

Геоцивилизационный атлас

**Атлас временных вариаций природных, антропогенных и социальных процессов.  
Том 2. Циклическая динамика в природе и обществе**

**Atlas of temporal variations of natural, anthropogenic and social processes. Volume 2.  
Cyclical dynamic in the nature and the society**

Российская академия наук. Министерство науки и технологий Российской Федерации.  
Объединенный Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта. Комиссия Торгово-  
промышленной палаты Российской Федерации по устойчивому развитию. Российская  
академия естественных наук

*Посвящается нашим великим соотечественникам В.И. Вернадскому, Н.Д. Кондратьеву,  
А.Л. Чижевскому*

**УДК 550.34 А 924 ББК 20**

**Атлас временных вариаций природных, антропогенных и социальных процессов.  
Том 2. Циклическая динамика в природе и обществе. М.: Научный мир, 1998. - 432 с.**

**ISBN 5-89176-034-7**

**Atlas of temporal variations of natural, anthropogenic and social processes. Volume 2.  
Cyclical dynamic in the nature and the society. M.: Scientific World, 1998. - 432 p.**

The Atlases of temporal variations is the collections, where actual data, that proceed in various natural and social spheres. are located, the results of processing of available time series and their interpretation are given.

We strive to make the feasible contribution to the approach to two basic goals. The first goal is scientific, it is to determine unknown laws of nature and social process in various spatial and temporal scales. The second one is practical; it is to preserve the mankind and generally biosphere, to provide the sustainable development of Russia.

The material is represented in basic as time series and results of processing with the use of the time-spectral analysis. Practically, all of the considered processes are non-stationary. The response on exterior actions of similar objects at the same time intervals appears to be various. The response on exterior actions of the same objects but at different times can also be different, including non-linear reaction. Ideas of the complex geodynamic, ecological, social and medical monitoring in the Atlas are given and substantiated with the purpose of population health normalization, social and demographic situation improvement' in Russia, the creation of more right strategy of nature use.

The Atlas is intended for researchers, practical ecologists and readers interested in evolution of the nature and the society.

Российская академия наук. Министерство науки и технологий Российской Федерации.  
Объединенный Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта. Комиссия Торгово-  
промышленной палаты Российской Федерации по устойчивому развитию. Российская  
академия естественных наук

*Посвящается нашим великим соотечественникам В.И. Вернадскому, Н.Д. Кондратьеву,  
А.Л. Чижевскому*

**(В первом томе Атласа были представлены в основном данные о  
процессах, происходящих в твердой Земле.)**

Научно-редакционный Совет: *Председатель:* Н.П. Лаверов

*Члены:* С.И. Александров, А. В. Витязев, О. Г. Газенко, А. Г. Гамбурцев, О. Л. Кузнецов,  
А. В. Николаев, Н. И. Николаев, О. В. Олейник, В. М. Петров, Г. А. Соболев, В. Н.  
Страхов, В. Е. Хаин, С. Э. Шноль, Ю. В. Яковец, А. Л. Яншин

*Составители:* С. И. Александров, А. Г. Гамбурцев

**УДК 550.34 А 924 ББК 20**

**Атлас временных вариаций природных, антропогенных и социальных процессов.  
Том 2. Циклическая динамика в природе и обществе. М.: Научный мир, 1998. - 432 с.**

**ISBN 5-89176-034-7**

Атласы временных вариации - это сборники, где помещены фактические данные о протекании различных природных и социальных процессов, приводятся результаты обработки имеющихся временных рядов, дается их интерпретация.

Мы стремимся внести посильный вклад в приближение к двум основным целям. Первая цель - научная: установить неизвестные ранее закономерности в протекании природных и социальных процессов в разных пространственных и временных масштабах. Вторая цель - практическая, она состоит в сохранении человечества и вообще биосферы. обеспечении устойчивого развития России.

Материал представлен в основном в виде временных рядов и результатов их обработки при помощи спектрально-временного анализа. Практически все из рассмотренных процессов нестационарные. Реакция на внешние воздействия у подобных объектов в одни и те же интервалы времени оказывается различной. Реакция на внешние воздействия у одного и того же объекта в разное время также может быть разной, в том числе нелинейной. В Атласе приводятся и обосновываются идеи комплексного мониторинга - геодинамического, экологического, социального, медицинского с целью оздоровления населения и улучшения социальной и демографической обстановки в России, выработки более правильной стратегии природопользования.

Атлас предназначен для научных работников, практических экологов и читателей, интересующихся эволюцией природы и общества.

*Рецензенты:*

академик РАН Ф. И. Комаров, академик РАН Ю. М. Пуцаровский

**Atlas of temporal variations of natural, anthropogenic and social processes. Volume 2. Cyclical dynamic in the nature and the society. M.: Scientific World, 1998. - 432 p.**

The Atlases of temporal variations is the collections, where actual data, that proceed in various natural and social spheres. are located, the results of processing of available time series and their interpretation are given.

We strive to make the feasible contribution to the approach to two basic goals. The first goal is scientific, it is to determine unknown laws of nature and social process in various spatial and temporal scales. The second one is practical; it is to preserve the mankind and generally biosphere, to provide the sustainable development of Russia.

The material is represented in basic as time series and results of processing with the use of the time-spectral analysis. Practically, all of the considered processes are non-stationary. The response on exterior actions of similar objects at the same time intervals appears to be various. The response on exterior actions of the same objects but at different times can also be different, including non-linear reaction. Ideas of the complex geodynamic, ecological, social and medical monitoring in the Atlas are given and substantiated with the purpose of population health normalization, social and demographic situation improvement' in Russia, the creation of more right strategy of nature use.

The Atlas is intended for researchers, practical ecologists and readers interested in evolution of the nature and the society.

© Коллектив авторов, 1998 © Научный мир, 1998

ISBN 5-89176-034-7

### ***ПРЕДИСЛОВИЕ***

Второй том Атласа, так же как и первый, выходит при поддержке Министерства науки и технологии Российской Федерации. Атлас, создаваемый в рамках Государственной научно-технической Программы "Глобальные изменения природной среды и климата", содержит новые важные фактические материалы и соображения о причинно-следственных связях современных процессов, протекающих в земной коре и в ближнем космосе, с важными событиями в жизни общества и социальными явлениями.

**В первом томе Атласа были представлены в основном данные о процессах, происходящих в твердой Земле.** Специалисты высоко оценили этот Атлас. Он оказался интересен не только ученым, работающим в области наук о Земле, но также физикам, биологам, медикам, географам, экономистам.

Второй том Атласа посвящен памяти выдающихся ученых России, внесших огромный вклад в развитие наук об эволюции Земли и биосферы, в раскрытие связей социальных процессов с космическими. Так же как и в первом томе Атласа, особую ценность представляют конкретные фактические материалы, представленные в форме "мало текста - много рисунков". Однако, графический материал сопровождается достаточными подписями-пояснениями.

Составители Атласа - геофизики. Этим можно объяснить то, что в нем доминируют материалы, посвященные современным процессам в земной коре. Среди них особое место занимают оценки напряженного состояния горных пород, данные измерений деформаций и наклонов земной поверхности, материалы по современным движениям земной коры и изменениям уровня подземных вод. В Атласе представлены новые сведения о лунной сейсмичности. Рассмотрены свойства открытых систем. Предложены методы обработки, пригодные для описания нестационарных процессов, показывающие их стремление к порядку и хаосу.

