Р.А. Браже
Р.М. Мефтахутдинов

КОНЦЕПЦИИ СОВРЕМЕННОГО ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ

Материалы к семинарским занятиям

Часть 2

Министерство образования Российской Федерации
Ульяновский государственный технический университет

Р.А. Браже, Р.М. Мефтахутдинов

КОНЦЕПЦИИ СОВРЕМЕННОГО ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ

МАТЕРИАЛЫ К СЕМИНАРСКИМ ЗАНЯТИЯМ

Часть 2

Учебное пособие
для студентов экономических специальностей
технических университетов

Ульяновск 2003

УДК 50(075)
ББК 20я7
Б87

Утверждено редакционно-издательским советом университета
в качестве учебного пособия

Рецензенты:

кафедра экспериментальной физики
Ульяновского государственного университета
(зав. кафедрой — д-р физ.-мат. наук, проф. Э. Т. Шипатов).
Д-р филос. наук, проф. А. Н. Чекин

Браже Р.А.
Б 87 Концепции современного естествознания. Материалы к семинарским занятиям. Ч. 2: Учебное пособие / Р. А. Браже, Р. М. Мефтахутдинов. — Ульяновск: УлГТУ, 2003. — 126 с.
ISBN 5-89146-450-0

Представлены методические материалы к семинарским занятиям по курсу «Концепции современного естествознания». Объем пособия рассчитан на время, отводимое учебными планами и программами для студентов экономических специальностей на второй семестр изучения курса.

УДК 50(075.8)
ББК 20я7

© Браже Р. А., Мефтахутдинов Р. М., 2003
© Оформление. УлГТУ, 2003

ISBN 5-89146-450-0

Оглавление

Предисловие к части 2 ……..…….. 6

16. Что такое жизнь? …….…….…. 7
16.1. Что такое жизнь? ..……..…….…. 7
16.2. Стратегия жизни …….….. 9
16.3. Клетка — элементарная единица живого ……..….. 11

17. Критика «Научного креационизма» ……. 16
17.1. Креационизм и его современное состояние ……..… 16
17.2. Аргументация сторонников
«Научного креационизма» …… 17
17.3. Что говорит наука? ……..……. 18

18. Гипотезы о происхождении жизни ……..…….. 21
18.1. Постановка вопроса …….……. 21
18.2. Самопроизвольное зарождение жизни …….…….. 22
18.3. Стационарное состояние живого ……. 23
18.4. Панспермия …… 23
18.5. Биохимическая эволюция …… 23

**19. Генная инженерия и молекулярно-
генетические технологии** …… 25
19.1. Краткая история генетики ……..…….. 25
19.2. Генная инженерия и ее достижения …… 28
19.3. Проблемы, связанные с генной инженерией …….. 30

20. Клонирование: плюсы и минусы …… 32
20.1. Техника клонирования …… 32
20.2. Практическая польза от клонирования …….. 34
20.3. Возможные негативные последствия
клонирования человека ……..……... 35
21. Солнечная активность и солнечно-земные связи ……... 39
21.1. Циклы солнечной активности ……..…… 39
21.2. Природа цикличности солнечной активности ……... 41
21.3. Солнечно-земные связи …… 42

22. Космические циклы: климат и человек ……..……. 45
22.1. Космические циклы, связанные с особенностями земной орбиты …… 45
22.2. Астрономическая теория глобальных изменений климата …….……... 48
22.3. Ледниковые эпохи и человек …….. 49

23. Фракталы……..……... 53
23.1. Понятие о фракталах …..…….. 53
23.2. Фракталы в природе ……..…….. 58
23.3. Фракталы в экономике ……. 63

24. Солитоны …….…… 65
24.1. Ударные волны. Уравнение Бюргерса …… 65
24.2. Солитоны. Уравнение Кортевега-де Вриза ……..……. 67
24.3. Фазовый портрет нелинейных волн в диссипативной среде. Возможные решения уравнения КдВ ……..……. 68
24.4. Солитоны в природе и технике……. 71

25. Детерминированный хаос ……..…….. 74
25.1. Между порядком и хаосом ……... 74
25.2. Детерминированный хаос ……..……. 76
25.3. Детерминированный хаос и фрактальность …….. 77

26. Самоорганизация в природе …….……... 80
26.1. Примеры самоорганизации в неживой природе …… 80
26.2. Примеры самоорганизации в живой природе …… 86

27. Синергетика и мышление …….……... 93
27.1. Мышление, его ступени и формы ……... 93
27.2. Эволюция мышления. Интеллект ……..…….. 95
27.3. Нейронные сети ……...…….. 98
27.4. Как мы думаем? ……. 102

28. Синергетика и экономика …….……... 105
28.1. Методы исследования социально-экономических систем ….……..…… 105
28.2. Экономические циклы ……...……... 110
28.3. К синергетической экономике ….…… 112

29. Ноосфера и ноосферное мышление …..…….. 113
29.1. Развитие представлений о ноосфере ……... 113

29.2. Ноосферная реальность …..…….. 114
29.3. Формирование ноосферного мышления …..……... 116

Заключение …….……... 118

Библиографический список ……... 120

Предисловие к части 2

> Если ты внутренне, несомненно, сознаешь, что не для собственной потехи хочешь ты учить людей, но что сам Бог призывает тебя к учительству, то пойди по этому пути.
>
> *Эпиктет*

Первая часть нашего пособия давала ответ на вопрос: как устроен мир? В настоящей, второй части, объясняется, почему он так устроен. Здесь изложены проблемные вопросы биологии, космические аспекты климата, биосферы и человеческой цивилизации, элементы общей теории эволюции открытых, нелинейных, диссипативных динамических систем. Изложение материала ведется с позиции теории самоорганизации — синергетики.

Из 14 тем второй части 2 темы (16 и 19) подготовлены Р. М. Мефтахутдиновым, остальные — Р. А. Браже. Общее редактирование пособия выполнено Р. А. Браже.

Р. А. Браже
Р. М. Мефтахутдинов

16

Что такое жизнь?

Для живых систем характерны высокая упорядоченность — значительно более высокая, чем у любых известных нам неживых систем.

Г. Кастлер

16.1. Что такое жизнь?

Определение жизни. Человек проявлял интерес к познанию животного и растительного мира еще на самых ранних этапах зарождения человечества. Кроме того, что этот мир был для него источником средств к существованию, он таил множество опасностей для жизни. Было важным знать, какие животные или растения стоит использовать в своих интересах, а какие нет. Здесь мы, пожалуй, встречаемся с первой классификацией живых организмов — полезные и вредные.

По мере накопления знаний появились идеи о едином строении всего разнообразия организмов. Важнейшим шагом в понимании этого стало открытие в 1839 г. Т. Шванном и М. Шлейданом клеточного строения растительных и животных организмов. Оказалось, что несмотря на различие в форме, размерах и даже некоторых деталях химической организации, строение и функции всех клеток одинаковы. Обоснованием единства органического мира послужили законы наследственности, названные по именам ученых, открывших их: Г. Менделя, Г. де Фриза, К. Корренса, К. Чермака, Т. Моргана, Дж. Уотсона и Ф. Крика. Эти законы раскрывают механизмы передачи наследственности от клетки к клетке, а через клетки — от одной особи к другой.

Разнообразие живых организмов создает трудности для однозначного определения жизни. Многие мыслители и ученые в своих

попытках дать определение жизни, указывали лишь некоторые ее свойства. Так, Аристотель интерпретировал ее как «питание, рост и одряхление»; А. Лавуазье принимал ее за «химическую функцию»; И.П. Павлов определял жизнь как «сложный химический процесс»; А.И. Опарин считал ее «особой, очень сложной формой движением материи».

Для практических целей удобно использовать такое определение, где собран комплекс свойств жизни. Рассмотрим часть из них.

Свойства жизни. Живые существа взаимодействуют с окружающей средой посредством обмена веществ, который делится на два процесса — *ассимиляцию* (*анаболизм*) и *диссимиляцию* (*катаболизм*). Под ассимиляцией понимается процесс образования и обновления клеток, а под диссимиляцией — расщепление органических веществ для обеспечения организма энергией и веществами с целью поддержания жизнедеятельности. В организм поступают вещества, необходимые для его жизни, а в результате процесса обмена веществ из него выделяются некоторые продукты в окружающую среду, т. е. организм является открытой системой.

Обязательным свойством жизни является способность сохранять упорядоченность на определенном и достаточно высоком уровне. Действительно, в процессе обмена веществ в клетке человека согласованно протекает более 10 000 химических реакций. Организм при жизни постоянно самообновляется, т. е. в нем постоянно воссоздаются структуры, соответствующие изношенным или утраченным. Для поддержания необходимого порядка необходимо затрачивать энергию. Увеличение степени упорядоченности ведет к смерти организма, а уменьшение — к невозможности обмена веществ, а значит, к невозможности самообновления. Организм стареет, что, в конечном итоге, также ведет к смерти.

Для самообновления и обеспечения жизнедеятельности живые формы используют генетическую информацию, которая хранится в наследственном веществе клеток (молекулах ДНК) и отбирается в ходе естественного отбора, по принципу полезности. Эта информация с помощью рибонуклеиновых кислот (РНК) переносится на белок, который постоянно обновляется. Каждое новое поколение белковых молекул сохраняет исходную структуру. В итоге, белки несут в себе одну и ту же информацию и выполняют одни и те же функции, необходимые клетке и всему организму.

Таким образом, мы пришли к важному свойству жизни*: хранению наследственной информации в молекулах ДНК и использованию ее в процессе жизнедеятельности*.

Продолжительность жизни организмов ограничена. Поэтому сохранение жизни во времени зависит от другого ее свойства: *способности к размножению*.

Еще одним свойством жизни является *способность к росту*. Оно проявляется в ходе индивидуального развития организма — *онтогенезе*.

Существуют свойства, отражающие универсальные принципы жизни в пространстве и времени. Таким свойством является, например, *включенность организмов в процесс эволюции*, поэтому жизнь на Земле сохраняется вот уже более 3 млрд лет.

Итак, с учетом рассмотренных свойств, *определим жизнь как макромолекулярную открытую систему, способную к самовоспроизводству и самообновлению* (*обмен веществ*).

16.2. Стратегия жизни

Находки ученых показывают, что жизнь на Земле существует на протяжении 3,5 млрд лет. Из них более 3 млрд лет она ограничивалась водной средой обитания. Когда жизнь вышла на сушу, уже существовали прокариоты, низшие и высшие растения, простейшие многоклеточные животные, включая позвоночные.

Первые организмы современная наука называет прокариотами, или доядерными. Это были одноклеточные существа с простым строением. К ним относятся бактерии и сине-зеленые водоросли (цианобактерии). В течение более 2 млрд лет прокариоты были единственными живыми организмами. За это время появились механизм фотосинтеза и эукариоты, или ядерные организмы.

Фотосинтез открыл доступ к солнечной энергии. Появление растений, которые использовали эту энергию для своей жизнедеятельности, привело к образованию кислорода в атмосфере. В ходе эволюции появился механизм дыхания.

Около 1,5 млрд лет назад появились организмы эукариотического типа. Они отличаются от прокариот более сложным строением и большим объемом наследственной информации. Если ДНК у бактерий составляет $4 \cdot 10^6$ пар нуклеотидов, то у млекопитающих $(2 \div 5) \cdot 10^9$ пар.

Первые эукариоты имели одноклеточное строение. С их эволюцией, около 600 млн лет назад, появились многоклеточные организмы, из которых появилось широкое разнообразие живых существ. Хордовые животные появились около 500 млн лет назад. По своему строению они существенно отличались от остальных организмов. С эволюцией хордовых связано появление позвоночных животных, а из их

из их группы, примерно 200 — 250 млн лет назад, возникают млекопитающие, особенностью которых является особый тип заботы о потомстве — кормление детенышей молоком. Новые отношения между родителями и потомством приводят к укреплению связи между поколениями, передаче опыта. Эволюция отряда приматов привела к появлению человека около 1,8 млн лет назад.

Мы перечислили основные пункты развития жизни от простейших одноклеточных организмов до людей, наделенных разумом и способностью к созидательной деятельности. На каждом этапе развития жизни присутствуют самые разнообразные формы живых существ, отличающиеся друг от друга строением, выполняемыми функциями и временем появления в ходе эволюции. На современном этапе эволюции на Земле сосуществуют как многоклеточные эукариотические организмы, так и одноклеточные, и прокариоты, представленные бактериями и сине-зелеными водорослями.

Таким образом, эволюция характеризуется следующими общими чертами:

- жизнь в процессе развития переходила от простейших одноклеточных к более сложным, как по строению, так и по выполняемым функциям, организмам;
- любые формы жизни сохраняются до тех пор, пока условия обитания удовлетворяют их запросам;
- организмы проходят стадии как увеличения, так и уменьшения численности и распространенности.

На протяжении всего времени развития жизни можно выделить три типа прогресса, отличающихся друг от друга.

Биологический прогресс наблюдается, когда идет увеличение количества особей, расширяется территория их обитания, нарастает количество таксонов — подчиненных групп более низкого ранга. Примером здесь могут служить насекомые и млекопитающие.

Морфофизиологический прогресс связан с изменением в структуре организмов в ходе эволюции. Такие изменения помогают им выжить и расселиться в среде обитания с более сложными условиями.

Неограниченный прогресс определяется такими крупными эволюционными изменениями, как появление клетки, сначала прокариотической, а затем эукариотической, возникновение многоклеточности, хордовых, позвоночных и т. д.

Более сложные организмы потребляют большее количество энергии для поддержания жизнедеятельности и используют больший объем генетической информации при воспроизводстве. В связи с этим отметим еще два стратегических принципа развития жизни: увеличе-

ние внутренней энергии и генетической информации в процессе жизнедеятельности.

16.3. Клетка — элементарная единица живого

Клеточная теория была создана немецким зоологом Т. Шванном в 1839 г. В своих работах он опирался на труды М. Шлейдена, поэтому авторство теории приписывается им обоим.

В основе современной клеточной теории лежит три постулата:

1. Какие бы простые или сложные формы ни принимала жизнь, в конечном итоге в структурном, функциональном и генетическом плане она определяется только клеткой.
2. В настоящее время клетки образуются лишь путем деления предшествующей клетки.
3. Хотя клетка и является структурной единицей многоклеточного организма, последний характеризуется рядом свойств, которых нет у отдельных клеток. Новые качества появляются в результате взаимодействия клеток.

Типы клеток. Несмотря на существование в природе огромного числа клеток, различающихся по форме, размерам, функциональным и химическим особенностям их можно разделить на два типа: *прокариотический и эукариотический*.

Прокариотическая, или безядерная, клетка отличается малыми размерами (0,5—3,0 мкм), отсутствием обособленного ядра и системы мембран. Генетический материал представлен в ДНК одной кольцевой хромосомой, не отделенной мембраной от цитоплазмы и лишенной гистонов (гистоны — белки клеточных ядер). В прокариотических клетках отсутствует клеточный центр, ей не свойственно внутриклеточное перемещение цитоплазмы. Время образования клетки из материнской исчисляется десятками минут. К представителям этого типа можно отнести бактерии и цианобактерии (сине-зеленые водоросли).

Эукариотический тип клеточного строения свойственен как простейшим, так и многоклеточным организмам. В цитоплазме простейших находятся миниатюрные тельца, которые выполняют функции органов многоклеточных организмов. Так, например, цитостом, цитофарингс и порошица в инфузории играют роль пищеварительной системы, а сократительные вакуоли — выделительной системы.

Строение эукариотической клетки. Упорядоченность внутреннего строения клетки обеспечивается путем деления ее объема на от-

дельные ячейки, отличающиеся друг от друга химическим составом и, как следствие, выполняемыми функциями. Разделение осуществляется биологическими мембранами, состоящими из двойного слоя липидов (жиров) со встроенными белковыми молекулами. Мембраны выполняют барьерную функцию и обеспечивают избирательную проницаемость веществ.

Клетки отделяются от окружающей среды клеточной оболочкой, или плазмалеммой. Внешний ее слой — *гликокаликс* — имеет толщину порядка 10 ÷ 20 нм и состоит из гликопротеинов и гликолипидов. Внутренний слой, толщиной 0,1 ÷ 0,5 мкм, называется *кортикальным* (корковым).

Клетка состоит из *ядра* и *цитоплазмы*. Ядро, отделенное от цитоплазмы оболочкой, содержит *ядрышко*, *хроматин* и *нуклеоплазму* (ядерный сок).

В ядрышках происходит образование рибосомальных РНК.

Хроматин представляет собой интерфазную форму существования хромосом.

Ядерный сок образует внутреннюю среду ядра. Его основными компонентами являются белки.

Цитоплазма включает вещества, образующее внутреннюю среду клетки (*матрикс*, *гиалоплазма*), *включения* и *органеллы*.

Гиалоплазма объединяет все внутриклеточные тельца и обеспечивает взаимодействие их друг с другом.

Под включениями понимают непостоянные компоненты матрикса. К ним относятся запасные питательные вещества (жир, гликоген) и продукты, выводимые из клетки.

Органеллами называют постоянные компоненты цитоплазмы, которые выполняют определенные функции. Различают специальные и общего значения органеллы. Специальными органеллами, например, являются микроворсинки всасывающей поверхности эпителия кишечника, синаптические пузырьки, переносящие нервное возбуждения от одной нервной клетки к другой, реснички эпителия бронхов и т.д. Специальные органеллы, как правило, в значительном количестве встречаются в клетках, выполняющих специфические функции.

К органеллам общего значения относятся *элементы канальцевой* и *вакуолярной системы* в виде шероховатой и гладкой цитоплазматической сети, *митохондрии*, *пластинчатый комплекс Гольджи*, *рибосомы*, *полисомы*, *лизосомы*, *пероксисомы*, *микрофибриллы*, *микротрубочки* и *центриоли клеточного центра*.

Канальцевая и вакуолярные системы образованы сообщающимися или отдельными трубчатыми полостями и распространяются по всей цитоплазме. Эта система представлена гладкой и шероховатой

плазматическими сетями. Гладкая плазматическая сеть связана с обменом углеводов, жиров и других соединений небелковой природы.

К мембране шероховатой плазматической сети прикреплены полисомы, поэтому основной функцией названной сети является синтез белка. Также в области шероховатой сети происходит сборка цитоплазматических мембран. По канальцам происходит перемещение веществ.

Митохондрии — структуры палочковидной формы, как правило, ветвящиеся. Толщина составляет около 0,5 мкм, длина — 5 ÷ 10 мкм. Оболочка митохондрий состоит из двух мембран, внутренняя мембрана содержит матрикс органеллы, содержащий собственный аппарат синтеза белка (ДНК, рибосомы, транспортные РНК и ферменты, участвующие в процессе транскрипции и трансляции).

Функции митохондрий заключаются в извлечении, путем окисления, энергии из некоторых химических веществ и последующего ее хранения в виде молекул АТФ (аденозинтрифосфата).

Пластинчатый комплекс Гольджи образован совокупностью уплощенных дискообразных цистерн. В пластинчатом комплексе образуются вакуоли, содержащие белки и различные соединения, подлежащие выводу из клетки. Здесь также образуются лизосомы.

Рибосома представляет собой округлую рибонуклеиновую частицу, состоящую из двух субчастиц — большой и малой, которые объединяются в присутствии информационной РНК (иРНК). На одной иРНК, как правило, находится несколько рибосом. Такую структуру называют *полисомой*. Полисомы находятся в свободном виде в гиалоплазме или прикреплены к мембранам шероховатой плазматической сети. И в том, и другом случаях они являются местом синтеза белка.

Лизосомы — это пузырьки диаметром 0,2 ÷ 0,4 мкм. Основная функция лизосом связана с перевариванием различных химических соединений.

Пероксисомами называются пузырьки диаметром 0,1 ÷ 1,5 мкм, ограниченные одной мембраной. Внутренняя среда органеллы образована мелкозернистым матриксом, содержащим белковые включения и различные ферменты. Эти ферменты являются катализаторами в реакциях метаболических циклов.

Микрофибриллы — длинные и тонкие образования. Они выполняют механическую, каркасную функцию, а также принимают участие в организации направленного движения различных органелл.

К микротрубочкам относят трубчатые органеллы, лишенные мембран. Они содержатся как в свободном виде в основном веществе цитоплазмы, так и в качестве элементов жгутиков и ресничек центриолей. Свободные микротрубочки выполняют опорную функцию,

определяя форму клеток, и, кроме того, способствуют целенаправленному перемещению веществ клетки.

Центриоль представляет собой полый цилиндр. Ее функция состоит в поляризации процесса деления, в результате чего сестринские хроматины расходятся в анафазе митоза.

На рис. 16.1 представлена структура обобщенной животной клетки, выявленная с помощью электронного микроскопа.

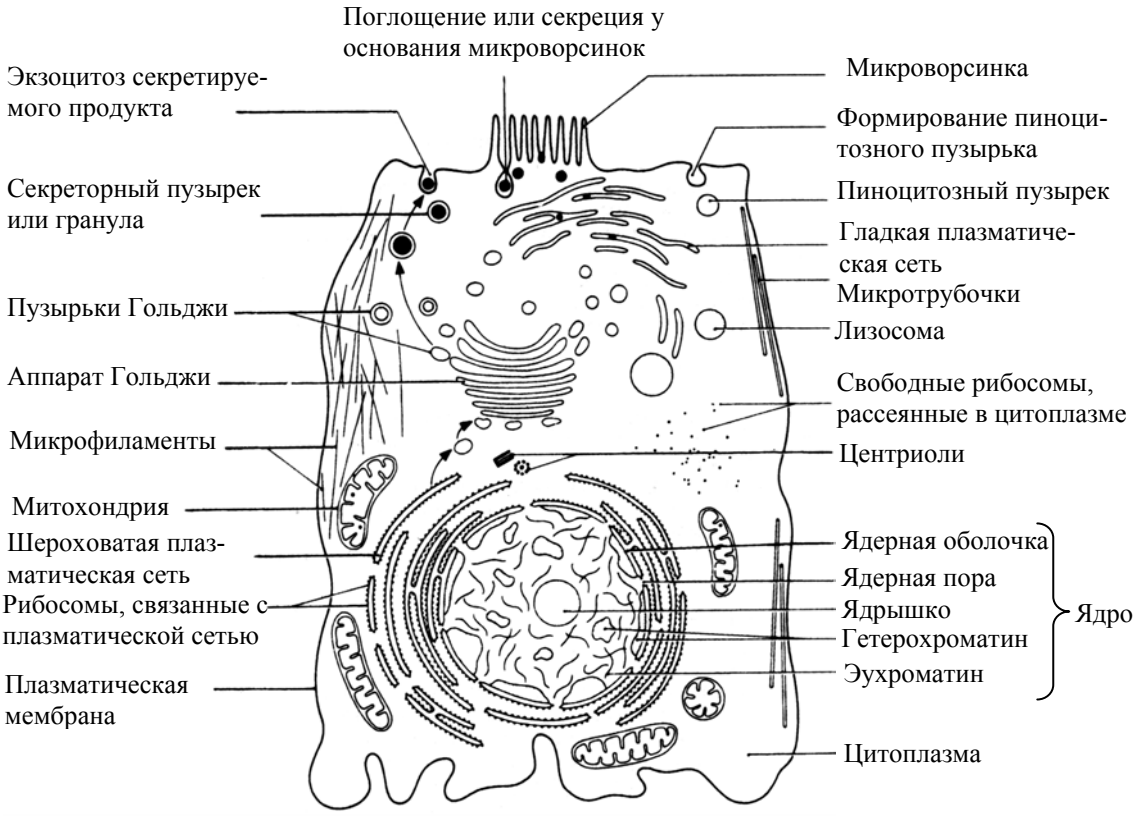


Рис. 16.1. Структура обобщенной животной клетки (Из кн. Грин Н., Стаут У., Тейлор Д. Биология. Т.1. / Под ред. Р. Сопера. — М.:Мир, 1996)

В растительных клетках, кроме перечисленных структур, находятся *пластиды* и *вакуоль* (рис. 16.2). Различают 3 типа пластид: *хлоропласты* — зеленые; *хромопласты* — красные, оранжевые и желтые; *лейкопласты* — бесцветные.

Хлоропласты — двумембранные органеллы продолговатой формы, обеспечивающие процесс фотосинтеза. Хромопласты — двумембранные органеллы шаровидной формы, содержащие красный, желтый и оранжевый пигменты, в связи с чем придают окраску цветам, листьям и плодам. Лейкопласты — двумембранные неокрашенные пластиды шарообразной формы, на свету могут переходить в хло

пласты. Основная функция: запас питательных веществ в виде крахмальных зерен.

Вакуоль представляет собой мембранную полость, заполненную матриксом цитоплазмы. Выполняет функцию регуляции осмотического давления

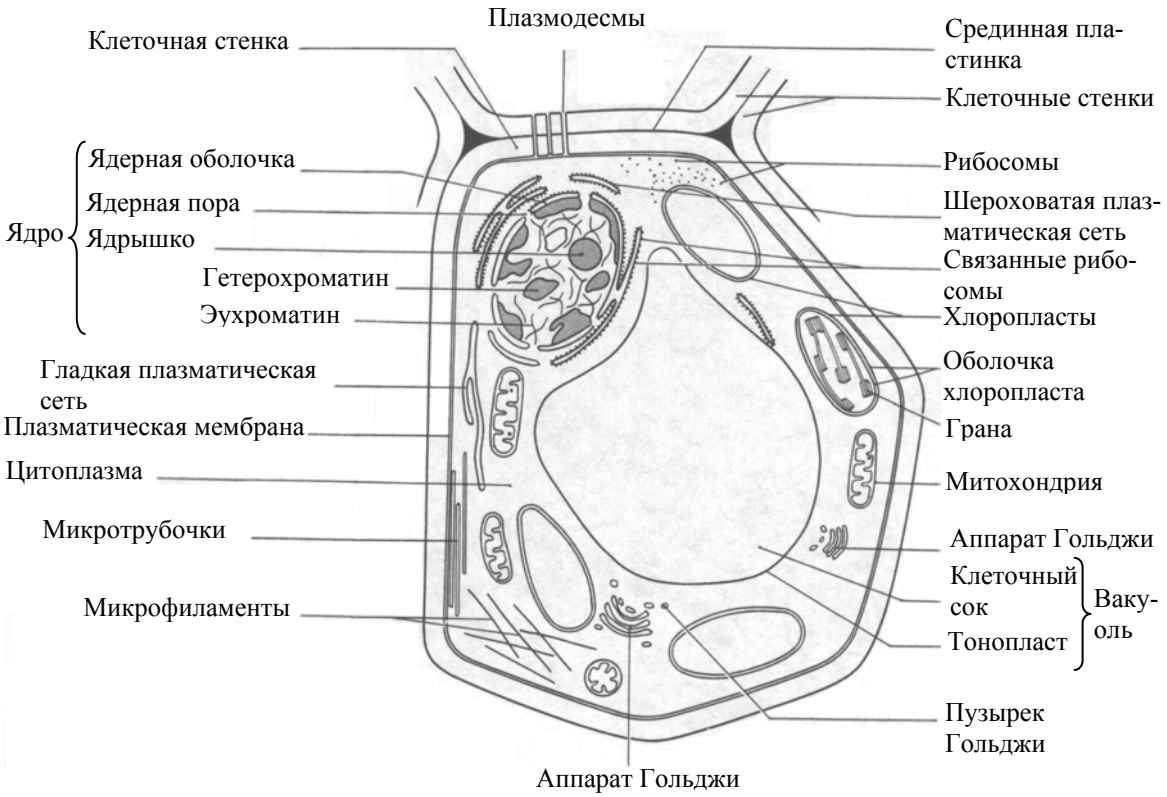


Рис. 16.2. Структура обобщенной растительной клетки (Из кн. Грин Н., Стаут У., Тейлор Д. Биология. Т.1. / под ред. Р. Сопера. — М.:Мир, 1996)

17

Критика «Научного креационизма»

> Ведь известно, что при обычном течении событий порядок в природе всегда стремится уменьшиться и потому нелегко понять, как живое могло возникнуть из неживых предшественников.
>
> *Г. Кастлер*

17.1. Креационизм и его современное состояние

Креационизм (от лат. *creatio* — творение, создание) исходит из убеждения, что жизнь на Земле была сотворена неким сверхъестественным существом — Богом. Эта идея лежит в основе почти всех религий (см. семинар 2). Ее поддерживает и ряд богословствующих ученых, стремящихся доказать, что достижения науки лишь подтверждают написанное в Библии, Коране и других священных книгах. В 1650 г. ирландский архиепископ Ашер Арисский пришел к выводу, что Бог сотворил мир в 4004 г. до Рождества Христова и завершил свой труд сотворением человека в 9 часов утра 23 октября. Столь «точный» результат Ашер получил, анализируя генеалогическое древо библейского Адама, складывая возрасты его потомков вплоть до Христа. Однако сегодня эту дату мы можем рассматривать лишь как исторический курьез, ибо получается, что Адам жил в то время, когда в междуречье Тигра и Евфрата уже существовали крупные города-государства.

Тем не менее, креационизм не канул в небытие, а успешно продолжает существовать под вывеской так называемого «научного креацио-

низма». Это направление в христианской, главным образом, протестантской теологии сформировалось в 70-х гг. XX в. Его идеологи Г. Моррис, Дж. Уиткомб, Д. Гиш, Х. Кларк, Дж. Паркер, Н. Сегрейвз (США), А. Пикок (Великобритания), В Пирс, П. Оверхаге, У. Гербер, Э. Фер (ФРГ) и другие ставят своей целью подвести научную базу под библейскую картину мироздания. Центры и институты креационных исследований в Анн-Арборе, Сан-Диего (США) и другие проводят активную работу в рамках издания и распространения литературы креационистского толка, подготовки преподавателей научного креационизма для школ и колледжей, учебных пособий, кино- и видеофильмов по предмету «Научный креационизм», который включен в учебные планы ряда учебных заведений США, Западной Европы и Австралии.

Естественно, что подобного рода «предмет» конкурирует с курсом «Концепции современного естествознания» в вопросах формирования мировоззрения и понимания природы, поэтому мы не можем быть безучастными наблюдателями проникновения выдвигаемых в нем идей в умы учащейся молодежи. Целью данного семинара является системный анализ «Научного креационизма», выявления содержащихся в нем позитивных и негативных положений и обоснование с позиций современной науки тех факторов, которые креационизм считает противоречащими наблюдаемой реальности.

17.2. Аргументация сторонников «Научного креационизма»

В основу своей аргументации о сотворении мира Богом идеологи «Научного креационизма» заложили два тезиса:

1. Противоречие между возникновением сложноорганизованной Вселенной и следующим из второго начала термодинамики принципом возрастания энтропии.
2. Противоречие между эволюционным учением Дарвина и наблюдаемое иерархической системой таксонов (отсутствие непрерывной последовательности изменяющихся и переходящих друг в друга видов).

По обеим затронутым проблемам у защитников креационизма нет единства взглядов. Например, по поводу шести «дней творения»: Г. Моррис и Дж. Уиткомб считают их буквальными днями скорого и недавнего творения мира. А. Кастанс — днями ускоренного ретворения но-

вого, более совершенного мира, чем ранее созданный его черновой вариант. У. Гербер и В. Пирс считают эти дни геологическими эпохами.

В вопросе эволюционного развития живой природы у креационистов также имеются разногласия. Г. Моррис, основываясь на данных палеонтологии, считает, что все виды независимы друг от друга и разделены незаполненными промежутками. По В. Пирсу возникновение совершенных видов через случайные дупликации и делеции генов или рекомбинации хромосом невозможны, так как большинство мутаций, как показывают результаты биологических исследований, имеют негативные последствия. Универсальность и неизменность генетического кода как механизма передачи наследственной информации, по мнению В. Пирса, как раз и указывают на его божественное происхождение. Не отрицая роль мутаций и развития в живых организмах, А. Костанс считает, что они направляются и контролируются Богом. Развитие этих взглядов привело к появлению *теологического эволюционизма.* Его сторонники П. Оверхаге, Э. Фер, О. Шпюльбек полагают, что основой эволюции является творческая воля Бога. Однако в рамках этого направления в креационизме имеются и другие взгляды. Так, А. Пикок не отрицает роль случая в эволюции, считая, что Бог создал многовариантные возможности развития.

Подробному разбору различных течений в «Научном креационизме» и его критике на основе современных достижений физики, космологии и биологии посвящена книга С. В. Девятовой*.

17.3. Что говорит наука?

