывается извне". Сильная зависимость системы от внешнего мира продиктована нелинейностью самой системы (поскольку фрактальность - ее внутреннее свойство) и нелинейными связями с окружением. В подобных случаях одни и те же количественные изменения, выражаемые параметрами системы, могут приводить к появлению разных качеств, качество определяется не только количественными изменениями внутри самой системы, но и внешними условиями, нелинейными связями системы с окружающим миром. Адекватно описывают подобные ситуации в процессах развития примеры воспитательного действия семьи, когда результат воспитания может оказаться абсолютно неожиданным для родителей и определиться кажущимся незначительным влиянием среды. Фрактальной в данном

случае выступает сложная граница в представлениях о нравственном и безнравственном, существующая у каждой личности.

3) Накапливание качеств В системах с хаотической динамикой процесс рождения нового качества может разделяться на этапы, подчиняющиеся строгим количественным изменениям, причем этих этапов может быть очень много. Так происходит, например, во время так называемого "каскада" бифуркаций удвоения периода Фейгенбаума. При изменении параметров система в последнем случае испытывает последовательные бифуркации, результатом каждой из которых является удвоение периода исходного движения, результатом же всей последовательности является установление хаотического состояния. В реальных системах нередки ситуации, когда большое число бифуркаций, происходящих в очень узкой области изменения параметров, приводит к появлению большого числа последовательных, зачастую трудно различимых состояний, каждое из которых мало отличается от предыдущего, а результирующее состояние резко отличается от исходного. Это означает, что качественные изменения могут являться результатом целой последовательности более мелких и трудно различимых качественных же изменений, каждое из которых происходит в результате количественных изменений, отличающихся определенной закономерностью.

Такой процесс "накапливания" качеств является типичным для нелинейных систем. Если в классическом варианте закона перехода количества в качество накапливаются количества, то нелинейные процессы зачастую связаны с накоплением качеств. Подобным же образом качества могут поэтапно теряться.

Примером поэтапного "накапливания" качеств может служить происшедшее за короткое время превращение Советского Союза в Российскую Федерацию: все началось с введения гласности, за ней последовала свобода предпринимательства, приватизация, суверенитет Прибалтики, многие другие преобразования, в результате которых в 1991 году Советский Союз превратился в нынешнюю Россию. Вообще, поэтапное накапливание качеств – процесс характерный для государственного строительства, например, подобным образом происходило становление американского государства, когда к нему последовательно присоединялись отдельные штаты.

4) Слияние качеств В системах с нелинейной динамикой возникают ситуации, когда в результате бифуркации происходит объединение, слияние различных движений или состояний. В результате исследуемое движение приобретает какое-либо качество другого движения, объединившегося с ним. В этом случае качества разных движений объединяются. Таким образом, система может обрести новое качество не в результате изменения ее собственных количественных характеристик, а получив его от другой системы, объединившейся с первой в процессе развития.

Грубый пример такого изменения качества может дать слияние двух Германий, в результате которого бывшая ГДР стала частью капиталистической страны с развитой экономикой.

Другим подобным примером могут служить "неравные" браки, когда бедная девушка внезапно становится миллионершей. Новые качества могут приобретаться в результате слияния состояний или обмена качествами.

5) Вырождение качеств

Еще одну возможность развития нелинейных систем определяет существование в них вырожденных состояний. В этом случае в системе сосуществуют два или более состояния, столь мало отличающихся друг от друга, что их различение требует довольно сложных исследований. Хотя это разные состояния, т.е. каждое из них обладает каким-то особым качеством, отличающим его от других, почти все количественные характеристики у них одинаковые, это состояния - "близнецы" (например, пары асимметричных циклов практически одинаковой формы и одного периода рождающиеся

после бифуркации разрушения симметрии). Одинаковые количественные характеристики и даже одинаковые наборы количественных характеристик могут соответствовать разным качествам!

Подобная ситуация тоже не описывается классическими интерпретациями закона перехода количества в качество, зато часто встречается в квантовых системах.

Суммируя все вышесказанное, необходимо интерпретировать закон перехода количественных изменений в качественные следующим образом: количественные изменения, подчиняясь определенным закономерностям, приводят к качественным изменениям состояния системы, причем эти последние могут быть разнообразными: предсказуемыми или непредсказуемыми, скачкообразными или плавными; одинаковые количественные изменения могут приводить к возникновению разных качеств; качества могут изменяться в результате того, что в ряде случаев состояния "обмениваются" своими качественными характеристиками или объединяют их, а также в результате "накапливания" качества.

В такой интерпретации закон предусматривает и многообразие возможных путей развития, и существование детерминированного хаоса, и различные механизмы изменения состояния.

Закон единства и борьбы противоположностей. Нелинейная динамика огромного числа систем, на первый взгляд, служит прекрасной демонстрацией этого закона: упорядоченное и хаотическое, симметричное и асимметричное, устойчивое и неустойчивое, находясь в неразрывном единстве и непрерывной борьбе, определяют развитие систем. Однако нелинейность вносит существенное изменение и в этот закон. Прежде всего, речь идет о снятии дихотомии противоположностей. В нелинейных системах взаимодействие противоположностей становится настолько сильным, что противоположности могут сливаться, превращаясь в сложные синтетические образования. К такими синтетическим образованиям относятся, например, “симметричное хаотическое”, "метастабильное" (устойчиво-неустойчивое, короткоживущее), "детерминированное хаотическое" (предсказуемо-непредсказумое). Если раньше понятия “симметричное хаотическое” и представить себе было нельзя, то теперь противоположности сливаются, и каждое такое сложное образование соответствует определенному типу движения. Сложность нелинейной динамики приводит к тому, что в процессе развития участвуют не классические пары противоположностей, а их комплексы. Так, в развитии одновременно могут участвовать симметричные упорядоченные, асимметричные упорядоченные, симметричные хаотические и асимметричные хаотические движения, каждое из которых, в свою очередь, может быть как устойчивым, так и неустойчивым.

Адихотомичность основных категорий качественной теории динамических систем в силу существования отображения, сопоставляющего им философские эквиваленты, приводит и к адихотомичности философских категорий, которые традиционно мыслились как стороны дихотомии. Диалектика противоположных категорий, приводящая к их слиянию и в некоторых случаях взаимопревращению, подробно будет рассмотрена в третьей главе. В четвертой главе будет показано, что нелинейная динамика определяет многократное превращение возможного в действительное, и наоборот. В детерминированных хаотических режимах случайность становится необходимостью, необходимость - случайностью, порядок – хаосом, хаос – порядком и т.д.

Следовательно, в процессах развития нелинейных систем участвуют как классические пары борющихся противоположностей, так и комплексные, синтетические образования из противоположностей; взаимодействуя, противоположности могут многократно превращаться друг в друга, сливаться; дихотомия противоположностей при

этом исчезает. Закон отрицания отрицания. На определенных этапах развития хаотической системы закон отрицания отрицания действует в классическом виде. Примером может служить уже ставшая классической последовательность бифуркаций удвоения периода, завершающаяся рождением странного аттрактора. В этом случае все происходит по классической схеме: имеется совокупность сменяющих друг друга, отрицающих друг друга состояний, каждое из которых содержит характерные черты предыдущего, с той лишь разницей, что эта совокупность является бесконечно длинной. Снятие особенно очевидно при переходе к странному аттрактору: возникшее хаотическое множество практически состоит из бесконечно большого числа ранее существовавших периодических циклов, но принципиально отличается от них.

Однако более внимательное исследование нелинейной динамики позволяет выявить ряд явлений, которые не укладываются в рамки классического закона отрицания.

1) Нарушение преемственности развития

Важнейшим для этого закона является представление о преемственности развития.

Однако в нелинейной динамике преемственность развития сплошь и рядом нарушается.

Мультистабильность нелинейных систем приводит к тому, что типичными оказываются ситуации, когда после бифуркации устанавливается режим, ничего общего не имеющий с предыдущим. Состояние системы меняется внезапно и сильно, а его характеристики полностью отличаются от характеристик "старого” состояния.

Образно говоря, мы наблюдаем за вполне нормальным развитием гусеницы, но спустя некоторое время перед нами оказывается не бабочка, а жук или мышь. Аналогия с мыслительными процессами в этом случае предполагает, например, мгновенную смену политических убеждений: человек заснул убежденным демократом, а проснулся последовательным коммунистом.

В таких ситуациях непосредственная связь нового со старым отсутствует. Совершенно очевидно, что о повторяемости на определенном этапе развития некоторых свойств предыдущих этапов при отсутствии преемственности говорить не приходится.