Атласы несомненно полезны не только для научных работников разных специальностей, но и для практиков. Очень важным представляется предложение авторов о проведении системного комплексного анализа результатов геодинамического, космического, экологического и медицинского мониторинга с целью более глубокого раскрытия взаимосвязей между процессами, протекающими в Солнечной системе, на разных оболочках нашей планеты и в социальной сфере. Его реализация поможет выявить до сих пор неизвестные, пока еще предположительные причинные связи между космическими процессами, природными явлениями и здоровьем человека.

Представляемая работа - важный шаг на этом трудном пути.

Н.П. Лаверов - Председатель научного Совета ГНТП "Глобальные изменения природной среды и климата" Вице-президент РАН

## **ВВЕДЕНИЕ**

Второй том Атласа посвящен великим русским ученым В.И.Вернадскому, Н.Д.Кондратьеву и А.Л.Чижевскому, внесшим выдающийся вклад в понимание эволюции природы и общества, принесшим идеи, которые мы пытаемся развить в настоящем издании. Фундаментальные труды этих ученых призывают рассматривать процессы в земных сферах в связи между собой и с космическими процессами.

Существуют разные виды атласов. Среди них - атласы географические для Земли и Луны, планет, их отдельных частей, атласы звездного неба, анатомические атласы, атласы растений, наконец, атласы железных или автомобильных дорог. В этих атласах графически изображаются особенности природных или иных объектов, позволяющие понять их структуру, определять расстояния между объектами, путь из одного места в другое. Но до сих пор не было атласов, которые показывали бы важные для науки и практики особенности протекания процессов *во времени*, хотя многое из особенностей протекания различных процессов известно. Мы надеемся, что создание серии атласов

временных вариаций будет способствовать уменьшению разобщенности, позволит установить некоторые не известные ранее закономерности, установить общие и частные черты и особенности протекания процессов в природе и обществе в различных пространственных и временных масштабах.

Второй том атласа отличается от первого тем, что в нем существенно расширен круг исследуемых явлений, включены антропо-генные, социальные, культурные, медицинские процессы. Исследуемый временной интервал - от миллисекунд до сотен миллионов лет.

В протекании процессов во времени имеют место ритмические, трендовые, пульсационные, шумовые компоненты. Ритмические вариации - это важнейшее свойство природных и социальных процессов, и мы постарались уделить им особое внимание.

Мы стремимся внести посильный вклад в продвижение к двум основным целям. *Первая цель - научная.* Она состоит в установлении не известных ранее закономерностей протекания процессов в природных и общественных сферах в разных пространственных и временных масштабах. *Вторая цель практическая.* Она состоит в том, чтобы способствовать сохранению человечества и биосферы в целом, обеспечить устойчивое развитие России.

Для достижения указанных целей необходимо изучить и проанализировать особенности фонового и аномального протекания природных процессов без участия и с участием антропогенных воздействий, установить причинно-следственные связи между процессами, найти пути к прогнозированию будущих состояний среды. Необходимо изучить закономерности процессов в гуманитарных сферах. Это очень сложные задачи и мы, авторы книги, пытаемся по мере возможности участвовать в их решении. Наши подходы к решению этих задач заключаются в анализе экспериментальных данных о временных и пространственно-временных процессах в природе и обществе.

Для обнаружения характерных ритмов, анализа их устойчивости или, наоборот, изменчивости во времени мы используем известную процедуру спектрально-временного анализа, а также родственную ей процедуру анализа параметра хаотизации. Они описаны в первом томе Атласа. Схематично эти процедуры заключаются в следующем. Спектрально-временной анализ, который в геофизике принято сокращенно называть СВАН, представляет собой спектральный анализ в скользящем временном окне. В результате мы получаем диаграмму спектрально-временного анализа. На горизонтальной оси откладывается календарное время в секундах, минутах, часах, сутках, месяцах или годах. Значения на оси абсцисс СВАН-диаграмм соответствуют центрам временных окон. На вертикальной оси откладываются величины частот в циклах, отнесенных к единице времени. Каждый столбец представляет собой амплитудный спектр Фурье, рассчитанный в заданном скользящем временном окне. Более сильная зачерненность на диаграммах соответствует большей амплитуде спектра. Длина окна задается исходя из требуемой детальности и спектрального состава. Длина окна выбирается исходя из требований получить данные о гармониках в наиболее широком частотном диапазоне, из требуемой детальности и фактического частотного состава процесса. Если взять слишком малое окно, мы теряем информацию о низких частотах. Если окно слишком велико, СВАН-диаграмма становится чересчур зарегулированной. Обычно, если не было других соображений, величина окна выбиралась равной 0,25-0,33 от продолжительности ряда. Если требуется получить сведения об эволюции высокочастотных составляющих, величину окна уменьшают.

Повторяемость доминирующих ритмов выражается в виде более или менее продолжительных зачерненных полос. Этот признак показывает продолжительность существования ритмических изменений. Об интенсивности процессов можно судить по прилагаемым справа от СВАН-диаграммы легендам. При необходимости СВАН-диаграммы некоторых рядов даются в разных вариантах - для того, чтобы нужный интервал частот мог быть хорошо и подробно рассмотрен. Для длинных рядов, если оказывалось нужным просмотреть динамику высокочастотных составляющих, применялось предварительное разбиение ряда на несколько частей. При рассмотрении рядов на профилях применялась аналогичная процедура, в которой ритмы были уже не временными, а пространственными, в этом случае соответствующие диаграммы назывались СПАН-диаграммами. Некоторым аналогом такого подхода является процедура спектрально-временного анализа канонических когерентностей (или корреляций главных компонент) в том случае, когда анализируется не один параметр, а некоторая их совокупность. Определение *параметра хаотизации* также представляет собой вид спектрально-временного анализа. На оси абсцисс откладывается календарное время, а на оси ординат - степень "заполненности" спектра. Монохроматическому процессу соответствует нулевой уровень, а белому шуму - единица. В некоторых случаях проводятся построения фазовых портретов. В этом томе, как и в первом, эти подходы доминируют. Мы стремились унифицировать обработку так, чтобы разные данные были обработаны и проинтерпретированы с единых позиций. Поэтому так же, как и в первом томе, спектрально-временной анализ занимает главенствующее место. Однако некоторые авторы предпочли представить свой материал в другом, более их устраивающем виде. Кроме того, в Атласе имеются специальные главы, которые посвящены новым подходам к интерпретации (часть 8). Заинтересованный читатель найдет там некоторые другие современные способы обработки. Это, например, алгоритмы анализа канонических когерентностей, некоторые приемы вейвлетного анализа, анализа ангармонических ритмов и др.

Во втором томе Атласа участвует много исследователей - специалистов в разных областях знаний. Нам было очень приятно встречать понимание со стороны многих ученых - геофизиков, геологов, физиков, биофизиков, медиков, историков, астрофизиков, экономистов, географов. Мы старались, чтобы каждая часть Атласа была интересна разным специалистам.