Как видите, современный креационизм не столь прост, чтобы его можно было раскритиковать в нескольких словах. Действительно, согласно второму началу термодинамики в изолированной системе все процессы наиболее вероятно протекают в направлении, приводящем к возрастанию энтропии (см. семинар 14). Возникновение сложноорганизованной наблюдаемой Вселенной с ее многочисленными галактиками, звездами, планетами, жизнью и разумом свидетельствуют о том, что наша Вселенная не является изолированной системой, а открыта (или была открыта) по отношению к некоторому внешнему воздействию. Об этом же говорит и появившаяся в XX в. теория Большого взрыва, по которой

* Девятова С. В. Религия и наука: шаг к примирению. — М.: МГУ, 1993. — 168 с.

начало нашей Вселенной положило начавшееся около 15 млрд лет назад ее расширение (см. семинар 9). По данным космологии в первые мгновения после Большого взрыва в зарождающуюся Вселенную было испущено огромное количество энергии в виде излучения, максимум спектральной плотности которого приходится на видимый диапазон длин волн. По мере раздувания Вселенной, она охлаждалась, и теперь это так называемое *реликтовое излучение Вселенной* наблюдается в радиоволновом диапазоне. Оно было предсказано Джорджем (Георгием) Гамовым в 1946 г. и экспериментально обнаружено в 1965 г. с помощью радиотелескопа А. Пензиасом и Р. Вильсоном (США), удостоенным за это открытие Нобелевской премии по физике. «Вот видите, — говорят креационисты, — самое развитие науки подтверждает, что мир был создан Творцом, а реликтовое излучение как раз и есть тот свет, что был Им создан в первый день творения!»

Нелегко ответить креационистам и на вопрос, почему в природе не наблюдаются переходные формы живых организмов, подтверждающие плавный, эволюционный путь развития. Нигде не обнаружены ископаемые останки жираф, у которых шея была бы вдвое короче, чем у их нынешних представителей. Не найдены и останки слонов с более коротким, чем теперь, хоботом. Такое впечатление, что существующие ныне виды появились уже вполне сложившимися. Что касается динозавров и прочих вымерших животных, то креационисты не возражают против естественного отбора, но и их они считают не ступенями эволюции, а самостоятельными видами, предназначенными для той геологической эпохи, в которую они обитали на Земле.

Как следует из современной биологии развития, основанной на достижениях молекулярной генетики и эмбриологии, многие вопросы, связанные с пространственной организацией живых организмов в ходе видообразования не могут быть поняты с позиций одной лишь биологии, а требуют более общего, синергетического подхода. С основами синергетики — науки о самоорганизации сложных динамических систем мы познакомимся позже, в конце нашего курса, а пока ограничимся констатацией того факта, что процесс самоорганизации происходит не непрерывным образом, а связан с бифуркациями, при которых происходит качественная перестройка системы, и переходами в одно из возможных ее стационарных состояний.

В целом синергетика не имеет ничего против креационизма, если под термином Бог понимать внешнее по отношению к системе (Вселенной или какой-либо ее части) воздействие. Тогда, согласно хорошо из-

вестному принципу Кюри (см. семинар 12), симметрия системы понижается (т.е. происходит упорядочение), и в ней сохраняются лишь элементы симметрии, общие с элементами симметрии воздействия. Есть даже определенная польза от «Научного креационизма»: он заостряет проблемные вопросы науки, побуждая ученых заняться их более глубокой проработкой. Это вовсе не означает, что мы признаем «Научный креационизм» как научную теорию или учебную дисциплину. Мы только отказываемся от его вульгарной атеистической критики, перенося последнюю в плоскость научной дискуссии.

18

Гипотезы о происхождении жизни

Как быть с изменениями, которые произошли миллиард лет назад и привели к тому, что бесчисленные атомы углерода, рассеянные в небольших молекулах двуокиси углерода, метана, карбонатов и т.д., сталкивались до тех пор, пока не образовали белков, а затем не сформировали те крупные активные глыбы плоти, которые мы называем сегодня «животными»? Может ли современная теория систем сказать что-нибудь по этому поводу?

У.Р. Эшби

18.1. Постановка вопроса

Проблема возникновения жизни на Земле и возможность существования ее внеземных форм является фундаментальной не только для биологии, но и для естествознания в целом. Среди основных гипотез, пытающихся как-то объяснить возникновение жизни, наиболее известны следующие:

- жизнь была сотворена неким сверхъестественным существом — Богом (**креационизм**). Эта гипотеза была нами подробно рассмотрена на прошлом семинаре;
- жизнь возникла спонтанно и продолжает возникать из неживой материи (**самопроизвольное зарождение жизни**);
- жизнь существовала всегда (**стационарное состояние живого мира**);

- жизнь была занесена на Землю извне (**панспермия**);
- жизнь возникла в ходе закономерного, самоусложняющегося развития природы (**биохимическая эволюция**).

Рассмотрим кратко последние четыре гипотезы.

18.2. Самопроизвольное зарождение жизни

Наряду с гипотезой о сотворении жизни Богом издавна бытовали представления о самопроизвольном ее зарождении под воздействием некоего «активного начала». Аристотель (IV в. до н. э.) считал, что такое активное начало содержится в оплодотворенном яйце, гниющем мясе, солнечном свете. Еще в XVII в. голландский естествоиспытатель Ян ван Гельмонт полагал, что активным началом, стимулирующим возникновение жизни, может служить человеческий пот. Он описал эксперимент, в котором якобы за три недели создал мышей, используя грязную рубашку, горсть пшеницы и темный шкаф.

Удар по гипотезе спонтанного зарождения жизни нанес в 1688 г. итальянский биолог и врач Франческо Реди. Реди установил, что белые червячки, появляющиеся в гниющем мясе, — это личинки мух. Прямым экспериментом он доказал, что мясо, находившееся в плотно запечатанных сосудах, куда мухи не могли залетать, не червивело. Так появился знаменитый принцип Реди: «Все живое — из живого». Тем не менее гипотеза о самопроизвольном зарождении живых организмов из неживой природы еще долго господствовала среди ученых. Ее приверженцами были Галилей, Декарт, Гегель, Ламарк.

В 1860 г. Луи Пастер показал, что процессы гниения связаны с жизнедеятельностью бактерий, поэтому продукты могут быть сохранены, если их не только герметически запечатать, но еще и предварительно простерилизовать путем тепловой обработки. Тем самым вопрос о наличии в гниющем мясе какого–то «активного начала» был снят окончательно.

Опыты Реди и Пастера подтвердили, что для возникновения живого организма необходим другой живой организм, но породили новую проблему: откуда взялся самый первый живой организм?

18.3. Стационарное состояние живого мира

Эта гипотеза не требует ответа на поставленный выше вопрос. По представлениям ее сторонников, жизнь существовала всегда, но из–за изменения внешних условий происходило изменение видов живых организмов и их численности. В качестве доказательства они приводят пример с кистеперой рыбой — латимерией. Согласно палеонтологическим данным считалось, что кистеперые вымерли свыше 100 млн лет назад. Но, вот, в 1938 г. у берегов Мадагаскара был выловлен живой представитель этого вида. Однако наличие разрывов в палеонтологической летописи эволюции еще не может служить доказательством того, что живая природа существовала всегда.

18.4. Панспермия

Эта гипотеза (от греч. *pan* — все и *sperma* — семя) о повсеместном распространении во Вселенной зародышей живых организмов. В существование таких зародышей (спор микроорганизмов) верили многие ученые конца XIX — начала XX в.: английский физик лорд Кельвин, немецкий химик Ю. Либих, шведский физико–химик С. Аррениус, российский академик Л. С. Берг. Уверенность им придавало обнаружение в метеоритах некоторых органических соединений — «предшественников живого».

Эта гипотеза, как и гипотеза о самозарождении жизни, не предлагает никакого механизма для ее первичного возникновения, а просто переносит источник жизни в другое место Вселенной. Кроме того, с открытием космических лучей и выяснением губительного действия радиации на биологические объекты она потеряла свое значение.

18.5. Биохимическая эволюция

Основоположниками этой гипотезы считаются наш отечественный ученый А. И. Опарин и английский естествоиспытатель Дж. Холдейн. А. И. Опарин в 1923 г. высказал мнение, что органические вещества — основа жизни — могли возникнуть из более простых соединений в океане под воздействием ультрафиолетовой составляющей солнечной радиации, беспрепятственно проникавшей на Землю, поскольку задерживавшего ее озонового слоя в первичной атмосфере еще не было. Не было и

кислорода. Его отсутствие облегчало синтез органических соединений, которые лучше образуются в бескислородной среде. Сходные идеи в 1929 г. высказывал и Дж. Холдейн. Он полагал, что в океане, над которым находилась богатая двуокисью кислорода первичная атмосфера, могли возникнуть огромные органические молекулы, обладавшие признаками жизни. Согласно Опарину, органические вещества, накапливаясь в океане, образовали «первичный бульон», в котором плавали скоагулированные в комочки студнеобразные сгустки — *коацерваты* (от лат. *coacervus* — сгусток). Эти коацерваты получили способность увеличиваться в размерах, делиться на части и подвергаться химическим изменениям на границе раздела с окружающей средой, т.е. приобрели признаки роста, размножения и обмена веществ — метаболизма.

В 1953 г. Стэнли Миллер (США) предпринял попытку экспериментальной проверки гипотезы Опарина–Холдейна. В созданной им установке он смоделировал условия, предположительно существовавшие на ранней Земле. Над кипящей водой находился резервуар, содержащий кроме водяных паров метан, аммиак и водород под высоким давлением. Смесь газов в течение недели подвергали воздействию электрических разрядов высокого напряжения, после чего в «ловушке» было обнаружено 15 аминокислот, в том числе глицин, аланин и аспаргиновая кислота. Позднее в подобных экспериментах были синтезированы простые нуклеиновые кислоты. Осталось только объяснить появление механизма самовоспроизведения живых организмов.

Как стало известно после опытов Уотсона и Крика (1953), генетическая информация записывается в виде последовательности нуклеотидов в молекулах дезоксирибонуклеиновой кислоты (ДНК). Пока неясно, что появилось раньше: аминокислотные цепочки (белки) или план их синтеза (ДНК), или же, возникнув независимо друг от друга, они случайно оказались идеально приспособленными к совместному процессу — сохранению и передаче наследственной информации. Как бы то ни было, из рассмотренных гипотез именно последняя представляется в настоящее время наиболее правдоподобно объясняющей возникновение жизни на Земле.

19

Генная инженерия и молекулярно-генетические технологии

Когда султан посылает корабль в Египет, разве он заботиться о том, хорошо или худо корабельным крысам?

Вольтер

19.1. Краткая история генетики

Человечество вот уже около тысячи лет изменяет выращиваемых им растения и животных. Можно сказать, что в Европе уже лет сто продукты питания изготавливают из культур, полученных методом отбора. Выращиваемые виды злаков, корнеплодов, домашних животных и т. д. получались путем скрещивания отобранных по желанию человека экземпляров. Нынешние зерновые не напоминают своих диких предков, коровы имеют мало сходства с буйволами.

В XX в. появились новые методы селекции — молекулярно-генетические. Эти методы разработаны генетикой (от греч. *genesis* — происхождение) — наукой о законах наследственности и изменчивости организмов и методах управления ими. Ее достижения привели к развитию генной инженерии и биотехнологии. Генная инженерия отличается от селекции тем, что улучшает характеристики живых организмов путем пересадки в них чужого генетического материала. Таким образом, стирается барьер между видами, т. е. любому животному можно пересадить ген другого животного или даже растения, а растению — ген животного.

Официальной датой рождения генетики считают 1900 г., когда Х. де Фриз, Э. Чермак–Зейденегг и К. Э. Корренс независимо друг от друга вторично открыли и подтвердили законы Менделя. Однако первые попытки описания механизма передачи наследственных болезней были предприняты еще в XVII — XIX вв. Так, например, Мопертьюи

в 1750 г. описал процесс передачи полидактилии. Причем достижения ученого предвосхитили результаты, полученные Г. Менделем.

Английский психолог и антрополог Ф. Гальтон в 1865 г. предположил, что способности человека зависят от наследственности. Он предложил изучать явления, которые могут улучшить наследственные качества (здоровье, умственные способности, одаренность и т.д.) будущих поколений. В дальнейшем его идеи способствовали развитию *евгеники* — науки о наследственном здоровье человека и путях его улучшения. Им были разработаны генеалогический и близнецовый методы исследований генетики человека.

В том же 1865 г. монах августинского ордена Г. Мендель открывает свои законы наследственности, которые он вывел, наблюдая за горохом. Ученый считал, что наследственный материал дискретен, т. е. представлен отдельными наследственными задатками, отвечающими за развитие определенных признаков организма. По утверждению Менделя развитие отдельного признака обеспечивается парой аллельных задатков, пришедших с половыми клетками от обоих родителей. При образовании гамет в каждую из них попадает лишь один из пары аллельных задатков, сами же гаметы всегда чисты.

В 1868 г. швейцарский врач Ф. Мишер выделяет из ядер лейкоцитов, полученных из гноя, вещество, названное им нуклеином. Позже, в 1899 г., был введен термин «нуклеиновая кислота» (нынешняя субстанция наследственности — дезоксирибонуклеиновая кислота или ДНК).

В 1888 г. В. Вольдейер описывает митоз и мейоз — соответственно деление соматических и половых клеток, в процессе которых хромосомы закономерно распределяются между дочерними клетками.

В 1902 г. Т. Бовери и У. С. Сеттон предположили, что наследственные задатки, указанные Менделем, находятся в хромосомах, а спустя 7 лет В. Йоханнсен назвал их *генами*. В 1910 г. американский биолог Т. Х. Морган определяет расположение различных генов в хромосомах мухи дрозофилы. Законы сцепленного наследственного материала, установленные Морганом с сотрудниками, составляют основы генетики.

Необходимо заметить, что в 1908 г. К. Корресом были обнаружены факты, доказывающие наличие в клетках наследственного материала, располагающегося не в хромосомах, а в различных цитоплазматических структурах и определяющего цитоплазматическую наследственность.

Примерно в то же время Х. де Фризом были заложены основы о мутационной изменчивости, которая связана с изменениями в наследственных задатках или хромосомах, что приводит к изменению при-

знаков организма. Позже было выявлено мутагенное действие на хромосомы и гены радиационного излучения, определенных химических веществ и биологических агентов.

В результате исследований было установлено, что наследственность и изменчивость обусловлены действием одной и той же материальной субстанции, а проявление того или иного признака зависит от характера взаимодействия генов.

В первой половине XX в. решался вопрос о химическом составе наследственной субстанции. Анализ химического состава хромосом показал, что они состоят в основном из белков и нуклеиновых кислот. В 1928 г. Ф. Гриффит поставил опыт на пневмококках, в котором происходила трансформация некоторых наследственных признаков одного бактериального штамма под действием другого. И только в 1944 г. О. Эйвери, используя результаты опыта Гриффита, доказал принадлежность наследственного материала к нуклеиновым кислотам.

Первые результаты по клонированию живых организмов относятся к 1938 г., когда Г. Шпеманну удается получить идентичных близнецов саламандр. В 1943 г. Н. Е. Борлафу с помощью методов генетики удается за несколько лет поднять урожайность пшеницы с 750 кг до 2,7 тонн с гектара. В период с 1945 по 1950 гг. в лабораториях выращивают первые клеточные культуры животных.

Молекулярная биология как самостоятельная наука сформировалась к 1953 г., когда американский биофизик Дж. Уотсон и английский биофизик и генетик Ф. Крик открыли двойную спираль структуры ДНК. Это стало возможным благодаря тому, что в 1951 г. Р. Франклин сделал четкие рентгенографические снимки ДНК. В это же время выращивают первые клеточные культуры человека.

Во второй половине XX столетия исследования направлены на изучение свойств нуклеиновых кислот, их генетических функций, способов записи и считывания наследственной информации, структуры генетического кода, механизмов регулирования активности генов при формировании отдельных признаков и фенотипа в целом.

В 60-х гг. XX в. стараниями М. Ниренберга, С. Очоа, Х. Кораны и других был полностью расшифрован генетический код, установлено соответствие триплетов нуклеотидов в молекулах нуклеиновых кислот определенным аминокислотам. Российский биохимик Г. П. Георгиев в 1961 г. открыл в ядрах клеток животных ядерную РНК, из которой образуется матричная РНК. В 1967 г. другому российскому биохимику А. А. Баеву удалось расшифровать последовательность нуклеотидов в транспортной РНК.

В 70-х гг. XX в. стали активно разрабатываться методы генной инженерии. В 1973 г. была проведена первая трансплантация ДНК од-

ного животного другому. Это удалось сделать С. Коэну и Э. Чанг из Стэнфордского университета: ученые соединили ДНК вируса и бактерии. Впоследствии методами генной инженерии были сконструированы искусственные гены инсулина, соматотропина и интерферона.

В 1984 г. С. Уилладсен из Кембриджского университета в Англии клонирует овец из первичных эмбриональных клеток. В 1986 г. группа американских ученых из Висконсинского университета клонирует корову из первичных зародышевых клеток. Я. Вилмут клонирует идентичных овец из зародышевых клеток на 9 день их развития.

К концу XX столетия, благодаря новым молекулярно-генетическим технологиям, стало возможным определить последовательность нуклеотидов в молекуле ДНК геномов различных организмов. В 1990 г. начинается осуществление Human Genome Project с целью расшифровки генома человека. Согласно этому проекту ДНК-тексты генома людей, которые представлены в количестве 3 млрд пар нуклеотидов, будут прочитаны к 2003—2005 гг.

В июле 1996 г. Я. Вилмут и К. Кэмпбелл клонируют овцу Долли, о чем сообщается в феврале 1997 г. В следующем году две группы ученых успешно выращивают стволовые клетки. В том же году удается полностью расшифровать геном живого существа — червя C. elegans.

В 1999 г. генетик К. Вентер официально приступает к работе по раскрытию механизма человеческой наследственности, а всего лишь девять месяцев спустя ученый, по совместительству президент частной американской компании «Целера геномикс», представляет результаты своих исследований.

19.2. Генная инженерия и ее достижения

Генная инженерия — это метод биотехнологии, заключающийся в искусственном изменении генотипов живых организмов. Она позволяет предолевать межвидовые барьеры и переносить генетическую информацию из одного организма в другой. Как известно, в последовательности нуклеотидов ДНК записана информация об аминокислотной структуре всех белков живого организма. Изменение этой последовательности, исключение одних и включение других нуклеотидов приводит к синтезу в клетках новых белков и появлению у организма новых свойств. Сущность генной инженерии, таким образом, состоит в том, что в генотип организма встраиваются или исключаются из него отдельные гены или группы генов.

На словах все выглядит просто, а для практической реализации этой идеи потребовалось создать очень сложный инструментарий и разработать специальные технологические методы, основанные на последних достижениях молекулярной генетики. Эти методы в настоящее время включают в себя следующие этапы:

- *рестрикция* — разрезание ДНК, например человека, на фрагменты с помощью соответствующих ферментов;
- *лигирование* — включение фрагмента с нужным геном в плазмиды — кольцевые молекулы ДНК, состоящие из нескольких тысяч пар нуклеотдов;
- *трансформация* — введение рекомбинантных (содержащих чужеродный ген) плазмид в клетки бактерий и их размножение;
- *скрининг* — отбор среди колоний трансформированных бактерий тех, которые содержат нужный ген.

С помощью этих новых бактерий можно приготовить нужный белок, закодированный введением в них геном. Например, введя в генотип бактерии кишечной палочки ген из генотипа человека, контролируемый синтез инсулина, ученым удалось искусственно получить человеческий инсулин при посредстве бактерий кишечной палочки.

Труднее, но возможно, ввести в нужные гены непосредственно в зародыш организма. Полученные таким образом растения и животные называются *генетически модифицированными*. Генетически модифицированные растения обладают многими преимуществами по сравнению со своими «натуральными» собратьями: способностью сопротивляться болезням и вредителям, противостоять низким температурам, повышенной влажности, засухам и другим неблагоприятным природным условиям. Они обладают большой урожайностью. Достигается это путем внедрения в генотип растения генов других растений, животных и даже человека. Так, в модифицированную кукурузу были включены гены рыбы, а в картофель — скорпиона. Такой картофель, выведенный американской компанией «Монсанто», не боится переувлажнения почвы и засухи, дает высокие урожаи и, самое главное, его не поедает колорадский жук. Томаты, которым привиты гены глубоководных акул, могут храниться при комнатной температуре более полугода и не портиться. В Израиле даже выведены томаты кубической формы. Их экономичнее укладывать в ящики и транспортировать.

Ученые из Рослинского института в Шотландии, где была впервые создана клонированная овечка Долли, объявили о намерении создать генетически модифицированную курицу. Ей уже придумали имя — Бритни. По замыслу ученых, она будет нести яйца, содержащие протеины, поражающие раковые клетки. Американские ученые из

компании «Эй-Эф протеин» вывели генетически модифицированных лососей. По размерам они превосходят своих «диких» родственников в несколько раз, вес набирают в 4—6 раз быстрее, более устойчивы к болезням и быстрее размножаются.

19.3. Проблемы, связанные с генной инженерией

Признавая очевидные положительные качества генетически модифицированных продуктов, многие ученые не спешат признавать благом форсирование их производства, предупреждая, что их распространение может иметь нежелательные последствия для человечества. Английские газеты уже окрестили такие продукты «едой Франкенштейна», т. е. порождением гения, способным обречь его же самого на гибель.

Что же настораживает ученых? Специалисты «Гринпис» установили, что от пыльцы генетически измененной кукурузы гибнут не только насекомые — вредители, но и безвредные для нее бабочки — данаиды. Они же выяснили, что если питаться в течение нескольких месяцев картофелем компании «Монсанто», то желудок начинает вырабатывать ферменты, нейтрализующие лечебное действие антибиотиков группы канамицина. Американские исследователи из Пардуйского университета (штат Индиана) У. Мюир и Р. Хоуард установили, что самки генетически генетически модифицированных лососей-гигантов привлекают в четыре раза больше самцов, чем их «естественные сестры». В результате с такой же скоростью — в четверо большей — распространяются в популяции лососей и их измененные гены. Но новые признаки еще не прошли стадию естественного отбора и поэтому оказываются недостаточно стойкими.

Есть еще одно, вызывающее опасение, обстоятельство. Генетически измененные сельскохозяйственные культуры могут скрещиваться со своими дикими родственниками и порождать «суперсорняки». Например, с родственником овса — овсюгом — и сейчас трудно бороться. Что же будет, если созданный с помощью генной инженерии особо жизнестойкий овес внедрит в него свои гены?

Ученые не могут пока с уверенностью ответить на вопрос, безвредны ли генетически модифицированные продукты для человека. На выяснение этого вопроса потребуется время, равное продолжительности жизни хотя бы 2—3 поколений людей. Тем временем фирмы-производители генетически модифицированных растений и животных в погоне за прибылью развернули широкомасштабную рекламу в средствах массовой информации. Только в США годовой объем

рынка пищевой биотехнологии оценивается в 50 миллиардов долларов. Распространение генетически модифицированных продуктов питания в странах третьего мира стало одной из ключевых позиций внешней политики США. Ведь более стойкие и экономически выгодные генетически измененные сорта вытесняют традиционные естественные культуры из оборота и ставят мировой сельскохозяйственный рынок в зависимость от американских компаний. Поэтому они не жалеют средств на пиар-акции и подкуп политических деятелей, осуществляющих лоббирование их продукции на самом высоком уровне.

Что касается простых потребителей, то каждый человек, покупая тот или иной продукт, вправе знать, содержит ли он посторонние гены. Производители обязаны указывать это на упаковке, а мы должны иметь право выбора: покупать и употреблять такую продукцию в пищу или нет.

20

Клонирование: плюсы и минусы

Огромный потенциал клонирования для человека, в частности для облегчения участи больных, перевесил этические проблемы.

Л. Дональдсон

20.1. Техника клонирования

Клонирование, как метод получения потомства с набором генов, идентичным родительскому, без полового размножения или с его неполным участием, известно в науке давно. Оно имеет место у растений, у простейших и изредка встречается у некоторых животных. Этап искусственного клонирования начался с конца XIX в., когда немецкий эмбриолог Г. Дриш получил клоны морского ежа из разрезанного на части эмбриона. Вслед за этим, также в Германии, Г. Шпеман получил гомозиготных близнецов тритона перетяжкой оплодотворенной яйцеклетки в области ядра. Эта методика получения искусственным путем, по сути дела, однояйцевых близнецов достигла своего совершенства в конце XX в.: в 70-х гг. в СССР Н. Клецко путем разделения зародышей получила близнецов кролика, а в 80-х гг. английский биолог С. Уилладсен разделил на четвертинки 8-клеточные эмбрионы коровы, пересадил их в неоплодотворенные яйцеклетки свиньи, затем ввел в яйцевод овцы, а доращивал эмбрионы, имплантируя их в матку коровы. Так были искусственно получены близнецы крупного рогатого скота.

Наиболее эффективным способом клонирования млекопитающих является другой метод — пересадки ядер из соматических клеток в денуклеированные яйцеклетки. Его первым применил Хаммерлинг в опы-

тах с морской водорослью *Acetabularia*, имеющей два близкородственных вида, отличающихся формой шляпки. Он отделял ядерные части у обеих водорослей и менял их местами, пересаживая в водоросль другой формы. В ходе деления, естественно, получались дочерние водоросли той формы, от которой было взято ядро. В 1952 г. подобные опыты были проделаны Р. Бриггсом и Т. Кингом на лягушках, а в 1967 г. английские биологи под руководством Б. Гердона взяли клеточные ядра из кишечника молодых головастиков шпорцевой лягушки и вырастили клоны лягушки. В 1995 г. в Шотландии Ян Вилмут вынул два ядра из эмбриона овцы, вставил в денуклеированные яйцеклетки, взятые от других овец, имплантировал их в матки двух разных самок и получил два генетически идентичных ягненка. Наконец, в 1996—97 гг. Я. Вилмут с сотрудниками вырастили широко разрекламированную прессой овечку Долли.

Статья Я. Влмута и его 4 коллег, опубликованная в февральском номере «Nature» за 1997 г. называлась «Жизнеспособные потомки, полученные из фетальных и взрослых клеток млекопитающих». Ученые взяли донорские клетки из эпителия молочной железы сукотной шестилетней овцы породы Finn Dorset. Их выращивали в «бедной» питательной среде, содержащей в 5 раз меньшие концентрации всех компонентов, чем обычно. В этих неблагоприятных условиях клеточные ядра переходили в неактивное состояние. Затем брались десятки неоплодотворенных яйцеклеток (полученных методом суперовуации) овцы породы Scotish Blackface, из которых с помощью микроманипулятора удаляли пронуклеус. Яйцеклетку без ядра и эпителиальную «голодную» клетку присасывали к концу микропипетки и пропускали электрические разряды. Первый разряд применялся для слияния клеток, второй — для стимуляции механизма дробления. Подготовленные таким образом яйцеклетки имплантировались в матки овец. Такое грубое вмешательство в природный процесс беременности, чаще всего оказывались неудачными: «овечка Долли» получилась лишь с 250 раза.

На свой метод клонирования с использованием электростимуляции авторы получили патент. Но вот что странно... В отечественном журнале «Биофизика» за 1987 (Т. XXXII, вып. 5) была опубликована подробная, на 13 страницах, статья Л. М. Чайлохяна, Б. Н. Вепринцева, Т. А. Свиридовой и В. А. Никитина «Электростимулирование слияния клеток в клеточной инженерии». В данной работе наши ученые описали реконструкцию зигот мыши и искусственное получение потомства практически тем же методом. Клонированную мышку — альбиноса, полученную на 10 лет раньше Долли, исследователи назвали Машкой. Сначала авторы послали

свою статью в..., не поверите: конечно же, в «Nature». Но там ее оставили без внимания. Один из авторов, член-корреспондент РАН, директор Института теоретической и экспериментальной биофизики РАН Левон Михайлович Чайлохян, правда, пытался поставить вопрос о нашем приоритете, но безуспешно.

20.2. Практическая польза от клонирования

Техническая сторона проблемы клонирования высших животных, не исключая человека, в настоящее время может считаться решенной. Остается отработать детали. Чего же нам ожидать от этих исследований?

Уже упомянутый нами Я. Вилмут считает, что клонирование дает надежду тысячам больных с ранее неизлечимыми заболеваниями. На сегодняшний день преждевременно говорить о полном клонировании человека, тем более что попытки клонирования обезьян, по крайней мере до 2000 г., оставались безуспешными. Но перспективным можно считать клонирование *стволовых клеток* эмбрионов — предшественников клеток взрослого человека. Эти, еще не определившиеся в своих функциях, клетки могут заменить погибшие ткани организма, которые самостоятельно восстановиться не могут. Это поможет при лечении болезни Паркинсона, сахарного диабета, повреждении печени, почек и артрите. Сейчас для этих целей используют материал абортов. Надо ли говорить, что применение эмбриональных клеток, полученных от собственных клонов, не достигших 9-недельного возраста, представляется более разумным в нравственном и медицинском отношениях. Успехи, достигнутые в экспериментах по выращиванию из стволовых клеток отдельных тканей и органов животных, показывают, что данное направление верное. В Японии уже выращивают таким образом глаза и уши лягушки. Пересаженные взрослым лягушкам вместо родных, они прекрасно прижились, и эти лягушки благополучно жили больше месяца.

Продолжаются работы и по клонированию животных. Здесь лидируют Великобритания и Япония. Японские ученые, в частности, объявили о намерении получить клон мамонта. С этой целью они выезжали в Якутию в поисках живых клеток из сохранившихся в условиях вечной мерзлоты туш мамонтов. В качестве суррогатной матери предполагается использовать самок индийского слона. Шансы на успех здесь невелики: в экспериментах по клонированию млекопитающих результативными яв-

ляются лишь 0,3%. Беременность же у слоних длится 9 месяцев. Так что понадобится целое стадо слонов и лет десять ожидания маленького чуда — рождения мамонтенка.

Австралийские биологи намерены клонировать вымершего более 60 лет назад тасманийского тигра. Надежду в это предприятие вселяет находка целой молекулы ДНК в заспиртованном в 1896 г. теле тигренка, как заявил руководитель проекта Д. Колган из Сиднея.

Японские генетики уже вырастили клон клона. Сотрудники Института племенного животноводства провинции Кагосима воспользовались хромосомами эпителиальных клеток клонированного бычка, взятыми через 3,5 недели после его рождения. Взятые из них ядра ввели в коровьи яйцеклетки, лишенные собственных ядер. Когда оплодотворенные таким образом яйцеклетки совершали несколько делений, их имплантировали в матку суррогатной матери. В итоге родился здоровый теленок. Эти эксперименты дают важный материал о степени сохранности ДНК в результате многократного клонирования.

20.3. Возможные негативные последствия клонирования человека

Успешные эксперименты по клонированию высших животных и принципиальная возможность получения человеческих клонов привели к появлению множества ранее не существовавших перед человечеством проблем юридического, социального, религиозного и морального характера.

1. Привлекая талантливых биологов и медиков, создавая им выгодные условия для научной работы, очень богатые люди и криминальные авторитеты могут вырастить для себя заблаговременно некоторое количество собственных клонов разного возраста на «запчасти»: для пересадки, в случае необходимости, зубов, глаз, кожи, почек, печени, легких, сердца, семенников, конечностей и других органов, а также переливания крови, пересадки костного мозга и т. п. Обладая генетической идентичностью с организмом хозяина, такие органы не будут отторгаться при пересадке и идеально подходят для замены изношенных или утраченных в результате увечья. При этом об интеллектуальном уровне развития клонов можно не заботиться и даже, наоборот, операцией на головном мозге они могут быть доведены до «растительного» существования. Так

можно продлить физиологическую продолжительность жизни людей до 150 — 200 лет. Это порождает ряд сопутствующих проблем:

- *криминализация науки* в связи с ее использованием для выращивания человеческих клонов с целью создания личного банка органов для пересадки избранной категории лиц;

- *криминализация законодательства* в связи с неизбежным стремлением вышеуказанных лиц ограничить гражданские права клонов или даже поставить их вне закона. Такое опасение вполне обосновано, так как клеточные ядра хозяина (а он волен поступать с ними как заблагорассудиться) может быть внедрено в денуклеированную яйцеклетку не только человека, но и близкородственного животного, например, шимпанзе, а процесс вынашивания эмбриона в перспективе может стать искусственным (в боксе);

- *конфликт с религией*, так как неизбежно выявится небожественный характер души человека, если признать его искусственно полученный клон также человеком.