2) Возвраты к прежним состояниям

В общем случае при исследовании нелинейной динамики не подтверждается и укоренившееся представление о спиральном характере развития. Для нелинейных систем типичными оказываются смены состояний, ломающие всякие представления о спирали в развитии, введенные Энгельсом. Дело в том, что для систем с хаотической динамикой типичными являются возвраты к прежним состояниям. Эти ситуации отражаются бинаправленностью связей "аттрактор – бифуркация – странный аттрактор". Например, после установления хаотического состояния система при изменении параметров может поэтапно или скачком возвращаться к прежнему, упорядоченному состоянию, ничем не отличающемуся от исходного. В подобных случаях хрестоматийное представление о спирали в развитии возможно, только если спираль сильно деформирована, согнута или даже связана узлом. Более уместно здесь представление о сильно запутанном мотке ниток.

Хорошо иллюстрирует парадоксальность таких возвратов следующий пример. Представим себе, что после всех этапов общественного развития на смену капиталистическому обществу снова бы пришло первобытнообщинное, или последовательно сменяющие друг друга феодализм, рабовладельческое и т. д. Хотя это уже не кажется таким парадоксальным, если вспомнить, что подобную же последовательность этапов развития претерпело и наше общество: капитализм сменился социализмом, а тот - опять капитализмом. Поэтому представление о прогрессе как

о поступательном развитии и регрессе как о возврате к старым, отжившим состояниям для нелинейных систем оказывается упрощенным.

Итак, возвраты к прежним состояниям, “обращения” развития оказываются типичными для нелинейных систем разной природы, причем переход к ранее существующим состояниям возможен и от периодических, и от хаотических режимов.

С учетом проведенного рассмотрения закон отрицания может быть интерпретирован следующим образом: Развитие нелинейных систем может характеризоваться отсутствием преемственности, повторяемости на новом этапе черт предыдущего; развитие предусматривает возможность возврата к прежним состояниям;

спиральный характер развития при этом нарушается.

Еще раз подчеркнем, что во всех рассмотренных случаях имеются в виду не экзотические, а типичные, постоянно наблюдаемые в нелинейных системах "сценарии" развития.

Диалектику нелинейных систем по праву следует назвать постнеклассической. Она настолько же сложнее общеизвестной классической, насколько хаотическая динамика сложнее линейной динамики. Неклассическая интерпретация законов диалектики отражает новые возможности развития, открытые нелинейной динамикой и синергетикой, и сохраняет за диалектикой статус мощнейшего метода исследования. По-видимому, в свете постнеклассических представлений наряду с самими законами диалектики должен быть переосмыслен практически весь их категориальный аппарат.

4. Применение идей нелинейно-синергетического метода для анализа гуманитарных систем

Нелинейно-синергетическая методология исследования применяется в настоящее время при рассмотрении процессов развития систем самой разнообразной природы, в том числе и гуманитарных. Повторим, что применение нелинейного и синергетического методов не означает строгого исследования той или иной системы, а предполагает использование нелинейных идей в описании динамики последней, а затем проверку того, укладываются ли имеющиеся факты в подобное описание. Пользуясь этой схемой, мы практически следуем рецепту Шеллинга: для того, чтобы обнаружить процессы развития в конкретной действительности, необходимо обратиться к содержанию наук и конструировать это развитие, применяясь к фактическому материалу, т.е. необходимо пробиться из тесных рамок абстрактных рассуждений " в свободное и открытое поле объективной действительности".

О правомерности применения подобных методов в разных науках уже не раз говорилось, как их сторонниками, так и противниками. Можно согласиться с тем, что их применение требует определенной осторожности, с тем, что от них нельзя ждать готовых рецептов. По-видимому, использование этих методов должно сопровождаться выяснением условий их возможного применения и проверкой того, выполняются ли последние для рассматриваемых систем.

Главной целью нелинейно-синергетического подхода является выяснение возможных связей между элементами рассматриваемой системы и исследование основных принципиальных возможностей развития системы на основе законов нелинейной динамики, при этом некоторые особенности предполагаемого развития заранее постулируются. Например, заранее предполагается возможность и закономерность критических ситуаций в развитии, существование процессов самоорганизации и хаотических режимов. Нелинейно-синергетическая методология обязательно следует принципам, сформулированным в параграфе 2.1. В ряде случаев оказывается возможным фундировать подобное рассмотрение некоторыми более или менее точными динамическими моделями, иногда этого сделать нельзя. Итогом

рассмотрения может оказаться построение стройной динамической модели изучаемой системы и прогноз вероятных тенденций ее развития, иногда удается дать рекомендации, позволяющие выбрать параметры и начальные условия, обеспечивающие реализацию желаемого направления развития.

Нам представляется, что основной целью и основным достоинством применения нелинейно-синергетического метода для анализа гуманитарных систем является возможность решения некоторых проблем и задач, которые в рамках гуманитарных наук не имеют строгого решения, но которые легко и естественно решаются при использовании принципов нелинейной динамики. Речь идет не о пользовании новой красивой терминологией, не об игре словами, не о попытке переформулировать существующие теории на языке синергетике, а о необходимости использования универсального аппарата и мощных методов нелинейной динамики и синергетики для нахождения решения теоретических и прикладных задач гуманитарных наук. Примеры решения подобных задач будут даны ниже. Нелинейно-синергетический метод может быть применим даже к системам, которые традиционно не допускали математического описания, однако рассмотрение примеров применения логично начать с систем, при исследовании которых нелинейно-синергетическая методология исследований применяется уже достаточно широко.

Нелинейный взгляд на развитие социума. С некоторых пор нелинейно-синергетическая парадигма стала распространяться и на науки, до этого имеющие свой собственный аппарат исследования: социологию, экономику, даже историю. Несмотря на множество существующих взглядов на течение исторического процесса, большинство из них предполагает, что это течение определяется некими общим законами, все общественные явления представляются закономерными. При таком рассмотрении на первый план выдвигаются не законы сосуществования, а законы последовательной смены исторических этапов, государственных устройств и т.д.

Уже О.Конт называл такие законы динамическими, положив в определенной степени начало рассмотрению социума как динамической системы. Основная точка зрения при подобном рассмотрении заключается в том, что общественное развитие проходит известные ступени, этапы, это касается и общества в целом и отдельных его частей. Конт считал возможным рассматривать всемирную историю как внутренне единый процесс, управляемый одним основным законом, что было своего рода отголоском мысли Гегеля о некой разумной планомерности всемирной истории. Конт же впервые применил к обществу и понятие саморазвития, полагая общественные системы саморазвивающимися в силу внутренней необходимости (полная аналогия с нелинейным развитием, с самоорганизацией!). Такую же точку зрения проповедовал и Спенсер, перенося на общество идеи "органической" эволюции, и Маркс, анализируя процесс развития общественно-экономических формаций.

Принимая идею о динамическом развитии общества за основную, мы неизбежно приходим к признанию нелинейного характера этого развития. Нелинейное рассмотрение социума как саморазвивающейся системы позволяет наиболее точно объяснить основные закономерности общественного развития, объяснить характер исторических процессов, сделать некоторые прогнозы. Идеи и методы нелинейной динамики позволяют довести до логической законченности и целостности гениальные идеи философов прошлого, дают возможность решить определенные проблемы, возникающие в философии истории, истории, социологии.

При подобном рассмотрении все когда-либо существующие социальные образования, начиная от племен и кончая современными государствами, представляются

самоорганизующимися общественными структурами. Нелинейное описание априори предполагает сосуществование на различных этапах исторического развития

разных типов таких структур (различных форм государств), которые, развиваясь по нелинейным законам, рождаются, видоизменяются, взаимодействуют друг с другом, умирают. Весь ход истории служит доказательством правомерности такого рассмотрения. Разрушение и возникновение государств, изменение государственного устройства представляются бифуркациями единой сложнейшей социальной системы. Социальные бифуркации могут быть "жесткими" (революции) или "мягкими" (реформы). На ранних этапах развития социума преобладают менее сложные структуры, с течением времени они усложняются. На поздних этапах, в сильно нелинейных режимах в социальной динамической системе обязательно должны появляться странные аттракторы.

Возможность сосуществования государств с различным общественным строем.

Нелинейный подход позволяет естественным образом обосновать сосуществование на одном историческом этапе менее развитых и более развитых государств, ведь множественность состояний – это существенное свойство нелинейных систем. Нелинейное рассмотрение объясняет и тот факт, что одни государства существуют в течение тысячелетий, пройдя различные этапы своего развития и оказав значительное влияние на историю, а другие достаточно быстро и почти бесследно исчезают. Так и должно происходить: в нелинейных системах существуют "большие" долгоживущие структуры, вносящие важный вклад в динамику всей системы, и структуры "малые", быстро исчезающие.