Атлас состоит из восьми частей. Первая часть - идеологическая, постановочная. Она открывается тремя главами об ученых, которым посвящена настоящая книга. Далее идут ключевые статьи о предмете исследований, подходах. Последующие части описывают в основном результаты экспериментальных исследований - прямых и косвенных, активных и пассивных. Причем деление на части в определенной степени условно. С целью унификации обработки и представления материалов мы передавали наши программы всем, кто этого хотел, и авторы сами обрабатывали свои материалы. Многие авторы предпочитали передавать нам свои материалы для обработки. В некоторых случаях мы участвовали в описаниях результатов, если авторы нас к этому приглашали.

Мы пытались при подготовке Атласа создать единый стержень, но это в полной мере не было реализовано. Атлас получился несколько разностильным, имеет место некоторый перекокс в сторону современных процессов в твердой Земле, некоторые главы адресованы узким специалистам.

В Атласе-2 имеются спорные главы, возможно, даже противоречащие одна другой. Но мы убеждены, что это обстоятельство только усилит интерес к обсуждаемой тематике.

Работа по теме Атласа-2 в целом поддержана грантом **РФФИ** № 96-05-64366, издание осуществляется за счет гранта **РФФИ** № 97-05-78165. Издание книги получилось очень дорогим. Существенная дополнительная финансовая поддержка издания оказана со стороны Министерства науки и технологий Российской Федерации и Государственной научно-технической программы "Глобальные изменения природной среды и климата". В Атласе имеются части, выполненные при поддержке целого ряда грантов **РФФИ**; они указаны в конце соответствующих разделов. При подготовке издания мы получили также финансовую поддержку за счет грантов **рффи** 96-05-66003 и 97-05-79005.

Мы благодарны отделу истории науки музея В.И. Вернадского РАН, Международному фонду Н.Д. Кондратьева и М.И. Чижевской за любезно предоставленные фотографии.

Работе оказана большая моральная поддержка со стороны Российской академии естественных наук, Российской академии медицинских наук, Комиссии Торгово-промышленной палаты Российской Федерации по устойчивому развитию. Авторы благодарят за содействие, помощь и консультации советника Председателя Совета Федерации профессора С.Н. Сильвестрова, начальника Управления окружающей среды Министерства науки и технологий РФ канд. техн. наук А.М. Новикова, главного специалиста Министерства экологии профессора В.Н. Морозова.

Особую благодарность авторы выражают академику Н.П. Лаверову, инициатива, поддержка и участие которого сыграли решающую роль в выпусках как первого, так и второго тома Атласа.

Авторы благодарны всем, кто тем или иным способом содействовал созданию и выходу этой книги.

С.И. Александров, А.Г. Гамбурцев



*Александр Леонидович Чижевский*

### *Часть 1*

## **ОСНОВНЫЕ ПРЕДПОСЫЛКИ, ИДЕОЛОГИЯ, МОДЕЛИ**

*Приведены ключевые главы, связанные с вопросами эволюции Земли, биосферы и человеческого общества как открытых динамических систем.*

### *Глава 1*

## **"ЗЕМНОЕ ЭХО СОЛНЕЧНЫХ БУРЬ" А.Л. ЧИЖЕВСКИЙ И СТАНОВЛЕНИЕ КОСМИЧЕСКОЙ БИОЛОГИИ**

Преодоление идей геоцентризма в науке и общественном сознании, начатое Н.Коперником, особенно четко проявилось в конце прошлого и начале нынешнего века. Этому способствовал процесс философской мысли, накопление фундаментальных научных знаний и появление наконец не фантастических, а вполне реалистичных технических проектов, обеспечивающих возможность проникновения человека в космос.

Идея "космизма" (Н.Ф.Федоров, А.В.Сухово-Кобылин, К.Э.Циолковский, В.И.Вернадский и др.) в философском и естественнонаучном аспектах со всей определенностью поставила вопрос о гармонии отношений человек биосфера - Вселенная. На протяжении многих

десятилетий эта увлекательная проблема привлекала внимание исследователей самых широких специальностей и разрабатывалась со все возрастающей активностью.

В ряду пионеров этих исследований видное место занимает творчество Александра Леонидовича Чижевского.

А.Л.Чижевский родился в 1897 г. в семье артиллерийского офицера, получил очень хорошее, сначала домашнее, образование (языки, живопись, музыка), а затем учился в гимназии и Калужском реальном училище, которое окончил в 1914 г. К этому времени относится знакомство А.Л. Чижевского с К.Э.Циолковским, с которым он поддерживает дружеский и творческий контакты вплоть до кончины последнего.

С детских лет А.Л.Чижевского отличала широта интересов и жажда знаний. Он рано стал увлекаться астрономией и, располагая прилич

ным телескопом, много времени уделял астрономическим наблюдениям сначала Луны, а затем и Солнца, включая периодические изменения его активности.

В его книге [Чижевский, 1974] читаем: - Я уже писал, что рос хилым и слабонервным ребенком и с детства испытывал на себе влияние внешних метеорологических факторов, причем испытывал в такой степени, что предсказывал заранее перемены погоды, дождь или грозу за сутки и более до их наступления.

Эти мои черты, чаще наблюдавшиеся в пожилом возрасте, вынудили меня еще с детства живо интересоваться происхождением их и прилежно изучать естественные науки. Меня непреодолимо влекло к изучению внешних влияний на организм, и потому, так по крайней мере мне кажется, - я отдал изучению этого всю последующую жизнь. Я стал исследователем вопросов о "влияниях".

Во время первого же моего визита к К.Э.Циолковскому (1914 г.) я изложил ему свои идеи о космической биологии. Он долго не отвечал мне на мой основной вопрос: "Могут ли циклы солнечной активности иметь влияние на мир растений, животных и даже человека". Он думал. Затем сказал: "Было бы совершенно непонятно, если бы такого действия не существовало. Такое влияние, конечно, существует и спрятано в любых статистических данных, охватывающих десятилетия и столетия. Вам придется зарыться в статистику, любую статистику, касающуюся живого, и сравнить одновременность циклов на Солнце и в живом".

Так, в 1914 г. была сформулирована одна из главных идей дальнейших исследований А.Л.Чижевского, хотя в разное время он разрабатывал и другие проблемы: биологическое действие аэрологов, электрические свойства крови и др.

В 1917 г. А.Л.Чижевский оканчивает Московский Археологический, а в 1918 г. - Московский Коммерческий институты. В период с 1915 по 1922 гг. он также посещает лекции на физико-математическом и медицинском факультетах Московского Университета.

Студент А.Л.Чижевский работает с архивными материалами, собирает обширные литературные данные с древнейших времен по поводу поражающей его одновременности солнечных и земных явлений.

В уже цитированных мемуарах "Вся жизнь" [Чижевский, 1974, с. 153] он замечает: - Я должен теперь же сказать, что мысль об особом солнечном влиянии на организм принадлежит не мне одному, а сотням и тысячам тех летописцев и хроникеров, которые записывали необычные явления на Солнце, голод, моровые поветрия и другие массовые явления на Земле. Но я облек древнюю мысль в форму чисел, таблиц и графиков и показал возможность прогнозирования.

Помимо разработки архивных материалов А.Л.Чижевский начинает вести тщательные наблюдения за самим собою, фиксируя изменения в отправлениях своего организма, а также привлекает к этой работе 25 своих знакомых. Сопоставляя полученные данные с флуктуацией солнечной активности, он приходит к выводу, что сильные "пертурбации на Солнце" почти во всех случаях и у большинства лиц, находившихся под наблюдением, одновременно вызывали определенные изменения: "при повышенной нервной возбудимости резко выраженную эмоциональность и избыток моторики".