2. Сочетание техники клонирования с методами генной инженерии (см. семинар 19) позволит получать клоны с заданными характеристиками. Наряду с безусловно полезными результатами: коровье молоко, близкое по своему составу к женскому, продукты питания, обладающими лечебными свойствами и т. п., станет возможным создание на базе человеческих клонов биороботов. В результате могут появиться человек-солдат, человек-слуга (шофер, секретарь, телохранитель, нянька и т. д.), рабочие, приспособленные к определенным профессиям, спортсмены для каждого вида спорта отдельно, сексуальные партнеры, что приведет к новым проблемам:

- *особо изощренная форма рабства*, когда в интеллектуальные и физиологические характеристики клона заблаговременно и сознательно вносятся коррективы, обрекающие его на запрограммированную кем-то жизнь;

- *создание биороботов с повышенными умственными способностями* (человек-математик, человек-инженер и т. п.) *может привести к захвату последними власти* и созданию новой «цивилизации»: клеточные ядра свои, яйцеклетки от женщин-аборигенов или животных, вынашивание плода — искусственное. В такой противоестественной цивилизации человек становится ненужным звеном и может быть сохранен в небольшом количестве особей лишь в качестве резервного банка генов для обновления генофонда.

3. В настоящее время еще мало что известно об обратном влиянии окружающей среды, образа жизни и поведения на формирование и изменение структуры ДНК в хромосомах соматических клеток взрослого организма. Однако открыты сигналы, имеющие волновую природу, которыми обмениваются друг с другом различные участки ДНК, ядерные структуры с цитоплазматическими структурами и отдельные клетки. Вероятно, эти сигналы являются частью чрезвычайно сложной единой энергоинформационной системы человека — его биополя. Тут есть над чем задуматься. Как показали исследования специалистов из Рослинского института, того самого, где была создана овца Долли, ее хромосомы выглядят, по меньшей мере, на 6 лет старше, чем у ее одновозрастных сверстниц (они соответствуют возрасту овцы донора). Так что организм Долли уже при рождении был преждевременно состарившимся. Это открытие встревожило многих ученых, которые уверены, что более старые клетки уязвимы к повреждениям на генетическом уровне и подвержены развитию рака. Поспешное и неуклюжее клонирование человека в таком случае может привести к следующим не предсказуемым последствиям:

- *в клонах будет накапливаться «груз кармы»*, соответствующий состоянию организма хозяина на момент изъятия клеточных ядер;

- *сращивание человеческих клеточных ядер с животными яйцеклетками и вынашивание эмбрионов в чужом организме или искусственно нарушит природную гармонию биополей,* что может нежелательно сказаться на физиологии и психологии клонов, а затем, в силу обратной связи, на его генах. Словом, природа будет стремиться к самоуничтожению навязанных ей путей эволюции.

Завершая тему, авторы хотели бы еще раз предостеречь биологов от неосторожных и неконтролируемых экспериментов по клонированию человека, чтобы не повторять ошибок своих коллег — физиков, чьи опыты по расщеплению и синтезу атомных ядер породили массу проблем в нашей жизни. Это не означает призыва запретить подобные исследования, но предполагает, что ученый несет перед обществом нравственную ответственность за их последствия. Сами же исследования должны проводиться в рамках специально принятого закона о клонировании.

По этому закону клоны людей должны иметь те же юридические права и обязанности, что обычные люди. Человек не должен клонироваться без его письменного согласия. Он должен по собственной воле определять, разрешить ли его клонирование после смерти или нет (право собственности на генетический код). Следует запретить клонирование несовершеннолетних. Выращивание человеческих клонов вне тела жен-

щины, например, в лабораторных условиях, также должно быть запрещено. И уже, конечно, следует запретить клонировать убийц, других жестоких преступников и одиозных исторических личностей (Гитлера, Ленина, Сталина и др.).

21

Солнечная активность и солнечно-земные связи

Тот факт, что жизнь биосферы Земли зависит от солнечных явлений, давно стал трюизмом. Но впервые проф. Чижевский показал степень этой зависимости и ее интимную глубину. В этом заключается его громадная заслуга.

Из Меморандума о научных трудах профессора, доктора А. Л. Чижевского (Междунар. Конгресс по биологической физике и биологической космологии. Нью-Йорк, 1939 г.).

21.1. Циклы солнечной активности, их классификация и природа

11-летние циклы. В 1843 г. немецкий астроном–любитель Г. Швабе обратил внимание, что количество пятен на Солнце изменяется с периодичностью, близкой к 10 годам. Швейцарский астроном Р. Вольф (1816—1896), изучив результаты наблюдений за Солнцем, собранные в Цюрихской обсерватории с 1610 г., подтвердил эту закономерность, показав, что колебания солнечной активности, действительно, существуют, причем со средним периодом 11,1 года. Он же предложил количественно оценивать эту активность по формуле

$$W = 10N_{\text{гр}} + N, \qquad (21.1)$$

где W — так называемые числа Вольфа, а $N_{\text{гр}}$ и N — соответственно число групп солнечных пятен и число самих пятен, наблюдаемое в течение года, поскольку эффект от пятен, собранных в группы, сильнее,

чем от одиночных пятен. На рис. 21.1 показана определяемая выражением (21.1) кривая циклов солнечной активности, характеризуемая числом пятен на Солнце.

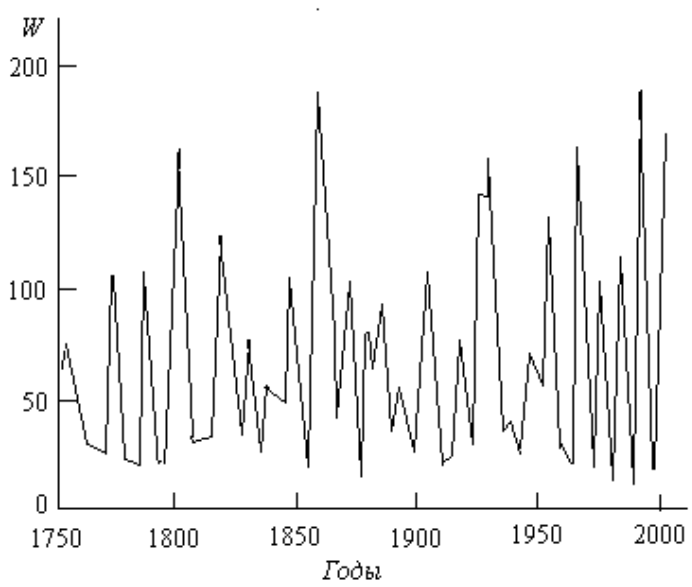


Рис. 2.1. 11-летние циклы солнечной активности, выраженные через числа Вольфа

Оказалось, что периодичность колебаний солнечной активности непостоянна: между годами максимумов чисел Вольфа проходит от 7 до 17 лет, а между годами минимумов — от 9 до 14 лет.

11-летние циклы проявляют себя не только в количестве пятен на Солнце, но и в широте их наблюдения относительно солнечного экватора. Это наглядно видно на так называемой диаграмме «бабочек Шперера» (рис. 21.2), названной в честь немецкого ученого Г. Шперера. В начале 11-летнего цикла пятна обычно появляются на широтах $\varphi = \pm 25 - 30^\circ$ от экватора Солнца, а в конце цикла — на широтах $\pm 5 - 10^\circ$.

22-летние циклы. Исследование магнитных полей солнечных пятен, открытых в начале XX в. американским астрономом Дж. Хейлом, привело к выводу, что их полярность меняет знак при переходе от одного цикла к другому. Поэтому, с учетом магнитных полей пятен, правильнее говорить о 22-летних циклах колебаний солнечной активности. Четные и нечетные циклы характеризуются противоположной полярностью магнитного поля пятен.

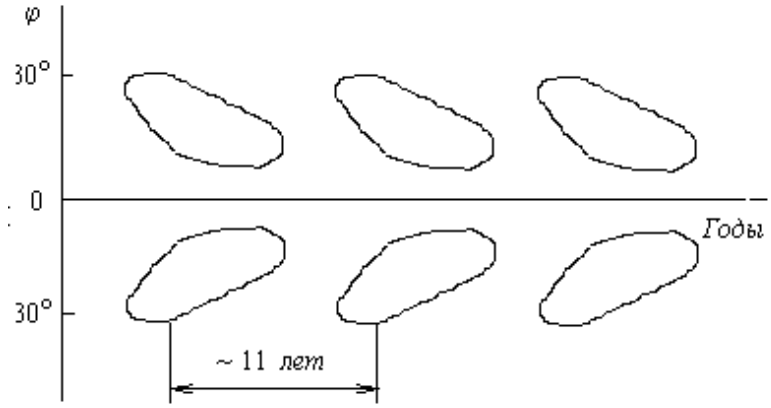


Рис. 2.2. Диаграмма «бабочек Шперера»

Вековые циклы. Рассматривая модуляцию высоты пиков солнечной активности на рис. 21.1, можно прийти к выводу, что помимо 11-летних и 22-летних циклов существуют также циклы с периодичностью около 80 — 90 лет — так называемые вековые циклы. Некоторые исследователи выделяют и более длинные циклы, но их существование недостаточно обосновано из-за пока короткого времени точного количественного подсчета среднегодового количества солнечных пятен.

21.2. Природа цикличности солнечной активности

Первую гипотезу, объясняющую 11-летнюю цикличность солнечной активности, выдвинул еще Р. Вольф. Ее называют **планетарной гипотезой**. Вольф обратил внимание на близость периода обращения Юпитера вокруг Солнца (11,6 лет) и среднего периода циклов солнечной активности (11,1 года), предположив, что, подходя ближе всего к Солнцу в перигелии, Юпитер своим мощным гравитационным полем возмущает процессы, происходящие на Солнце. Другие более мелкие планеты обусловливают вековые и прочие циклы.

Однако строгие математические расчеты показали, что эффект гравитационного возмущения поверхности Солнца Юпитером слишком слаб, чтобы вызвать такие колебания его активности. Вот почему появилась другая, **магнитогидродинамическая, гипотеза**, создатель которой американский исследователь Солнца Х. Бэбкок объяснил периодичность солнечной активности процессами, происходящими на

самом Солнце. Модель Бэбкока была чисто феноменологической и состояла в допущении, что из-за дифференциального вращения Солнца имеют место неустойчивости его собственного магнитного поля, в которых изменяется плотность солнечной плазмы, возникают вихревые воронки и выбросы вещества — вспышки, отчего и появляются пятна. Однако ни модель Бэбкока, ни более поздние теоретические модели Р. Лейтона и других ученых не объясняют, откуда берется именно 11-летняя цикличность солнечных пятен.

Поэтому появились различные варианты **комбинированных гипотез**, которые объединяют описанные выше планетарную и магнитогидродинамическую гипотезы. Их суть состоит в том, что Юпитер, хотя и не определяет величину колебаний солнечной активности, является своего рода их синхронизатором. Он, как маятник в часах, поддерживает постоянный период этих колебаний, образуя вместе с Солнцем автоколебательную систему. Роль же остальных планет существенно меньше и сводится только к модуляциям основного, 11-летнего цикла.

21.3. Солнечно–земные связи

Выдающийся российский ученый А. Л. Чижевский (1897—1964) на основе статистической обработки многочленных экспериментальных данных установил корреляцию между циклами солнечной активности и периодичностью крупномасштабных метеорологических, биосферных и социальных процессов. Чижевский разработал так называемый *метод наложения эпох,* суть которого в том, что исследуемые явления усредняются по годам наблюдений, отсчитываемых от центра наиболее близкого пика солнечной активности, и сравниваются с усредненной кривой Вольфа (рис. 21.3).

Оказалось, что одни природные явления, такие как частота и интенсивность полярных сияний, частота гроз, бурь, ураганов, смерчей, количество осадков, высота уровня озер, прирост древесины и урожайность сельскохозяйственных растений, численность грызунов, обострение сердечно–сосудистых и нервно–психических заболеваний почти полностью повторяют временной ход 11-летних циклов (кривая 1). Другие явления, например, эпидемии и эпизоотии, обусловленные деятельностью патогенных микроорганизмов, колеблются в противофазе с этими циклами (кривая 2). Многие явления сильнее проявляют себя не в максимумах или минимумах солнечной активности, а в годы ее резкого подъема или спада (кривая 3). К ним относятся особо разрушительные землетрясения и извержения вулканов, количество

внезапных смертей от инсультов и инфарктов, рост числа аварий на транспорте и производстве, количество дорожно-транспортных происшествий, повышение частоты социальных конфликтов на экономической, этнической или религиозной почве, локальные войны и др.

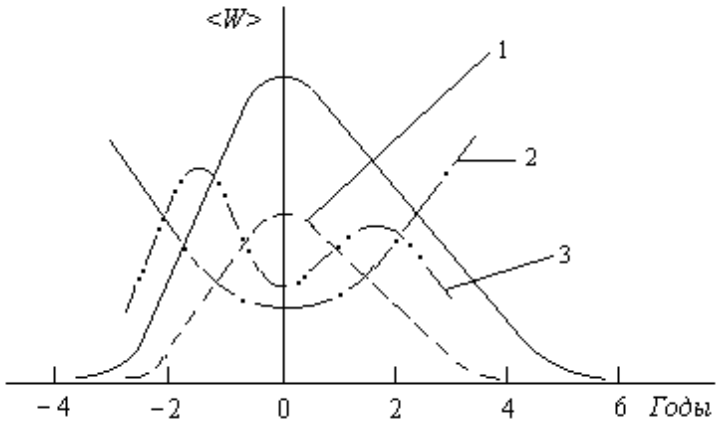


Рис. 2.3. Сопоставление природных явлений (кривые 1—3) с усредненным пиком солнечной активности (сплошная линия) по методу наложения эпох А. Л. Чижевского

Каков же механизм этих зависимостей? Прежде всего следует отметить, что пятна на Солнце связаны с солнечными вспышками, в результате которых в околосолнечное пространство выбрасываются узконаправленные потоки частиц солнечной плазмы, главным образом, протонов и электронов высокой энергии. Они вызывают возмущение магнитосферы Земли, а наиболее энергичные частицы могут проникать через нее и высыпаться в атмосферу, вплоть до ее самого нижнего слоя — тропосферы в пределах пространственно ограниченной области. Здесь они порождают возмущения геомагнитного поля, вызывая магнитные бури и стимулируя изменения метеорологических условий.

Воздействие колебаний солнечной активности на животных и человека оказывается через изменения в составе крови и характере ее движения в сердечно–сосудистой системе. Кровь состоит из *плазмы* (жидкой части) и форменных элементов — *эритроцитов, лейкоцитов и тромбоцитов,* находящихся во взвешенном состоянии. Плазма крови состоит из воды (около 90% массы), низкомолекулярных соединений органического и неорганического характера — солей или электролитов, углеводов, липидов, органических кислот и оснований, про-

дуктов обмена, витаминов и белков. Плазма постоянно обменивается электролитами с микросредой клеток, поэтому их содержание в ней влияет на возбудимость и сократимость клеточных элементов органов тела и происходящие в них биоэнергетические процессы. Электролиты в плазме крови, эритроцитах и тканевой микросреде в основном представлены катионами Na^+, K^+, Ca^+, Mg^+ и анионами Cl^-, HCO_3^-, HPO_4^{2-}, SO_4^{2-}. Возмущения геомагнитного поля вызывают изменения их концентрации, что влияет на физико-химические свойства крови и плазмы. Изменяются осмотическое давление крови, ее вязкость, коллоидная стабильность и другие параметры. Молодой, здоровый организм практически не замечает этих изменений, легко адаптируясь к изменившейся геомагнитной обстановке. Но больные и пожилые люди такой способностью обладают в меньшей мере, они метеозависимы. Нарушение кровоснабжения сосудов головного мозга приводит к быстрой утомляемости, потере внимательности, заторможенности или, наоборот, — к возбудимости, нервозности, неадекватности действий. Этим объясняется повышенная частота социально–политических конфликтов в годы подъема и спада солнечной активности, когда наблюдаются наиболее мощные и частые вспышки на Солнце.

Отсюда следует, что наблюдения за колебаниями солнечной активности и прогнозы ее возможных изменений имеют огромное практическое значение. Эти знания могут помочь в профилактике многих заболеваний, заблаговременно подготовиться к возможным природным катаклизмам, изменениям климата и держать под контролем социально–политические процессы.

22

Космические циклы: климат и человек

Подавляющее большинство физико–химических процессов, разыгрывающихся на Земле, представляют собой результат воздействия космических сил.

А. Л. Чижевский

22.1. Космические циклы, связанные с особенностями земной орбиты

Наряду с циклами солнечной активности, периодичность которых составляет 11, 22 или около 100 лет, на Земле существуют циклы длительностью в десятки тысяч лет. Эти циклы обусловлены особенностями орбитального движения Земли вокруг Солнца (рис. 22.1).

Наклон земной оси и ее прецессия. Ось вращения Земли наклонена к полюсу Мира (вокруг которого вращаются Солнце и все планеты солнечной системы) на угол $\varepsilon \approx 23{,}5^o$. Этот угол не постоянный: с периодом $T_\varepsilon \approx 41$тыс. лет он испытывает небольшие колебания из–за возмущающего действия других планет и Луны. Наличие угла наклона земной оси обусловливает существование четырех сезонов года. Например, для случая, изображенного на рис. 22.1, в Северном полушарии Земли (вверху) сейчас лето, так как в любое время суток Северный полюс освещен — там полярный день. В Южном полушарии, наоборот, зима, а на Южном полюсе — полярная ночь. Через полгода, когда Земля сделает пол–оборота вокруг Солнца, а оно при наблюдении с Земли будет в созвездии Стрельца, ситуация изменится на противоположную: в Северном полушарии будет зима, а в Южном — лето. В промежуточных положениях будут иметь место осень и весна. Например, когда Солнце окажется в направлении созвездия Рыб, будет день весеннего равноденствия (21 марта).

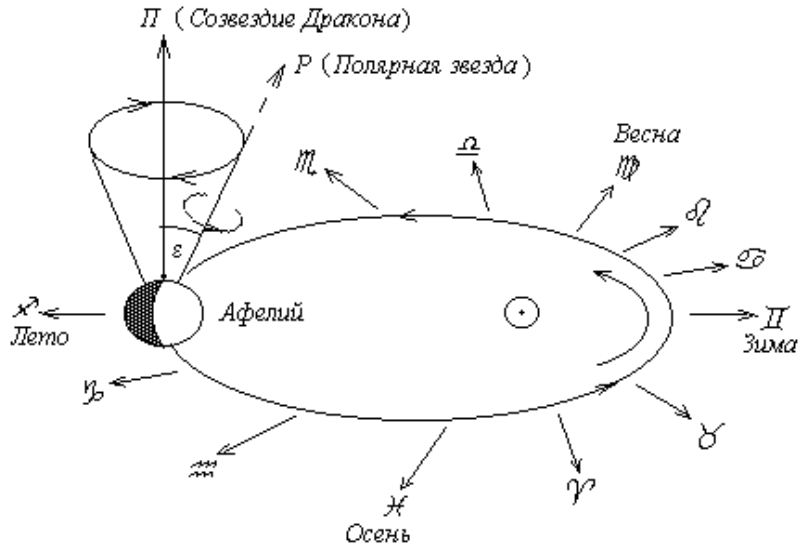


Рис. 22.1. Различные виды вращения Земли: суточное (вокруг своей оси *P*) и годичное (по орбите вокруг Солнца); вращение самой орбиты и прецессия земной оси вокруг полюса мира *П*

Но ось вращения Земли сама вращается вокруг полюса Мира с периодом $T_\gamma \approx 26$ тыс. лет, описывая со временем коническую поверхность. Это явление называется *прецессией* земной оси. Оно было открыто еще во II в. до н. э. древнегреческим астрономом Гиппархом. В переводе с латинского *praecedo* означает «предшествую». Дело в том, что прецессионное вращение Земли направлено навстречу годичному. Поэтому с течением времени происходит опережение дней равноденствия относительно положения Солнца среди привычных знаков Зодиака. Поделив T_γ на число этих знаков (12), получаем, что время опережения или предшествия на один знак Зодиака составляет чуть больше, чем 2 тыс. лет.

Здесь уместно отметить, что прецессия земной оси оказывало в древности огромное влияние на религиозные культы и их символику. Около 5 тыс. лет назад, на заре цивилизации, день весеннего равноденствия наступал, когда Солнце перемещалось к созвездию Тельца. Это был день, когда после долгих зимних месяцев, день, наконец, становился длиннее ночи и, как думали, силы добра побеждали силы зла. Поэтому корова или бык считались священными животными (вспомним, например, древнеегипетский культ Исиды, изображавшейся с коровьей мордой, или крылатых быков вавилонян — керубов). Прошло какое-то время, и Солнце в день весеннего равноденствия переместилось к созвездию Овена. Теперь стало модным в жертву богам

приносить ягненка или козленка. Накануне рождения Христа день весеннего равноденствия стал приходиться на положение Солнца в созвездии Рыб. На это время пришелся новый мистический подъем, связанный с ожиданием мессии. Известно, что во времена Иоанна Крестителя символом первохристиан был не крест, а изображение рыбы, и именно рыбу они ели на совместных трапезах.

Колебания эксцентриситета земной орбиты. Под *эксцентриситетом* орбиты понимается степень ее вытянутости. Математически эксцентриситет эллипса e выражается формулой

$$e = \sqrt{1 - b^2 / a^2}, \qquad (22.1)$$

где a и b — соответственно величины большой и малой полуосей эллипса. Эксцентриситет земной орбиты колеблется, правда, не строго периодически, из-за несовпадения периодов вращения планет солнечной системы и, как результат, их различного влияния на Землю в разные моменты времени. Значение e колеблется около величины 0,028 и сейчас составляет 0,0167. Максимальное же его значение $e_{\max} = 0{,}0658$. Средний период колебаний эксцентриситета $T_e \approx 100$ тыс. лет.

Колебания эксцентриситета, конечно, изменяют тепловой режим Земли, но несущественно. Расчеты показывают, что относительное изменение среднегодового количества тепла, получаемого Землей от Солнца, из-за колебаний эксцентриситета составляет всего около 0,2 % .

Вращение орбиты Земли. Мало того, что Земля вращается вокруг своей оси, а ее ось вращается вокруг полюса Мира, что она вращается по своей орбите вокруг Солнца, так еще и сама орбита поворачивается вокруг Солнца с периодом $T_П \approx 10$ тыс. лет (период вращения перигелия орбиты, см. рис. 22.1). Перигелий земной орбиты перемещается относительно звезд в ту же сторону, куда вращается по орбите Земля.

Перечисленные циклы с периодами $T_\gamma \approx 26$ тыс. лет, $T_e \approx 100$ тыс. лет и $T_П \approx 10$ тыс. лет оказывают в совокупности очень существенное влияние на глобальные изменения климата Земли.

22.2. Астрономическая теория глобальных изменений климата

То, что погодные условия зависят от наклона земной поверхности к солнечным лучам, понимали в глубокой древности. По-гречески *Klima* как раз и обозначает «*наклон*». Так что понятие «климат» появилось еще в Древней Греции. Все мы, живущие на Земле, являемся свидетелями относительно небольших вариаций климата как по сезонам года, так и от года к году. Но, оказывается, с интервалом в несколько десятков или сотен тысяч лет происходят особенно сильные, затрагивающие всю Землю (глобальные) изменения климата; имеют место периоды оледенения, когда зона ледников в Северном полушарии простирается от Скандинавии и севера Восточной Сибири до Черного моря и Памира. Как показал югославский ученый М. Миланкович, эпохи оледенения обусловлены, главным образом, тремя факторами: прецессией земной оси, вращением перигелия ее орбиты и колебаниями эксцентриситета орбиты.

Суть теории Миланковича в следующем. Когда в летнее время для Северного полушария Земля оказывается в афелии, то лето долгое и холодное, а зима бывает относительно теплой, но короткой. Такая ситуация продолжается несколько тысяч лет подряд, и Земля значительно остывает. Ледники в Северном полушарии начинают сползать к югу. Увеличивается отражательная способность Земли (*альбедо*), и процесс оледенения нарастает лавинообразно.

Внимательный читатель заметит: «Но ведь в Южном полушарии зато как раз все наоборот — жаркое лето и холодная зима». Но все дело в том, что основная часть суши на Земле сосредоточена в Северном полушарии. Ледники же с Антарктиды сползают в океан и тают в воде. Поэтому ледниковые эпохи связаны с похолоданием климата именно Северного полушария.

Если бы не вращение орбиты и колебания ее эксцентриситета, то эпохи обледенения повторялись бы с периодом прецессии, т. е. каждые 26 тыс. лет. Вращение перигелия орбиты укорачивает этот период до 21 тыс. лет Так бы и было, если бы не изменения эксцентриситета, происходящие, как известно, со средним периодом около 100 тыс. лет. Поэтому в итоге ледниковые эпохи наступают нерегулярно с периодом то большим, то меньшим, чем 100 тыс. лет.

В количественном отношении теория Миланковича выглядит так. В настоящее время граница ледников приходится на 65° с. ш. Миланкович вычислил количество теплоты, поступающее от Солнца на Землю за летнюю половину года на уровне этой широты. Затем, зная, как изменяются параметры орбиты, нашел эквивалентные широты (широ-

ты Миланковича), соответствующие тепловому режиму 65° в прошлом или в будущем. Если, например, $\varphi_м = 70^\circ$, то это означает, что в рассматриваемый момент времени на 65° с. ш. климатические условия были такие, как ныне на широте 70°. Следовательно, граница ледников проходила на 5° южнее, чем сейчас. На рис. 22.2 приведены подобные расчеты, охватывающие период времени от 1 млн лет назад в прошлом до 400 лет вперед на будущее.

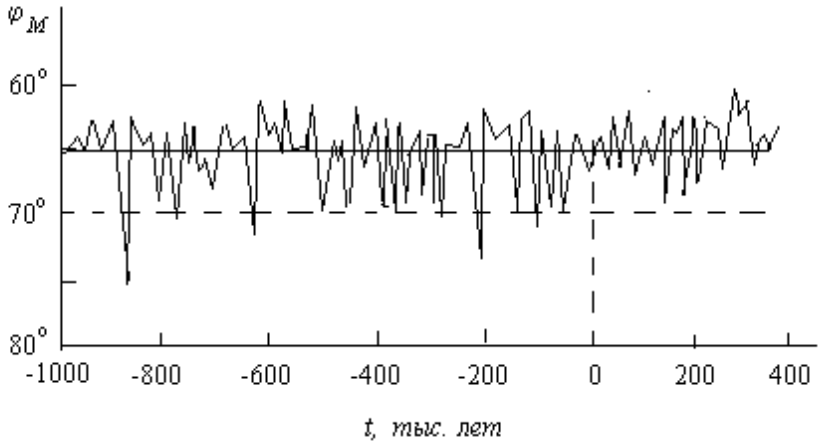


Рис. 22.2. Временный ход широты Миланковича и эпохи оледенения

Эти расчеты приводят к выводу, что в прошлом ледники наступали 25, 72, 115, 187, 230, 685, 855, 970 тыс. лет назад, а в будущем ледниковые периоды ожидаются через 170, 215, 260, 335 тыс. лет. Насколько этим результатам можно доверять? Оказывается, материковый лед беден изотопом кислорода ^{18}O. Пробы льда (керны), взятые с разных глубин в Гренландии и Антарктиде, показали, что их датировка во времени (ее можно произвести, измеряя скорость распада изотопа ^{18}O) хорошо коррелирует с предсказаниями теории Миланковича о процентном соотношении изотопов ^{16}O и ^{18}O в ледниковые периоды и между ними.

22.3. Ледниковые эпохи и человек

Согласно современной теории антропогенеза человек на Земле появился около 2 млн лет назад. Это подтверждается ископаемыми останками ранних *Homo*, обнаруженными в ряде районов Восточной Африки (Танзания, Кения, Эфиопия) нередко вместе с каменными «праорудиями» труда и охоты. В геохронологической шкале времени

это соответствует ледниковой эпохе (плейстоцен) четвертичного периода кайнозойской эры. Поэтому четвертичный период нередко называют антропогеновым периодом.

Экспериментальные факты из области сравнительной биохимии, иммунологии, молекулярной генетики приводят к выводу, что биологически человек ближе всего стоит к африканским человекообразным обезьянам (*понгидам*) и в первую очередь к шимпанзе, с которой имеет около 90% одинаковых генов. Общая эволюция обезьяны и человека началась около 20 млн. лет назад с надсемейства *понгидогоминидов* (рис. 22.3), к которому относятся египтопитек и дриопитек — небольшие узконосые обезьяны, ведшие полудревесный-полуназемный образ жизни. Полагают, что разделение этого надсемейства на семейство понгид и гоминид (человекоподобных) произошло не ранее 14 и не позднее 6 млн лет назад.

Рис. 22.3. Родословное древо человека

Семейство гоминид изначально было представлено двумя подсемействами: Австралопитек и Человек. Австралопитеками (от лат. *Australopitheciae* — южные обезьяны) называют вымерших человекообразных обезьян, еще более походивших на человека, чем ныне живущие понгиды. Они имели рост около 120 — 130 см, массу 30 — 40 кг, объем мозга 500 — 600 см^3; передвигались на двух ногах, наряду с растительной употребляли мясную пищу. По мнению антропологов, поздние австралопитеки (презинджантропы) уже изготовляли примитивные каменные орудия, в основном из гальки, раскалывая ее и используя куски с острыми краями.

Австралопитеки и стали предшественниками единственного рода *Homo* (Человек) в одноименном подсемействе. Произошло это, как уже отмечалось, во время одного из оледенений. Суровые климатические условия, нехватка пищи потребовали переход от стадного проживания к новой социальной структуре группы: разделение труда и обязанностей, развитию речи, освоению огня и одежды. Таким образом, вопреки распространенному мнению, что человека создал труд, человека создал холод.

Первым видом человека был *H. habilis* — человек умелый, сменившийся около 1,6 млн лет назад видом человек прямоходящий (*H. erectus*). Последний полностью вытеснил австралопитеков примерно 1 млн. лет назад, до этого сосуществовавших совместно с человеком. H. erectus обладал мощным телосложением, надглазничным валиком, утолщенным сводом черепа, выступающим затылком и другими примитивными чертами. Этот вид человека называют также *архантропами* (от греч. *archaios* — древний и *anthropos* — человек). К архантропам относят питекантропов, синантропов, неандертальцев и других представителей первобытных людей.

Полагают, что поздние неандертальцы и положили начало современному виду человека *H. sapiens* — человек разумный. Заняло это немалый промежуток времени, но произошло, по-видимому, не позднее 40 тыс. лет назад, судя по датировке черепа из пещеры Ниа (Северный Калимантан).

Как появление человека, так и его расселение по Земле связано с ледниковыми эпохами, которых на протяжении четвертичного периода было несколько. При росте ледников на их образование уходило большое количество воды, и уровень Мирового океана понижался на 85 — 120 м. При этом соединялись отдельные части суши, благодаря чему мог происходить обмен фауной. Например, во время последнего оледенения (около 25 тыс. лет назад) на месте Берингова пролива образовался перешеек, соединивший Азию с Северной Америкой. По этому перешейку древнейшие жители Чукотки перешли на американ-

ский континент и расселились по всей Америке. Еще раньше подобная история произошла с Австралией: во время предпоследнего оледенения (около 72 тыс. лет назад) уровень океана понизился приблизительно на 120 м, острова Индонезии сливались с Индокитайским полуостровом, а от теперешней Новой Гвинеи Австралию отделял пролив шириной около 100 км. Его свободно могли преодолеть на своих лодках предки нынешних дравидийских народов Индокитая, с которыми австралийские аборигены имеют много схожих черт.

23

Фракталы

Геометрия природы фрактальна!

Б. Мондельброт

23.1. Понятие о фракталах

Фракталами обычно называют объекты, дробящиеся самоподобным образом. Таковы, например, реки с их многочисленными притоками, малыми речушками и ручьями, а также извилистая береговая линия морей, поверхность облаков, горы. Чрезвычайно широко распространены фрактальные структуры в живой природе: кровеносная система животных и человека, эпителий кишечника, желчные протоки, легочная ткань, нервная система и т.д. Отличительным признаком фракталов является их разрыхленность в объеме, изрезанность по площади или изломанность линии. Название фрактал (от лат. *fractio* – разламывание) как раз и отражает эту особенность перечисленных объектов. Их объем, площадь, длина уже не могут служить метрической характеристикой объекта, так как становятся неопределенными величинами и зависят от цены деления используемого измерительного прибора. Например, измеряя длину какого-либо участка береговой линии шнуром 100-метровой длины, шнуром с узелками через каждый метр, рулеткой с сантиметровыми делениями и линейкой с миллиметровыми делениями, мы получим разные результаты, даже если выразим их в одинаковых единицах длины — метрах. Не всегда даже возможно однозначно указать, к какому геометрическому типу принадлежит данный объект. На рис. 23.1,*а* показана ломаная линия, а рядом (рис. 23.1,*б*) — закрашенная плоскость, полученная долгим продолжением этой линии в пределах ограниченной площади квадрата. Но где гарантия, что рассматривая этот черный квадрат под сильным увеличением, мы не увидим все ту же линию с незакрашенными участками исходного квадрата?