Роль личности в истории. С нелинейных позиций решается и проблема роли личности в истории. Влияние отдельной личности на течение исторического процесса эквивалентно малому изменению начальных условий. Восхождение любой исторической личности по ступеням власти описывается процессом выхода из некоторой точки фазового пространства на аттрактор: чем ближе к аттрактору заданное начальное условие, тем меньше времени необходимо для того, чтобы попасть на аттрактор и затем, попав в его "восходящий" поток, двигаться вверх. Вот почему сыну царя в регулярном режиме легче стать царем, чем сыну простолюдина, начальные условия у первого гораздо более выгодные.

Роль личности в истории может быть очень значительной при одновременном выполнении следующих условий: 1) в системе должен существовать режим, сильно зависящий от начальных условий, странный аттрактор или переходной хаотический процесс; 2) должна появиться личность, способная эти условия изменить. Вот почему великие личности появляются в "смутные" времена, периоды перехода, становления, хаоса. Однако ни желанием или намерением личности определяется ход истории, он задается общим динамическим законом развития социальной системы, он объективен и подготовлен всеми предыдущими состояниями. Если система находится в режиме переходного хаоса (революции, войны, разруха), то может найтись личность, которая, воспользовавшись сильной неустойчивостью, выберет одно из возможных направлений перехода. Однако это направление определяется всем предшествующим развитием системы, а не волей личности. Если же система находится в устойчивом регулярном режиме, то ее развитие ни в коей мере не определяется никакой отдельной личностью. Поэтому люди, пришедшие к власти в устойчивые периоды, являются лишь выразителями неких общих тенденций развития, "воли масс", какими бы личными качествами они не обладали.

Социальные странные аттракторы. Закономерен следующий вопрос: каково место детерминированных хаотических режимов в процессе исторического развития, существуют ли социальные странные аттракторы? Странные аттракторы - очень сложными образования, появляющиеся, как правило, на поздних этапах развития системы, когда система уже получила достаточное количество энергии от внешнего

мира. Их существенными особенностями являются сочетание свободы движения и сложной, четко выраженной структуры, богатство внутренних режимов, возможность выбора, конкуренция множества степеней свободы, приводящая к высокой эффективности и большому коэффициенту полезного действия. Всеми этими свойствами, по-видимому, обладают политико-экономические системы высокоразвитых демократических стран, в которых чрезвычайно сложное государственное и общественное устройство сочетается с внутренней свободой движений. Государство четко и сложно функционирует и развивается, отдельные граждане, организации и объединения обладают значительными свободами и возможностями, существует конкуренция, в результате которой устанавливается наиболее выгодный экономический режим. Следует еще раз подчеркнуть, что режим детерминированного хаоса не только не исключает, но подразумевает и обеспечивает существование и развитие упорядоченных структур, в качестве которых в случае общественного развития могут рассматриваться государственные, политические, экономические, инфраструктуры и т.д., из чего следует, что анархия и разрушение государствам, развивающимся в этом режиме, не грозят. Однако режим детерминированного хаоса обусловливает определенную непредсказуемость развития, которую могут испытывать как отдельные элементы социальной системы, так и все государство.

Напротив, государства с навязанным упорядоченным развитием, плановым ведением хозяйства, строгой периодичностью (вспомним пятилетки), отсутствием конкуренции и демократических свобод (неслучайно такие государства получили название "режимов"!) обладают низкоэффективной экономикой и подвергаются опасности разрушения. Такие государства функционируют "в режиме предельного цикла", который не может существовать достаточно долго и при отсутствии различных возможностей развития разрушается, что мы и наблюдали неоднократно в истории. Возможно, такую бифуркацию разрушения периодического режима и претерпела недавно наша страна. Однако с точки зрения нелинейной динамики исчезновение одного из возможных состояний системы не означает гибели всей системы, напротив, означает, что развитие продолжается. Законы нелинейного развития социальных систем могут формулироваться на основе некоторых аналогий с уже известными законами нелинейной динамики и проверяться путем анализа исторических данных. Эти законы могут проверяться при движении назад, вглубь веков, их проверка при движении вперед затруднена из-за больших периодов движения социальных систем, однако не исключена.

Нелинейный взгляд на историческое развитие, по-видимому, не менее обоснован, чем исторический материализм или эволюционизм. Более того, идеи нелинейного рассмотрения могут найти и определенные математические подтверждения. В самом деле, социальные системы субстанциональны и в рамках некоторых приближений могут успешно описываться некоторыми математическими моделями, представляющими собой системы небольшого числа обыкновенных дифференциальных уравнений, уравнения в частных производных или дискретно-разностные уравнения (отображения). Если эти модели адекватно описывают подобные системы во времени, то последние представляют собой не что иное как динамические системы. Хотя глобальных моделей, описывающих эволюцию человеческого общества как целого, не существует, и, по-видимому, не может существовать, математические модели, описывающие динамику социальных и экономических систем меньшего масштаба: формирование политических партий, формирование общественного мнения, движение банковских денег - уже созданы. Так же как и в других нелинейных системах, в них существуют разные режимы, как регулярные, так и хаотические, и бифуркации, приводящие к смене регулярных режимов хаотическими, и наоборот. Все существующие в них движения описывают

динамику некоторых социальных или экономических структур, образований, а бифуркации – изменения этих образований.

Важнейшим для обоснования подобных исследований является следующий вопрос: насколько применимы динамические модели к описанию сложнейших общественных процессов? Однозначного ответа на этот вопрос нет, и из чисто математических соображений его получить нельзя. С одной стороны, представляется очевидным, что процессы общественного развития подчиняются неким общим законам, мало зависящим от общественных флуктуаций, и определяющим развитие общества на достаточно больших временах, т.е. законам, которые вполне можно было бы назвать динамическими. С другой стороны, задача о строгом и точном рассмотрении общественных явлений, по-видимому, не имеет решения из-за своей сложности, ведь речь идет о людях, а поведение даже одного человека является очень сложным, недоступным для математического описания. Дело, однако, упрощается, если принять во внимание следующие соображения.

Во-первых, по отношению к системам, состоящим из многих подсистем (а именно таковыми и являются все социальные системы) принято вводить по крайней мере два уровня описания. На первом описывают систему как целое и анализируют ее взаимодействие с окружающей действительностью, с другими системами, на втором – исследуют внутренние процессы самой системы. В этом случае на первом уровне возникает, как правило, динамическое описание, а на втором – статистическое. Во-вторых, сначала теория колебаний, а затем и качественная теория динамических систем достаточно успешно практиковала заимствованный у физики подход, при котором описание той или иной сложной системы или тех или иных сложных процессов строится феноменологически, на основе некоторых общих идей, с учетом только существенных особенностей поведения. В этом случае на многие "мелкие" детали сознательно не обращают внимания, иначе просто не сдвинуться с мертвой точки в решении задачи.

Иными словами, просто строят приближенную модель. Такой подход позволяет решить задачу в первом приближении, а затем, используя это приближенное решение, усложнить модель, дополнить ее некоторыми новыми деталями. По-видимому, подобный метод применим и для описания социальных систем, которые в этом случае представляются не более сложными, чем, скажем, гидродинамические. Конечно, после того, как такие модели получены и исследованы, адекватная трактовка результатов возможна лишь при учете поправок на приближенность.

Если задача ставится подобным образом, то на первом этапе следует проанализировать, какие макроскопические переменные являются наиболее важными для описания системы, и попытаться определить, как они влияют на ее динамику. После этого следует из самых общих соображений записать закон их изменения во времени. Далее необходимо проверить достоверность этих уравнений, т.е. решить с их помощью простейшую модельную задачу и сопоставить ответ с уже известным. Если решение этой задачи удовлетворительно с точки зрения здравого смысла и не противоречит известным результатам, то полученные уравнения можно использовать для решения более сложных задач. Конечно, такие модели не могут быть очень точными, тем не менее они весьма ценны для понимания некоторых общих свойств социальных процессов. Каждая сравнительно простая модель может служить основой для дальнейших обобщений.

Необходимость и закономерность существования кризисов. Существование критических ситуаций в развитии, закономерность резкой смены существующих режимов, возникновение переходных хаотических состояний – необходимые особенности всякого нелинейного развития. Двадцатый век разрушил надежды на плавное закономерное развитие, которые ушли вместе с классической динамикой и разрушением долгоживущих тоталитарных систем.