Таким образом, можно считать, что в 1917 г. А.Л.Чижевским были заложены основы гелио-биологии новой науки, которую сам автор называл космической биологией (космобиология, биокосмика).

По-видимому, А.Л.Чижевский и М.Фор были первыми, кто в обиход научной литературы ввели термин "космическая биология". Доклад А.Л.Чижевского, представленный на вторую конференцию по биологическим ритмам (Утрехт, 1939 год) назывался: "Космическая биология и ритмы внешней среды".

По современным представлениям, космическая биология является более широкой областью знаний, чем гелиобиология, которой собственно

и занимался А.Л.Чижевский. Историки науки не без основания полагают, что первый и наиболее существенный вклад в становление космической биологии (или как еще часто говорят - космической науке о жизни) внес К.Э.Циолковский. Насколько известно, именно он осуществил первые биологические опыты по определению устойчивости живых организмов к действию перегрузок, возникающих при разгоне ракеты после старта, а также поставил и обрисовал многие из тех проблем, которые относятся к компетенции современной космической биологии.

Гелиобиология (А.Л.Чижевский), экзобиология (Д.Ледерберг), астробиология (Г.А.Тихов) и многие другие научные направления, порожденные развитием наших биологических знаний о Космосе и космонавтикой, являются составными частями космической биологии (М.Фор, А.Л.Чижевский и др.).

Намечая общие контуры гелиобиологии, А.Л.Чижевский естественно не мог решить все вопросы, связанные со сложнейшим комплексом многообразных проявлений солнечной активности в биосфере, - эта задача по плечу лишь совместным усилиям многих специалистов, представителям различных научных направлений. Однако на протяжении всей своей творческой жизни он упорно и целеустремленно ставил и пытался решать эту проблему, кстати сказать, полную загадок и к настоящему времени.

Первые соображения на этот счет А.Л.Чижевский изложил в докладе "Периодическое влияние Солнца на биосферу Земли" [Отд. оттиск, М., 1915, с.292-304]. Это были только смелые догадки, опирающиеся на ограниченное число фактов и наблюдений.

Дальнейшее накопление фактического материала все более утверждало А.Л.Чижевского в том, что периодичность больших эпидемий, пандемий, эпизоотии и эпифитий стоит в связи с физическими возмущениями внешней ("космо-теллурической") среды.

В 1927-1928 гг. на страницах "Русско-немецкого медицинского журнала" А.Л.Чижевский публикует серию статей, в которых описывает многочисленные функциональные и органические нарушения в жизнедеятельности и развитии биологических систем - от отдельных организмов до популяций и сообществ, - обусловленные "комплексом возмущений во внешней физико-химической среде", которые имеют своим источником космические воздействия, особенно резкие нарушения наблюдаются во время физических процессов на Солнце.

Ясно, что отстаивая эти представления, А.Л.Чижевский заметно расширил понятие "внешняя среда", что было в то время и ново, и спорно.

В 1930 г. выходит книга "Эпидемические катастрофы и периодическая деятельность Солнца", в которой А.Л.Чижевский публикует часть собранного им статистического материала об эпидемиях с целью продемонстрировать тесную связь коллективной реакции живых организмов на почти неуловимые малейшие изменения внешней среды, обусловленные периодической деятельностью Солнца и остающиеся, как он полагал, вне поля зрения эпидемиологов.

"Нашей задачей явилось, - писал он в конце книги, - представить в широком общебиологическом освещении вопрос о переходе жизненных качеств вируса из латентного состояния в активное и под влиянием изменений в окружающей организм физико-химической стихии" [Чижевский, 1930, с. 163].

А.Л.Чижевский не абсолютизировал своих взглядов на механизм эпидемиологического процесса и проявлял достаточную осторожность, замечая: "На их безошибочность мы вовсе не претендуем. Их следует рассматривать лишь как первую попытку построить рабочую гипотезу, не более"(там же).

Конечно он не принимал изменение солнечной активности за причину возникновения и распределения эпидемий, прямо указывая, что "такого рода заключение было бы совершенно неверно. Действие Солнца, по всему вероятно, *литъ способствует* (выделено нами - О.Г.) эпидемиям, содействует более быстрому их назреванию и интенсивности. Это нужно разуметь в том смысле, что та или иная эпидемия благодаря ряду биологических факторов могла бы иметь место и без воздействия солнечного фактора, но без последнего она могла бы появиться не в тот год, когда действительно имела место, и сила ее развития была бы не та, что на самом деле" [Чижевский, 1930, с. 162].

Таким образом, роль периодической деятельности Солнца А.Л.Чижевский понимал как роль регулятора эпидемий по времени и силе их проявления.

В тридцатые годы, совмещая свою активную деятельность по руководству лабораторий ионизации, А.Л.Чижевский продолжает публикацию статей по гелиобиологии не только в отечественной, но и зарубежной научной прессе, особенно французской. Эти публикации встречают интерес и положительный отклик, так что в

1937г. А.Л.Чижевский получает предложение подготовить монографическую публикацию своих работ в издательстве "Гиппократ". Книга "Эпидемии и электромагнитные

пертурбации внешней среды" выходит во Франции в 1938 г. "В сентябре 1939 г., - вспоминает А.Л.Чижевский, - за обоснование космической биологии я был избран почетным президентом Международного конгресса по биологической физике и космической биологии". Конгресс проходил в Нью-Йорке, однако, без участия А.Л.Чижевского.

Книги, как и люди, имеют свою жизнь и свою судьбу. К сожалению фундаментальный труд А.Л.Чижевского "Эпидемии и электромагнитные пертурбации внешней среды" хотя и был с интересом встречен зарубежной научной общественностью, но вышел в свет в не совсем удачное время. В эту пору Европа уже вступила в полосу политических и военных катастроф. Небо и землю все чаще озаряли всполохи не солнечных бурь, а взрывы артиллерийских снарядов и авиационных бомб. В 1941 г. немецкие войска переходят границу СССР. Наступает Великая Отечественная Война. Судьба А.Л.Чижевского складывается трагически: в 1942 г. он незаслуженно подвергается репрессии и ссылке. Много лет спустя, в 1958 г., после реабилитации А.Л.Чижевский возвращается в Москву, где до своей кончины (1964 г.) руководит лабораторией аэроионофикации при Госплане СССР.

После Второй Мировой войны, в конце сороковых - начале пятидесятых годов в США и СССР приступили к практическому использованию ракет для проведения геофизических и биологических исследований в верхних слоях атмосферы Земли. Быстро накапливались прямые экспериментальные данные, характеризующие физику окружающего Землю пространства, а биологи получили уникальную возможность исследовать реакции самых различных биологических объектов при полетах на ракетах до высоты 100, 200 и 450 км. Наука получила надежный инструмент для исследования космо- и солнечно-земных связей.

В 1957 г. состоялся запуск первого искусственного спутника Земли - мир вступил в космическую эру, был дан старт ускоренному развитию космической техники, науки о космосе и, конечно, космической биологии.