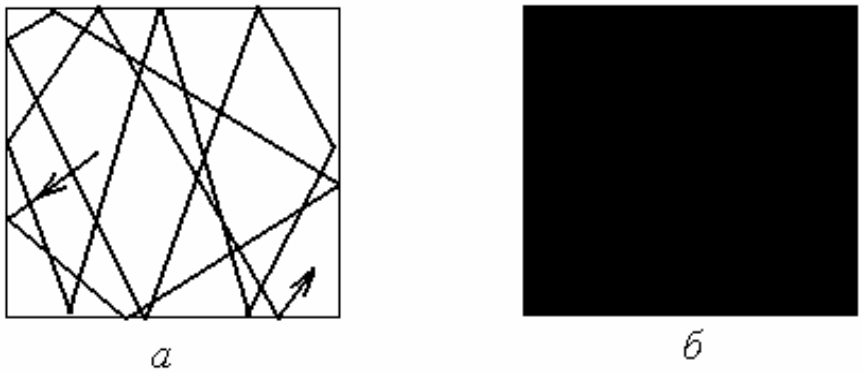


Рис. 23.1. Продолжая очень долго изломанную линию (*а*) в ограниченных пределах квадрата, со временем перестаем отличать ее от закрашенной поверхности этого квадрата (*б*)

Что же в таком случае избрать мерилом рассматриваемых объектов и как убедиться в том, что элементы их структуры действительно обладают свойством самоподобия? Строгое определение фрактала, данное американским математиком Б. Мандельбротом (1975), звучит так:

Фракталами называются объекты, у которых топологическая размерность меньше хаусдорфовой.

Дадим необходимые пояснения. В геометрии под *размерностью множества* понимается минимальное число координат, необходимое для задания в этом множестве положения материальной точки. Для точки это 0, для линии — 1, для поверхности — 2, для объемного тела — 3. *Топология* изучает объекты, свойства которых не изменяются при деформациях, производимых без разрывов и склеиваний. *Топологическая размерность множества* d_T — это геометрическая размерность, на единицу превышающая размерность разреза, делящего это множество на две несвязные части, причем топологическая размерность точки полагается равной нулю. Тогда для линии снова получаем $d_T = 1$, для поверхности $d_T = 2$ и т. д. В любом случае это целое число.

Теперь представим себе множество элементов некой структуры (рис. 23.2), состоящей, например, из определенным образом расположенных точек. Разобьем это множество на одинаковые ячейки с линейным размером r и подсчитаем количество ячеек, содержащих хотя бы один элемент множества.

Хаусдорфовой размерностью множества (по имени нем. математика Ф. Хаусдорфа) *называется предел отношения логарифма числа ячеек разбиения этого множества, содержащих хотя бы один его*

элемент, к логарифму величины, обратной линейному размеру ячейки, при его стремлении к нулю:

$$d_H = \lim_{r \to 0} \frac{\ln N(r)}{\ln(1/r)}. \qquad (23.1)$$

Это означает, что для проверки фрактальности какого-либо объекта его нужно разбить на ячейки в пространстве большей размерности, подсчитать указанное отношение, затем разбить на более мелкие ячейки, снова подсчитать это отношение и т.д. Если у полученной последовательности чисел существует предел, то он и будет хаусдорфовой размерностью d_H данного объекта. Если же его топологическая размерность d_T окажется меньшей, чем d_H, то объект является фракталом.

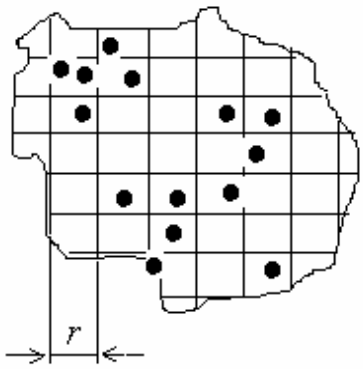


Рис. 23.2. К определению хаусдорфовой размерности множества

Проиллюстрируем применение этой методики на примере известной из математики *кривой Коха* (рис. 23.3). Она получается в результате последовательного построения треугольного зубца на исходном отрезке единичной длины и возникающих при этом отрезках втрое меньшего размера.

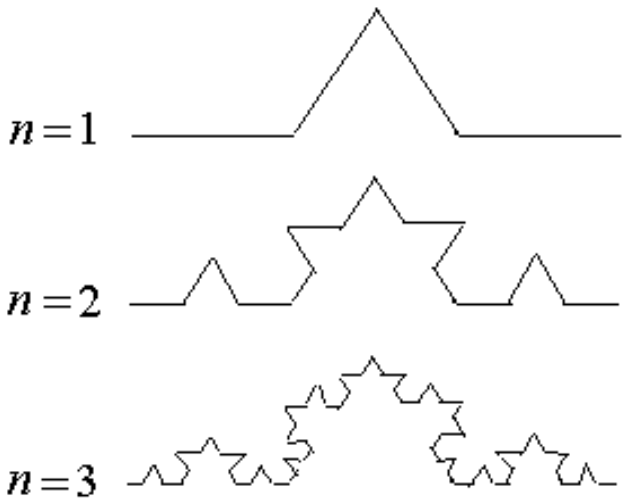


Рис. 23.3. Три последовательных шага построения кривой Коха

Легко видеть, что длина образующихся на n-м шаге отрезков (размер ячейки) $r_n = 1/3^n$. Число элементов структуры – точек перелома (именно они образуют кривую Коха) $N(r_n) = 4^n$. Хаусдорфова размерность объекта $d_H = \ln 4/\ln 3 \approx 1{,}26$, а его топологическая размерность $d_H = 1$, т.е. условие $d_T < d_H$ выполнено.

Часто для проверки фрактальности того или иного объекта бывает удобнее пользоваться не определением Мандельброта и формулой (23.1), а просто вычислить его так называемую *размерность самоподобия:*

$$D = \frac{\ln N}{\ln n}. \qquad (23.2)$$

Здесь N – число, показывающее, во сколько раз увеличивается количество одинаковых элементов структуры при переходе к следующему шагу дробления, а n – число, показывающее, во сколько раз при этом уменьшается линейный масштаб этих элементов. Так, для объектов, изображенных на рис. 23.4, получаем: для отрезка $D = 1$; для квадрата $D = 2$, для куба $D = 3$.

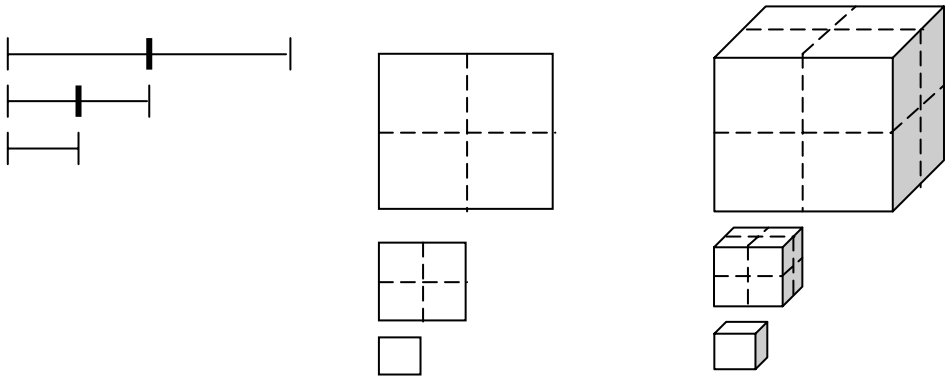


Рис. 23.4. Три последовательных первых шага дробления в линейном масштабе 1:2 отрезка, квадрата и куба

Рассмотрим теперь *ковер Серпинского* (рис. 23.5), названный так в честь польского математика В. Серпинского (1882 – 1969).

Применение формулы (23.2) в этом случае дает $D = \ln 3 / \ln 2 \approx 1{,}58$. Для кривой Коха размерность самоподобия совпадает с хаусдорфовой размерностью:

$$D = d_H = \ln 4/\ln 3.$$

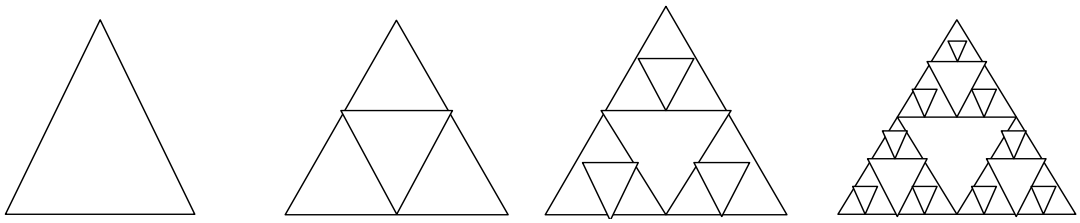


Рис. 23.5. Последовательные шаги построения ковра Серпинского

Так вот, *фрактальными являются не любые самоподобно дробящиеся объекты, а только такие, у которых размерность самоподобия является дробной величиной.* В частности, объекты, изображенные на рис. 23.4, не являются фракталами. Размерность фрактала всегда принимает промежуточное значение между топологическими размерностями тех объектов, от которых он удаляется и к которым приближается.

В ряде случаев фракталы получаются в результате повторения по определенному закону некоторого элемента структуры. Например, взяв лист бумаги, перегибая его по диагонали и разрезая по сгибу, из полученных треугольников через довольно большое число поколений получаем самоподобно ветвящуюся структуру, называемую «драконом» (рис. 23.6).

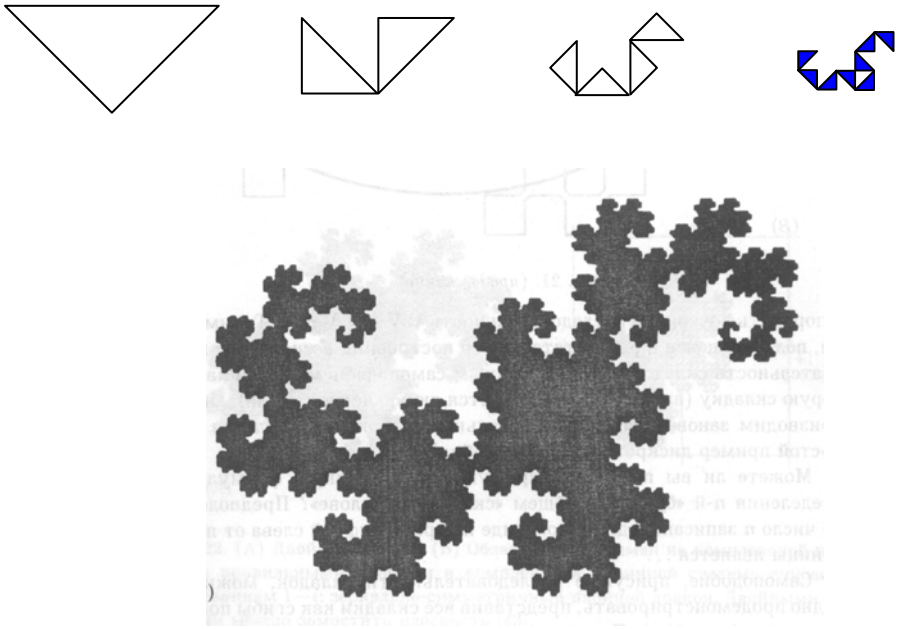


Рис. 23.6. Фрактальный «дракон», полученный из треугольных элементов

23.2. Фракталы в природе

Как уже указывалось в п. 23.1, береговая линия часто не имеет естественного масштаба длины и представляет собой фрактал. На рис. 23.7 показана часть побережья Норвегии, изрезанная большими и малыми фьордами. Покрывая карту сеткой из квадратных ячеек, по формуле (23.1) можно определить хаусдорфову размерность побережья. Норвежский ученый Енс Федер использовал ячейки размером r от 80 км до 0,6 км и получил значение $d_H \approx 1{,}52$.

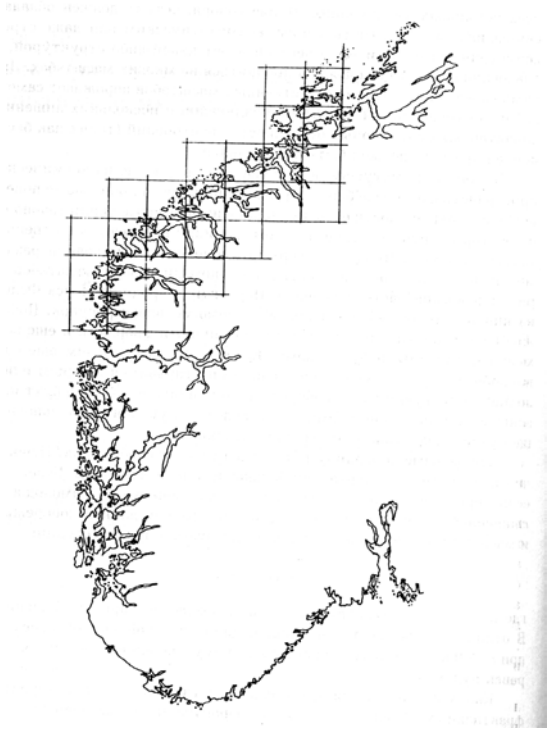


Рис. 23.7. Часть береговой линии Норвегии обнаруживает фрактальный характер (Из кн. Федер Е. Фракталы. — М.: Мир, 1991)

Понятно, что чем меньше масштабная единица длины r, тем большее значение измеряемой длины L побережья мы получаем. Существует степенной закон вида

$$L(r) \sim r^{\varepsilon}, \quad \varepsilon < 0, \tag{23.3}$$

где показатель ε связан с хаусдорфовой размерностью d_H следующим образом:

$$d_H = 1\text{-}\varepsilon. \tag{23.4}$$

Величина ε может быть найдена из рис. 23.8 как угловой коэффициент прямой $L(r)$, изображенной в двойном логарифмическом масштабе.

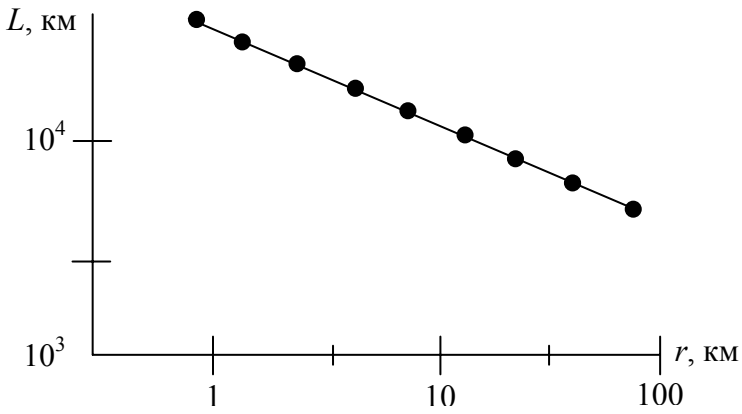


Рис. 23.8. Определение фрактальной размерности береговой линии побережья Норвегии. (Из кн. Федер Е. Фракталы. — М.: Мир, 1991)

Во многих случаях фракталы образуют ветвистые древовидные формы — дендриты (от греч. *dendron* — дерево). Примером таких фракталов являются морозные узоры на стекле, потолке погреба и других поверхностях, на которых происходит отложение и кристаллизация водяных капель. На рис. 23.9 показан такой узор, взятый из Internet* (автор А. Троценко).

Очень часто дендриты образуются при кристаллизации металлов. Известный русский металлург XIX в. Д. К. Чернов описал дендритный кристалл, найденный внутри 100-тонного металлического слитка. В полости застывшего металла вырос ветвистый кристалл длиной более 40 см. Это самый большой из известных дендритов металлов. Самородные металлы — золото, серебро, медь и другие — в природе часто встречаются в форме дендритов (цит. по кн. Шаскольская М. П. Кристаллы. — М.: Наука, 1978. — С. 143).

Рис. 23.9. Морозный узор на потолке погреба

Дендриты возникают в результате ограничения диффузией агрегации осаждае-

* http://phys.web.ru/db/msg.html

мых при росте кристалла атомов. Атомам легче осесть вблизи выступа структуры, чем в ее глубине, попасть куда маловероятно, не «застряв» по пути. Явление ограниченной диффузией агрегации было открыто и описано П. Микиным* в 1983 г. Внимательное изучение таких структур (рис. 23.10) показывает, что дендриты представляют собой *фрактальные кластеры* (от англ. *cluster* — гроздь).

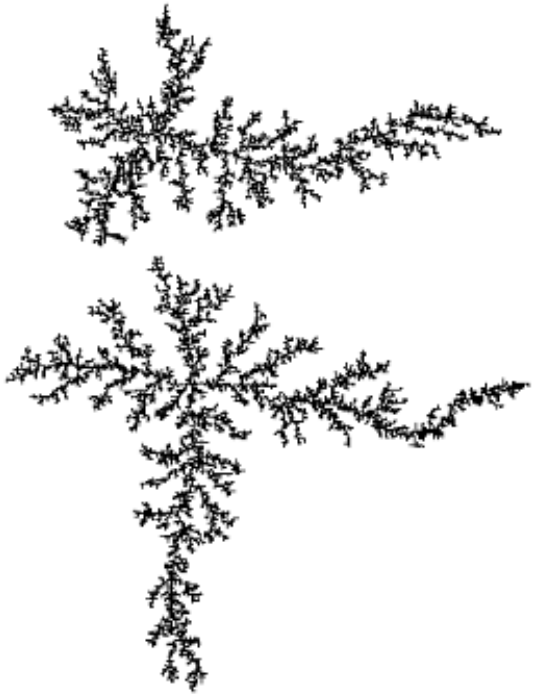


Рис. 23.10. Фрактальный кластер, выращенный в условиях ограниченной диффузией агрегацией (электронный ресурс: http:// www. codent.ru/progr/fract/info4.php)

Для кристаллизации фрактальных кластеров определение фрактальной размерности по формулам (23.1) — (23.3) не совсем удобно. Обычно в этих случаях находят так называемую массовую размерность d_m, определяемую формулой

$$M \sim R^{d_m}, \tag{23.5}$$

где M — масса частиц в сфере радиуса R. В частности для кристаллов, выращенных в условиях ограниченной диффузией агрегации, Микиным было получено значение $d_m \approx 2{,}4$.

* Meakin P. Formation of fractal clusters and networks by irreversible diffusion-limited aggregation. // Phys. Rev. Lett. — 1983. — P. 1119 — 1122.

Массовая размерность хорошо подходит также для описания фрактальных свойств различных порошков. Порошки образуют вложенную друг в друга систему кластеров (рис. 23.11) плотностью ρ. Через n поколений плотность порошка P становится равной ρ_n, а радиус кластера R-r_n. Масса объема порошка радиусом R будет определяться выражением (23.5), где теперь $d_m = d + \ln \rho / \ln r < d$, так как $\rho < 1$, а $r > 1$ (d — размерность пространства, равная 2 на плоскости или 3 в объеме). На рис. 23.11 $d = 2$, $r \approx 7$, $\rho \approx 0{,}7$ и $d_m \approx 1{,}82$.

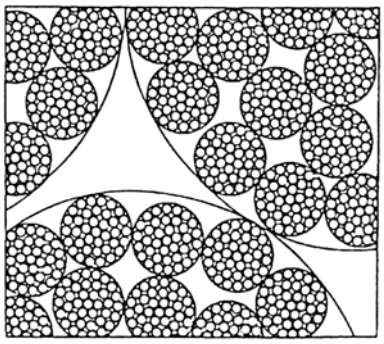


Рис. 23.11. Кластеры разного размера, образуемые при агломерации порошка. (Из ст. Onoda G.Y., Toner J. Practical dimensions of model particle packings having multiple generations of agglomerations // Comm. Am. Ceramic Soc. — 1986. — V.69. — P. C.278 — C.279)

Огромное количество фрактальных объектов можно наблюдать в живой природе. Не имея возможности рассмотреть здесь все многообразие и красоту фрактальной гармонии живых организмов, остановимся лишь на двух примерах. На рис. 23.12 показаны фотографии с рисунков радиолярий, выполненных немецким зоологом Э. Геккелем в 1902 г. Мы уже говорили об этих простейших живых организмах, появившихся на Земле около 2,5 млрд лет назад и входящих в состав морского планктона, на семинаре 12 в связи с их симметрией.

Перейдем теперь от простейших к наиболее сложным живым организмам. На рис. 23.13 представлена фотография бронхов человеческого легкого. Для бронхов характерен постоянный коэффициент ветвления (бифуркации) $d / d_1 = d / d_2 \approx 2^{1/3}$, где d — диаметр делящегося участка, а d_1 и d_2 — соответственно диаметры образующихся ветвей. Показатель степени 1/3 получается здесь из-за того, что после большого числа бифуркаций бронхиальная ткань должна заполнить почти полностью все трехмерное пространство, ограниченное легкими.

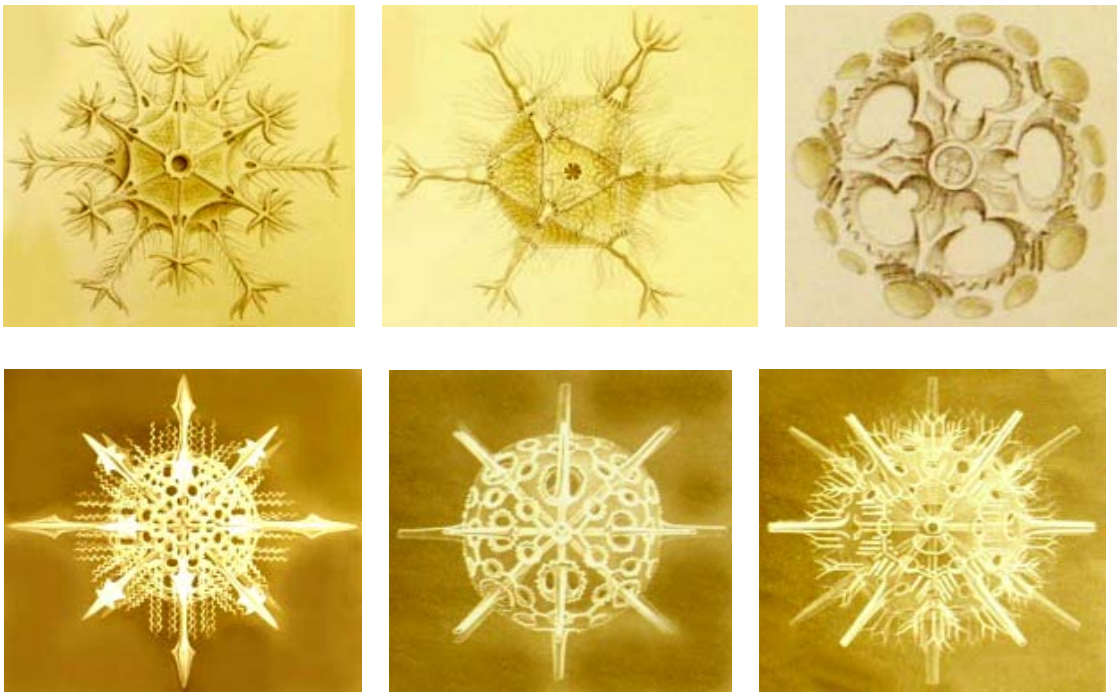


Рис. 23.12. Фрактальное многообразие радиолярий (электронный ресурс: http://www.aires.spb.ru/worldnews/Radiolar/radiolar.html)

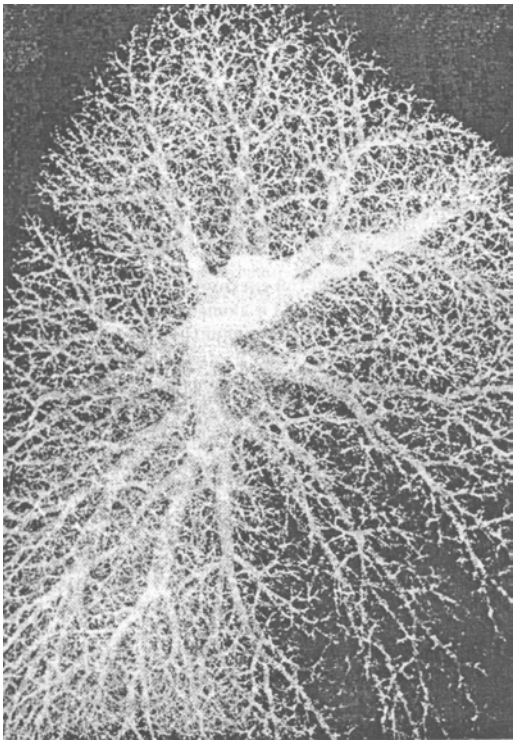


Рис. 23.13. Бронхиальное древо (Из ст. Collet J.H. The lung // Scientific American — 1966. — V.214. — P.56 — 68)

23.3. Фракталы в экономике

В конце XIX в. американский финансист Чарльз Доу обратил внимание, что цены на акции подвержены циклическим колебаниям: за ростом следует падение, потом снова рост и падение и т. д. Это натолкнуло его на мысль, что можно прогнозировать дальнейшее поведение цены, если известно ее направление за последний период. Спустя более чем полвека, другой американский финансист, Ральф Эллиот, увлекшись только что появившейся теорией фракталов, пришел к выводу, что каждый пик цены может быть представлен совокупностью более мелких подобных же пиков, для которых исходный пик является трендом (рис. 23.13). Таким образом, колебание цены носят фрактальный характер.

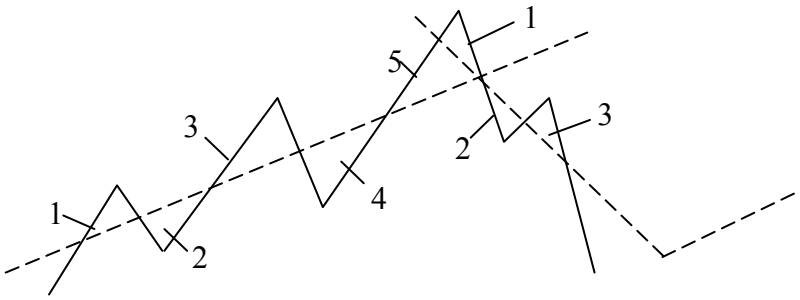


Рис. 23.13. Волновая диаграмма Эллиота (пунктиром показан ценовой пик Доу)

В случае, если тренд динамики цены нарастает (фрактал наверх), на восходящем участке большого пика наблюдаются пять полуволн колебаний относительно тренда: три пика (1, 3, 5 — их называют *барами*) и две впадины (2 и 4). На нисходящем участке возникают два бара (1 и 3) и одна впадина (2). По-видимому, эти числа: 3/2 и 2/1, являющимися отношениями чисел Фибоначчи, в пределе стремящимися к Золотому сечению $\Phi \approx 1{,}618$ (см. семинар 1), вдохновили Эллиота на поиски оптимальной стратегии в операциях с ценными бумагами.

Оказалось, что на нарастающем тренде длина бара 3 составляет приблизительно 1,618 длины бара 1, а бар 5 часто равен по длине бару 1. Кроме того, длина бара 5 обычно составляет 0,382 или $0{,}618 \approx 1/\Phi$ расстояния, пройденного ценой от начала бара 1 до конца бара 3. Естественно, что наиболее выгодно входить в рынок после преодоления новой ценовой вершины, чтобы оказаться на восходящем участке следующего пика. Для этого используются так называемые стоп-ордеры. Стоп-ордер на покупку помещается на вершину (или

чуть выше) последнего полностью сформированного бара. Стоп-ордер на продажу применяется, если фрактал формируется вниз и устанавливается на низину последней впадины.

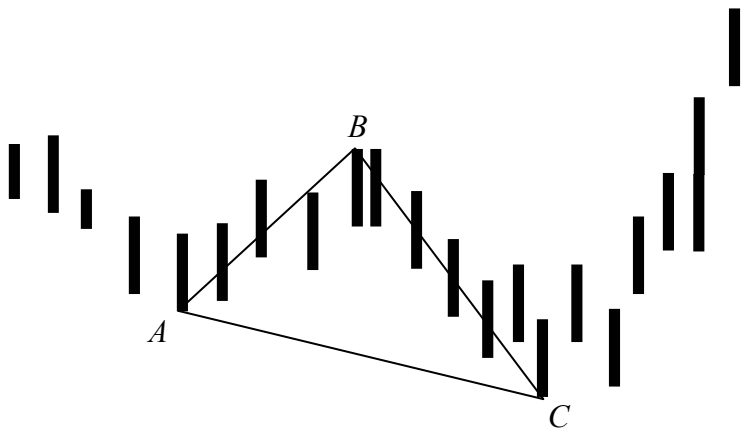


Рис. 23. 14. Расстояние АС между основаниями крайних баров пика (здесь они изображены жирными столбиками) больше, чем их удаления АВ и ВС от вершины центрального бара, что обеспечивает выживаемость такого фрактала

Участникам рынка — трейдерам — очень важно правильно расчитать уровни установки стоп-ордеров. Так как они связаны с числами Фибоначчи, их называют Фибоуровнями. Однако на практике всегда легко ошибиться в идентификации фрактала, понять, преодолеет ли цена экстремум центрального бара или нет. Энтузиаст использования фрактальных методов в анализе финансового рынка Билл Вильямс* предложил для простоты игнорировать внутренние бары, которые не выходят за границы предыдущего бара. Более строгий подход состоит в том, что истинный или жизнеспособный фрактал таков, что линия, соединяющая основания крайних баров должна быть больше каждой из линий, соединяющей эти основания и вершину центрального бара (для фрактала наверх). Рис. 23.14 демонстрирует как раз такую ситуацию.

Интересно, что треугольные элементы изображенного на рис. 23.14 ценового фрактала позволяют рассматривать его как фрактал «драконного» типа (см. рис. 23.6).

* Вильямс Б. «Торговый хаос» и «Новые измерения биржевой торговли». — М.: Аналитика, 2000.

24

Солитоны

Я проследовал за ним верхом, и когда нагнал его, он по-прежнему катился вперед со скоростью примерно 8—9 миль в час, сохранив свой первоначальный профиль возвышения длиной около тридцати футов и высотой от фута до полутора футов.

Дж.С. Рассел

24.1. Ударные волны. Уравнение Бюргерса

Волновые явления чрезвычайно широко распространены в природе и используются в технике. Под волнами понимают процесс распространения возмущений в среде. Эти возмущения могут иметь различную физическую природу, в связи с чем говорят об электромагнитных, акустических и прочих волнах. Наиболее наглядными являются волны на поверхности жидкости. Будем в дальнейшем для определенности иметь в виду именно их.

Если на поверхность жидкости в каком-либо ее месте было оказано некоторое возмущающее воздействие, а затем она оказалась предоставленной самой себе, то, очевидно, ускорение a некоторой частицы жидкости в области возмущения равно нулю:

$$a = \frac{du}{dt} = \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial u}{\partial x}\frac{\partial x}{\partial t} = 0. \qquad (24.1)$$

Поскольку производная от координаты x по времени t равна ее скорости u, то выражение (24.1) можно переписать в виде

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u\frac{\partial u}{\partial x} = 0$$

или более компактно:

$$u_t + uu_x = 0. \qquad (24.2)$$

В (24.2) и далее переменные индексы при величинах означают, что от данной величины берется производная по указанному индексу.

В вязкой среде на частицу жидкости действует сила внутреннего трения, пропорциональная второй производной от скорости по координате, и уравнение (24.2) принимает вид

$$u_t + uu_x = \nu u_{xx}, \qquad (24.3)$$

где ν — коэффициент кинематической вязкости среды. Уравнение (24.3) было получено Бюргерсом и носит его имя. Оно описывает *ударные волны* в среде, распространяющиеся вдоль координаты x. На рис. 24.1 показан профиль ударной волны. Для удобства по оси абсцисс на рисунке отложено расстояние от фронта волны, имеющего координату x_0.

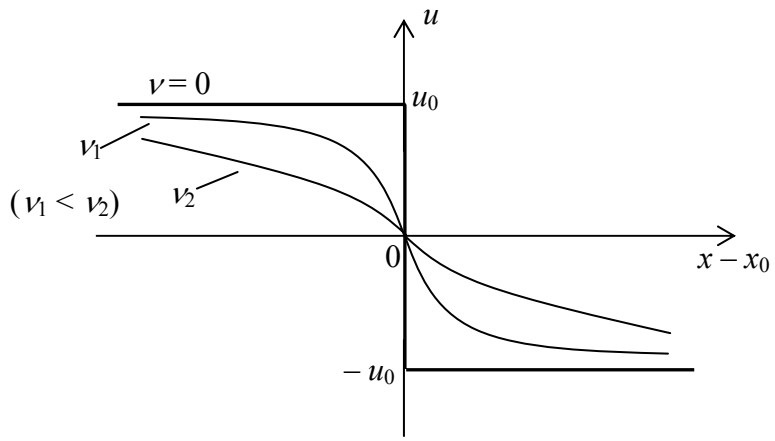


Рис. 24.1. График ударной волны

Как видно из рис. 24.1, с ростом вязкости среды профиль фронта ударной волны сглаживается. Высота и крутизна фронта математически определяется нелинейным слагаемым uu_x в уравнении Бюргерса. Чем больше это слагаемое, а оно зависит от величины начального

возмущения (так как u_x пропорционально ему), тем круче фронт волны. В вязких средах имеет место *диссипация* (от лат. *dissipatio* — рассеяние) энергии. Поэтому при распространении в диссипативной среде высота и крутизна фронта ударной волны по мере ее распространения уменьшаются, и волна затухает.