Умение прогнозировать смены регулярных режимов и появление хаотических в различных системах как раз и является одной из основных задач нелинейной динамики, в настоящее время вполне разрешимой. Анализ динамики даже приближенных моделей дает множество важной информации, в частности позволяет увидеть, что кризисы, приводящие к хаотическим режимам, во всех нелинейных системах, в том числе социальных и экономических, - вещь неизбежная, однако вполне предсказуемая. Кризисов нельзя избежать, но их можно прогнозировать, к ним можно подготовиться. Для этого достаточно построить возможно точную модель, определить, при каких значениях параметров в ней возникают бифуркации, переводящие ее в хаотический режим, и провести сравнительный анализ с реальной системой. Именно этим методом уже многие годы пользуются, например, в радиофизике при создании генераторов шума. Конечно, социологические модели гораздо более сложные и менее точные, времена, на которых происходят все процессы гораздо более длинные, что затрудняет проверку численных результатов, однако принципиальных препятствий на пути таких исследований нет. Подобным же образом можно исследовать и процессы самоорганизации в социальных и экономических системах.

Задача нелинейной динамики и синергетики в этом случае сводится к тому, чтобы определить те параметры, при которых эти процессы возникают, и дать конкретные рекомендации по их достижению. Вид и время жизни этих структур тоже могут быть определены аналитически или численно. Некоторые модели общественных процессов (преимущественно вероятностные) и математические методы, используемые при их анализе, уже существуют. Нелинейные модели, которые могли бы исследоваться на основе качественных методов и при помощи синергетического подхода, требуют разработок.

Социальный прогноз и организационное проектирование. К настоящему времени принципы синергетики и нелинейной динамики плодотворно применяются в теории организации и организационном проектировании. Идеи постнекласической методологии фундируют развитие праксических дициплин. Так, концепция рефлесивности Дж.Сороса делает попытку описать динамическое взаимодействие людей в организации типа “финансовый рынок ” с учетом возникающих обратных связей . Созданные Дж. Соросом модели “органического”, ”открытого ” и ”закрытого” общества легко интерпретируются в терминах теории самоорганизации .

Синергетика как методология исследования дает возможность социального прогнозирования, проектирования общественных организаций различных типов.

Социальное проектирование рассматривается как процесс творческого “изменения действительности по ее же собственным законам, познаваемым наукой”. Обнаружение и выбор из множества возможных, соответствующих действительности проектов есть творческий акт, основанный на знании предоставляемых действительностью возможностей. Такой подход приводит к созданию праксических дисциплин, обучающих постнеклассическому взгляду на действительность как на поле нелинейно связанных друг с другом и с познающим субъектом возможностей.

Создание и исследование нелинейных моделей в социологии и экономике и сопоставление их с действительностью подтверждает правомерность применения в этих областях нелинейно-синергетического метода. При этом существует гипотетическая возможность не только предсказывать возникновение, особенности развития и разрушение различных режимов в социальных и экономических системах, но и определять конкретные значения параметров, при которых это должно происходить. Если эта возможность реализуется, сбудется мечта О. Конта, высказанная им в "Системе позитивной политики": не только предвидеть и предсказать исторические события, но и

вызывать их или на них воздействовать. Важность этих исследований трудно переоценить.

Взяв на вооружение идеи и средства нелинейной динамики, социология, всегда использовавшая для своих исследований новейшие математические методы, более консервативная история и другие социальные науки получат для своих исследований мощнейший аппарат, который обязательно позволит получить интересные и весьма неожиданные результаты.

Нелинейно-синергетический взгляд на развитие философии. В силу своей сложности философия, как правило, не допускает никаких модельных описаний. Любая модель оказывается слишком примитивной для философии. Однако нелинейно-синергетический метод в принципе предназначен для анализа сложнейших систем, а создаваемые им модели зачастую являются феноменологическими и предназначены для выявления основных связей и закономерностей развития без выяснения “мелких” деталей. Упрощения в этом случае неизбежны и сознательны, но дают возможность получить ценную информацию, которую никаким другим способом добыть не удается. Целью применения нелинейно-синергетического метода к описанию философии как системы является выяснение необходимых связей между философскими структурами и анализ генезиса этих структур.

Представляется правомерным полагать, что философия является сверхсложной и постоянно развивающейся системой, существующей внутри мира и зависящей от него.

Есть основание также предположить, что философия как система нелинейна и диссипативна, и применить к ней идеи нелинейного развития. В самом деле, линейное развитие любой системы предусматривает малость ее отклонений от некого начального состояния, малость связей составляющих ее элементов, единственность ее возможных состояний. Применительно к философии это должно было бы означать, что на каждом историческом этапе своего развития она характеризовалась бы единственным философским учением, определяемым историческими и интеллектуальными условиями того времени, в котором ведется рассмотрение.

История философии доказывает обратное. Нет ничего более нелинейного, чем философское мышление. Единственным возможным линейным этапом развития философии является небольшой период эмпирического материализма древних греков (Левкипп, Демокрит), достаточно быстро перешедший в бистабильное состояние, в котором уживались материалистическая и идеалистическая (Сократ, Платон, Аристотель) философские доктрины. Такое рассмотрение является очень примитивным и грубым (например, в этом описании отсутствуют философские системы, существующие в то время у других народов), но все-таки позволяет понять, что философия всегда была мультистабильна, а значит и нелинейна. Диссипативность (открытость) философии практически очевидна и определяется безусловно существующими во все времена связями философии с науками, культурой, реальным миром. Итак, философия представляется нелинейной открытой системой, а следовательно, ее можно рассматривать в рамках качественной теории динамических систем.

Все вышесказанное дает основания применить к философии нелинейный и синергетический методы. Тогда все когда-либо существовавшие или ныне существующие философские доктрины могут рассматриваться как устойчивые состояния философской мысли, возникновение, развитие и разрушение которых определяется некоторым набором параметров и начальных условий. Эти устойчивые состояния могут называться диссипативными структурами или предельными циклами, главное, что они рождаются и существуют внутри самой системы и на некоторых этапах определяют ее развитие.

Поскольку философия как система является нелинейной, в каждый момент времени в ней может существовать множество таких структур (философских учений), и вся история философии подтверждает это. Как и полагается в нелинейной системе, эти структуры в процессе своего развития сами трансформируются и взаимодействуют друг с другом, обмениваются качествами, объединяются, образуют более сложные структуры, исчезают.

Все эти акты можно рассматривать как бифуркации различных типов, и такой бифуркационный анализ можно сделать, изучая историю философии. Бифуркационный анализ философской системы мог бы дать чрезвычайно важную информацию о генезисе философских течений и доктрин, об их связях, взаимодействиях и взаимовлияниях и значительно обогатил бы историю философии. Например, с точки зрения нелинейной динамики в философии существуют “цикл Платона” и ”цикл Демокрита”, определявшие развитие философии в течение тысячелетий и породившие большое число философских доктрин. Анализ динамики этих циклов был бы весьма интересен и прояснил бы многие связи между течениями философской мысли.

Активность взаимодействия той или иной философской структуры с другими и длительность ее существования связаны с ее "величиной" (философской значимостью) и размерами "бассейна ее притяжения" (который определяется историческими условиями, количеством последователей и т.д.). Главным является то, что практически ни одна философская доктрина, как это и следует из законов нелинейной динамики, не исчезает бесследно, практически каждая является основанием для возникновения новых структур, хранящих в себе "следы" исчезнувших.

Такая мультистабильность, означающая одновременное существование большого числа устойчивых состояний, как правило взаимодействующих, - явление нормальное для нелинейных систем. Все существующие состояния при этом равноправны, среди них нет "хороших" и "плохих", "правильных" и неправильных", как нет "правильных" и "неправильных" движений, а есть только более сложные и менее сложные, причем эта сложность не очевидна. Поэтому с точки зрения нелинейного рассмотрения все философские учения имеют право на жизнь, но не являются в полной мере независимыми.

Вопрос об истинности того или иного философского учения при таком рассмотрении получает однозначный ответ: все философские системы являются истинными уже потому, их возникновение обусловлено законами развития философии. Раз философская доктрина сформировалась, значит ее возникновение подготовлено существующими философскими и этическими взглядами, развитием наук, у нее есть приверженцы, ей свойственна определенная внутренняя целостность и убедительность.

Подобное рассмотрение прекрасно сочетается с позицией философского примирения.

Известно, что развитие философии сопровождается умножением философских учений.

При этом возникает вопрос: как соотносится фактически существующее разнообразие “философий” с необходимым требованием существования единой истинной философии.

Философская критика предлагает четыре ответа на этот вопрос:

1) скептический, объявляющий все существующие философские течения ложными;

2) рассудочный, считающий, часть философских течений истинными, а остальные - ложными;

3) эклектический, позволяющий считать каждое учение отчасти ложным, отчасти истинным;

4) примиряющий, считающий все философские течения истинными.