Все яснее вырисовывалась перспектива полета человека в космос и связанная с этим необходимость разработки надежных систем жизнеобеспечения и средств безопасности экипажей

космических кораблей. Эти проблемы становятся основными направлениями исследований и разработок в космической биологии и медицине.

Среди "внешних влияний" или факторов риска, определяющих безопасность полетов для человека, особенно выделялись невесомость и космическая радиация. Сведения об их биологическом действии были достаточно скудны, а проведение исследований в наземных лабораторных условиях затруднено. Все это делало экспериментальную работу в реальных полетах особенно ценной и важной, а такие опыты именовались тогда "биологической индикацией трасс космических полетов".

Обстоятельный анализ накопленных наукой данных и проведение многочисленных запусков космических аппаратов с испытанием в реальных условиях систем жизнеобеспечения и средств безопасности полетов экипажей позволили открыть дорогу человеку в Космос (Ю.Гагарин, 1961).

Хотя в 60-ые годы А.Л.Чижевский в основном занимался исследованиями в области аэроионизации, он не мог остаться в стороне от всегда увлекавшей его космической

биологии. Он консультирует, принимает участие в научных семинарах по обсуждению данных, полученных в полетных биологических экспериментах, размышляет о путях прогнозирования радиационной обстановки в космосе при проведении пилотируемых полетов.

На состоявшейся в 1963 г. 1-ой конференции по авиационной и космической медицине А.Л.Чижевский выступил с интересным докладом [1963]. Вот некоторые положения этого доклада.

"Конкретное решение задачи об энергетическом воздействии солнечных эмиссий импульсного характера на биообъекты в настоящее время затруднено вследствие недостаточности наших знаний. Тем не менее уже и теперь большая статистика и некоторый микробиологический эксперимент приближают нас к решению этой важной задачи. Наиболее важным результатом следует признать тот, который наиболее точно будет предварять астрофизические сведения (например, вспышки и т.д. ) за некоторое количество дней. Тогда наблюдения такого рода будут иметь огромное практическое значение как для космонавтики, так и для практической медицины".

Цитируемый доклад представляет интерес не столько из-за приведения в нем уже опубликованных ранее данных А.Л.Чижевского по гелио-биологическому анализу эпидемиологии и микробиологии, сколько по освещению мнения К.С.Циолковского об "активном Солнце". Он пишет: "Так как было неясным, что является наиболее опасным для человека, находившегося вне земной атмосферы, электромагнитные излучения возбужденных мест на Солнце или эмиссии части высоких энергий при грандиозных вспышках, а может быть и то и другое вместе (Z - радиация ), то уже в конце двадцатых годов возникла необходимость поисков какой-либо крайне чувствительной биологической реакции, которая предсказала бы возможные в ближайшие дни инвазии солнечной материи в атмосферу, неблагоприятные или даже опасные для человека. О таких поисках в разговорах со мной просил меня Константин Эдуардович Циолковский" (там же, с.486).

"Чтобы звездный корабль направить по другой орбите и избежать внедрения его в поток опасного солнечного излучения, надо знать о времени наступления вредного излучения за несколько дней, т.е. надо предвидеть, и оворил мне Константин Эдуардович" (с.486).

Далее А.Л.Чижевский коротко излагает результаты цикла работ, проведенных совместно с С.Т.Вельхвер, по обоснованию метода индикаций и предсказанию солнечных вспышек, по изменению функциональных свойств кринебак-терий. Заканчивает свой доклад А.Л.Чижевский следующими словами: "Все вышесказанное говорит о том, что в наших руках уже имеются методы предвидения солнечных эмиссий, наиболее опасных для человека не только вне земной атмосферы (космонавты), но и для человека больного, т.е. для нашей прогрессивной медицины" (с.487).

Эти предложения А.Л.Чижевского продолжают и развивают линию "биологической индикации", оказавшуюся столь важной и плодотворной в истории космической биологии и медицины.

В 1964 г. выходит сборник "Земля во Вселенной", где помещены четыре последние публикации А.Л.Чижевского: "Об одном виде специфически-биологического или 2 излучения Солнца", "Физико-химические реакции как индикаторы космических явлений", "Атмосферное электричество и жизнь" и, наконец, "О мировом приоритете К.Э.Циолковского".

Александр Леонидович Чижевский оставил после себя огромное творческое наследие, часть из которого опубликовано, а часть хранится в архиве ученого. К сожалению, значительная часть этого архива была утрачена в 1942 г.

Вместе с тем некоторые из работ были опубликованы уже после кончины А.Л.Чижевского, а некоторые переизданы. Так, в 1969 г. в издательстве "Наука" выходит книга "В ритме Солнца", подготовленная к издательству соавтором А.Л.Чижевского - врачом и журналистом Ю.Г.Шишиной [Чижевский, 1969]. Как бы подводя итог предшествующего развития гелиобио-логии, авторы пишут: "Пора накопления фактов и формирования рабочих гипотез заканчивается. Гелиобиология вступает в стадию раздвинутых экспериментальных и теоретических исследований с применением современных методов. А это значит, что гелиобиология уверенно входит в арсенал средств научного прогнозирования весьма большого ряда процессов в системе взаимодействия Солнце - биосфера" (с. 105).

В 1974 г. Издательство "Советская Россия" публикует воспоминания А.Л.Чижевского - "Вся жизнь", а в 1976 г. выходит в свет второе издание "Эпидемии и электромагнитные пертурбации внешней среды" (Париж, 1938), но уже под новым названием "Земное эхо солнечных бурь" [Чижевский, 1976]. Перевод книги с французского на русский выполнила супруга Александра Леонидовича - Н.В.Чижевская, а текст рукописи был исправлен и дополнен самим А.Л.Чижевским незадолго до кончины.

Редакция (отв. ред. проф. П.А.Кузнецов) и издательство бережно отнеслись к авторскому стилю; страстность, увлеченность, взволнованность, насыщающие страницы книги, представ

ляются вполне уместными, отражающими художественную натуру автора, - текст дышит живым, по-настоящему литературным словом. По существу это пока единственная и наиболее полная сводка данных по гелиобиологии в мировой научной литературе, обобщающая большой материал, накопленный со времени средневековья до 30-х годов нашего столетия. Объем книги составляет 366 страниц, а число использованных источников - 350.

Проблема "Солнце - биосфера", влияние периодического изменения солнечной активности на жизнедеятельность земных организмов продолжает привлекать к себе внимание ученых самых разных специальностей. В этом направлении проводятся исследования в различных научных учреждениях, все большую регулярность начинают принимать и различные научные собрания, посвященные этой теме. С развитием космических исследований, прогрессом физических и биологических знаний все четче становится понимание сложных механизмов взаимодействия Солнце - живое. Можно надеяться, что при этом отпадут неоправданные опасения и ясно обозначатся проблемы, требующие к себе самого серьезного внимания и дальнейших разработок. Александр Леонидович Чижевский своим творчеством поставил на серьезное научное рассмотрение проблему "Солнце - биосфера", способствовал формированию нового научного направления - космической биологии и вошел в историю науки как творец гелиобиологии.