24.2. Солитоны. Уравнение Кортевега — де Вриза

В 1834 г. шотландский физик и инженер-изобретатель Джон Скотт Рассел получил от правительства предложение изучить возможности навигации паровых судов по каналу, соединяющему Эдинбург и Глазго. До этого по каналу ходили баржи, которые тащили лошади. Используя особенности судоходства по каналу, Рассел однажды столкнулся с совершенно необычным явлением. Когда баржа неожиданно остановилась, вода, которую она привела в движение, оторвалась от носа судна и в виде большого одинокого возвышения, наподобие водяного холма, быстро продолжила свой путь вдоль канала. Рассел на лошади проскакал за ним более мили, пока он не затух и не затерялся в изгибах канала. В своем «Докладе о волнах» Рассел назвал обнаруженное им явление «уединенной волной трансляции». Название *солитоны* уединенные волны (по англ. *solitary waves*) получили позже, в 1965 г., когда выяснилось, что они ведут себя подобно частицам (электронам, протонам, нейтронам и т. д.): при столкновении с другими такими волнами они отталкиваются от них, как бильярдные шары.

Современное определение солитона таково: *солитон — это уединенная волна, сохраняющая свою форму и скорость в процессе распространения и после столкновения с другими уединенными волнами.*

Что же удерживает солитон от превращения в ударную волну и опрокидывания? Оказывается, кроме диссипации есть еще одно явление, вызывающее сглаживание, а точнее, расползание волнового фронта — *дисперсия* (от лат. *dispersio* — рассыпание). В дисперсионной среде различные по частоте спектральные составляющие волнового всплеска распространяются с разной скоростью, поэтому и происходит его уменьшение по высоте и расползание по ширине. Когда дисперсионные эффекты компенсируют нелинейные, возникает волна постоянного профиля — солитон.

Эту особенность и учли голландские ученые Дидерик Иоганнес Кортевег и Густав де Вриз, придав в 1895 г. уравнению Бюргерса (24.2) более общий вид:

$$u_t + (c_0 + u)u_x + \beta\, u_{xxx} = 0 \qquad (24.4)$$

Уравнение (24.4) называют уравнением Кортевега — де Вриза (КдВ). Здесь β — коэффициент дисперсии, c_0 — скорость распространения линейной волны (т. е. обычной периодической волны малой амплитуды) в данной среде.

Представив решение упрощенного уравнения КдВ без нелинейного слагаемого ($uu_x = 0$), в виде плоской бегущей волны

$$u = u_0 e^{i(\omega t - kx)}$$

(u_0 — амплитуда волны, ω - частота, $k = \omega / c_0$ — волновое число), получаем, что $u_t = i\omega\, u$, $u_x = -\, iku$, $u_{xxx} = ik^3 u$. Подставляя эти выражения в (24.4), получаем

$$\omega = c_0 k - \beta k^3 . \qquad (24.5)$$

Уравнение (24.5) называется *дисперсионным уравнением* для уравнения КдВ. Оно выражает зависимость фазовой скорости волны V (в общем случае нелинейной) от частоты:

$$V = \frac{\omega}{k} = c_0 - \beta k^2 .$$

Отсюда видно, что в отсутствие дисперсии ($\beta = 0$) $V = c_0$.

24.3. Фазовый портрет нелинейных волн в диссипативной среде. Возможные решения уравнения КдВ

Вводя новую переменную $v = u - c_0$, приведем уравнение КдВ к более простому виду

$$v_t + vv_x + \beta\; v_{xxx} = 0 . \qquad (24.6)$$

Перейдем в (24.6) от x к так называемой «бегущей координате» $\xi = x - Vt$. Тогда $v_x = dv/d\xi$, $v_t = -\, Vdv/d\xi$, а (24.6) примет вид

$$\beta \frac{d^3 v}{d\xi^3} + (v - V)\frac{dv}{d\xi} = 0 .$$

Проинтегрировав последнее уравнение по ξ, получаем

$$\beta \frac{d^2 v}{d\xi^2} = -\frac{\partial U}{\partial v},$$

где $U = -\frac{Vv^2}{2} + \frac{v^3}{6}$ — потенциальная функция, характеризующая потенциальную энергию частицы жидкости единичной массы. Ее графическая зависимость от относительной скорости v частицы изображена на рис. 24.2 *а*.

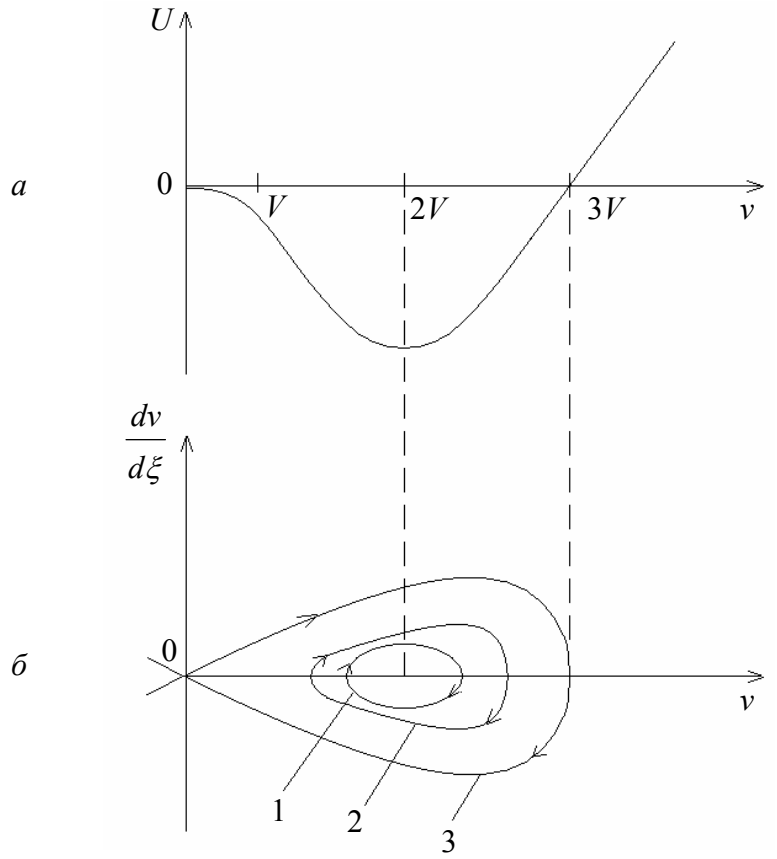


Рис. 24.2. Определяемые уравнением КдВ потенциальные энергия частиц жидкости (*а*) и фазовый портрет их колебаний (*б*)

Величины v и $dv/d\xi$ характеризуют состояние (по греч. *phasis*) частицы жидкости в произвольный момент времени. В связи с этим плоскость (v, $dv/d\xi$) является фазовой плоскостью, а совокупность изображенных на ней фазовых траекторий частиц называется их *фазовым портретом* (рис. 24.2, *б*). Замкнутые траектории на фазовом

портрете соответствуют колебаниям (волнам) постоянной амплитуды. Эллипс (кривая 1), например, соответствует гармоническим колебаниям (волнам). При малых отклонениях от равновесия потенциальная энергия частиц будет зависеть от скорости по закону, близкому к параболическому. Поэтому в данном режиме мы будем иметь дело с *квазигармоническими колебаниями и волнами* (рис. 24.3, *а*).

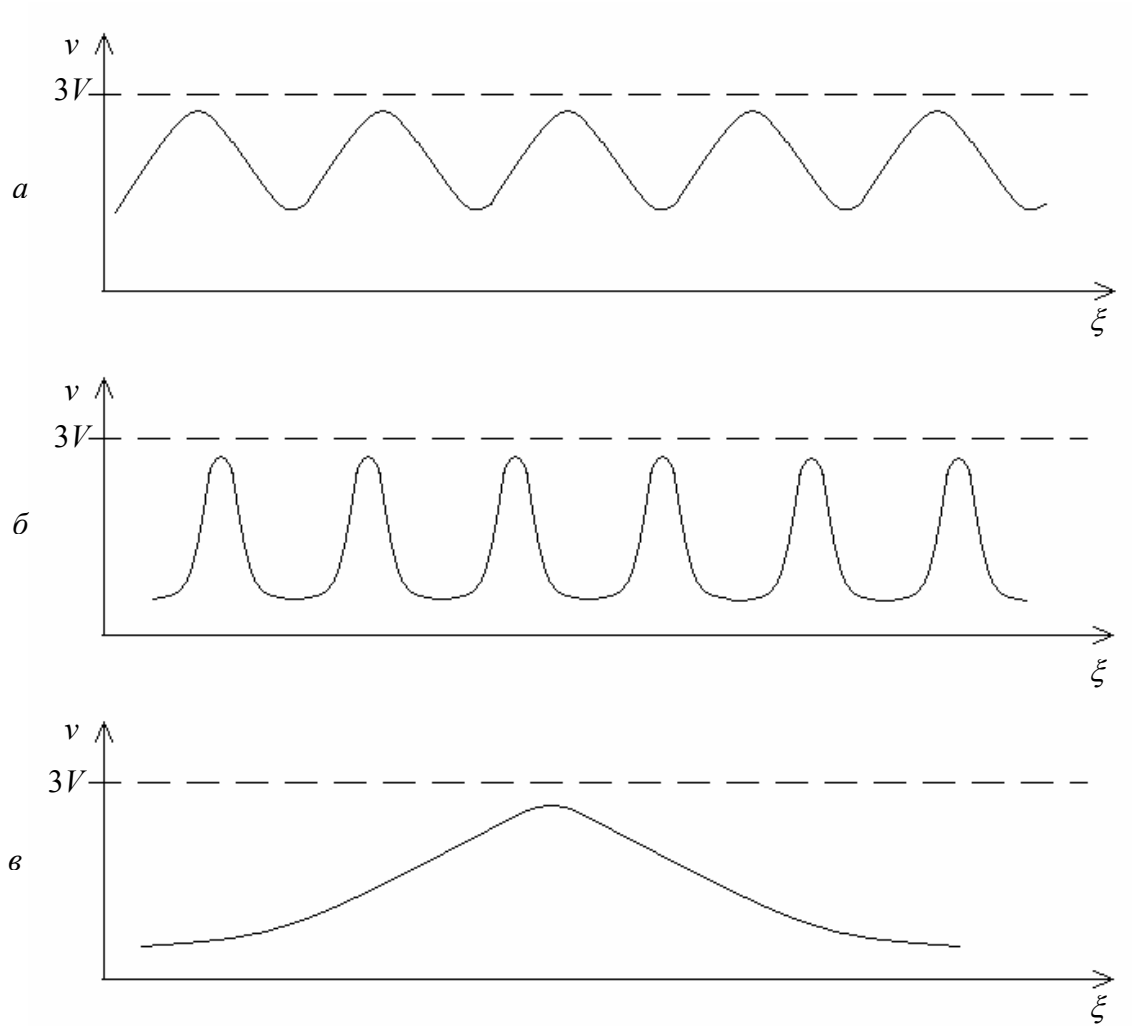


Рис. 24.3. Различные виды решения уравнения КдВ: квазигармонические волны (*а*), кноидальные волны (*б*), солитоны (*в*)

При несколько больших отклонениях от равновесия потенциальная энергия частицы отклоняется от параболы, а ее фазовая траектория становится яйцеобразной (кривая 2): отклонения от равновесия в одну сторону превышают отклонения в другую сторону. Такие колебания (волны) называются *кноидальными* (рис. 24.3, *б*). Наконец, при

больших отклонениях от равновесия, в существенно нелинейном режиме, фазовая траектория образует незамкнутую петлю (кривая 3). Ей-то и соответствует одногорбая уединенная волна — *солитон* (рис. 24.3, *в*). График солитона в старых переменных x, u показан на рис. 24.4. Его профиль определяется функцией $f(x) = \operatorname{sech} x$, которая называется «гиперболическим секансом»:

$$u = A\operatorname{sech}^2 \frac{x - Vt}{L}, \qquad (24.7)$$

где

$$L = \sqrt{12\beta/(\alpha A)} \qquad (24.8)$$

и

$$V = c_0 + 1/3\alpha A \text{ —} \qquad (24.9)$$

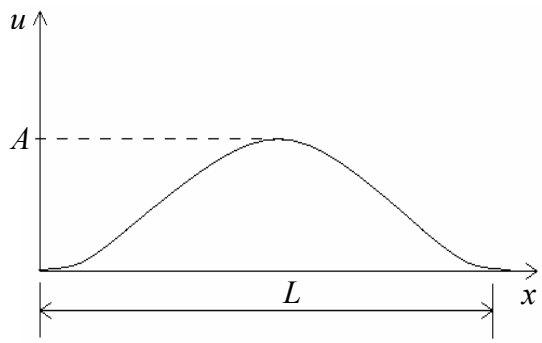


Рис. 24.4. Типичный профиль солитона уравнения КдВ

соответственно ширина и скорость распространения солитона. Конкретное значение параметра $\alpha \sim 1$ зависит от типа волны (плоская, цилиндрическая, сферическая и т. д.).

Из (24.8), (24.9) видно важное свойство солитона: с ростом амплитуды его ширина уменьшается, а скорость возрастает. Рис. 24.2 проясняет последовательность превращения квазигармонических волн малой амплитуды сначала в цепочку солитонов (кноидальные волны), затем в отдельный солитон при возрастании определяющей амплитуду колебаний величины возмущения равновесного состояния поверхности жидкости.

24.4. Солитоны в природе и технике

Солитоны в узких каналах, подобные тому, который наблюдал Дж. С. Рассел, не единственные солитоны на воде. Примером солитона, описываемого уравнением КдВ, является также *цунами* — огромная морская волна, достигающая 50 м в высоту и распространяющаяся со скоростью до 1000 км/ч. Цунами возникают при подводных землятресениях в результате сдвига вверх или вниз протяженных участков морского дна.

На море могут возникать и солитоны другого типа — так называемые *групповые солитоны* или *солитоны огибающей*. Они пред-

ставляют собой группу амплитудно-модулированных периодических волн, у которых огибающая описывается гиперболическим секансом. Под огибающей обычно находится около 14—20 волновых гребней. В центре группы, таким образом, находится самый высокий, от седьмого до десятого, гребень. Отсюда происходит известное выражение «девятый вал». В отличие от солитонов КдВ, групповые солитоны описываются другим уравнением — так называемым нелинейным уравнением Шредингера (НУШ), поэтому их называют также солитонами НУШ. Важной отличительной особенностью таких солитонов является то, что их скорость не зависит от амплитуды.

Солитоны НУШ могут иметь и электромагнитную, в частности световую, природу. С ними связано, например, явление *самоиндуцированной прозрачности* — просветление непрозрачной среды при прохождении сквозь нее мощного импульса света. Объяснение здесь простое. Среда непрозрачна, если имеет место поглощение света. При достаточно большом количестве падающих фотонов подходящей частоты все атомы среды в области прохождения света, поглощая их, перейдут в возбужденное состояние, и среда станет прозрачной. Так и происходит при прохождении через непрозрачную среду переднего фронта светового импульса. Максимум импульса поглощается уже меньше, а его задний фронт стимулирует обратный переход возбужденных атомов среды в основное состояние. Излучаемая ими энергия возвращается световому импульсу, который проходит через среду. Сам импульс, естественно, содержит в себе группу электромагнитных волн (волновой пакет) требуемой частоты, т. е. представляет собой солитон НУШ.

В настоящее время ведутся работы по использованию групповых солитонов для передачи информации по оптическим волновым световодам на сверхбольшие расстояния. В обычных волоконно-оптических линиях связи из-за дисперсии происходит расползание и перекрытие сигналов с потерей переносимой ими информации. Поэтому через каждые 500—600 км приходится устанавливать ретранслятор, преобразующий оптический сигнал в электрический с сохранением всех его параметров, а затем вновь в оптический для дальнейшей передачи. Стоимость такого оборудования чрезвычайно велика — до 200 млн долларов на каждую ретрансляционную станцию. Применение в волоконных линиях связи солитонов, сохраняющих свою форму в процессе распространения, выглядит в связи с этим весьма привлекательным.

Больших успехов в данном направлении добилась известная американская фирма Bell Laboratories. Еще в 1972 г. сотрудник этой фирмы Айира Хасегава предсказал возможность существования солито-

нов в оптической волне. Впоследствии они были открыты экспериментально. Осталось только научиться управлять дисперсией света в волне, чтобы можно было поддерживать форму распространяющихся в нем солитонов неограниченно долго. Такая технология была создана ведущим специалистом фирмы Bell Линном Молленауэром. Суть метода в том, что световод разбивается на секции с чередующимися по знаку законами дисперсии. В нечетных секциях световой импульс расширяется, в четных — сжимается, в результате чего его форма восстанавливается. Подобные технологии позволят передавать информацию по оптическим линиям связи без ретрансляторов по меньшей мере на 5—6 тыс. километров.

Солитоны НУШ описывают также процессы распространения возмущений доменных стенок в ферромагнетиках и сегнетоэлектриках, прохождение нервных импульсов в живых организмах и многие другие процессы в биологических системах. Сотрудником Института машиноведия РАН, доктором физико-математических наук С. В. Петуховым разработана концепция живого организма как многоуровнего ансамбля солитонов.

Кроме солитонов КдВ и солитонов НУШ, в настоящее время известен ряд солитонов, описываемых другими уравнениями: синус Гордона, Хохлова-Заболотской, Кадомцева-Петвиашвили и др. Для образования этих солитонов, кроме нелинейности и дисперсии, важно влияние эффектов рефракции и дифракции волн. Мы предоставляем студентам возможность самостоятельно ознакомиться с этими интересными нелинейными уединенными волнами, воспользовавшись соответствующей литературой.

25

Детерминированный хаос

И прежде чем он сделал полный круг,
Другой его замкнул, вовне сплетенный...

Данте

25.1. Между порядком и хаосом

В материалах семинаров 14, 15 мы уже касались проблемы соотношения порядка и хаоса в открытых системах. Там было показано, что в таких системах аналогами равновесного состояния (которое возможно только в изолированных системах) являются так называемые стационарные состояния. Эти состояния могут быть как устойчивыми, так и неустойчивыми. Состояние системы считается устойчивым, если его малые возмущения затухают во времени, и неустойчивым — если они нарастают во времени. Устойчивым состояниям системы соответствуют *предельные циклы* на фазовой плоскости.

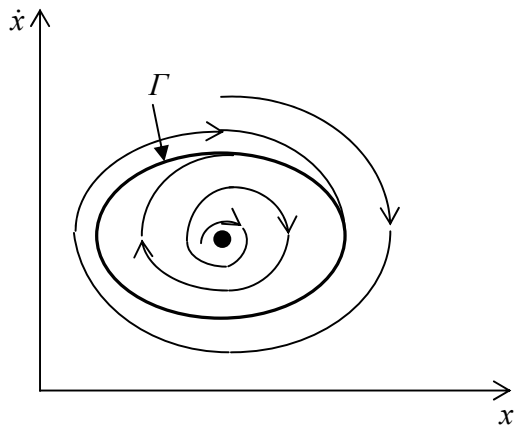


Рис. 25.1. Образование предельного цикла и автоколебаний в системе

Рис. 25.1 иллюстрирует эту ситуацию в пространстве состояний $(x, \dot{x})$ — фазовой плоскости, где x — отклонение системы от равновесия, а $\dot{x}$ — его производная по времени (скорость отклонения).

При малых возмущениях амплитуда колебаний относительно равновесного состояния *O* возрастает, о чем свидетельствует спирально раскручивающаяся фазовая траектория.

При больших возмущениях имеет место нелинейное ограничение амплитуды колебаний, и они начинают затухать. Об этом свидетельствует спирально скручивающаяся фазовая траектория. В результате вместо неустойчивого поведения системы в ней возникает новый устойчивый режим — периодические *автоколебания* определенной амплитуды, которым отвечает предельный цикл *Г* на фазовой плоскости.

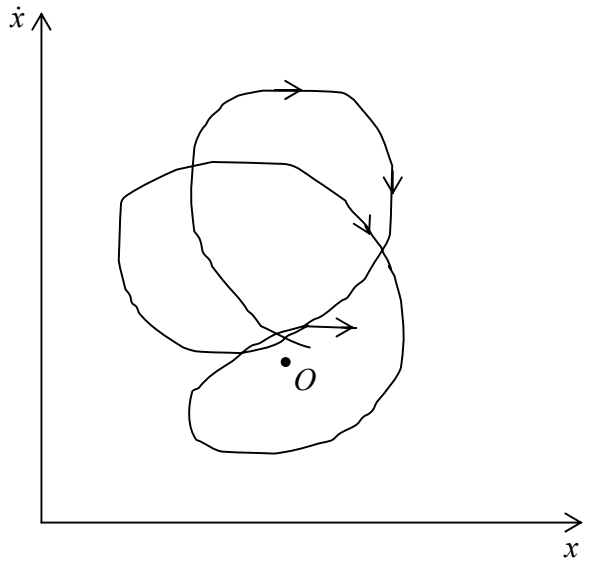


Рис.25.2. Невозможная ситуация в системе с двумя фазовыми переменными: пересечение фазовых траекторий нарушает закон причинно-следственной связи

Хотя состояние системы и было неустойчивым, ее дальнейшее поведение оказалось вполне предсказуемым или, как говорят, *детерминированным* (от лат. *determino* — определяю). В детерминированных процессах действует закон причинно-следственной связи: зная начальные условия, мы можем предсказать дальнейшее поведение системы. Вообразим теперь процесс быстрой смены нарастания амплитуды возмущения его нелинейным ограничением и резким уменьшением за время, меньшее одного периода колебаний. Тогда фазовая траектория неизбежно должна самопересекаться (рис. 25.2). Точки пересечения означают, что одному и тому же состоянию системы отвечают различные начальные условия. Получается, что в детерминированной системе нарушается закон причинно-следственной связи. Полученное противоречие доказывает невозможность реализации воображаемого примера на плоскости.

25.2. Детерминированный хаос

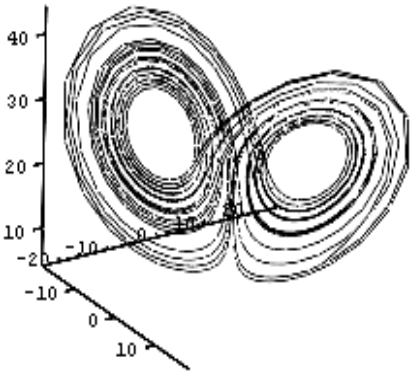


Рис. 25.3. Странный аттрактор, полученный Э. Лоренцом из Массачусетского технологического университета

Противоречие, которое мы получили выше, разрешается в пространстве трех и более фазовых измерений. На рис. 25.3 показан ход фазовой траектории в трехмерной нелинейной диссипативной системе. Здесь траектория может, не пересекаясь сама с собой, достигнуть некоторого удаления от равновесного состояния *O* и, испытав действие механизма нелинейного ограничения, вновь вернуться в окрестность данного состояния. Далее, из-за неустойчивости этого состояния процесс будет повторяться. Если рано или поздно траектория замкнется, это будет означать существование хотя и сложного, но периодического процесса. В случае апериодического процесса замыкание траектории не произойдет. Процесс остается детерминированным, хотя и сложным, похожим на хаотический. Мы можем его воспроизвести вновь и вновь, задавая то же самое начальное состояние системы. Это и имеют в виду, когда говорят о *детерминированном хаосе*. С одной стороны, понятия *детерминизм* и *хаос* прямо противоположны по смыслу. Но с другой стороны, процесс настолько сложный, что часто мы лишь в эксперименте (модельном или реальном) замечаем, что он воспроизводится, а определить состояние системы в произвольный момент времени, задав начальные условия, можем только гипотетически. Слишком сложны уравнения, которые для этого пришлось бы использовать. Так что формально это выглядит как хаос.

Далее, как бы долго не крутилась фазовая траектория в фазовом пространстве, в случае динамического хаоса она не выходит за пределы некоторой пространственно ограниченной области — *аттрактора* (рис. 25.3). Напомним, что аттракторами называются области фазового пространства, притягивающие к себе фазовые траектории (от англ. *to attrackt* — притягивать). Такие аттракторы называют *странными аттракторами*. Название было придумано французским ученым Ф. Такенсом. От привычных аттракторов — точек или циклов, соответствующих устойчивым затухающим или незатухающим колебаниям, странные аттракторы отличаются двумя особенностями: их траектория не замыкается и их

режим функционирования неустойчив. Причем эта неустойчивость всегда экспоненциальная! Это означает, что любое малое начальное возмущение режима $D(0)$ далее во времени нарастает по экспоненциальному закону:

$$D(t)=D(0)\exp(\lambda\, t), \tag{25.1}$$

где $\lambda = \lim\limits_{\substack{t\to\infty \\ D\to 0}} \frac{1}{t} \ln \frac{D(t)}{D(0)}$ — (25.2)

максимальный показатель Ляпунова.

Было бы ошибкой представлять себе странный аттрактор (рис. 25.3) в виде некой деформированной спирали. Неустойчивость системы вызывает экспоненциальное разбегание фазовых траекторий, а диссипация — ограничение фазового объема. В результате произвольный элемент фазового объема со временем по одним направлениям может растягиваться, а по другим сжиматься, постепенно заполняя весь странный аттрактор, без просветов между витками. Такое поведение фазовой траектории называется ее *перемешиванием*. Режим перемешивания соответствует сплошному спектру мощности в колебательном процессе, т.е. в нем присутствуют все частоты из некоторого интервала. Ранее считалось, что это является признаком случайного процесса. Теперь мы знаем, что подобным свойством могут обладать и детерминированные процессы в нелинейных диссипативных системах. Поэтому их и называют детерминированным хаосом.

25.3. Детерминированный хаос и фрактальность

Самоподобное экспоненциальное разбегание фазовых траекторий по странному аттрактору означает, что они фрактальны. Только эта фрактальность наблюдается не в обычном геометрическом пространстве, а в фазовом пространстве. Конечно, для строгого доказательства этого утверждения надо бы вычислить одну из фрактальных размерностей (хаусдорфову, самоподобия, массовую или др.) фазовой траектории и показать ее дробность. Но введенные в семинаре 24 упомянутые фрактальные размерности определены для геометрического пространства и не всегда удобны для вычислений.

Существует, однако, связь между фрактальной размерностью странного аттрактора и ляпуновскими показателями (25.2). Непосредственный расчет показателя Ляпунова по формуле (25.2) для систем с экспоненциальной неустойчивостью фазовых траекторий практически неприемлем из-за большой ошибки, возникающей даже при малом значении $D(0)$ за счет очень быстрого роста $D(t)$. Поэтому все время счета T разбивается на m промежутков длительностью τ. На каждом промежутке вычисляются *локальные показатели Ляпунова* (при одинаковых начальных условиях) λ_i по формуле

$$\lambda_i = \frac{1}{\tau} \ln \frac{D_i(\tau)}{D(0)}. \tag{25.3}$$

Для получения λ нужно усреднить все λ_i:

$$\lambda = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^{m} \lambda_i . \tag{25.4}$$

Выражение (25.4) можно представить в виде

$$\lambda = \frac{1}{m\tau} \ln \prod_{i=1}^{m} \frac{D_i(\tau)}{D(0)}. \tag{25.5}$$

Так вот, для выявления фрактальности странного аттрактора можно найти его так называемую *ляпуновскую размерность*, предложенную Капланом и Йорке:

$$d_L = j + \sum_{i=1}^{j} \frac{\lambda_i}{\left|\lambda_{j+1}\right|}. \tag{25.6}$$

В (25.6) предполагается, что $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq ... \geq \lambda_n$, а j определяется из условий $\lambda_1 + \lambda_2 + ... + \lambda_j \geq 0$, $\lambda_1 + \lambda_2 + ... + \lambda_j + \lambda_{j+1} < 0$.

Фрактальное самоподобие странного аттрактора позволяет его восстановить, зная лишь реализацию одной из координат исходного фазового пространства $x(t)$. Положение точки в фазовом пространстве конструируемого аттрактора можно определить m-мерным вектором

$$y(t) = \{x(t), x(t+\tau), ..., x(t+(m-1)\tau)\}.$$

Существует теорема Такенса, утверждающая, что сконструированный таким образом аттрактор будет топологически эквивалентным исходному аттрактору, если $m \geq 2d_H + 1$, где d_H — хаусдорфова размерность исходного аттрактора.

В заключение отметим, что детерминированный хаос и странные аттракторы были обнаружены практически во всех областях современного естествознания: в физике, радиотехнике, химии, биологии, экономике и т.д. То, что это интересное явление не было обнаружено раньше, обусловлено тем обстоятельством, что оно наблюдается исключительно в нелинейных системах и должно описываться системами чрезвычайно сложных нелинейных дифференциальных уравнений. В настоящее время еще не существует общей теории решения нелинейных уравнений. Поэтому, пока не были построены математические модели, в которых возникает детерминированный хаос, экспериментаторы, даже сталкиваясь с ним в ряде случаев, принимали его за проявление обычного хаоса, а теоретики не могли дать правильного объяснения наблюдаемым фактам.

В современных приборах и экспериментах все чаще используются сверхвысокие значения давления, скорости, температуры и других параметров. Это требует принципиально нелинейного подхода к описанию изучаемых процессов, применению методов математического и компьютерного моделирования. Поэтому мы все чаще и чаще сталкиваемся на практике с детерминированным хаосом.

26

Самоорганизация в природе

Пожалуй нет таких областей, которые не входят в круг проблем, связанных с самоорганизацией.

Г. фон Ферстер

26.1. Примеры самоорганизации в неживой природе

В открытых системах внутреннее производство энтропии может быть скомпенсировано ее уменьшением за счет обмена энергии с окружающей средой, и полная энтропия системы может быть даже уменьшена. При этом возникают неустойчивости, которые вызывают нарушение равновесия и могут нарастать до крупномасштабных флуктуаций. Начиная с некоторых критических для данной системы значений внешних потоков энергии, эти флуктуации могут вызывать ее переход в одно из возможных стационарных состояний, характеризуемых относительной устойчивостью и упорядочением. Существенно, что конкретный тип упорядочения определяется не видом или величиной внешнего воздействия на систему, а спонтанной перестройкой самой системы. Поэтому такое явление получило название *самоорганизации.* Наука о самоорганизации открытых динамических систем имеет несколько названий. Один из ее основателей, бельгийский физико-химик русского происхождения И. Пригожин (1917 — 1983) предпочитает термин «*неравновесная термодинамика*». Он назвал упорядоченные образования, возникающие в открытых системах в ходе необратимых процессов, *диссипативными структурами*. Диссипация энергии в системе обеспечивает связь порождаемых флуктуациями коллективных форм движения системы — так называемых *равновесных мод*. Устойчивым конфигурациям этих мод и отвечают возникающие упорядоченные структуры.

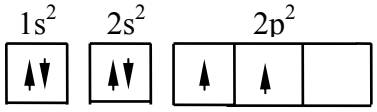
Таким образом, вызванные внешними воздействиями и неоднородностями системы случайные флуктуации ее параметров приводят к неустойчивостям в суперпозиции равновесных мод, которые служат толчком для спонтанного возникновения их новых, более устойчивых конфигураций. С учетом совместного действия многих факторов, обусловливающих процесс самоорганизации в неравновесных системах, немецкий физик Г. Хакен (р. 1927) назвал науку о ней *синергетикой* (от греч. *synergetike* — совместное действие).

Процессы самоорганизации описываются нелинейными дифференциальными уравнениями. Более того, самоорганизация является характерным признаком многих нелинейных процессов. Поэтому теория самоорганизации рядом ученых называется также *нелинейной динамикой*. Естественно, что используемые в этой науке уравнения и методы их решения требуют соответствующей математической подготовки и не всегда просты. Между тем, характер самоорганизации и возможные типы возникающих в ее ходе структур зачастую легко предсказать, применяя общие принципы симметрии.