Первые три позиции являются самоопровергающимися. Примиряющее начало философской критики видит истинность в себе каждой философской доктрины. Ложь отдельной доктрины заключается только в отрицании других систем, и эта ложь устраняется путем философского примирения. Тогда всякая система является ступенью, этапом на пути построения единой философии, достигаемой постепенным обнаружением общих точек зрения, т.е. в результате взаимодействия доктрин – прекрасное описание динамики развития нелинейной системы!

Совершенно очевидно, что различные структуры оказывают разное влияние на последующую динамику системы. Те, что возникли раньше, например, платонизм, сами в меньшей степени подвержены влияниям других учений, зато определили рождение и развитие большего числа философских структур, передавая им свои качества. Существуют "малые" философские структуры, не оказавшие существенного влияния на развитие философии как единой системы. "Большие" структуры, как это и предполагается законами нелинейной динамики, могут возникать на всех этапах развития системы. Однако в процессе развития любой нелинейной системы ее поведение все более и более усложняется, поэтому со временем число "больших" структур неизбежно увеличивается.

Нелинейная динамика на определенных этапах развития системы предполагает возникновение хаотических состояний, и исторический анализ развития философии дает возможность поиска "странных" аттракторов философской мысли. В первой части говорилось о сложности критериев "странности". Однако у претендента на "странность" обязательно должны быть и видимые, хорошо распознаваемые признаки. Во-первых, это "причудливый" вид и чрезвычайно сложная внутренняя организация, во-вторых, особая предыстория развития, в-третьих, значительная величина. При этом необходимо помнить, что несмотря на непредсказуемость и хаотичность поведения, странный аттрактор имеет четко выраженную структуру, хранящую черты предшествующих движений. Странный аттрактор, как правило, появляется на достаточно поздних этапах развития, когда система становится сильно нелинейной, и определяет динамику последней в широкой области параметров. Попадая внутрь "странного аттрактора " философской мысли, следуя развитию этой мысли, можно получать удивительные, непредсказуемые, опровергающие сложившиеся устои результаты. Это должны быть парадоксальные, но чрезвычайно значимые философские учения, оказавшие наибольшее влияние на развитие всей философии.

Итак, нелинейный и синергетический методы исследования, будучи примененными к философии, объясняют ее развитие и могут дать классификацию ее доктрин, обнаружить их взаимодействие, слияние, образование новых. Они позволяют рассмотреть философию в ее динамике, выявить механизмы рождения философских учений. Они же оправдывают возникновение синтетических философских теорий, включающих в себя элементы уже существующих философских доктрин.

Развиваясь как нелинейная и самоорганизующаяся система, философия является одной из связанных с другими подсистем единого нелинейного мира, поэтому неизбежно испытывает на себе внешнее влияние. Это означает, что представление о том, что фактуальные науки не могут привнести в философию ничего нового, отрицающее внешнее воздействие на философию со стороны науки, являющейся такой же значительной подсистемой мира, не соответствуют нелинейной действительности. Если философия рассматривается как нелинейная и открытая система, то по определению предполагается, что она подвержена внешним воздействиям, восприимчива к ним, реагирует на них. Не могут не изменить философию и представления о самоорганизации и хаосе.

Сложную нелинейную связь различных философских доктрин может подтвердить, например, тот факт, что средствами феноменологического анализа можно получить интерпретацию законов диалектики, как это было сделано нами.

Нелинейный взгляд на развитие философии отбирает у нее исключительность, зато позволяет рассматривать ее в движении, становлении, в связи со всем существующим.

Нелинейная эпистемология. У истоков философии науки стоит натурфилософия Р. Декарта и П. Гассенди и работы Ф. Бэкона. Ответы на вопрос "Что значит знать?" менялись от века к веку, но всегда исходили из современного состояния наук о природе. Основными проблемами, которые на всех этапах своего развития решала философия науки, были следующие. Как возможно оценить притязания теорий на истинность? Как возможно обосновать научные теории, в чем состоит обоснование? Можно ли предпочесть одну теорию другой? Историческое рассмотрение философии науки позволяет проследить основные ее концепции, имеющие глубокие традиции: позитивизм, махизм, неопозитивизм, прагматизм, релятивизм, фаллибиллизм, научный рационализм, эмпирический конструктивизм и эволюционная эпистемология.

Внимательное прочтение этих доктрин заставляет выдвинуть тезис о нелинейности философии знания, концепцию "нелинейной эпистемологии". Нелинейность эпистемологии проявляется двояким образом. Во- первых, сам процесс познания представляется нелинейным, во-вторых, нелинейным представляется развитие самой теории познания.

С каких бы позиций мы ни рассматривали процесс познания, в рамках какого бы философского учения мы ни проводили его анализ, как бы ни называли его структурные составляющие, мы всегда можем выделить в нем два этапа. На первом, всегда существующем этапе, этапе ощущений, наблюдений и восприятия познаваемого объекта, процесс познания связан с чувственным или интеллектуальным опытом и проще всего описывается операцией отражения (в случае интеллектуального опыта – операцией сопоставления или анализа). Несмотря на всю сложность своего психофизического наполнения, с точки зрения процесса познания эта операция является линейной, в некотором смысле она эквивалентна тем процессам, которые происходят в геометрической оптике, эта аналогия представляется вполне уместной.

На втором этапе ощущения и наблюдения превращаются в понятия, мнения, суждения, которые, в свою очередь могут объединиться в некоторые логические схемы, концепции и, наконец, теории. Этот этап гораздо сложнее первого, он нелинеен прежде всего потому, что связан с синтезом, рождением нового, образованием неких упорядоченных структур в сознании.

Процесс образования упорядоченных структур в сознании сильно зависит от субъективных и объективных условий, подобно тому, как рождение предельных циклов в нелинейной системе определяется ее параметрами. Возникающие структуры могут быть устойчивыми, тогда они существуют в течение достаточно длительного времени и определяют динамику мысли, индивидуальной или общественной, а могут оказаться неустойчивыми и тогда погибают. Эти структуры взаимодействуют в процессах когеренции, синхронизации, конкуренции, в результате чего могут сливаться, образуя новые, более сложные структуры, или исчезать. К таким устойчивым структурам можно отнести понятия, термины, идеи, модели, гипотезы, теории и т.д. Именно на втором, нелинейном этапе познания есть место для интеллектуальной и сверхчувственной интуиции, гениальных идей, "озарений", постижения "непостижимого", что совершенно не описывается в рамках линейного подхода. Механизмы этих процессов загадочны и не исследованы, но не вызывает сомнения тот факт, что человеческая мысль образует сложнейшие нелинейные структуры.

Таким образом, процесс познания является процессом чрезвычайно сложной самоорганизации.

Аналогично тому, как это было сделано в предыдущем разделе для всей философии, нелинейное описание может быть введено и для развития теории познания. В последнем случае нелинейный характер развития теории познания постулируется, а структурами выступают различные концепции философии науки. Развитие знания представляется таким же нелинейным процессом, как все процессы, происходящие на Земле. Нелинейная эпистемология позволяет по-новому рассмотреть многие важные проблемы теории познания, например, проблему выбора теории, проблему несоизмеримости научных теорий, проблему революций в науке.

Проблема научных революций. Остановимся, например, на проблеме революций в науке.

Радикальная точка зрения, впервые высказанная Ф.Бэконом, заключается в том, что революция в любой частной науке совершается один раз, и этот момент есть момент рождения подлинной науки, свободной от предрассудков и суеверий. Противоположная ей концепция П.Дюгема отрицает научные революции, а все научные изменения сводит к модификации уже известных теорий. К.Поппер выдвинул концепцию перманентной революции, согласно которой все научные теории создаются для того, чтобы быть опровергнутыми, они ждут своей фальсификации, этот процесс постоянный и составляет основу научного познания. Предлагаемая нелинейная эпистемология рассматривает эту проблему следующим образом. Поскольку все научные теории суть структуры процесса познания, их развитие и исчезновение определяется возможными бифуркациями рассматриваемой системы. В случае "мягких" бифуркаций структура (научная теория) мало изменяется, трансформируется, сохраняя прежние черты, дополняясь и модифицируясь.

Именно в этих случаях рождаются новые теории, допускающие предельные переходы к старым, а старые могут рассматриваться как упрощенные варианты вновь возникших. В случае "жестких" бифуркаций старая теория погибает, исчезает, признается неверной, рождается новая теория. Таким образом, научные революции представляют собой бифуркации познания, причем возможны "мягкие" и "жесткие" научные революции.