## **Глава 2 НООСФЕРА В.И. ВЕРНАДСКОГО**

В начале нашего века еще не существовала наука, которую мы теперь называем футурологией, и о будущем человечества сочинялись лишь романы писателями-фантастами, подобными Герберту Уэльсу ("Машина времени", "Когда спящий проснется" и др.). Даже ученые в подавляющем большинстве изучали прошлое и настоящее, не

считая нужным задумываться над проблемами будущего. Людей на Земле было в три раза меньше, чем сейчас, ресурсы природы казались беспредельными и нужно было думать только о том, как их лучше взять и использовать. Об их охране не было и речи.

Однако, отдельные гениальные ученые еще с начала XIX века заглядывали далеко вперед и, думая о будущем взаимоотношений человечества и природы, чаще всего приходили к печальным выводам.

Так, например, великий французский натуралист, провозвестник теории эволюционного развития органического мира, Жан Батист Ламарк в 1803 г. в трактате "Философия зоологии" писал:

"Можно, пожалуй, сказать, что назначение человека как бы заключается в том, чтобы уничтожить свой род, предварительно сделав земной шар не пригодным для обитания".

В середине прошлого века в США была опубликована, а в 1866г. переведена на русский язык книга Генри Марша "Человек и природа" [Марш, 1866]. В ней приведены многочисленные факты варварского уничтожения природных ресурсов. Автор пишет о том, что при таком к ним отношении будущие поколения скоро лишатся средств для существования.

В России первым поднял эту проблему основатель современного почвоведения профессор Василий Васильевич Докучаев. В своей книге "Наши степи прежде и теперь" [Докучаев, 1892], опубликованной в 1892г., он изложил историю хозяйственного освоения степной полосы юга России и убедительно показал, что антропогенное воздействие привело к усилению засух, снижению плодородия почвенного слоя и ряду других нега

тивных последствий. На обложке книги В.В.Докучаева изображен стрепет, птица семейства дрофиных, которая раньше населяла все наши степи и собиралась осенью тысячными стаями, а теперь занесена в Красные книги и относится к видам исчезающим, во многих местах уже исчезнувшим.

Углубленно изучал влияние человеческой деятельности на окружающую природную среду наш гениальный натуралист Владимир Иванович Вернадский. Уже в первых статьях, написанных им, когда он студентом работал в почвенных экспедициях своего учителя В.В.Докучаева. В.И.Вернадский отмечал выравнивание мелких неровностей рельефа под влиянием многократной распашки, оценивая эрозию распаханых почв. роль человека в образовании солонцов.

Во всех своих работах по минералогии В.И.Вернадский отмечал практическое значение того или другого минерала, указывал величину его добычи в разных странах. В отчете о поездке в 1913г. в Канаду и Соединенные Штаты Америки и в ряде других работ он писал о том, какое разрушительное воздействие на природные ландшафты оказывает разработка месторождений полезных ископаемых.

В трудах, посвященных изучению природных вод, В.И.Вернадский приходит к выводу, что на суше островов и континентов девственных вод уже не осталось. Все воды рек, озер и водохранилищ, а также прибрежных частей морей и океанов содержат в растворенном, а часто и во взвешенном состоянии вещества, возникшие в результате деятельности человека.

Уже в 1927 г. в первом русском издании "Очерков о геохимии" [Вернадский, 1927] В.И.Вернадский писал о том, что деятельность эта стала самым мощным геологическим и геохимическим фактором, более мощным, чем все природные процессы, вместе взятые.

В.И.Вернадский был ученым, очень широко эрудированным и, как мы теперь сказали бы, многопрофильным. С 1891 до 1911 г. он преподавал в Московском университете кристаллографию и минералогию и писал по этим научным дисциплинам фундаментальные монографии. Изучая минералы, он обращал особенное внимание на связь их химического состава с физическими свойствами, а также на закономерности их распространения в земной коре. Собрав материал по этим вопросам в конце первого десятилетия нашего века почти одновременно с Франком Уиглсуоргом Кларком в США и норвежцем Виктором Морицем Гольдшмитом, он занялся изучением содержания различных химических элементов в разных типах горных пород и в земной коре в целом, закономерностей миграции этих элементов, химических процессов, протекающих в земной коре и на ее поверхности, т.е. той наукой, которую еще в 1838 г. базельский натуралист К.Ф.Шенбейн назвал геохимией, предсказывая неизбежность ее появления в будущем.

Работая в области геохимии, В.И.Вернадский заинтересовался распространением различных химических элементов в разных тканях животных и растений, создав своими исследованиями в этом направлении новую научную дисциплину - биогеохимию. Для усиления исследований по этой новой дисциплине В.И.Вернадский в 1927 г. создал в ранее организованной им Комиссии по естественным производительным силам Академии наук (КЕПС) специальную Биогеохимическую лабораторию, которая публиковала свои труды в виде сборников под общим названием "Проблемы биогеохимии".

Для совокупности всех организмов (включая микроскопические), обитающих на Земле, В.И.Вернадский ввел термин "живое вещество". Выясняя его полный химический состав, он естественно подошел к изучению всех химических и энергетических процессов, которые происходят в той оболочке земного шара, в которой существует живое вещество, т.е. в биосфере.

Представление о том, что сфера Земли, в которой существует жизнь, должна обладать под ее влиянием многими особенностями, можно найти еще в 38-томной "Естественной истории" Жоржа Луи Леклера де Бюффона, написанной во второй половине XVIII века. Подобные мысли высказывали и другие естествоиспытатели. Термин "биосфера" для этой оболочки Земли предложил в 1873г. австрийский геолог Эдуард Зюсс, но предложил попутно, в монографии по тектонике Альп, не вникая в его содержание.

В.И.Вернадский нашел этот термин удачным, принял его и в многочисленных публикациях разработал целое учение о биосфере Земли. Он

определил размеры биосферы, включая в нее всю гидросферу, нижнюю часть атмосферы до высоты 30 км, на которой еще встречаются поднятые ветром насекомые и уже летали в его время самолеты, и верхнюю часть литосферы до глубины 2-3 км, до которой проникают поверхностные воды с бактериями. Он определил общую массу живого вещества биосферы и установил закономерности его распределения в пространстве. При этом выделил пленки сгущения живого вещества, соответствующие почвенному слою на суше и нескольким верхним метрам воды в океанах. Он вычислил количество космической энергии, которое поглощается биосферой в результате улавливания солнечных лучей хлорофиллом зеленых растений, и вычислил, какая часть этой энергии переходит в энергию движения, размножения и другие функции самого живого вещества,

а какая захороняется вместе с органическим веществом, проникая в глубь земной коры, и скапливается в конечном счете в виде месторождений горючих полезных ископаемых.

В.И.Вернадский изучил скорость распространения жизни в биосфере и установил, что она обратно пропорциональна величине организмов, разработал математический метод определения давления различных видов живого вещества на окружающую среду, определил циклы прохождения через живое вещество биосферы углерода, азота и других химических элементов, словом, сделал для нас ясными и основные черты строения и жизни биосферы.

Основные результаты раннего этапа изучения биосферы В.И.Вернадский опубликовал в монографии "Биосфера", которая вышла в 1926 г. [Вернадский, 1926], а также в многочисленных статьях, которые выходили в свет на протяжении 20-х и начала 30-х годов. По этим произведениям обычно и судят о взглядах В.И.Вернадского на биосферу.

Однако, помимо точно описанных фактов и крупнейших эмпирических обобщений, они содержат ряд ошибочных положений, с которыми не может согласиться ни один современный ученый.