Рост кристаллов. В качестве примера структурной самоорганизации часто приводят рост кристаллов из насыщенного раствора или расплава. Откуда атомы «знают», в каком порядке им надлежит соединиться друг с другом, чтобы создать характерную для данного вещества кристаллическую решетку? Покажем это на примере двух полиморфных модификаций углерода: алмаза и графита (рис. 26.1).

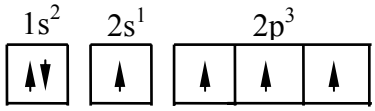
По своим физическим свойствам это два совершенно разных вещества, хотя они и сложены из одинаковых атомов. Алмаз — диэлектрик, прозрачный и очень твердый. Графит, напротив, хорошо проводит электрический ток, непрозрачный и мягкий. Оказывается, все дело в том, что в кристалле алмаза атомы углерода плотно упакованы, образуя кубическую решетку (класс $m\ 3m$) с гранецентрированными кубическими ячейками, а в кристалле графита атомы образуют слоистую решетку гексагональной симметрии (класс $6/mmm$).

В основном состоянии атом углерода имеет следующую электронную конфигурацию:



Два неспаренных валентных электрона, находящиеся в состоянии $2p$, не могут образовать четыре связи с валентными электронами соседних атомов (углерод четырехвалентен), поэтому кристаллизация

возможна лишь с участием возбужденных атомов углерода, имеющих конфигурацию



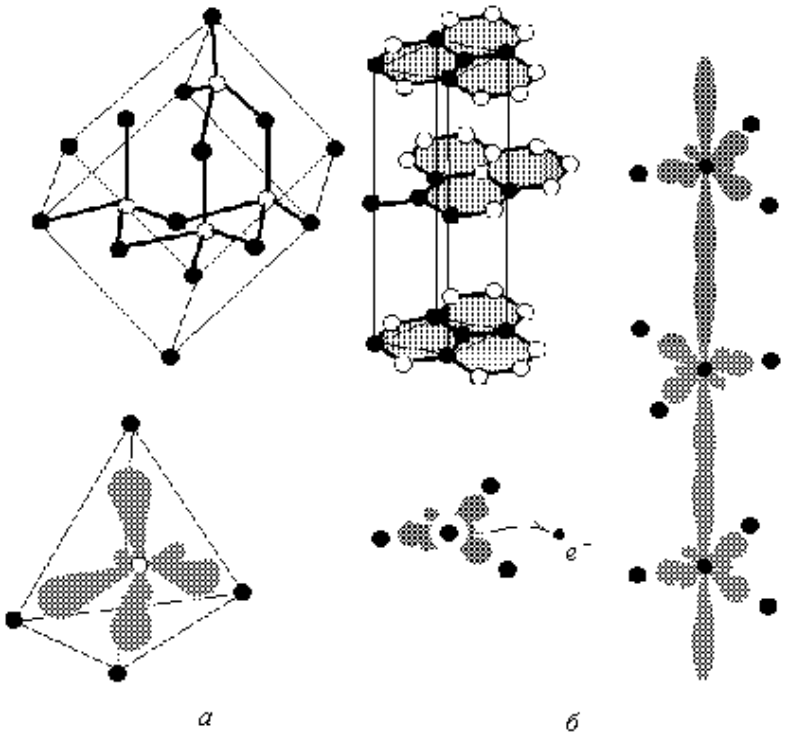


Рис. 26.1. Кристаллическая структура алмаза (*а*) и графита (*б*). В гранецентрированную кубическую элементарную ячейку алмаза включены еще четыре атома (показаны белым цветом), принадлежащие другой решетке, сдвинутой на 1/4 пространственной диагонали первой решетки. Элементарная ячейка графита представлена в виде ромбической призмы. Входящие в нее атомы также выделены белым цветом. Рядом показано строение и взаимное расположение электронных орбиталей, перекрытие которых обеспечивает валентные связи атомов

Далее возможны варианты... В алмазе все четыре связи равноценны и тетраэдрически расположены в пространстве. Как же это возможно? Ведь 2*s*- и 2*p*-орбитали отличаются друг от друга (вспомните форму «электронных облаков» из школьного курса химии: *s*-орбитали имеют сферическую форму, а *p*-орбитали — форму гантелей. Понимание проблемы пришло в 1931 г., когда американские физико-химики Л. Полинг и Дж. Слейтер, а также, независимо от них,

американский физико-химик Р. Малликен и немецкий химик Ф. Хунд пришли к выводу, что *s*- и *p*-электроны могут находиться в гибридных состояниях, промежуточных между *s* и *p*. Гибридные *sp*-орбитали представляют из себя гантели неправильной формы с сильно развитой одной стороной и едва заметным зачатком другой. Это обеспечивает одинаковость всех четырех связей и устойчивость тетраэдрической конфигурации из атомов углерода в кристалле алмаза.

В графите атомы углерода расположены послойно, в виде структуры из шестиугольных ячеек, причем имеются атомы двух сортов: одни расположены на одной линии, другие — напротив центров ячеек соседнего слоя. Для первой категории атомов характерно образование *p* — *p*-связей, правда, довольно слабых, между слоями. Три валентных электрона атомов второй категории образуют расходящиеся под углом 120° связи посредством *sp*-гибридных орбиталей с соседними атомами, а 4-й валентный электрон отрывается от атома и становится свободным носителем заряда (металлическая связь).

С точки зрения принципов симметрии процесс кристаллизации выглядит следующим образом. Алмазы растут в условиях высоких температур (свыше 1000 °С) и давлений (несколько тысяч атмосфер). По принципу Кюри (см. семинар 12) пересечение группы симметрии $G = \infty/\infty\ mm$ исходной системы — хаотического расположения атомов углерода с предельной группой симметрии скалярного воздействия (нагрев и всестороннее сжатие), характеризуемой той же самой предельной группой $\infty/\infty\ mm$, не меняет ее симметрии: $G' = G = \infty/\infty\ mm$. Это и будет группа симметрии физического свойства $G_p = \infty/\infty\ mm$, подгруппы которой по принципу Неймана определяют симметрию возникающей структуры: $G_S \subset G_P$. В условиях радиально симметричного воздействия алмаз кристаллизуется в кубической системе, описываемой классом симметрии *m3m*, содержащим следующий набор элементов симметрии: $3L_4 4L_3\ 6L_2\ 9PC$. Использованный здесь симметрийный подход, конечно, не решает вопросов, почему алмаз кристаллизуется именно в системе класса *m3m*, а не в других типах кубических ячеек, и почему при той же симметрии воздействия другие вещества могут кристаллизоваться в иные структуры (впрочем, также кубической симметрии). Это зависит от конкретных значений энергии химических связей между атомами и многих других более сложных условий, обсуждения которых выходит за рамки данного пособия. Отметим лишь, что группа *m3m*, действительно, является по принципу Неймана одной из подгрупп группы симметрии неподвижного шара $\infty/\infty\ mm$.

Графит кристаллизуется при гораздо меньших температурах и давлениях типа одноосного сжатия: $G_a = \infty/\infty\ mm$. Поэтому устойчи-

вая конфигурация атомов в кристаллической решетке графита должна описываться одной из подгрупп группы симметрии $\infty/\infty mm \cap \infty / mm$. С учетом требований трансляционной совместимости ячеек и различий в их базовых гранях, перпендикулярных направлению сжатия, и боковых гранях получаем для графита класс $6/mmm$ с набором элементов симметрии $L_6\ 6L_2\ 7PC$. Менее симметричные подгруппы характеризуются меньшей энтропией и менее устойчивы.

В условиях неоднородного роста, особенно если он происходит очень быстро, кристаллы редко вырастают совершенными. Чаще всего они образуют при этом *дендриты*.

В материалах к семинару 23 мы приводили примеры дендритного роста кристаллов льда в морозных узорах и иных случаях ограниченной диффузией агрегации атомов или молекул. Дендритную форму имеют и отдельные снежинки. За свою недолгую жизнь снежинка успевает вырасти лишь «вширь», так как наиболее прочные связи молекулы воды образуют в плоскости (кристаллы льда принадлежат к гексагональной симметрии). Поэтому снежинки имеют в целом шестиугольную форму. (По-видимому, впервые на шестиугольную форму снежинок обратил серьезное внимание еще И. Кеплер в своей книге «О шестиугольных снежинках», опубликованной в 1611 г.). Вершины шестиугольника несколько выступают по отношению к его граням и поэтому обладают большей вероятностью к захвату новых молекул воды. В результате такой конкуренции за питательное вещество снежинки растут неравномерно, образуя дендритные комплексы — *фрактальные кластеры* (рис. 26.2).

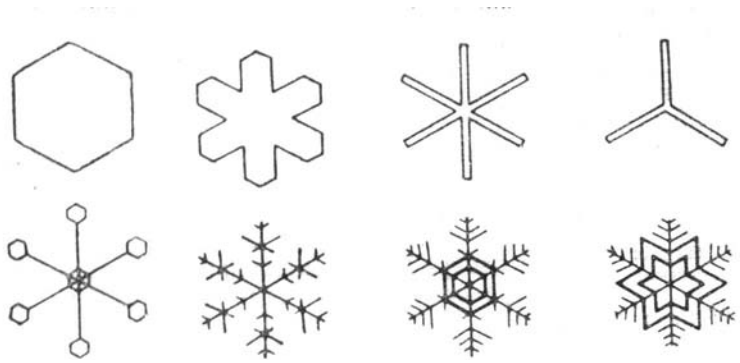


Рис. 26.2. Отдельные типы снежинок (из кн. Р.В. Богданов. От молекулы к кристаллу. — Л.: Химия, 1972. — С. 66)

Рассмотрим в качестве упрощенной модели снежинки так называемую триадическую кривую Коха (рис. 26.3 ср. с рис. 23.3), получаемую в пределе из равностороннего треугольника при построении на его сторонах зубьев в виде равносторонних треугольников втрое меньшего размера, чем исходный треугольник.

Применение формул (23.1), (23.2) к фигуре, изображенной на рис. 26.3, даст $d_H = D = \ln 4 / \ln 3 \approx 1{,}26$. Понятно, что реальные снежинки, как и снежинка Коха, также имеют дробную размерность и являются фракталами.

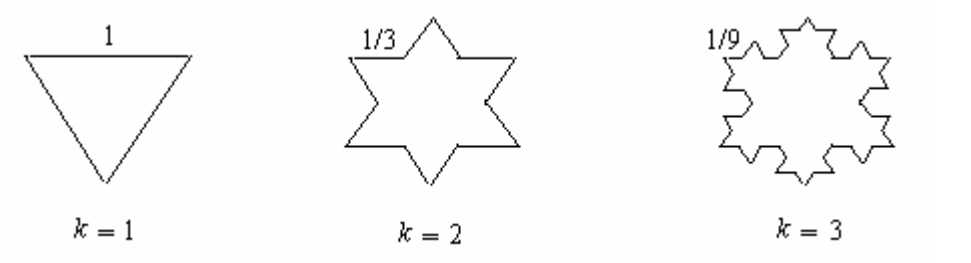


Рис. 26.3. Три последовательных первых шага построения кривой Коха. На третьем шаге (k = 3) эта фигура напоминает снежинку

В сильно неравновесных условиях в кристаллах возможны и иные случаи самоорганизации. На рис. 26.4 показаны пространственно-упорядоченные структуры, возникающие в сплаве Fe – Cr – Ni после облучения твердотельным лазером в импульсном режиме. Длительность импульсов составляла 10—20 нс. Упорядочение возникало, начиная с некоторого критического числа импульсов. До облучения микроструктура сплава была однородной. Важно, что однотипное воздействие на поверхность сплава приводит в разных экспериментах к различным пространственно-упорядоченным структурам. Такая многовариантность, как мы знаем, является признаком самоорганизации в системе.

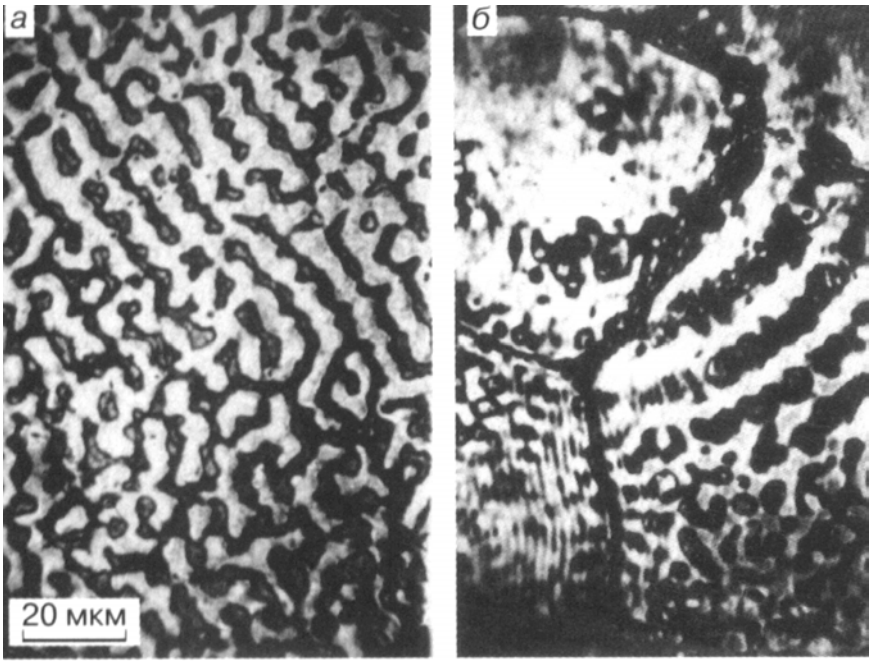


Рис. 26.4. Пространственно-упорядоченные структуры, возникающие в сплаве Fe – Cr – Ni после импульсного лазерного воздействия (300 импульсов). Увеличение 450х. (Из ст. Хмелевская В.С. Процессы самоорганизации в твердом теле // Соросовский образовательный журнал. — 2000. — №6. — С. 90)

26.2. Примеры самоорганизации в живой природе

Самоорганизация в грибных колониях. Многие плесенеобразующие грибы (зигомицеты, несовершенные грибы и др.) характеризуются колониальным ростом особи. У одних грибов (*Mucor, Coceromyces*) чаще встречаются зональные структуры, у других (*Mortierella*) имеется тенденция к образованию прерывистых кольцевых зон радиально-симметричного типа или даже в виде лопастей. Причем, в зависимости от условий выращивания (вид субстрата, температура, влажность, световой режим и пр.), симметрия колонии может изменяться (рис. 26.5).

Объяснение особенностей неоднородного роста колонии и периодического спороношения в микологической литературе (от греч. *mykes* — гриб) отсутствует. Считается, что природа этого явления неизвестна. Попытаемся разобраться в этом вопросе, применяя принципы симметрии Кюри и Неймана (см. семинар 12).

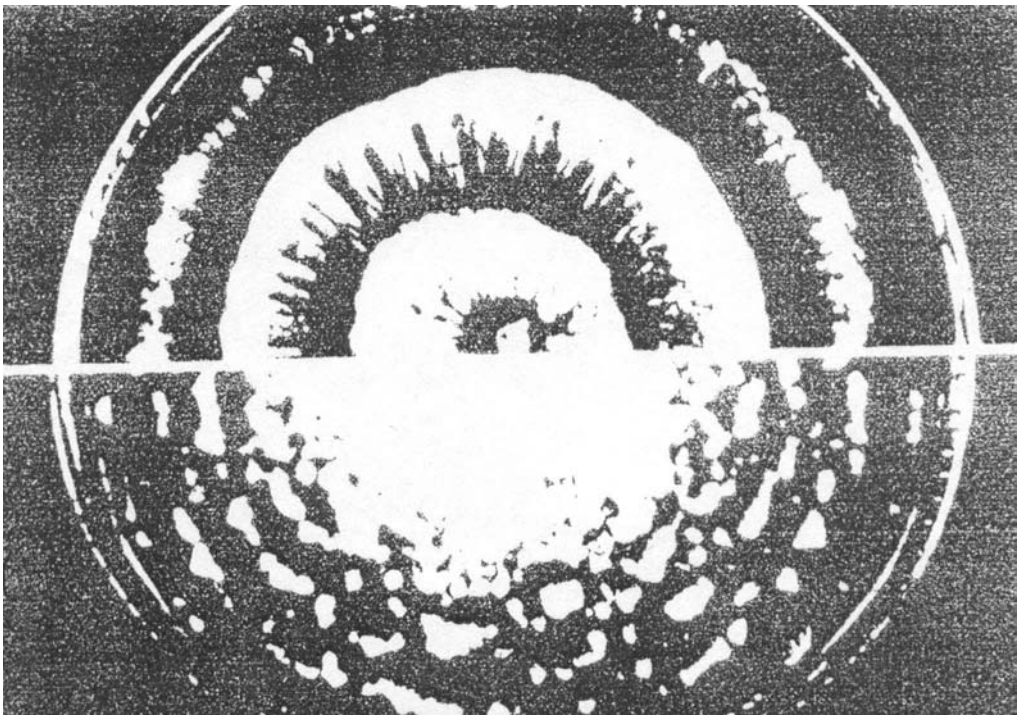


Рис. 26.5. Зональная и лопастная самоорганизация в грибах вида *Mortierella,* выращенных в разных условиях (Из кн. Жизнь растений. Т.2 / Под ред. М.В. Горленко. — М.: Просвещение, 1976)

Вследствие осмотрофного (от греч. *osmos* — давление и *trophe* — питание) способа питания грибы выделяют в окружающую среду ферменты, разлагающие высокомолекулярные органические соединения субстрата до мономеров, способных проникать через клеточные мембраны в тело гриба — *талло́м.* Диффундируя во все стороны от растущего таллома, эти ферменты переводят субстрат в состояние, симметрия которого может быть описана предельной группой $G = \infty / mmm$ (группа симметрии цилиндра или круга).

Группу симметрии G_a воздействия в данном случае можно рассматривать, как группу радиальных трансляций: $G_a = T_r$, в общем случае предельно малых, на которые распространяется возмущение от таллома. Физической причиной этого возмущения является высокое, до 100 атм, тургорное (от лат. *turgor* — вздутие, наполнение) давление в клетках мицелия, передаваемое субстрату. При этом следует иметь в виду возможные суточные и другие физиологические ритмы в колебаниях тургора.

В соответствии с принципами Кюри и Неймана группа симметрии G_f грибной колонии может быть найдена как

$$G_f \subseteq \infty / mmm \cap T_r. \qquad (26.1)$$

Перебор допустимых вариантов элементов симметрии по формуле (26.1) приводит к выводу, что возможны лишь следующие типы колонии (рис. 26.6): круговая (*а*), зонально–круговая (*б*), зонально–секториальная (*в*), радиально–лучевая (*г*) и промежуточная между зонально–секториальной и радиально–лучевой — лопастная (*д*). Обычные грибы, встречающиеся в лесу, также часто образуют колонии («ведьмины кольца»), но их форма бывает неправильной из-за неоднородностей лесного субстрата, корней деревьев, вытаптывания и уничтожения мицелия (грибницы) людьми и животными.

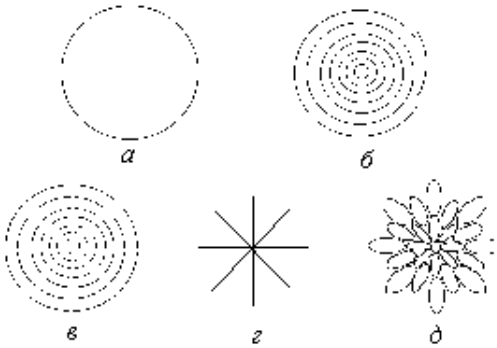


Рис. 26.6. Возможные типы самоорганизаций грибных колоний: круговая (*а*), зонально–круговая (*б*), зонально–секториальная (*в*), радиально–лучевая (*г*) и промежуточная между зонально–секториальной и радиально–лучевой — лопастная (*д*)

Стохастические автоволны в миокарде. Импульсы, вызывающие сокращение сердечной мышцы — *миокарда,* возникают в небольшом скоплении мышечных волокон, называемом *синусовым* (иногда его называют также синусным, синоартриальным, синусно–предсердным) *узлом* и расположенном между местом впадения верхней полой вены и ушком правого предсердия (рис.26.7).

Синусовый узел называют *водителем ритма*, или *пейсмекером* (от англ. *pacemaker* — задаватель темпа). В его клетках волна возбуждения возникает за счет колебаний разности потенциалов между наружной и внутренней стенками клеточных мембран из-за разной концентраций ионов калия и натрия. В разных фазах сердечных сокращений происходит автоматическое изменение проницаемостей мембран по отношению к данным ионам, в результате чего режим работы синусового узла является *автоколебательным,* а возбуждаемые им волны являются *автоволнами.* Указанными автоколебательными свойствами обладают и клетки некоторых других участков миокарда,

вами обладают и клетки некоторых других участков миокарда, однако частота их колебаний значительно меньше.

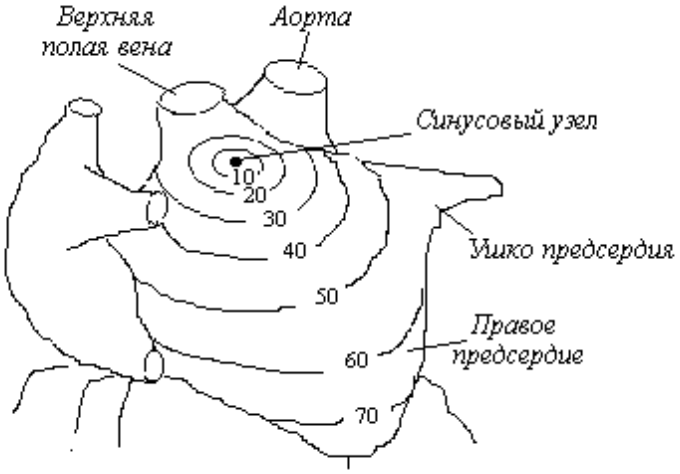


Рис. 26.7. Последовательные положения фронта автоволны на поверхности сердца. Числа указаны в миллисекундах

В норме частота возбуждения пейсмекерных клеток составляет 70—80 ударов в минуту, а средняя скорость распространения автоволны — около 1 м/с. Длина волны при этом несколько больше 1 м, т. е. значительно превышает размеры сердца. Так что при нормальной работе сердце сокращается практически целиком. Колебания «запасных» водителей ритма при этом подавляются.

При патологии (врожденной или приобретенной из-за болезни или травмы), когда отказывает естественный синусовый узел, в работу могут вовлекаться «пейсмекеры второго порядка». Длина возбуждаемых или автоволн может быть намного меньше размеров сердца. Тогда могут одновременно возникнуть несколько ложных ведущих центров, возбуждая рассогласованные между собой автоволны. Их суперпозиция приводит к разрывам волновых фронтов и возникновению *автоволнового хаоса.* В медицине такой режим работы сердца называют *фибрилляцией.* При нем сердце перестает сокращаться как целое, начинается подергивание его частей, и оно перестает выполнять свои функции. Возникновение режима фибрилляции приводит к смерти человека уже через 5— 6 мин. Если в течение этого времени врачи успевают применить *дефибриллятор* — прибор, создающий короткие электрические импульсы высокого напряжения ($V \approx 5$ кВ, $I \approx 20$ А, $t \approx 0{,}01$ с), то иногда удается восстановить работу синусового узла. (Периодически действующим источником, частота колебаний которого превышает частоту ложных автоволн, последние можно подавить).

Затем больному предстоит долгое лечение в стационаре, поскольку «высоковольтная встряска» сердца приводит к повреждениям сердечной ткани и вызывает микроинфаркты. Кроме того, дефибриллятор не устраняет причину заболевания и применяется только в крайних случаях для спасения умирающего человека.

Долгое время считалось, что здоровый человеческий организм пребывает в состоянии *гомеостаза*, т. е. возвращается в равновесное состояние после снятия физической нагрузки, выведшей его из этого состояния. Последние исследования показали, что сердце и другие физиологические системы работают отнюдь не с постоянными характеристиками даже в состоянии покоя. Например, ритм сердечных сокращений испытывает постоянные небольшие флуктуации, которые на первый взгляд кажутся хаотическими. Однако выяснилось, что это не хаотические, а так называемые *стохастические* (от греч. *stochastikos* — умеющий угадывать) колебания. Стохастический процесс предсказуем (предугадываем) или детерминирован, т. е. состояние участвующей в нем системы однозначно зависит от ее предыдущих состояний. Большинство процессов в живой природе именно таковы. Это позволяет организму лучше приспособиться, в чем-то даже подготовиться, к возможным изменениям условий окружающей среды.

Динамика популяции. Самоорганизация имеет место не только при морфогенезе единичного живого организма, но и на уровне *популяции* — совокупности особей одного вида, длительное время занимающих какое-либо географическое положение. Одна из первых моделей динамики роста популяции была разработана английским священником и экономистом Т. Мальтусом (1798). В своей книге «Опыт о законе народонаселения» он предсказал экспоненциальный рост населения в естественных условиях и сделал вывод о неизбежности бедственного положения, безработицы и гибели «лишних» людей, не способных выдерживать конкурентную борьбу с другими более энергичными или удачливыми людьми.

Математически этот вывод опирается на следующие простые рассуждения. Прирост населения в единицу времени, естественно, пропорционален уже имеющейся численности популяции N:

$$\frac{dN}{dt} = kN, \tag{26.2}$$

где k — разность между коэффициентами рождаемости и смертности. Если k = const, то, разделив в (26.2) переменные, его легко проинтегрировать:

$$\frac{dN}{N} = kdt; \;\; N = N_0 e^{kt}, \qquad (26.3)$$

где N_0 — численность популяции в начальный момент времени $t = 0$. График зависимости (26.3) для $k > 0$ (рождаемость превышает смертность), $k < 0$ (смертность превышает рождаемость) и $k = 0$ (равновесие между рождаемостью и смертностью) показан на рис.26.8, а.

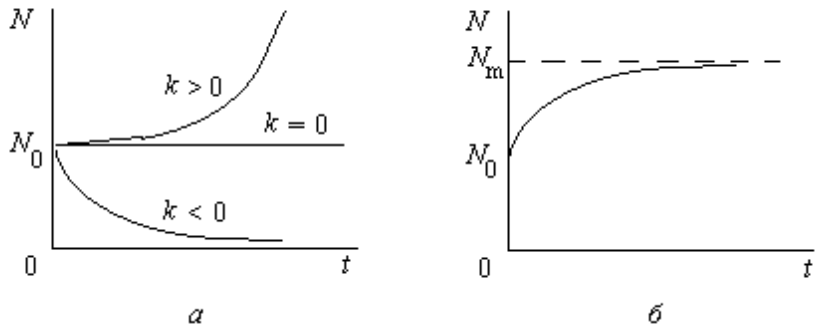


Рис. 26.8. Временная динамика числа особей в популяции по теории Мальтуса (*а*) и Ферхюльста (*б*)

Во время пятилетнего плавания на корабле «Бигль» Ч. Дарвин обратил внимание, что численность популяций в различных местах Земли контролируется факторами среды (пространство, количество пищи и т. п.), что приводит к конкуренции между особями. Находясь под влиянием идей Мальтуса, Ч. Дарвин пришел к выводу о существовании в природе естественного отбора.

Учет факторов, ограничивающих экспоненциальный рост популяции, был сделан в 1838 г. Ферхюльстом, предложившим вместо (26.3) следующее уравнение:

$$\frac{dN}{dt} = k\frac{N}{N_m}\left(N_m - N\right), \qquad (26.4)$$

где N_m — предельная численность, которой может достичь популяция в данных условиях среды. Когда $N \ll N_m$, уравнение (26.4) совпадает с (26.2), но, по мере роста N, начинает сказываться ограниченность природных ресурсов, и при $t \to \infty$ $N \to N_m$, а скорость прироста $dN / dt \to 0$ (рис. 26.8, б).

Уравнение (26.4) называется *логистическим* уравнением Ферхюльста (термин «логистика» появился еще во времена основателя науки о способах доказательств и опровержений — логики — древнегреческого философа Аристотеля (IV в. до н. э.) и применяется при сведении логических рассуждений к формальным вычислениям).

Вопрос о конкретных биологических механизмах ограничения численности популяции условиями проживания пока еще до конца не ясен. Однако известно, что если взять два одинаковых аквариума и поместить в один десять головастиков, а в другой — сто, то в первом все десять без проблем превратятся в лягушат, а во втором процесс развития замедляется, и часть головастиков законсервируется на промежуточных стадиях развития. Если же теперь взять воду из второго аквариума и перелить в первый, где находятся всего десять головастиков, то затормозится развитие и этого небольшого числа головастиков. Стало быть головастики в процессе своего развития выделяют в среду некоторые химические вещества, являющиеся сигналами о количестве уже имеющихся особей.

В Институте экологии растений и животных Уральского научного центра Академии наук, руководимом академиком С. С. Шварцем в 70-х гг. XX в. были предприняты эксперименты, призванные ответить на вопрос: на кого сильнее действует приказ «прекратить развитие!» — на далеких друг от друга головастиков или на их близких родственников. Оказалось, что на родственников. Понятно, что природа предусмотрела и эту сторону проблемы, ведь избыток родственных особей в популяции приводил бы к близкородственному скрещиванию и вырождению.

Более того, авторы показали, что процессы, регулирующие численность популяции, происходят уже на молекулярном уровне. Они изготовили кашицу из тканей головастиков, так называемый гомогенат. Этот гомогенат поместили в воду с растворенными в ней продуктами жизнедеятельности головастиков. Оказалось, что уровень сигналов, издаваемых гомогенатом, зависит от концентрации метаболитов — продуктов обмена веществ в растворе.

27

Синергетика и мышление

Хотя изучение функционирования элементов мозга, несомненно, является важной областью исследования, столь же очевидно, что для контроля за движением, для зрения, слуха и т.д. решающее значение имеет согласованное взаимодействие «блоков», образующих мозг.

Г. Хакен

27.1. Мышление, его ступени и формы

Эволюционируя по пути прогрессивного усложнения структуры, живая природа создала мозг — орган, регулирующий жизненные функции организма, в том числе высшую нервную деятельность, включая *мышление*. Под мышлением понимается процесс познания окружающего мира на основе его обобщенного отражения и внутренних переживаний. Начинается этот процесс с построения *сенсомоторных схем* – организованной последовательности действий, составляющих определенную форму поведения. С развитием способности мысленно активировать сенсомоторные схемы, не совершая конкретного действия, формируется собственно мышление. Различают три ступени или фазы мышления. Особенностью первой фазы является *способность предсказать результат действия, не совершая его фактически.* Вторая фаза представляет собой *способность к логическим рассуждениям и использованию конкретных понятий в пределах реальных событий*. Третья фаза – это *способность к абстрагированию, построению и оценке гипотез.*

По-видимому, первая фаза мышления свойственна уже высшим животным. На основе повторяющихся раздражителей из внешнего мира и в процессе научения в памяти формируются устойчивые обра-

зы предметов и действий – *архетипов мышления.* Иначе говоря, это *образное мышление,* не связанное с анализом поступающей информации, ее разложением на дискретные составляющие и последовательным перебором вариантов отклика системы на характер входного сигнала. Это в чистом виде *аналоговое кодирование* информации, предполагающее подобную реакцию на подобный раздражитель. В дискретной математике идея о том, что использование памяти при кодировании повышает его эффективность за счет сжатия в блоки, была высказана лишь во второй половине XX века К. Шенноном.

Особенностью человеческого мозга является его *функциональная асимметрия,* состоящая в том, что каждое полушарие головного мозга имеет в определенном смысле свое собственное мышление: левое обрабатывает информацию аналитически и последовательно, выражая ее в словах или знаках, составляющих некоторый язык, а правое – одновременно и целостно, выражая информацию в образах. Изучение коры головного мозга обнаружило и структурные различия в его левой и правой части. В частности, оказалось, что у подавляющего числа людей (праворуких) участок коры височной доли, примыкающий к зоне Вернике, слева значительно больше, чем справа. Асимметрия полушарий имеет место уже у новорожденных. Она обнаружена при изучении ископаемых черепов даже у неандертальцев и, следовательно, закреплена генетически.

Вместе с тем мозг обладает определенной пластичностью. При удалении височных зон левого полушария у взрослых людей развивается необратимый дефект речи – афазия. Подобная операция у детей младенческого возраста не приводит впоследствии к нарушениям речи. Функции поврежденной части берут на себя другие участки мозга.

Кора головного мозга является продуктом наиболее поздней эволюции животного мира. Поэтому высшие фазы мышления, связанные с анализом, понятийным и абстрактным мышлением – то, что составляет функцию левого полушария, сложились лишь в ходе эволюции человека. Материально они осуществляются в *модульных колонках,* образованных вертикально связанными нейронами разных слоев коры мозга. Многократное поступление информации в корковые модули, ее циркуляция в них приводит к электрическим и химическим изменениям в синапсах. Вырабатываются специфические ферменты, изменяющие проницаемость синаптических мембран и обеспечивающие изменение структуры нейронной ткани по принципу «замок – ключ», что составляет основу долговременной памяти.