Между бифуркациями любая теория развивается, эволюционирует, оставаясь сама собой, но несколько изменяя свои параметры (именно этот этап описывается концепцией Дюгема). Поскольку любое движение нелинейной системы испытывает бифуркации, любая структура разрушается, постольку научные революции происходят с определенной частотой, в результате чего любая научная теория или модифицируется или фальсифицируется. Количество бифуркаций неизбежно растет с усложнением системы научного знания, сопровождающегося ростом числа научных теорий, поэтому научные революции должны учащаться, что особенно хорошо показал двадцатый век.

Научные революции объективны, их существование обусловлено сложным развитием теории познания, они подготовлены всей предыдущей историей развития науки или комплекса наук, неизбежны, но не перманентны. У них есть свое место и время, они совершаются там и тогда, где и когда процесс познания испытывает кризис.

Проблема выбора научной теории. А вот как описывается с точки зрения нелинейной динамики процесс выбора научной теории. Научные теории могут считаться конкурирующим, если они существуют одновременно и с разных позиций описывают один и тот же класс явлений. Поскольку научные теории представляются устойчивыми состояниями научной мысли, каждая имеет свой бассейн притяжения, определяющий число приверженцев теории. У разных теорий он разный по величине, и меняется со временем. Если бассейн притяжения растет, в него попадает все большее число

ученых, разделяющих данную научную теорию. Поскольку общее число ученых со временем меняется медленно, это означает, что бассейн притяжения конкурирующей теории неизбежно уменьшается. Рост бассейна притяжения научной теории обусловлен, в первую очередь, ростом и становлением собственно теории, ее практическими успехами, существованием среди ее приверженцев безусловных научных авторитетов и т.д. Однако этот процесс объективный, неслучайный, обусловленный законом развития научной системы. Теория может считаться победившей, если большинство членов научного сообщества становится ее приверженцами, хотя нелинейная динамика предусматривает случаи, когда конкурирующие научные теории могут продолжать сосуществование в течение достаточно длительного времени, что зачастую и происходит.

Проблема несоизмеримости научных теорий. Нелинейный подход позволяет обратиться и к проблеме несоизмеримости научных теорий. Выдвинутый Т. Куном и П.Фейерабендом тезис о несоизмеримости научных теорий может быть рассмотрен со следующих позиций.

Две теории как две структуры, как два устойчивых состояния научной системы сравнимы настолько же, насколько любые два движения нелинейной системы. А для движений сравнение возможно только по определенным параметрам: размерам предельного цикла или амплитудам движения, размерам бассейна притяжения, параметрам системы, при которых движения наблюдаются, по их устойчивости. Однако у сложных движений бессмысленно сравнивать "на глазок" их вид, так называемые реализации. Сравнение ни к чему не приведет, мы можем понять только, что они различаются, а это нам было известно с самого начала. Более того, сравнивая, можно ошибиться даже в определении степени сложности движений.

Для того, чтобы сравнение стало правомерным, необходимо создание специального аппарата, позволяющего такое сравнение проводить, разработка некоторых сравнительных критериев. Без создания специального аппарата сравнения теории могут сравниваться лишь по некоторым количественным характеристикам. Так, можно очертить область явлений, описываемых двумя различными теориями, сравнить их экспериментальные подтверждения, если они выражаются в некоторых количественных величинах, сравнить число последователей, количество выходящих публикаций и т.п. Следует отметить, что эксперимент не может служить достаточным основанием истинности теории, во-первых, потому, что иногда две совершенно разные теории подтверждаются одним и тем же экспериментом, во-вторых, потому что любой эксперимент сам нуждается в доказательствах своей истинности.

Однако нельзя сравнивать то, что собственно и составляет сущность, смысловое наполнение, "реализацию" теорий: понятийный аппарат, логическое построение, содержание. Поэтому теории будут несоизмеримы до тех пор, пока не создан специальный аппарат, позволяющий их соизмерять, например, специальный, общий для двух теорий, метаязык. В ряде случаев это представляется возможным, в ряде случаев весьма затруднительно.

Итак, нелинейная эпистемология позволяет с единых позиций решить некоторые проблемы теории познания. По-видимому, эта концепция наиболее близка эволюционной эпистемологии, экстраполирующей на процесс познания и философию науки концепции биологической эволюции. В рамках эволюционной эпистемологии эволюция научного знания рассматривается как составляющая общего эволюционного процесса, включающего помимо биологической эволюции эволюцию человеческого сознания и знания. Не занимаясь ее всесторонней критикой, скажем лишь, что эта концепция, обладая логической стройностью и последовательностью, однако, не

объясняет революционных явлений в процессе познания и грешит чрезмерным натурализмом.

Возникает вопрос, что нового в нелинейном описании, и что может такое описание дать философии и эпистемологии? Во-первых, нелинейные представления дают возможность динамического описания процесса познания, возможность проследить его рождение и развитие, изучить его структуру, не дают говорить о познании как о чем-то раз и навсегда сформировавшемся и установившемся.

Во-вторых, теория познания, равно как и вся философия, теряет свою исключительность и рассматривается с тех же позиций, что и любая сложная нелинейная система, подчиняющаяся объективным законам нелинейной динамики. Следует отметить, что нелинейный подход к познанию, несмотря на кажущийся натурализм, не является ни натуралистическим (тем более, механистическим), ни простым. Как уже говорилось, нелинейная динамика и синергетика, являются эйдетическим науками, а их математические методы основаны на достижениях очень многих, иногда сверхсложных, дисциплин, многие их понятия рождены интеллектуальной интуиции и являются трансцендентными.

В-третьих, нелинейное описание предполагает возможность существования настолько сложных режимов, что они отрицают возможность точного описания, а описываются лишь вероятностно. Это означает, что сложные теоретические построения должны описываться не в терминах истинности, а в терминах достоверности, они не могут и не должны давать окончательные, незыблемые ответы на поставленные вопросы, они должны описывать изучаемые явления с некоторой, но не бесконечной степенью правдоподобия.

Кроме того, нелинейное поведение предполагает равноправное сосуществование разных структур, что означает допустимость и даже необходимость существования различных понятий, описывающих одно и тоже явление, различных теорий и т.д. Применение этих понятий и теорий "хорошо" и уместно в определенных рамках, аналогично тому, как тот или иной режим образуется в той или иной области параметров системы. С этих позиций меняется представление об истинности теорий: нет истинных и неистинных теорий, если теория возникла, значит ее возникновение подготовлено всем предшествующим развитием, она имеет право на жизнь, но рано или поздно умирает.

В-четвертых, нелинейное описание подразумевает существование в рассматриваемой системе в сильно нелинейных режимах детерминированных хаотических состояний. Это означает, что создания человеческой мысли могут приводить к совершенно удивительным, непредсказуемым последствиям, это неизбежно и закономерно.

Итак, представления о нелинейности развития, самоорганизации и детерминированном хаосе дают основания создать концепцию нелинейной эпистемологии, естественным образом решающей или снимающей некоторые проблемы философии науки.

Язык качественной теории динамических систем как саморазвивающаяся система. Теория колебаний и качественная теория динамических систем как универсальные науки, описывающие движения и процессы развития систем различной природы, не могли обойтись без создания особого языка. Этот язык должен был стать достаточно универсальным, чтобы описывать динамику самых разных систем, независимо от их физической природы, достаточно простым, чтобы быть понятным специалистам из разных областей знания, и достаточно точным, чтобы описывать все тонкости процесса движения.

Создание этого языка началось в рамках физики вместе с созданием теории колебаний, огромную роль в становлении этого языка сыграли Л.И.Мандельштам и А.А.Андронов.

Этот язык действительно стал универсальным и на первых порах простым. Такие колебательные термины как "осциллятор", "колебание", "автоколебание", "периодический" давно вошли во все естественные науки. Необходимость описания превращений различных видов движений потребовала привлечения в язык теории колебаний терминов и понятий из теории бифуркаций, сугубо строгой и сложной математической дисциплины. Это существенно усложнило развивающийся язык. Исследование динамики нелинейных систем, а затем и открытие хаотических автоколебаний поставили качественную теорию динамических систем перед необходимостью описывать и изображать геометрические образы хаотических движений – странные аттракторы. Если ньютоновская динамика потребовала введения в описание физических процессов дифференциального и интегрального исчисления, то хаотическая динамика потребовала введения в качественную теорию динамических систем принципиально новых, революционных аналитических, геометрических и топологических идей, например, фрактальных понятий. Язык качественной теории динамических систем, обогащенный понятиями из многих разделов математики, стал чрезвычайно сложным. Сегодня он включает в себя понятия теории колебаний, теории бифуркаций, теории множеств, дифференциальной геометрии, топологии, статистической физики, теории вероятности и других наук. Он стал настолько сложным, что требует перевода даже для специалистов из смежных областей. Метаязыком, служащим для общения более широкого круга специалистов и описывающим сверхсложные понятия на языке классических, стал язык теории колебаний.