Дело в том, что в этих произведениях В.И.Вернадский утверждал, что живое вещество принципиально отличается от неживого, которое называл косным, и никогда не могло из него образоваться путем абиогенеза. Поэтому он считал жизнь вечно существующей и принимал гипотезу шведского ученого Сванте Аррениуса, согласно которой на Землю она была занесена в виде спор солнечным ветром из Космоса, скорее всего, с Венеры, температуру поверхности которой тогда ошибочно считали по спектроскопическим данным равной 50-60°C. Попав на Землю в виде простейших форм, живое вещество быстро распространилось по всей ее поверхности и создало биосферу, а в дальнейшем эволюционировало только морфологически, сохраняя постоянными свою массу и средний химический состав. Техническую деятельность человечества В.И.Вернадский в эти годы считал явлением мощным, но чуждым биосфере, наложенным извне на ее спокойное перманентное существование.

Однако недавно выяснилось, что В.И.Вернадский думал так не всегда. В монографии Ф.Т.Яншиной "Эволюция взглядов В.И.Вернадского на биосферу и развитие учения о ноосфере" [Яншина, 1996] показано, что с середины 30-х годов, скорее всего под влиянием получения к этому времени множества синтезированных органических соединений, В.И.Вернадский отказался от представления о вечности жизни, признал абиогенез, в основном происходивший в особых физико-химических условиях, существовавших на ранних стадиях истории Земли, но в скрытой форме возможно продолжающийся и сейчас, признал постепенное увеличение массы живого вещества биосферы и вероятность неоднократного изменения его среднего химического состава, словом, принял эволюционную точку зрения на развитие биосферы и даже стал намечать этапы ее эволюции.

В связи с этим В.И.Вернадский пересмотрел свои взгляды на изменения природных условий под влиянием человеческой деятельности. Если раньше он рассматривал эту деятельность как процесс, чуждый биосфере, то теперь - как закономерный этап ее эволюционного развития. Для этого этапа, который еще не наступил, но обязательно должен наступить, когда человечество станет более разумно относиться к окружающей его природной среде, В.И.Вернадский, не любивший изобретать новые термины, принял термин "ноосфера", т.е. сфера человеческого Разума, предложенный еще в 1927 г.

французским математиком и философом Эдуаром Леруа [Le Roy, 1927], прослушавшим в Сорбонне курс лекций В.И.Вернадского по биогеохимии.

Владимир Иванович давно был знаком с Э.Леруа и его работами, потому что до 1934г. включительно ежегодно выезжал на длительный срок в Париж и другие европейские столицы, но до пересмотра своих взглядов на биосферу этим термином не пользовался. Он принял его только тогда, когда признал эволюцию биосферы и стал намечать этапы этой эволюции. В письмах он стал употреблять термин "ноосфера" с осени 1938г., а публично впервые произнес это слово 28 июля 1937 г. в докладе на первом пленарном заседании XVII сессии Международного Геологического Конгресса, которое происходило в зале Московской Консерватории.

В последние годы жизни, находясь в Москве и на казахстанском курорте Боровое, куда он был эвакуирован вместе с другими учеными в начале Великой Отечественной войны, В.И.Вернадский работал преимущественно над обобщающей трехтомной монографией, которую в письмах называл "книгой жизни". Он несколько раз менял название этой монографии, но писал, что третий том ее будет посвящен подробному изложению его представлений о ноосфере. На самом деле, вернувшись в 1943г. из эвакуации в Москву и занявшись множеством научно-организационных дел, В.И.Вернадский так и не успел написать его. Вероятно, предчувствуя возможность такого исхода, в 1944 г. он написал и опубликовал свою последнюю прижизненную статью "Несколько слов о ноосфере", в которой изложил основные принципы правильного понимания этого термина [Вернадский, 1944].

Две первые части "книги жизни", которые успел написать В.И.Вернадский, были впервые опубликованы через 20 лет после его кончины в 1965г. в виде книги "Химическое строение биосферы Земли и ее окружения" [Вернадский, 1965]. В 13 местах этой книги В.И.Вернадский упоминает о ноосфере, касаясь главным образом условий, необходимых для ее возникновения. Еще более подробно он говорит о ноосфере в другой своей посмертно изданной монографии философского содержания "Научная мысль как планетное явление", которая писалась одновременно с "книгой жизни" и первоначально была задумана как вводная глава к ней [Вернадский, 1977].

Эта книга впервые была опубликована в 1977 г. Она состоит из четырех отделов, каждый из которых включает по несколько глав. Отдел третий, состоящий из двух глав, озаглавлен "Новые научные знания и переход биосферы в ноосферу". В нем предпосылки и условия создания ноосферы рассмотрены достаточно подробно.

В статье Ф.Т.Яншиной [1993], а также в упоминавшейся монографии [Яншина, 1996] по указанным выше публикациям, а также письмам и дневникам В.И.Вернадского составлен приведенный ниже список условий, которые он считал необходимыми для возникновения ноосферы, а также проанализирована степень их выполнения за полвека после его кончины:

1. Заселение человеком всей планеты.
2. Преобразование средств связи и обмена между разными странами.
3. Усиление связей, в том числе политических, между всеми государствами Земли.
4. Преобладание геологической роли человеческой деятельности над природными геологическими процессами, протекающими в биосфере.

5. Расширение границ биосферы и выход в Космос.
6. Открытие новых источников энергии.
7. Равенство людей всех рас и религий.
8. Увеличение роли народных масс в решении вопросов внутренней и внешней политики.
9. Свобода научной мысли и научного искания от давления религиозных и политических построений и создание в общественном и государственном строе условий, благоприятных для свободной научной мысли.
10. Подъем благосостояния трудящихся. Создание реальной возможности не допустить недоедания и голода, нищеты и ослабить влияние болезней.
11. Разумное преобразование первичной природы Земли с целью сделать ее способной удовлетворить все материальные, эстетические и духовные потребности численно возрастающего человечества.
12. Исключение войн из жизни общества. Как показывает проведенный анализ, большинство этих условий выполнено или находится в стадии выполнения, что свидетельствует о приближении человечества к созданию ноосферы.

Остановимся на выполнении 11 пункта для иллюстрации изменения отношения человека к природным ресурсам, что является хорошим показателем эволюции "коллективного разума" человечества.

Первые шаги в направлении разумного преобразования природы во второй половине XX века несомненно начали осуществляться. Одним из таких шагов, вероятно, можно считать "зеленую революцию" в странах тропического пояса. Резко увеличив урожайность основных видов сельскохозяйственных культур, она дала возможность приостановить уничтожение девственных ландшафтов в результате увеличения посевных площадей. Крупные мероприятия с целью улучшения окружающей человека природной среды начали проводиться после Первой Конференции по этой проблеме, созванной ООН в июне 1972 г. в Стокгольме. Были проведены дорогостоящие работы по очистке Великих озер Северной Америки. Загрязненные осадки со всей площади дна озер были собраны и захоронены в заброшенных шахтах, что в короткий срок позволило восстановить рыбные богатства этих водоемов. Был очищен на всем своем протяжении Рейн, ранее служивший сточной канавой для всех промышленных предприятий Западной Германии. В последний год своего президентства Р. Рейган провел в Сенате закон о прекращении к 1998 г. сброса промышленных вод в Атлантический и Тихий океаны, для чего строятся мощные очистные сооружения на всех промышленных предприятиях, расположенных на берегах рек, впадающих в эти океаны [Яншина, 1996].