Для чего природе понадобилось пространственно разделить участки мозга, управляющие *аналитическим* (знаковым, словесным, цифровым) и *синтетическим* (образным, континуальным) способами

распознавания и хранения информации? Понятно, что поблочное хранение аналоговых образов или архетипов однажды полученной и обработанной информации требует иной организации памяти, чем ее сравнение с уже имеющейся информацией, анализ, оценка и определение места в иерархии понятий. В первом случае мы имеем дело с подобием библиотечного каталога с множеством подкаталогов. Во втором – с подобием рабочего места служащего отдела первичной обработки и комплектации в библиотеке. Ясно, что потребность в последнем возникает лишь тогда, когда библиотека достаточно велика.

27.2. Эволюция мышления. Интеллект

Субъективный образ реального мира, построенный на основе всей совокупности знаний (*со*-знание), накопленных путем мышления, в философии называется *сознанием.* Оно делится на *общественное* и *индивидуальное* сознание. Первое представляет собой отражение общественного бытия в форме религии, науки, искусства и т. п. Второе – отражение объективного мира в мозге субъекта познания. Индивидуальное сознание проявляет себя с двух сторон: как *самосознание* – оценка самого себя с социальной точки зрения, что является основой внутреннего мира человека (*души*), и как *миросознание* — построение гипотез и попытка понять строение окружающего мира. Наличие способности к абстрагированию, построению и оценке гипотез называется *интеллектом* или умом (от лат. *intellectus* — ум).

Отсюда ясно, что душа и интеллект не одно и то же. Душа — это та часть индивидуального сознания, которая ориентирована на самого субъекта. Интеллект — та часть, которая ориентирована на внешний мир. И душа, и интеллект нематериальны. Это базы знаний в информационной системе «человек» или иное существо, обладающее сознанием. Они являются виртуальной реальностью, доступной к интерактивному общению в той мере, в которой сами того желают.

Душа и интеллект имеют информационную природу. Информацию можно передать на расстояние или сохранить в том или ином виде, например, напечатать на бумаге. Однако, сами по себе, душа и интеллект не передаются в готовом виде от одного субъекта к другому, тем более не сохраняются в неизменном виде на каком-либо материальном носителе. Это означает, что они представляют собой информацию в действии, т. е. являются системами типа *информация плюс ее энергетический носитель.*

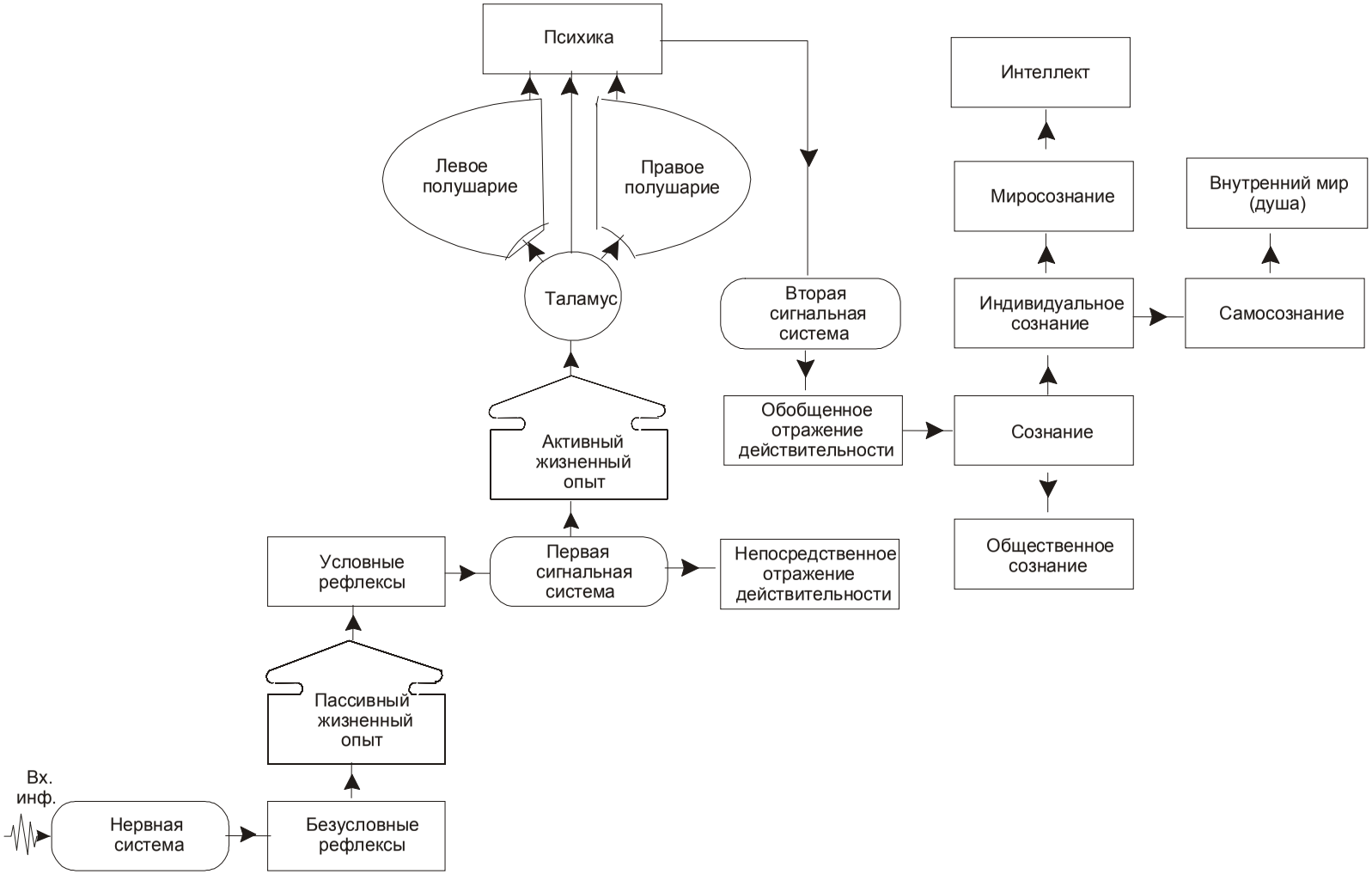


Рис. 27.1. Схема эволюции мышления и формирования естественного интеллекта

Характерным признаком человеческого мышления является построение вначале грубой версии входной информации, а затем ее последовательное уточнение все более мелкими деталями. Одним из авторов*, Р.А. Браже, было показано, что этот процесс аналогичен *ортогональному вейвлет-анализу*, требующему наличия двух фильтров — сглаживающего (низкочастотного) и детализирующего (высокочастотного), роль которых выполняют, соответственно, правое и левое полушария*.

Из этих представлений Браже** была предложена синергетическая модель формирования интеллекта (рис. 27.1). В ее основе лежит раздельная аналоговая и цифровая обработка информации с использованием низкочастотного и высокочастотного фильтров и ее сведение воедино через фрактальное (промежуточное между дискретным и непрерывным) представление. При этом семантическая неполнота информации компенсируется самоподобием деталей. Материальные структуры мозга (системы) обозначены на рис. 27.1 прямоугольниками со скругленными углами, а их функции — просто прямоугольниками.

Дефицит информации о подробностях отображаемого объекта побуждает систему к субъективной оценке уровня сглаживания деталей на основе сравнения характеристик сигнала и накопленного в памяти словаря «форм». Такое отражение действительности с учетом состояния системы можно назвать *психикой*. На основе психики строится вся дальнейшая самоорганизация памяти и функций мозга.

Здесь важно отметить, что асимметрия мозга появляется и генетически закрепляется у животных с достаточно хорошо развитой нервной системой в процессе накопления активного жизненного опыта и перехода к целевым действиям. Она впервые обнаруживаются у хордовых животных: в зачаточной форме у рыб и амфибий, а начиная с птиц, левое полушарие берет на себя функции анализа звуковых сигналов. Психика млекопитающих, особенно приматов, уже достаточно хорошо развита, а их мозг оказывается в состоянии запомнить звучание до нескольких сотен слов, обозначающих конкретные поня-

---

* Браже Р. А. Мозг осуществляет вейвлет-анализ сигналов? // Тр. Междунар. науч.-техн. конф. «Современные информационные технологии». – Пенза, 2000. – С.17 – 18; Браже Р. А. Фрактальное сжатие информации в мозге на основе ортогонального вейвлет-анализа // Там же. – С.19 – 20.

** Браже Р. А. Генезис естественного интеллекта и методы создания искусственного интеллекта // Тр. Междунар. конф. «Континуальные логико-алгебраические исчисления и нейро-математика в науке, технике и экономике». – Ульяновск, 2001. – Т. 1. – С. 35 – 38.

тия. Однако неразвитая гортань не позволяет им их произносить. Но известны успешные попытки обучения горилл и шимпанзе пальцевой азбуке глухонемых с целью активного пользования своим «словарным запасом».

Революционным шагом на пути очеловечивания мышления стало формирование *второй сигнальной системы,* где информация кодируется через ее словесное представление. В генезисе рода *Homo* это стало едва ли не главным событием, позволившем выжить биологически столь слабо защищенному существу, не имеющему ни мощных клыков, ни острых когтей, не способному настолько быстро бегать, чтобы убежать от хищных зверей или догнать и добыть в пищу более слабых животных. Как метко сказал выдающийся американский биохимик А. Сент-Дьерди: «Мозг не есть орган мышления, а орган выживания, как клыки или когти».

27.3. Нейронные сети

Модным термином *нейронные сети* сейчас называют как реальные сети нейронов нервной системы, так и область прикладной математики, практически никак не связанную с биологией. В последнем случае под нейронной сетью понимают систему из большого числа нелинейных функциональных элементов с определенной архитектурой нелинейных связей между ними. Эта архитектура прошла долгий путь от классической последовательной архитектуры Тьюринга – фон Неймана к многослойному персептрону Мак-Каллока – Питса – Розенблатта (рис.27.2) и топологически более сложным системам связей.

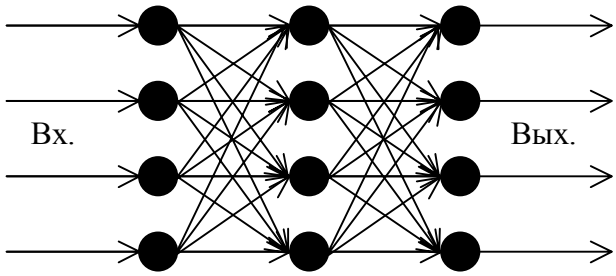


Рис. 27.2. Схема персептрона Мак-Каллока – Питса – Розенблатта. Персептон (от лат. *perseptio* – восприятие) – устройство, моделирующее восприятие и распознавание образов, предложенное американским ученым Ф. Розенблаттом в 1957 г. после того, как его соотечественники У. Мак-Каллок и У. Питс ввели понятие формального нейрона

Нейросетевые методы позволяют решать задачи *прогнозирования* временной зависимости функций многих переменных, каждая из которых, в свою очередь, зависит от времени. Сигнал к некоторому элементу нейронной сети приходит не только от элементов своего слоя, но с запаздыванием во времени – лагом (от англ. *lag* – запаздывание) – от элементов других слоев. Согласно теореме Такенса для любого временного ряда значений всегда существует такая глубина погружения в лаговое пространство, которая обеспечивает однозначное предсказание следующего значения этого ряда.

Нейросетевые методы вычислений – *нейрокомпьютинг* – успешно используются для предсказания поведения финансовых временных рядов, например, курса акций. В контексте эволюции интеллекта нейрокомпьютинг интересен тем, что прогнозирование осуществляется по результатам предыдущих или пробных испытаний динамической системы, описываемой данной нейронной сетью. Таким образом, нейрокомпьютинг позволяет решать *задачи самообучения* и является хорошей моделью процессов, происходящих в головном мозге. При этом, в силу параллельной обработки информации и континуальной природы нейронных сетей, *нейрокомпьютинг моделирует функции правого полушария мозга.*

Для дальнейшего важно осознать тот физический факт, что большая совокупность регулярным образом расположенных структурных элементов энергетически неустойчива и спонтанно распадается на *домены* – области с различной ориентацией упорядочения. Примером таких доменов являются, в частности, области спонтанной намагниченности в ферромагнетиках. Ткани многоклеточных живых организмов также подвержены доменизации. С. В. Петухов* приводит многочисленные примеры доменов в строении растений и животных, в том числе в строении нервной ткани. В свете изложенного представляется вероятным, что описанная выше протяженная многослойная нейронная сеть типа персептрона при определенных внешних условиях также должна испытывать фазовый переход в своей топологии и разбиваться на *нейродомены* (рис. 27.3).

Нелинейные возмущения доменной структуры приводят к распространению вдоль границ доменов (по доменным стенкам) уединенных волн постоянного профиля без диссипации энергии в окружающее пространство — *солитонов* (см. семинар 24). В случае *биодоменов* имеют место *биосолитоны*, на важную роль которых в само-

---

*Петухов С. В. Биосолитоны – тайна живого вещества. Основы солитонной биологии. – М.: «ГП Кимрская типография», 1999.

организации живой материи указывается в книге С. В. Петухова. Для *нейродоменов* уместно говорить о *нейросолитонах*.

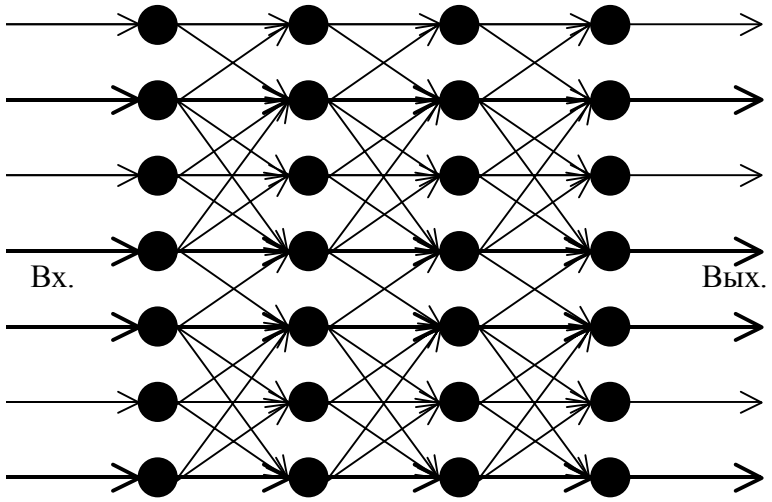


Рис. 27.3. Нейродомены в персептроне

Теперь мы можем свести воедино описанную выше синергетическую модель интеллекта, центральным положением которой является представление о вейвлет-преобразовании информации в мозге, и изложенную здесь теорию нейронных сетей с учетом возможности существования в них нейросолитонов. Как было показано Браже*, на роль вейвлетов, по которым возможно разложение сигналов в мозге, могут претендовать солитоны нелинейного уравнения Шредингера. Нейросолитоны, о которых шла речь, таковыми и являются. Подтверждением высказанным идеям служит экспериментальное обнаружение** вейвлетов возбудимости в сенсорных нейронах.

Важно, что в нейронных сетях могут существовать эффекты *перколяции*. Если существует непрерывный через связанные между собой нейроны путь через всю нейронную сеть, то говорят, что она перколирует (от лат. *percolare* — протекать сквозь что-либо). Наименьшую плотность нейронов, при которой сеть перколирует, будем называть *порогом перколяции.* По достижении порога перколяции связанные

---

*Браже Р. А. Мозг осуществляет вейвлет-анализ сигналов? // Тр. Междунар. науч.-техн. конф. «Современные информационные технологии». – Пенза, 2000. – С. 17-18; Браже Р. А. Фрактальное сжатие информации в мозге на основе ортогонального вейвлет-анализа // Там же. – С. 19 – 20.

** Hasty J., Collins J.J., Wiesenfeld K., and Grigg P. Wavelets of excitability in sensory neurons // J. Neurophysiol. – 2001. – V. 86. – P. 2097 – 2101.

между собой нейроны образуют самоподобные (фрактальные) *кластеры*, удовлетворяющие простому степенному закону:

$$n(s) \sim s^{-\tau}, \tag{27.1}$$

где $n(s)$ — число кластеров, содержащих s связанных между собой нейронов, а τ — показатель степени.

Масштабная инвариантность перколяционных кластеров сохраняется в интервале от расстояния между соседними нейронами до размера всей сети. Расстояние, на котором вероятность принадлежности двух нейронов к одному и тому же кластеру убывает в е раз, называется *корреляционной длиной* ξ самоорганизации сети. По достижении порога перколяции ξ становится равной размеру сети.

Удобной фрактальной размерностью перколяционных кластеров является *массовый показатель* d_m, указывающий, сколько связанных нейронов («масс») находится в круге радиуса R: $M(R) \sim R^{d_m}$. Оказывается, между τ и d_m существует простая связь:

$$\tau = 1 + 2/d_m. \tag{27.2}$$

Выражения (27.1), (27.2) позволяют количественно описать закономерности стохастически возникающих фрактальных кластеров в нейронной сети. В живом мозге эти кластеры можно отождествить с открытыми американским ученым Келсо *метастабильными паттернами*, возникающими в мозге при его активации. Этот процесс происходит в условиях *самоорганизованной критичности* (см. семинар 15) — естественном состоянии нормально функционирующего мозга. Действительно, если бы мозг был в докритическом состоянии, то его самоорганизация была бы ограничена лишь локальными областями, а если бы он находился в надкритическом состоянии, то включались бы сразу все нейроны, чего не происходит. Как показал один из отцов-основателей синергетики Г. Хакен, это позволяет мозгу выполнить функцию анализа поступающих в него внешних сигналов. Свою книгу, изданную в Германии, Хакен пророчески назвал «Принципы работы головного мозга: синергетический подход к активности мозга, поведению и когнитивной деятельности».

27.4. Как мы думаем?

Итак, что мы имеем в человеческом мозге помимо сложно организованной нейронной ткани? – *Ритмы* следующих типов:

- дельта-ритм (частота 0,3 – 3,0 Гц, амплитуда 50 – 500 мкВ);
- тэта-ритм (3,0 – 7,0 Гц, 10 – 30 мкВ);
- альфа-ритм (7,0 – 14 Гц, до 100 мкВ);
- бета-ритм (14 – 35 Гц, 5 – 30 мкВ).

Рядом исследователей отдельно выделяются также

- сигма-ритм (13 – 14 Гц) и
- гамма-ритм (35 – 100 Гц).

Эти ритмы обнаруживаются на *электроэнцефалограммах* (ЭЭГ) головного мозга, но их интерпретация встречает серьезные трудности. Дело в том, что записи ЭЭГ отведений являются комбинациями сигналов от пространственно разнесенных в мозге источников, а частотные диапазоны ритмов перекрываются. Поэтому их частотная и пространственная локализация затруднена, а часто невозможна. Тем не менее анализ имеющейся информации по ритмам головного мозга позволяет высказать следующие соображения:

1. Самый низкочастотный и самый интенсивный, дельта-ритм, по-видимому, является самым древним нейрофизиологическим ритмом. Он управляет регуляторными функциями организма. Он присутствует даже тогда, когда нет других ритмов, в состояниях медленной (начальной) фазы сна и глубокой медитации, когда отключено сознание.

2. Тэта-ритм проявляет себя, когда организм находится в состояниях транса и глубокого гипноза. Он активизирует работу подсознания и повышает регенерационные способности, управляет памятью.

3. Альфа-ритм обнаруживается только у человека и наблюдается в состоянии рассредоточения. Он управляет синтетическим, образным мышлением. У большинства людей альфа-ритм появляется, когда человек закрывает глаза, и исчезает, когда он их открывает. У некоторых испытуемых альфа-ритм в явном виде вообще отсутствует. Как правило, это ярко выраженные гуманитарии, мыслящие образно и испытывающие затруднения в решении проблем абстрактно-логического характера.

Бета-ритм возникает на ЭЭГ, когда мозг находится в состоянии мыслительной активности. Считается, что с ним связано логическое мышление. У животных этот ритм также не обнаруживается.

Важно отметить, что альфа- и бета-ритмы создают в мозге человека мимолетные структурные узоры — паттерны. В мозге даже выс-

ших животных «чувствительные приборы регистрируют лишь изолированные и нерегулярные элементы этих высших функций». Эти ритмы связаны с асимметрией функций левого и правого полушарий мозга, которая у животных выражена слабее, чем у человека. В случае «конфликта полушарий» возникает рассогласование альфа- и бета-ритмов, что характерно для психических расстройств. Например, гиперактивация альфа-ритма обычно наблюдается при паранойи. Мозг «зацикливается» на навязчивых образах и идеях. Бета-ритм чрезмерно заторможен, и человек оказывается во власти внутренних переживаний. Торможение альфа-ритма в условиях гиперактивации дельта-ритма на так называемых «шаманских» частотах (2 – 3 Гц) характерно для эпилепсии. Поэтому одним из способов лечения тяжелых психических больных является расщепление полушарий головного мозга.

Затронутая тема имеет огромное значение в контексте самых разных проблем, связанных с естественным интеллектом: психотронного оружия, модификации поведения, нейрофизиологии, психиатрии, психологии, обучения, аутотренинга, криминалистики (чтение мыслей) и др. Здесь мы остановимся на основополагающей для теории интеллекта проблеме *интуитивного мышления.* При этом будем опираться на высказанные выше представления о вейвлет-анализе информационных сигналов в головном мозге человека.

Прежде всего обратим внимание на очевидное сходство между сохранением информации в мозге и процессом записи *голограммы* (интерференционной картины, соответствующей Фурье-свертке объектного сигнала с гармонической опорной волной). В обоих случаях информация записывается не локально, а в пространственно распределенном виде. В обоих случаях используются опорные волны (в случае мозга — описанные выше ритмы). В обоих случаях считывание информации осуществляется с использованием опорных волн. В обоих случаях можно получить увеличенное изображение: в голографии при использовании опорной волны меньшей частоты, чем при записи; в случае мозга — переходя к считыванию информации с помощью низкочастотного тэта-ритма, позволяющего крупно выделить некоторые фрагменты из памяти.

Известно, что, в отличие от Фурье-анализа, вейвлет-анализ позволяет локализовать частотные и пространственные особенности исследуемых сигналов с нестационарным спектром. Кроме того, ортогональный вейвлет-анализ с использованием пространственно разделенных низкочастотного (сглаживающего) и высокочастотного (детализирующего) фильтров позволяет получать последовательно усложняющиеся версии исследуемого сигнала. Отсюда ясно, что правое полушарие мозга выполняет функции низкочастотного фильтра, и аль-

фа-ритм является для него опорной волной. В свою очередь левое полушарие выполняет функции высокочастотного фильтра, а бета-ритм является для него опорной волной. Тета-ритм служит для интерактивного доступа к информации, хранящейся в глубинах памяти (подсознании) в еще не проанализированном, но свернутом виде.

Изучение ЭЭГ позволяет сделать вывод, что ритмы головного мозга, стохастически изменяющиеся по частоте и амплитуде, являются цепочками солитонов (нейросолитонов) или перемасштабированными вейвлетами (нейровейвлетами), необходимыми для осуществления трех функций мышления: логико-алгебраического (рационального), образного (эмоционального) и интуитивного.

28

Синергетика и экономика

> …и войны, и социальные потрясения включаются в ритмический процесс развития больших циклов и оказываются не исходными силами этого развития, а формой его проявления. Но раз возникнув, они, конечно, в свою очередь оказывают могущественное, иногда пертурбирующее влияние на темп и направление экономической динамики.
>
> *Н. Д. Кондратьев*

28.1. Методы исследования социально-экономических систем

В материалах к семинару 23 мы уже касались проблемы самоорганизации в экономической области, обсуждая волны Элиота в динамике цен на акции. Как оказалось, эти волны обнаруживают фрактальные закономерности. На этом семинаре мы поговорим о синергетическом подходе к экономике с более общих позиций. Человеческая цивилизация представляет собой глобальную *гиперсистему* связанных в государственные образования *суперсистем*, каковыми являются *территория* (T), *социум* (S), *право* (J), *политика* (P) и *экономика* (E). Каждая из этих суперсистем делится на более мелкие, но тоже сложные системы. Например, территория включает в себя такие системы, как ландшафт, флора и фауна, которые можно объединить в геобиоценоз; полезные ископаемые, которые вместе с геобиоценозами объединяются в природные ресурсы; а также различные экосистемы. Социум делится на такие системы, как нации, этносы, религиозные, производственные, семейные и иные общности; экономика – на макро- и микроэкономику. Все эти системы можно объединять в различных сочетаниях в зависимости от того, какие связи между ними нас интере-

суют. Тогда получаются такие системные образования, как национальная политика, региональная экономика и др.

Важно отметить, что связи между системами могут быть взаимопорождающими (генеративными, креативными), понижающими энтропию в объединенной суперсистеме, и взаимопреодолевающими (дизруптивными), повышающими энтропию. На рис. 28.1, *а*[*] показаны эти связи в суперсистеме «государство». Как и многие биологические, социальные, астрономические и другие суперсистемы, содержащие упорядочивающие (*ян*) и разупорядочивающие (*инь*) связи, эта целостность представляется в виде древнекитайской пентаграммы. Сплошными линиями со стрелками на ней обозначены креативные связи, а пунктирными – дизруптивные.

Данная *когнитивная пентаграмма* разбивается на *системные триады* двух типов:

T –→ S – → P – → T	T –→ S –→ J ← – T
S –→ J – → E – → S	S –→ J –→ P ← – S
J –→ P – → T – → J	J –→ P –→ E ← – J
P –→ E – → S – → P	P –→ E –→ T ← – P
E –→ T – → J – → E	E –→ T –→ S ← – E

Триады первого типа характеризуются одной креативной связью и двумя дизруптивными. Они позволяют исследовать зависимость динамической переменной, описывающей систему, от двух параметров, один из которых расщепляющий. Триады второго типа содержат две креативные связи и одну дизруптивную связь. Они описывают зависимость динамической переменной системы от одного параметра при возмущающем действии второго.

Политическая карта мира подобна *нейронной сети* государств-нейронов (рис. 28.1, *б*). Ее слои могут быть выделены различным, хотя и не произвольным образом. Замечательным результатом лаговых свойств нейронных сетей является возможность *прогнозирования* отклика сети на ее внутренние и внешние воздействия. Государственные нейронные сети разветвляются на фрактальные части: регионы, республики, области, районы, населенные пункты, улицы, дворы и квартиры, образуя *фрактальные кластеры*.

---

[*] Браже Р. А. Динамика развития: стохастические колебания и прогноз тренда // Проблемы устойчивого развития: иллюзии, реальность, прогноз. — Томск: Томск. гос. университет, 2002. — С. 79 — 83.

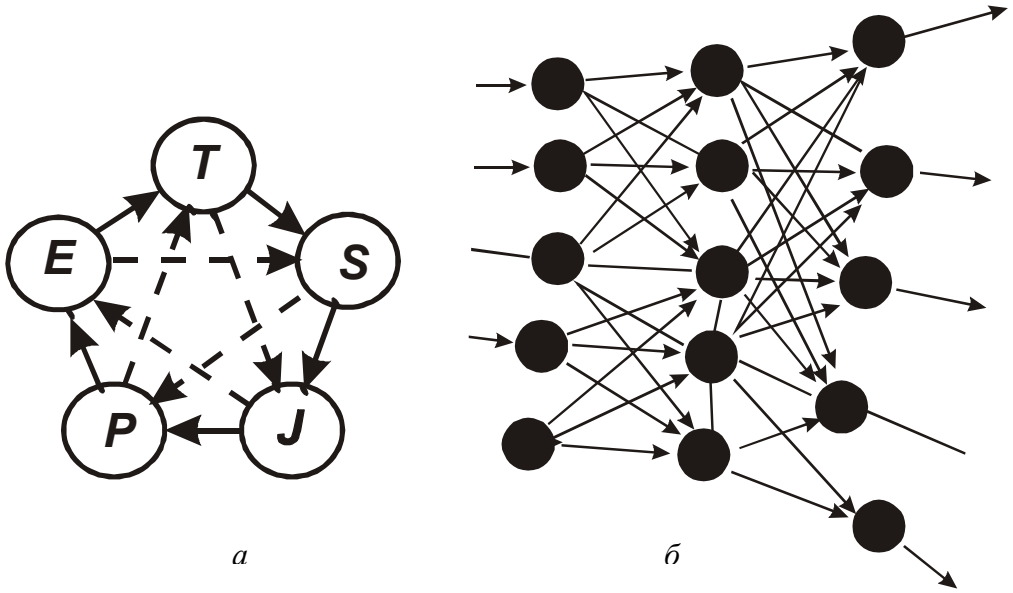


Рис. 28.1. Когнитивная пентаграмма государственной целостности (*а*) и нейронная сеть государств (*б*), на которой выделены домены

Протяженная нейронная сеть неустойчива и разбивается на отдельные области — домены. В нейронной сети государств это союзы (Евросоюз, СНГ и др.) и военные блоки (например, НАТО).

Исторически первым методом исследования эволюционных процессов в социальных и экономических системах стала **математическая статистика**. Однако множество экономических параметров далеко не всегда образует статистический ансамбль, поэтому данный метод часто оказывается неприемлемым. Кроме того, многие явления кажутся неожиданными (*эмерджентными*). Это потребовало поиска новых, современных методов изучения динамики развития подобных систем. Основные из них хорошо иллюстрируются описанными выше когнитивными схемами и нейросетевыми представлениями.

Когнитивистика. Каждая связь на рис. 28.1, *а* в математическом отношении соответствует некоторому уравнению. В итоге получается, по меньшей мере, пять уравнений (для различных типов связей) с пятью неизвестными. Ввиду того, что это, как правило, достаточно сложные нелинейные дифференциальные уравнения, такая система может быть решена лишь численными методами. В результате описывающие систему динамические параметры оказываются выраженными через коэффициенты, определяемые начальными и граничными условиями задачи. Конечно, представленные на рис. 28.1, *а* системные параметры являются слишком общими, но следует иметь в виду, что когнитивные схемы порождают одна другую и вкладываются друг в

друга. Они позволяют сужать количество понятий, под которые подводится понимание, и выбирать требуемый уровень понимания. Поэтому когнитивистика сейчас широко используется для моделирования экономических, политических и социальных ситуаций.

Теория катастроф. Описанные выше системные триады первого типа позволяют исследовать динамику развития системы в терминах теории катастроф. На рис. 28.2, *а* показана поверхность катастрофы типа «сборка» для эволюции уровня *E* экономического развития [государства] в зависимости от проводимой экономической политики *P* (нормальный фактор) и правового поля *J* (расщепляющий фактор). Из него следует, что это развитие монотонное (устойчивое), если политические решения принимаются в условиях отсутствия бифуркации правовых возможностей (кривая 1) и испытывают скачок (катастрофу), если права субъектов экономики находятся в противоречии друг с другом (кривая 2).

Благодаря своей наглядности теория катастроф начинает интенсивно внедряться в социологию, политологию и экономику. Однако ее методы позволяют определить лишь *тренд* процесса. Внутренние и внешние возмущения системы приводят к колебаниям относительно тренда (рис. 28.2, *б*). Период этих колебаний зависит от размеров системы, а их характер (квазипериодический, кноидальный или солитонный) — от уровня возмущения. Его можно исследовать, применяя к краевой задаче, построенной на основе когнитивной схемы, метод возмущений.

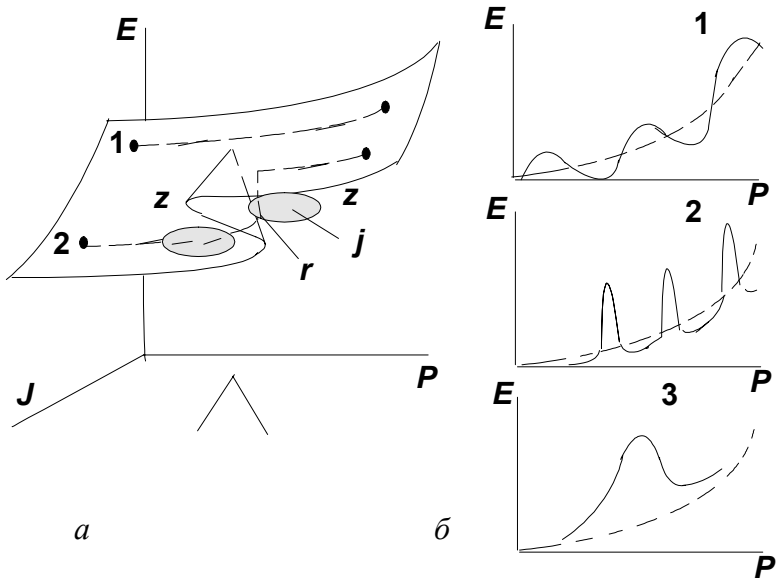


Рис. 28.2. Эволюционный (1) и катастрофический (2) пути развития экономики в системных параметрах политика — право (*а*) и колебания тренда развития (*б*): 1 — слабые возмущения, 2 — умеренные возмущения, 3 — сильные возмущения

Рис. 28.2, *а* иллюстрирует также важность переходных зон в развитии системы, так называемых *цвишенсов* (*z*). Они могут встречаться и в горизонтальных слоях, и в вертикальных, и во внешних слоях (на рисунке не показаны). Переходы системы из одного стационарного состояния в другое происходят по *руслам* (*r*). Однако попасть в русло сложно, и система чаще блуждает по *джокерам* (*j*). Именно они определяют *эмерджентность* ее поведения.