Универсальность современного языка качественной теории динамических систем определяется, в первую очередь применимостью его основных понятий к системам самой различной природы: механическим, электрическим и электронным, радиофизическим, гидродинамическим, химическим, биологическим, экологическим, экономическим и даже социальным. За короткое время все эти понятия поднялись от узкоспециальных сначала до общефизических, а затем и до общенаучных. Общенаучный статус основных понятий языка нелинейной динамики в настоящее время широко обсуждается. Он доказан широкой применимостью таких понятий, как "аттрактор", "бифуркация", фрактал", "паттерн" в самых разных областях теоретического знания, в самых разных науках. Став общенаучными, эти понятия из-за своей сложности не стали азбучными, хотя без их применения сегодня не обходится описание ни одного хоть сколько-нибудь сложного динамического процесса.

Язык нелинейной динамики, несмотря на свою универсальность, является чрезвычайно строгим. Он очень точно описывает все мыслимые на сегодняшний день динамические ситуации, охватывает все многообразие нелинейных динамических режимов, включает в себя помимо общенаучных специальные понятия, известные лишь узким специалистам. К таким специальным понятиям относятся, в первую очередь, названия различных объектов фазового пространства (например, "сепаратриса", "многообразие", "тор", "метастабильное хаотическое множество" и другие), во-вторых, называния различных типов бифуркаций и переходов к хаосу ("седло-узел", "гомоклиническая", "гетероклиническая", "бифуркация удвоения периода", "перемежаемость" и т.д.), в-третьих, названия различных характеристик движения ("ляпуновские характеристические показатели", "мультипликатор", "спектр", "автокорреляционная функция" и пр.), и, наконец, характеристики и меры топологических объектов (различные виды фрактальных размерностей). Многие

из перечисленных понятий пришли в качественную теорию динамических систем из смежных наук, некоторые родились в ней самой.

Язык нелинейной динамики непрерывно развивается и гибко реагирует на развитие последней, открытие новых нелинейных явлений, которое происходит достаточно часто, незамедлительно приводит к рождению новых понятий.

Итак, из трех необходимых характеристик: универсальности, строгости и простоты язык качественной теории динамических систем обладает только двумя первыми. Его сложность отчасти определяется и его молодостью, вспомним, что на становление и распространение языка любой строгой науки уходит от нескольких десятков до нескольких сотен лет.

Отсутствие простоты несколько компенсируется наличием языка-переводчика, хотя все-таки является важным препятствием на пути распространения языка-объекта.

Характерной особенностью языка качественной теории динамических систем является удивительное сочетание высокой степени абстракции и наглядности, зримости, образности всех понятий. Высокая абстрактность языка нелинейной динамики связана, во-первых, с ее всеобщностью, а во-вторых со сложностью применяемых этой наукой математических методов и понятий. Например, понятие "аттрактор" является абстрактным, во-первых, потому, что применимо к любому устойчивому движению диссипативной динамической системы, будь то колебания численности какого-либо биологического сообщества или режим квантового генератора, а, во-вторых, потому, что для того чтобы им пользоваться, нужно обладать весьма абстрактными математическими знаниями. С другой стороны, несмотря на высокую степень абстракции, понятие "аттрактор" весьма наглядно, его можно изобразить, увидеть его эволюцию. Наглядность определяется прежде всего тем, что для описания различных видов движения применяются геометрические и топологические образы. Это своеобразное сочетание приводит к тому, что в рассматриваемом языке появляются наглядные образы не только существующих в реальности объектов (как правило, движений различных типов), но и изображения тех сущностей, которые в реальности никак не наблюдаются. Если хорошо представимые всеми специалистами предельные циклы, торы и странные аттракторы соответствуют конкретным, реальным движениям “живых” систем, то такие объекты фазового пространства, как сепаратрисы, многообразия, различные неустойчивые множества не соответствуют никаким видимым объектам, хотя во многом определяют характер движения, т.е., как будет показано в четвертой главе, являются виртуальными.

Такая двойственность нелинейного языка приводит к тому, что даже специалистам зачастую бывает достаточно сложно трактовать развитие тех или иных движений в фазовом пространстве и сопоставлять им реальные процессы. Именно поэтому далеко не всегда строгие законы нелинейной динамики получают верную интерпретацию у исследователей – экспериментаторов. Перевод с языка - объекта на метаязык, язык классической теории колебаний, не всегда бывает достаточно точен из-за сравнительной простоты последнего.

Итак, язык качественной теории динамических систем представляется чрезвычайно сложной, непрерывно развивающейся системой. Естественно, это развитие происходит по нелинейным законам, в нем есть место бифуркациям, процессам самоорганизации и хаотизации. По-видимому, первое резкое изменение (бифуркация) исследуемого языка произошло после открытия детерминированного хаоса и появления понятия "странный аттрактор".

Попытки описать развитие нелинейного языка в рамках существующих теорий языка сталкиваются с определенными трудностями. На первый взгляд, представляется правомерным описать его развитие в рамках концепции языковых каркасов Карнапа. Эта концепция предполагает, что открытие наукой новых сущностей связано с введением

новых способов выражений. Задать языковой каркас, по Карнапу, значит задать способы выражения, подчиняющиеся определенным правилам. Внутри языковых каркасов суждения о существовании выражаются не путем перечисления свойств якобы существующего, а выводятся из суждений об истинности. При этом высказывания типа "а обладает свойством А" заменяются предложениями, начинающимися с кванторов общности или кванторов существования, вида "для всякого а…" или " существует такое А…". Последние же могут быть либо эмпирически проверены, либо теоретически доказаны.

Теория колебаний создала собственный языковой каркас, предполагающий "ступенчатую" концепцию существования. Сначала было выражено существование объектов первого уровня, т.е. состояний равновесия (неподвижных точек фазового пространства), и произведена их классификация (фокус, седло, узел). Затем последовательно были "надстроены" представления о существовании периодических движений (предельных циклов) и квазипериодических движений (торы). При этом объекты каждого предшествующего уровня составляют подмножество объектов последующего уровня, например, множество состояний равновесия есть подмножество периодических движений с нулевым период и нулевой амплитудой и т.д.

При таком построении возникают внутренние вопросы существования, решаемые внутри языкового каркаса, и внешние вопросы о самом каркасе, о его уместности в связи с решаемыми проблемами. Внутренние вопросы решаются путем выявления внутренних концептуальных ресурсов принятого каркаса. Внешние вопросы решаются из прагматических соображений на основе конвенций научной школы. Если внутренних ресурсов каркаса не хватает для описания, вводится новый языковой каркас. Так и произошло после открытия детерминированного хаоса. Каркас классической теории колебаний принимал в качестве онтологии множество простых аттракторов. Каркас нелинейной теории колебаний основывается на онтологии странных аттракторов. Новый языковой каркас оказался несравненно сложнее и полнее предыдущего, он работает на гораздо большей глубине. Налицо иерархия языков с утверждениями о существовании.

Принятие нового языкового каркаса – это и есть бифуркация языка. Такие бифуркации претерпел, например, язык классической механики после введения квантовых понятий.

Однако концепция языковых каркасов становится упрощенной, если язык достигает определенной степени сложности. Любой достаточно сложный вновь возникший научный язык эквивалентен иностранному, он требует перевода на более привычный язык уже известной научной теории. Неопределенность, коренящаяся в принципиальных препятствиях познанию новых референций, достаточно далеко отстоящих от привычного опыта, приводит к относительности понятий. Если вновь принятые понятия слишком сложны, они становятся настолько относительными, что по-разному воспринимаются исследователями даже одной научной группы, говорящими на одном научном языке. В самом деле, произнося слова "странный аттрактор", каждый ученый мыслит себе свой собственный образ, соответствующий этому понятию, даже если он знает его точное определение и видит изображение странного аттрактора на экране компьютера или осциллографа. Дело усложняется еще и тем, что существуют различные виды странных аттракторов. Такая относительность понятий приводит к тому, что возникают разные интерпретации понятий и открытий, разные модели. Понятия могут потерять относительность только после переформулировки их в уже известном языке, после их "перевода", а это далеко не всегда возможно, перевод может быть неопределенным, а язык-переводчик – бедным.

Вот почему язык качественной теории динамических систем является прекрасной иллюстрацией тезиса Куайна об онтологической относительности. Относительность

референций любого языка, тем более научного, приводит к тому, что возможны только относительные интерпретации теорий. Поэтому научная теория не может приниматься как нечто, существующее абсолютно, независимо от языка теории. Столкнувшись с относительностью понятий языка нелинейной динамики, мы неизбежно должны придти к выводу, что этот язык влияет на развитие теории, на развитие онтологии нелинейных движений. Принимая новый, более сложный языковой каркас, референции которого далеко отстоят от привычного опыта, мы обязательно приходим к представлению об онтологической относительности, доказанному Куайном. Можно показать, что следствием онтологической относительности является наличие собственного внутреннего развития языка. В самом деле, язык с относительными референциями соотносится с исследуемой частью мира как неоднозначное отображение. Витгенштейн постулировал: " Предложение – образ действительности…". Если понятия относительны, то действительность может рождать разные предложения-образы, и напротив, предложение, равно как и слово, может иметь в действительности разные прообразы. Из теории отображений, органично влившейся в комплекс качественной теории динамических систем, известно, что именно неоднозначные отображения являются моделями сложной динамики и хаоса. Если язык становится неоднозначным отображением действительности, он может и должен рассматриваться как нелинейная, сложно развивающаяся система. Последнее означает, что существуют внутренние законы языка, определяющие его развитие.

Возникает вопрос: почему концепция языковых каркасов, применимая к различным научным языкам, может нарушаться? Дело в том, что существование языковых каркасов определяется соглашением группы ученых, т.е. "навязывается извне". Но если существуют внутренние законы развития самого языка, если язык саморазвивается, то он может и должен ломать навязанный языковой каркас. По-видимому, так происходит и с языком качественной теории динамических систем.

На развитие теории может влиять не только ее язык как целое, но и отдельные, самые значимые его понятия. Например, красота и неоднозначность понятия "странный аттрактор" привели к тому, что оно стало поначалу без достаточных оснований употребляться в областях знания, не связанных с математикой. Но именно это употребление наполнило его новым смыслом, "влило в него новые силы", что в итоге расширило область применения идей нелинейной динамики, сделало ее не только естественной, но и гуманитарной парадигмой. В подобных ситуациях налицо сложнейшая внешняя связь языка и теории, внутренние связи оказываются гораздо более сложными и с трудом поддаются иллюстрации. Подобные же связи с развитием теории наблюдаются и у понятий "самоорганизация", "фрактальность", "виртуальность" и т.д. Рожденные качественной теорией динамических систем понятия, развиваясь, меняют представления породившей их теории. Налицо обратная связь, столь характерная для нелинейных систем.

Сложность языка качественной теории динамических систем играет в его собственном развитии и развитии качественной теории динамических систем двоякую роль. Во-первых, она сужает круг специалистов, использующих этот язык для теоретических и практических изысканий. Во-вторых, став столь же сложным, как и описываемая им динамика, этот язык начинает развиваться по нелинейным законам, влияя на развитие родившей его теории. В нем возникают структуры различной сложности, он демонстрирует различные типы нелинейных режимов, обратные связи и т.д.

Знание законов этого языка может привести к открытию реальных законов движения.

Мысленное погружение в фазовое пространство, которое по сути дела является пространством образов нелинейного языка, позволяет понять законы развития как самого этого пространства, так и языка, эти образы рождающего. Язык, его образы и законы, могут оказаться сильнее известных законов динамики, и, сломав стереотипы, привести к научным открытиям. Так было, например, при открытии перехода к хаосу через неполный каскад бифуркаций удвоения периода, типичный для симметричных систем.

Вообще, эта ситуация является типичной для нелинейного языка: некоторое понятие рождает новое понятие, которое только позднее обнаруживается в численном или физическом эксперименте. Когда было обнаружено, что фрактальными могут быть бассейны притяжения различных режимов, у специалистов, знающих язык качественной динамики, сразу же родилась мысль: почему бы фрактальным не быть бифуркационным диаграммам? Фрактальность бифуркационных диаграмм, сначала родившись благодаря синтаксическим законам языка нелинейной динамики, довольно быстро была обнаружена и экспериментально. Язык нелинейной динамики часто подсказывает экспериментаторам пути поиска тех или иных явлений, когда законы развития последних еще не обоснованы теоретически.

Новый нелинейный язык является выразителем нелинейного мышления, которое, в свою очередь рождает нелинейную интуицию. Таким образом, знающим его и умеющим мыслить на нем исследуемый нами язык дает нелинейную интуицию, без которой в нелинейной динамике, несмотря на всю строгость последней, не получено ни одного сколько-нибудь значительного результата.

И наиболее точно нелинейный язык описывается в терминах создавшей его теории. В теории автоколебаний и радиофизике существует термин "обратная связь". Под обратной связью понимают воздействие результатов какого-либо процесса на его протекание.

Обратная связь является необходимым элементом любой нелинейной автоколебательной системы. Обратная связь определяет ход многих природных процессов, широко используется в технических устройствах.

По-видимому, между языком нелинейной динамики и ее развитием также существует обратная связь, приводящая к генерации новых идей, исследованию новых феноменов и даже созданию новых устройств: чем глубже становится язык, чем больше понятий он содержит, тем быстрее развивается нелинейная динамика, в свою очередь вновь обогащающая язык. Иначе и быть не может: язык нелинейной динамики в принципе должен быть нелинейным, а значит в нем должны возникать все основные нелинейные явления, в том числе и обратная связь, и автоколебания. Исследование других нелинейных образований языка качественной теории динамических систем, его структур – дело будущего.

Язык нелинейной динамики молод, он постоянно развивается, и работы по изучению его логического синтаксиса и логической семантики еще впереди, так же как и создание метатеории качественной динамики нелинейных систем. Однако уже сейчас ясна огромная роль нелинейного языка в формировании нового нелинейного мировоззрения, создавшего новую нелинейно-синергетическую парадигму современной науки. Во-первых, развитие этого языка индуцировало развитие нелинейной динамики и становление ее как новой науки. Во-вторых, этот язык обогатил многие науки такими понятиями, как "детерминированный хаос", "странный аттрактор", "диссипативные структуры", "фрактал", "бифуркация", теперь ставшими общенаучными. В-третьих, этот язык лег в основу нового "нелинейного" мышления". В-четвертых, нелинейный язык, особенно привлекательный для молодых ученых, способствовал притоку новых талантливых ученых сил в нелинейную динамику. Все вышеперечисленное сыграло

решающую роль в становлении новой общенаучной нелинейной парадигмы, невозможной и немыслимой без нового языка.

Именно благодаря этому языку современные молодые ученые смотрят на мир "нелинейным зрением", не представляя себе действительность линейной, несравненно обогащая свои представления обо всем существующем и развивающемся.

Итак, эйдетически варьируя понятие "хаос", мы очертили круг систем, допускающих хаотическое поведение, выяснили методологические принципы исследования подобных систем, определили характерные черты хаотического развития и тем самым прошли "вторую ступень" феноменологического анализа детерминированного хаоса. Некоторые задачи, которые возникли и решались на этом этапе, кажутся "побочными" для изучения существенных свойств хаоса, но их постановка и решение обогатили нас знанием того, что представления о детерминированном хаосе неизбежно меняют представления о развитии самых разных систем и вооружают нас универсальной и удобной методологией исследования. В итоге мы продвинулись и в постижении самого хаоса. Основным результатом этого этапа является вывод о том, что детерминированный хаос – это феномен, существенно меняющий наши представления о возможном характере развития и дающий новый взгляд на многие важные явления и процессы в системах самой различной природы, в том числе и гуманитарных.

POST NON-CLASSICAL THEORY OF DEVELOPMENT

Afanaseva V.V. - Doctor of Philosophy. n., Ph.D. physics and mathematics, member of the Petrovsky academy of sciences and arts, prof., prof. philosophy Faculty of Saratov State University, **Anisimov N.S.**

Abstract. The huge role of a non-linear language in the formation of a new non-linear worldview, which created a new non-linear-synergetic paradigm of modern science, is shown.

First, the development of this language induced the development of nonlinear dynamics and its formation as a new science.

Secondly, this language has enriched many sciences with such concepts as "deterministic chaos", "strange attractor", "dissipative structures", "fractal", "bifurcation", which have now become general scientific.

Thirdly, this language formed the basis of a new "non-linear" thinking.

Fourth, the non-linear language, which is especially attractive to young scientists, has contributed to the influx of new talented scientists into non-linear dynamics. All of the above played a decisive role in the formation of a new general scientific non-linear paradigm, impossible and inconceivable without a new language.

It is thanks to this language that modern scientists look at the world with a "nonlinear vision", not imagining a linear reality, incomparably enriching their ideas about everything that exists and develops.

So, eidetically varying the concept of "chaos", outlined the range of systems that allow chaotic behavior, found out the methodological principles for the study of such systems, determined the characteristic features of chaotic development, and thus passed the "second stage" of the phenomenological analysis of deterministic chaos.

Keywords: nonlinear dynamics, nonlinear-synergetic paradigm, chaos, self-organization, systems