Нейрокомпьютинг. Нейросетевые технологии в контексте данной темы также используются достаточно широко. В сочетании с методами *нечеткой логики* они позволяют прогнозировать поведение системы на основе результатов предыдущих или пробных испытаний.

Нелинейная динамика, включающая в себя **теорию хаоса, теорию фракталов, теорию шумов** и другие позволяет понять, что колебания параметров системы относительно тренда развития чаще всего не являются столь простыми, как изображено на рис. 28.2, *б*. Суть здесь в том, что в системах с памятью колебания, как правило, *стохастические*. В фазовом пространстве соответствующий им *аттрактор* характеризуется весьма спутанной траекторией (рис. 28.3, *а*), витки которой, хотя и не выходят за пределы некоторой ограниченной области, но никогда не совмещаются друг с другом. Поэтому и график колебаний состоит из самоподобных (фрактальных во времени) пиков, никогда не повторяющих друг друга в точности (рис. 28.3, *б*). Так как стохастические процессы частично детерминированы, то применение данных методов позволяет получить более точную временную динамику развития системы, чем упомянутые выше.

Вейвлет-анализ. Стохастические колебания представляют собой накладываемый на основной процесс шум определенного типа (от белого до черного). Фурье-анализ спектра такого шума не всегда позволяет выявить удельный вклад низкочастотных и высокочастотных гармоник в характер колебаний. Весьма перспективным методом анализа систем с «мягким хаосом» является вейвлет-анализ. Он дает возможность реализовать схему постепенного приближения модели процесса к оригиналу путем построения вначале наиболее простой его версии и последующего усложнения ее более высокочастотными деталями.

От исследования причинно-следственных закономерностей к теории сложности. Динамика развития такой сложной гиперсистемы, как человеческая цивилизация, не может быть описана в рамках какого-то одного подхода или метода. Всякие восторги по поводу того или иного нового метода исследования — не более чем иллюзия, так как все эти методы оперируют весьма ограниченным числом параметров и

связей между подсистемами данной системы. Сами же связи предполагаются неизменными. Но сложные системы *эволюционируют*! В результате когерентного наложения малых возмущений по достижении параметрами порядка определенных пороговых значений происходит качественная перестройка системы и ее переход на новый уровень организации, с новыми связями между подсистемами. Поэтому выпячивание какой-то одной из них, например, экономики (что характерно для текущего исторического момента) или социума (для сравнительно недавнего прошлого), неизбежно приводит к ложным прогнозам. Тем более такой подход не позволяет определить пути устойчивого развития подобных систем.

Причиной этих ошибок, как отмечает Р. Г. Баранцев*, является все еще свойственный человечеству *бинаризм мышления*. Он заключается в использовании бинарных логических цепочек типа «да – нет», «если – то», «причина – следствие», определяющих линейный подход к решению проблемы и использование методов четкой логики. Однако сложные системы характеризуются триадой «нелинейность – когерентность – открытость». Поэтому для их анализа необходимо применять методы *сложных систем* (theory of complexity), как справедливо именуют синергетику в США. При этом мы должны четко осознавать, что мы хотим? Если нас интересует лишь прогноз тренда развития системы, то достаточно анализа простых когнитивных схем и методов математического моделирования на основе построения краевых задач и их численного решения. Небольшие колебания относительно тренда можно исследовать с помощью линейных методов анализа, например, метода возмущений. Анализ более сложных колебаний требует применения методов нелинейной динамики. Если же мы хотим получить более точный прогноз развития, то необходимо использовать нечеткие когнитивные схемы, методы нечеткой логики, нечетких нейронных сетей, вейвлет-анализ и другие.

28.2. Экономические циклы

Одним наиболее распространенным типом самоорганизации, наблюдаемым в социально-экономических системах, является колебательно-волновой тип упорядочения. В экономической литературе для

---

* Баранцев Р. Г. Преодоление бихаризма в развитии ноосферного мышления // Тр. Междунар. конф. «Континуальные логико-алгебраические и нейросетевые методы в науке, технике и экономике». — Ульяновск, 2000. — Т.1. — С. 16 — 17; Баранцев Р.Г. Нелинейность — когерентность — открытость как системная триада синергетики // Мост. — 1999. — №29. — С. 54 — 55.

обозначения этого явления чаще всего используется термин «цикл». Наибольший интерес у экономистов вызывают следующие циклы:

- *политико-деловой цикл* (4—5 лет), связанный с выборами в органы власти и приурочиванием важных экономических шагов правительства к предвыборной ситуации;
- *деловой цикл* (6—12 лет), обусловленный социально-экономическими причинами, в частности несовершенством рыночных механизмов: разницей между номинальной и реальной заработной платой, опережающим ростом цен и др.;
- *строительный цикл* (цикл Кузнеца, 15—25 лет) — цикл, выявленный американским экономистом украинского происхождения, нобелевским лауреатом С. Кузнецом, который считал, что основной его причиной являются демографические процессы, возрастная миграция населения и связанные с ней колебания в объемах жилищного строительства;
- *цикл Кондратьева* (45 — 65 лет), обусловленный сменой техники, внедрением новых технологий и развитием новых отраслей промышленности;
- *цикл политического лидерства* (100—150 лет), причиной которого является неравномерность экономического развития разных стран, появление новых претендентов на мировое лидерство, обострение борьбы за ресурсы, «жизненное пространство», рынки сбыта и сфера влияния.

Наибольшего размаха достигает цикл Кондратьева (длинные волны Кондратьева или большие волны конъюнктуры). Вывод о существовании таких волн был сделан Н. Д. Кондратьевым в 1922 г. на основе анализа большого числа экономических показателей (индекс цен, государственные долговые обязательства, номинальная заработная плата, показатели внешнеторгового оборота, добыча угля, золота, производство чугуна, стали и т. д.) различных стран за время около 100—150 лет. Циклы Кондратьева характеризуются фазой подъема и фазой спада. Во время подъема (*повышательной фазы*) экономика страны находится в состоянии подъема и структурно неоднородна, возникают новые отрасли производства. Далее энергия, затраченная на борьбу за сферы влияния и существующие социально-политические отношения, начинает угасать. Диссипативный процесс замедляет темпы развития, наступает фаза спада (*понижательная фаза*).

Естественно, что из-за тесной связи экономики с политикой, правом, социумом и другими суперсистемами (см. п. 28.1) на цикл Кондратьева накладываются другие циклы, причем не только экономические, но также социокультурные, солнечной активности и пр.

Строго говоря, термин цикл (и даже волна) не совсем удачен. Цикл предполагает полную повторяемость процесса через какое-то время. Экономические, как и прочие, циклы скорее носят стохастический характер и фрактальны во времени.

28.3. К синергетической экономике

Использование математических методов в экономике имеет давнюю историю. Автор знаменитой книги «Основы экономического анализа», П. Самуэльсон, в сороковых годах XX в. разделил экономику на пять этапов. Первый этап связан с именем швейцарского экономиста Л. М. Э. Вальраса (1834—1910), выдвинувшего идеи детерминированного равновесия и статического уровня. Второй этап отсчитывается от итальянского экономиста В. Парето (1848—1923), основателя сравнительной статики в экономике (закон Парето). Третий этап связан с работами Джонсона, Слуцкого, Хикса и Аллена по максимизации действия экономического объекта. Четвертый этап Смуэльсон связывает с открытием принципа соответствия. Наконец, пятый этап — этап сравнительной динамики. Сейчас после появления знаковой книги китайского экономиста Занга Вэй-Бина «Синергетическая экономика. Время и перемены в нелинейной экономической теории», написанной во время работы автора в Швеции, этот этап чаще называют этапом синергетической экономики.

Использование методов синергетики в экономике — не дань моде, а насущная потребность выйти за пределы статического анализа квазистационарных состояний. Экономика может и должна стать предметом синергетического моделирования, так как экономика обладает всеми признаками самоорганизующихся систем: сложностью, открытостью, нелинейностью, диссипативностью, неусточивостью. Более того, в экономике есть быстрые и медленные параметры. Установлено, что некоторые из медленных параметров ведут себя коллективным образом (синергетически) и могут играть роль параметров порядка при структурных перестройках системы. Фрактальная природа экономических циклов и стохастичность колебаний относительно тренда эволюции системы также подтверждает правомочность синергетических методов в исследовании социально-экономических систем. В целом синергетическая экономика представляет собой новое направление в объяснении и прогнозировании экономических процессов.

29

Ноосфера и ноосферное мышление

Думаю, что творческие ресурсы разума могут быть приравнены лишь к энергетическим ресурсам Солнца.

Ч. Айтматов

29.1. Развитие представлений о ноосфере

Термин «*ноосфера*» (от греч. *nus* — разум и *sphaira* — сфера) — сфера разума — был введен в 1927 г. французским математиком и философом Э. Леруа для обозначения будущего состояния биосферы. Другой французский ученый, палеонтолог, философ и теолог П. Тейяр де Шарден, в своей книге «Феномен человека» обосновал образование ноосферы с теософской точки зрения, рассматривая ее как «сверхжизнь» в единстве человека, природы и Бога.

Огромное влияние на развитие концепции ноосферы с научных позиций оказали работы В.И. Вернадского. Имея естественнонаучное образование, Вернадский доказал не только качественное изменение атмосферы, гидросферы и литосферы под воздействием живых организмов, а затем и технической деятельности человека, но и сопроводил свои выводы количественными расчетами. Прежде всего он установил, что для существования жизни необходимо наличие трех условий — воды, солнечного излучения и границы раздела сред. Главную роль в преобразовании энергии солнечного излучения играют растения. В процессе фотосинтеза они выделяют кислород, поступающий в атмосферу, которым дышат все аэробные живые организмы. В результате жизнедеятельности бактерий происходят процессы пищеварения у животных, разложение мертвых ор-

ганизмов, образование плодородного слоя почвы (гумуса), необходимого для дальнейшего роста растений.

Иначе говоря, живое вещество существенным образом изменило весь облик Земли. И это при ничтожно малом количестве по сравнению с массой Земли: если все живое вещество равномерно распределить по ее поверхности, то толщина такого слоя составит всего 2 см! Но глобальность воздействия живых организмов обусловлена их быстрым размножением и скоростью круговорота веществ по сравнению с геологическими процессами. За все время существования биосферы она произвела $2{,}4 \cdot 10^{20}$ т живого вещества, что превышает массу земной коры в 12 раз.

Эволюция живого мира привела к появлению Homo sapiens — принципиально нового фактора бисферы, создавшего техносферу и ставшего, вследствие этого, самым могущественным существом на планете. Если действие биосферы до появления разума уже носило планетарный характер, то с его появлением и развитием человеческой цивилизации встал вопрос об ответственности человека за дальнейшее развитие биосферы в целом и его части — человечества. В. И. Вернадский определил это как необходимость *коэволюции* природы и человека. Такое новое эволюционное состояние биосферы под воздействием преобразующей планету творческой силы разума и называется ноосферой. Последняя работа В. И. Вернадского, опубликованная в 1944 г., называлась «Несколько слов о ноосфере». В ней он пишет: «Сейчас мы переживаем новое геологическое эволюционное изменение биосферы: мы входим в ноосферу».

29.2. Ноосферная реальность

Появление в биосфере человека привело, в конце концов, к грандиозным, но пока еще стихийным изменениям, как в самой биосфере, так и во всем облике планеты. Уничтожены огромные площади леса, появились новые пустыни, рукотворные озера и моря. Шахты и рудники окружают огромные терриконы пустой породы. Создание необходимых для гидроэлектростанций водохранилищ изменило во многих местах климат. Поверхность планеты покрыла паутина железных и автомобильных дорог, линий электропередачи. Возникла проблема захоронения радиоактивных отходов, появляющихся в результате работы атомных электростанций. Предприятия металлургической, радиоэлектронной и химической промышленности загрязнили реки и почву тяжелыми металлами,

сельское хозяйство — органическими соединениями. Вокруг городов-мегаполисов образовались огромные свалки отходов. В биосферу выбрасываются неизвестные ей вещества и химические соединения, создаются новые, генетически модифицированные растения и животные. Человек начинает активно вмешиваться в святая святых живой природы — генетический код. Все это признаки того, что принято называть *экологическим кризисом*.

Но на рубеже второго и третьего тысячелетий человеческая цивилизация вступила в кризис еще более обширный, кризис системный, затрагивающий все стороны человеческого бытия и окружающей его природы. Как отмечает академик Российской академии естественных наук, директор Института истории естествознания и техники А. Г. Назаров, он вызван переходом биосферы в новую биосферно-ноосферную стадию развития. На этой новой стадии ноосферной самоорганизации на первый план выступают информационные взаимодействия и процессы управления.

Суть данного кризиса в том, что в такой сложной и целостной системе, как ноосфера, локальные нарушения стационарного состояния при достаточно большом их количестве могут согласованно (синергетически) вызвать перестройку всей системы, причем не в лучшую для человека сторону. Выход из сложившейся ситуации А. Г. Назаров видит в создании *ноосферного комплекса* страны в целом и его региональных звеньев. Цель этого комплекса, по мнению Назарова, должен стать переход от естественных природных и исторически сложившихся производственных технологических процессов к природно-технологическим циклам вещества и энерго-информационным потокам, требующим управления и контроля.

По мнению академика В. М. Глушкова, каждый из этапов становления ноосферы характеризуется своим типом управления. Их смена связана с необходимостью перехода к новым формам информационного единства: биосферного, социокультурного, технологического и т. п. Особенностью нынешнего этапа развития ноосферы является глобализация экономики и связанных с ней финансовых и информационных потоков. Ступенями такой глобализации стали создание Евросоюза, Всемирного торгового общества, Internet, транснациональных и межгосударственных монополий. Отсюда следует, что природно-хозяйственные (ноосферные) комплексы разных стран должны в перспективе органически связываться в единую мировую паутину, чтобы обеспечить целостное управляемое и

контролируемое воздействие все возрастающего влияния человека на биосферу.

29.3. Формирование ноосферного мышления

Развитие экономики, науки и техники в XX в., достижения в области радиоэлектроники, вычислительной техники, телекоммуникации, автомобилестроения заполнили быт современного человека всевозможными удобствами, о которых он ранее и не мечтал, породили потребительское отношение к обществу и природе. В этом не было бы ничего плохого, если бы эти материальные ценности не вытеснили в сознании общества потребления на второй план иные ценности: историко-культурные, нравственные, образовательные и др.

Понимание ноосферного единства человека и природы привело многих ученых, производственников и политиков к осознанию необходимости формирования в обществе ноосферного движения и *ноосферного мышления*. Его чертами должны стать следующие*:

- высокий уровень критичности к государственным, общественным и собственным проектам;
- установка на создание продуктов, не ухудшающих состояние биосферы;
- проективность на будущее;
- установка на кооперативное решение научных и производственных задач в интересах всего человечества;
- доминантность на постановку и решение нестандартных задач;
- установка на понимание (опирающееся на обширные знания) процессов, происходящих в природе и обществе.

Отличительной чертой ноосферного человека должна стать высочайшая ответственность перед человечеством за свои поступки.

Важную задачу в распространении ноосферных знаний и формировании ноосферного мышления выполняет Российская академия естественных наук (РАЕН) и ее региональные структуры. В частности, в Улья-

* Спартин В. Ноосферная педагогика. О формировании ноосферного менталитета // Биосфера (Электронный научный журнал). — 2000. — №2. [Электронный ресурс]. http://www.ihst.ru/~biosphere/Mag2/spartinA.htm

новске создан и уже более десяти лет активно работает региональный центр РАЕН «Ноосферные знания и технологии». Входящие в него отделения занимаются разработкой и пропагандой экологически безопасных, энерго- и ресурсосберегающих технологий, математическим и компьютерным моделированием нелинейных процессов в технике, экономике, медицине, социологии, образовании и других областях человеческой деятельности с учетом их ноосферной значимости.

Заключение

> Когда я не знал Истины — для меня горы были горами, а речки реками. Когда же я увидел Истину — горы перестали быть горами, а речки реками. Но когда я проникся Истиной — горы снова стали горами, а речки реками.
>
> *Лао Цзы*

Вот и закончились наши семинары, посвященные проблемным и дискуссионным вопросам естествознания. Конечно, мы не смогли за столь ограниченное время охватить все важные проблемы, тем более сделать это детально и строго. Это дело профессионалов. Мы же рассмотрели с Вами лишь концепции современного естествознания, т. е. современную трактовку изучаемых проблем, общепринятую точку зрения по затронутым вопросам.

Мы начали с древнейших мифологических и религиозных представлений об устройстве мира, а закончили самыми последними исследованиями по физике, химии, биологии и космологии. Возможно, что, по мере усложнения материала, Вы временами переставали его понимать и теряли ориентацию в разнообразии затронутых проблем, не видели их взаимосвязи и внутреннего единства. На последних занятиях мы постарались проиллюстрировать это единство, используя синергетический подход к проблеме.

Помните, что сама по себе ни одна глубокая мысль в голове не рождается. Требуются много времени и самостоятельных размышлений, чтобы в сознании возникла не фрагментарная, а целостная картина мира в ее развитии и гармонии. Приведенный в конце пособия библиографический список поможет Вам в этих занятиях. Однако успех к Вам придет

только в том случае, если Вы проникнитесь заинтересовавшей Вас проблемой, всей душой захотите ее постичь, ибо как сказал И. В. Гете:

Пергаменты не утоляют жажды.
Ключ к мудрости не на страницах книг.
Кто к тайнам жизни рвется мыслью каждой,
В своей душе находит их родник.

Библиографический список

К семинару 16

1. *Грин Н.* Биология. Т.3. / *Н. Грин, У. Стаут, Д. Тейлор.* — М.: Мир, 1996. — 373 с.
2. *Ярыгин В.Н.* Биология. Т.1. / *В. Н. Ярыгин, В. И. Васильева, И. Н. Волков, В. В. Синельщикова.* — М.: Высш. шк., 2001. — 432 с.

К семинару 17

1. *Браже Р. А.* Научный креационизм в свете синергетики / *Р. А. Браже* // Философский век. Альманах. — №7. Между физикой и метафизикой: наука и философия. — СПб., — 1998. — С. 197 — 200.
2. *Девятова С. В.* Религия и наука: шаг к примирению? / *С. В. Девятова.* — М.: Изд-во МГУ, 1993. — 165 с.
3. *Скибицкий М. М.* «Научный» креационизм: претензии и действительность / *М. М. Скибицкий.* — М.: Знание, 1987. — 64 с.

К семинару 18

1. *Бернал Д. Д.* Возникновение жизни / *Д. Д. Бернал* — М.: Мир, 1969. — 391 с.
2. *Грин Н.* Биология. Т.3. / *Н. Грин, У. Стаут, Д. Тейлор.* — М.: Мир, 1996. — 373 с.
3. *Николов Т. Г.* Долгий путь жизни: [О возникновении и развитии жизни на Земле] / *Т. Г. Николов.* — М.: Мир, 1986. — 167 с.

К семинару 19

1. *Шишкин Г.* Еда Франкенштейна или благодеяние // Взгляд на мир. Социально-политический журнал. [Электронный ресурс]. http://www.cooking-book.ru/library/nauka/frankenfood.shtml.
2. *Ярыгин В. Н.* Биология. Т.1. / *В. Н Ярыгин, В. И. Васильева, И. Н. Волков, В. В. Синельщикова.* — М.: Высш. шк., 2001 — 432 с.
3. [Электронный ресурс]. http:// www.deutschebotschaft–moskau.ru/ru/bibliothek/internationes/retortenmensch/index–p.html#art2

К семинару 20

1. *Грин Н.* Биология. Т.3. / *Н. Грин, У. Стаут, Д. Тейлор.* — М.: Мир, 1996. — 373 с.
2. Клонирование — неужели это судьба человечества? / Материалы круглого стола // Чудеса и приключения. — 1998. — №7. — С.6 — 9.
3. [Электронный ресурс]. http://clone.ru/articles/.

К семинару 21

1. *Витинский Ю. И.* Солнечная активность / *Ю. И. Витинский* — М.: Наука, 1983. — 192 с.
2. *Владимирский Б. М.* Солнечная активность и биосфера / *Б. М. Владимирский, Л.Д. Кисловский.* — М.: Знание, 1982. — 64 с.
3. *Чижевский А. Л.* Земное эхо солнечных бурь / *А. Л. Чижевский.* — М.: Наука, 1976.

К семинару 22

1. *Бялко А. В.* Наша планета — Земля / *А. В. Бялко.* — М.: Наука, 1983. — 207 с.

2. *Кови К.* Орбита Земли и ледниковые эпохи / *К. Кови* // В мире науки. — 1984. — №4. — С. 26 — 35.

К семинару 23

1. *Соколов И. М.* Фракталы / *И. М. Соколов* // Квант. — 1989. — №5.— С. 6 — 13.
2. *Эри Л. и др.* Хаос и фракталы в физиологии человека / *Л. Эри и др.* // В мире науки. — 1990. — №4. — С. 25 — 33.
3. *Федер Е.* Фракталы / *Е. Федер.* — М.: Мир, 1991. — 290 с.
4. *Шредер М.* Фракталы, хаос, степенные законы. Миниатюры из бесконечного рая / *М. Шредер.* — Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001. — 528 с.
5. Фракталы живой природы. [Электронный ресурс]. http://www.aires.spb.ru/worldnews/Radiolar/radiolar.html
6. *Чекулаев М.* Фрактал: новые аспекты и торговля // Акции & Фьючерсы. [Электронный ресурс]. http://www.bullbear.ru/new_aspeets(7).html

К семинару 24

1. *Кудряшов Н. А.* Нелинейные волны и солитоны / *Н. А. Кудряшов* // Соровский образовательный журнал. — 1997. — №2. — С. 85 — 91.
2. *Трубецков Д. И.* Уединенные волны в электронном потоке и юбилей одного уравнения / *Трубецков Д. И.* // Соровский образовательный журнал. — 2000. — №4. — С. 103 — 110.
3. *Петухов С. В.* Биосолитоны — тайна живого вещества. Основы солитонной биологии. / *С. В. Петухов.* — М.: ГП Кимрская типография, 1999. — 288 с.

К семинару 25

1. *Анищенко В. С.* Детерминированный хаос / *В. С. Анищенко* // Соросовский образовательный журнал. — 1997. — №6. — С. 70 — 76.
2. *Анищенко В. С.* Динамические системы / *В. С. Анищенко* // Соросовский образовательный журнал. — 1997. — №11. — С. 77 — 84.
3. *Трубецков Д. И.* Турбулентность и детерминированный хаос / *Д. И. Трубецков* // Соросовский образовательный журнал. — 1998. — №1. — С. 77 — 83.
4. *Ланда П. С.* Нелинейные колебагия и волны / *П. С. Ланда.* — М.: Наука. Физматлит, 1997. — 796 с.
5. *Шустер Г.* Детерминированный хаос / *Г. Шустер.* — М.: Мир, 1988. — 240 с.

К семинару 26

1. *Браже А. Р.* Применение принципов Кюри и Неймана к самоорганизующимся системам / *А. Р. Браже*, *Р. А. Браже* // Симметрия в естествознании. — Красноярск, 1998. — С. 28 — 29.
2. *Климонтович Н. Ю.* Без формул о синергетике / *Ю. Л. Климонтович*. — Минск: Вышейшая школа, 1986. — 223 с.
3. *Князев А. А.* Восемь лекций по синергетике: Уч. пособие / *А. А. Князев.* — Саратов: Изд-во СГУ, 1996. — 92 с.
4. *Короновский А. А.* Нелинейная динамика в действии: Как идеи нелинейной динамики проникают в экологию, экономику и социальные науки / *А. А. Короновский*, *Д. И. Трубецков*. — Саратов: Изд-во Гос. УНЦ «Колледж», 1995. — 130 с.
5. *Левитин К. Е.* Все, наверное, проще ... / *К. Е. Левитин*. — М.: Знание, 1975. — 175 с.
6. *Лоскутов А. Ю.* Введение в синергетику / *А. Ю. Лоскутов, А. С. Михайлов*. — М.: Наука, 1990. — 270 с.
7. *Михайлов А. А.* Волны в сердце: [Распространение волн электрического возбуждения] / *А. А. Михайлов* // Квант. —1987.— №9. — С. 9 — 14.
8. *Николис Г.* Самоорганизация в неравновесных системах. От диссипативных структур к упорядочению через флуктуации / *Г. Николис, И. Пригожин*. — М.: Мир, 1997. — 512 с.

9. *Пригожин И.* От существующего к возникающему / *И. Пригожин*. — М.: Мир, 1985. — 327 с.
10. *Пригожин И.* Порядок из хаоса / *И. Пригожин, И. Стенгерс.* — М.: Мир, 1986. — 131 с.
11. *Романовский Ю. М.* Принципы самоорганизации в физике, химии, биологии. / *Ю. М. Романовский*. — М.: Знание, 1981. — 47 с.
12. *Хакен Г.* Синергетика / *Г. Хакен*. — М.: Мир, 1980. — 404 с.
13. *Хакен Г.* Иерархия неустойчивостей в самоорганизующихся системах и устройствах / *Г. Хакен*. — М.: Мир, 1985. — 419 с.
14. *Щербаков А. С.* Самоорганизация материи в неживой природе. Философские аспекты синергетики / *А. С. Щербаков*. — М.: МГУ, 1990. — 130 с.
15. *Эбелинг В.* Образование структур при необратимых процессах: введение в теорию диссипативных структур / *В. Эбелинг*. — М.: Мир, 1979. — 279 с.

К семинару 27

1. Человеческий мозг как самоорганизующийся аналого-цифровой компьютер / *Р. А. Браже* // Континуальные логико-алгебраические и нейросетевые методы в науке, технике и экономике. — Ульяновск, 2000. — Т.1. — С. 33 — 35.
2. *Браже Р. А.* Цифровое и аналоговое кодирование: сравнительный анализ информационной емкости, быстродействия и помехоустойчивости в технике и живой природе / *Р. А. Браже* // Континуальные логико-алгебраические и нейросетевые методы в науке, технике и экономике. — Ульяновск, 2000. — Т.1. — С. 26 — 29.
3. *Браже Р. А.* От дискретности к континуальности и наоборот через фрактальность / *Р. А. Браже* // Континуальные логико-алгебраические и нейросетевые методы в науке, технике и экономике. — Ульяновск, 2000. — Т.1. — С. 29 — 32.
4. *Браже Р. А.* Мозг осуществляет вейвлет-анализ сигналов? / *Р. А. Браже* // Тр. Междунар. науч.-техн. конф. «Современные информационные технологии». — Пенза, 2000. — С. 17 — 18.
5. *Браже Р. А.* Фрактальное сжатие информации в мозге на основе ортогонального вейвлет-анализа / *Р. А. Браже* // Тр. Междунар. науч.-техн.

конф. «Современные информационные технологии». — Пенза, 2000. — С. 19 — 20.
6. *Браже Р. А.* Генезис естественного интеллекта и методы создания искусственного интеллекта / *Р. А. Браже* // Тр. Междунар. конф. «Континуальные логико-алгебраические исчиления и нейроматематика в науке, технике и экономике». — Ульяновск, 2001. — С. 35 — 38.
7. *Браже Р. А.* Нейронные сети: возможности существования нейродоменов, нейросолитонов и нейровейвлетов / *Р. А. Браже* // Тр. Междунар. конф. «Континуальные алгебраические логики, исчисления и нейроматематика в науке, технике и экономике». — Ульяновск, 2002. — Т.3. — С. 3 — 5.
8. *Браже Р. А.* Перкомеционные эффекты в нейронных структурах / *Р. А. Браже* // Тр. Межд. конф. «Континуальные алгебраические логики, исчисления и нейроматематика в науке, технике и экономике». — Ульяновск, 2003. — Т.3. — С. 35 — 37.
9. *Браже Р. А.* Интуиция как интерактивный доступ к свернутым при помощи нейровейвлетов базам знаний / *Р. А. Браже* // Тр. Междунар. конф. «Континуальные алгебраические логики, исчисления и нейроматематика в науке, технике и экономике». — Ульяновск, 2003. — Т.3. — С. 32 — 34.
10. *Хакен Г.* Принципы работы головного мозга: синергетический подход к активности мозга, поведению и когнитивной деятельности / *Г. Хакен.* — М.: ПЕРСЭ, 2001. — 351 с.

К семинару 28

1. *Ахромеева Т. С., Малиновский Г. Г., Посашков С. А.* Современная экономика. Взгляд с позиции компьютерного моделирования и системного анализа. [Электронный ресурс]. http://Spkurdyumov.ru/
2. *Браже Р. А.* Цикличность, стохастичность и фрактальность в процессе формирования рыночных цен / *Р. А. Браже* // Фракталы и циклы развития систем. — Томск, 2001. — С. 71 — 73.
3. *Браже Р. А.* Динамика развития: стохастические колебания и прогноз тренда / *Р. А. Браже* // Проблемы устойчивого развития: иллюзии, реальность, прогноз. — Томск: Том. гос. ун-т, 2002. — С. 79 — 83.
4. *Козлов А. А.* Инновационный подход к прогнозированию и управлению развитием социально-экономических систем в рыночной эконо-

мике // Право. Экономика. Маркетинг. — 2001. — №3. [Электронный ресурс]. http://innovdem.narod.ru/pr2.htm.
5. *Короновский А. А.* Нелинейная динамика в действии: Как идеи нелинейной динамики проникают в экологию, экономику и социальные науки / *А. А. Короновский, Д. И. Трубецков*. — Саратов: Изд-во Гос. УНЦ «Колледж», 1995. — 130 с.
6. *Чекулаев М.* Фрактал: новые аспекты и торговля // Акции & Фьючерсы. [Электронный ресурс]. http://www.bullbear.ru/new_aspeets(7).html

К семинару 29

1. *Вернадский В. И.* Биосфера и ноосфера / *В. И. Вернадский*. — М.: Наука, 1989. — 251 с.
2. *Вернадский В. И.* Несколько слов о ноосфере (1944) // Научная мысль как планетное явление / *В. И. Вернадский*. — М.: Наука, 1991. — 270 с.
3. *Гиренок Ф. И.* Экология, цивилизация, ноосфера / *Ф. И. Гиренок*. — М.: Наука, 1987. — 180 с.
4. *Коротков В. И.* Развитие концепции ноосферы на основе парадигмы синергетики. [Электронный ресурс]. http://www.nic.nw.ru/noo/Welcom.html.
5. *Моисеев Н. Н.* Человек и ноосфера / *Н. Н. Моисеев*. — М.: Мол. гвардия, 1990. — 351 с.
6. *Назаров А. Г.* К проблеме перехода биосферы в ноосферу / *А. Г. Назаров* // Проблемы социальной экологии. — Львов, 1986. — Ч.1. — С. 52 — 57.
7. *Назаров А. Г.* Ноосферная концепция: взгляды, подходы развитие / *А. Г. Назаров* // Мат. Междунар. ноосферного симп. — Одесса, 1991. — С. 18 — 25.
8. *Сиартин В.* Ноосферная педагогика. О формировании ноосферного менталитета // Биосфера. (Электронный журнал). [Электронный ресурс]. http://www.ihst.ru/~biosphere/Mag_2/Spartint.html.

Учебное издание
БРАЖЕ Рудольф Александрович,
МЕФТАХУТДИНОВ Руслан Максутович

КОНЦЕПЦИИ СОВРЕМЕННОГО ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ
Материалы к семинарским занятиям
Учебное пособие

Редактор Н. А. Евдокимова
Подписано в печать 15.12.2003. Формат 60×84/16. Печать трафаретная.
Бумага писчая. Усл. печ. л. 7,44. Уч.-изд. л. 7,20.
Тираж 400 экз. Заказ

Ульяновский государственный технический университет,
432027, г. Ульяновск, ул. Сев. Венец, д. 32.

Типография УлГТУ, 432027, г. Ульяновск, ул. Сев. Венец, д. 32.