Можно добавить еще несколько примеров. Впечатляющим примером целесообразного изменения природных условий можно считать выращивание благородного лосося в садках некоторых фьордов Норвегии, начавшееся около 15 лет назад. После захода лососей на нерест в горные речки при выходе из фьорда их вылавливают и помещают в просторные садки, в которых они проводят годы роста и нагула. Их прикармливают мелкой рыбешкой, выловленной в океане, вследствие чего молодежь быстро растет. Когда рыбы достигают длины метра с небольшим, их легко вылавливают. Дело оказалось выгодным. В 1994 г. вылов выращенных таким образом лососей составил 2015 тысяч тонн [Сорокин и

др., 1996]. Теперь недорогую норвежскую лососину экспортируют в страны Северной и Центральной Европы. В последние годы этот метод принят на тихоокеанском берегу Канады и Аляски.

В Японии и прибрежных провинциях Китая в очень больших количествах употребляются в пищу различные бентосные моллюски (не только устрицы). Еще в середине XX века их только добывали. Сейчас же разводят на обширных участках мелководья, причем следят за тем, чтобы вылов не превышал ежегодного прироста таких искусственных колоний.

Хорошим примером рационального использования скудных запасов воды может служить создание на пустынных территориях государства Израиль оазисов озеленения и хозяйственного освоения за счет применения капельного орошения.

Международная Конференция по окружающей среде и развитию, состоявшаяся в июне 1992 г. в Рио-де-Жанейро, обратила внимание на быстрое уничтожение лесного покрова Земли, что угрожает снижением содержания кислорода в атмосфере. После этого при финансовой поддержке общественных организаций развитых стран начались массовые лесопосадки на обезлесенных территориях. Даже у нас в Саратовской области при такой поддержке были проведены лесопосадки на площади 400 гектаров.

Стремление сохранить разнообразие видов фауны и флоры биосферы в ряде стран привело к созданию новых крупных заповедников и национальных парков, в которых разнообразие видов тщательно охраняется. Сложные мероприятия с переселением животных в новые районы проведены за последнее время для сохранения отдельных вымирающих видов: в США белоголового орлана, в Новой Зеландии нелетающей утки, в Южной Африке черного носорога.

Все это говорит о том, что на протяжении XX века отношение человека к окружающей его природной среде заметно изменилось. В первой его половине люди в основном хищнически потребляли природные ресурсы, не заботясь об их сохранении и восстановлении. В конце века они в большинстве своем поняли, что эти ресурсы истощимы, и начали переходить к рациональному преобразованию первоначальных природных условий, что по В.И.Вернадскому является одним из условий создания ноосферы.

Интересно отметить, что разработанное В.И.Вернадским учение о биосфере Земли и неизбежности ее эволюционного превращения в ноосферу было совершенно чуждым интересам его современников. После его кончины 6 января 1945г. в печати появились многочисленные статьи о его творчестве, в которых отмечались его великие научные заслуги в области кристаллографии, минералогии, геохимии, радиогеологии, гидрогеологии, метеоритики, истории научных знаний, однако никто даже не вспомнил про учение о биосфере.

Недаром еще в 1931 г. В.И.Вернадский писал в дневнике: "царство моих идей впереди".

В 1963 г. научная общественность нашей страны широко отмечала 100-летие со дня рождения В.И.Вернадского. Во многих городах прошли многолюдные конференции с докладами о его творческом наследии. Но про учение о биосфере рассказал в своем докладе один лишь Б.Л.Личков [1983].

Отношение к этой части творчества В.И.Вернадского начало резко изменяться в 70-е годы. К этому времени начавшийся в послевоенные годы бурный рост численности

населения земного шара, сопутствующее ему быстрое истощение природных ресурсов и рост загрязнения окружающей человека среды заставили встрепетаться умы ученых и государственных деятелей. В 1968г. итальянский экономист А.Печчеи пригласил в Рим более 100 передовых ученых из разных стран для обсуждения вопросов о будущем человечества. Эти встречи потом повторялись ежегодно и получили название Римского клуба. Первый труд, основанный на обсуждениях в этом клубе, был издан под редакцией Донеллы Медоуз в 1972 г. и имел характерное заглавие: "Пределы роста". За ним на протяжении 70-х годов последовали другие труды деятелей Римского клуба с такими же характерными названиями: "Человечество на поворотном пункте", "За пределами роста" и др. Во всех этих работах доказывалось, что техногенное развитие человечества зашло в тупик, что его продолжение может привести к быстрому исчерпанию всех природных ресурсов и гибели цивилизации, что необходимо переходить к "нулевому" или в крайнем случае к очень ограниченному росту численности населения и техногенного воздействия на окружающую природную среду.

Параллельно действовали и государственные учреждения. Организация Объединенных наций (ООН) в июне 1972г. созвала в Стокгольме Первую Международную Конференцию по окружающей среде и развитию, в которой участвовали делегации 106 стран. Конференция пришла к неутешительным выводам. Она констатировала не только истощение природных ресурсов, во многих странах даже запасов пресной воды, но и вредное воздействие загрязнения окружающей среды на состояние здоровья больших человеческих популяций.

Широкое распространение раковых, сердечно-сосудистых, легочных, желудочно-кишечных и аллергических заболеваний, не говоря уже о многочисленных случаях прямого отравления, участники Конференции напрямую связали с загрязнением окружающей среды. Поэтому они обратились к правительствам всех стран мира с призывом немедленно создать государственные органы охраны природы от истребления и антропогенного загрязнения.

Этот призыв был услышан и начиная с 1973 г. в разных странах кроме давно существовавших общественных организаций стали создаваться государственные учреждения - министерства, департаменты или комитеты по охране природы. В СССР это был Комитет по охране природы и рациональному использованию природных ресурсов при Президиуме Совета Министров, позднее преобразованный в Государственный Комитет. В первом правительстве Российской Федерации это было созданное на базе названного Комитета Министерство экологии, позднее переименованное в Министерство охраны природных ресурсов, а ныне составляющее один из департаментов Государственного Комитета по природным ресурсам, в ведение которого входит и их эксплуатация. Эти учреждения финансируются очень скудно и не обладают достаточной властью, чтобы пресечь загрязнение окружающей среды, но они по крайней мере ведут наблюдение за ее состоянием, регистрируют все случаи экологических нарушений, дают ежегодные обзоры природной обстановки в стране.

Однако для всякой практической работы нужна теоретическая основа. На фоне всех перечисленных выше новых тенденций отношения человека к окружающей его природной среде и всплыло во всем своем величии как фундаментальная база учение В.И.Вернадского о биосфере и неизбежности ее превращения в ноосферу. В 70-е и особенно в 80-е годы заново начали издаваться его работы, посвященные биосфере. В 1975г. впервые вышла в свет хранившаяся в рукописи в Архиве Российской академии наук его монография "Пространство и время в неживой и живой природе" [Вернадский, 1975], а в 1977 г. - "Научная мысль как планетное явление" [Вернадский, 1977]. Появились

публикации, посвященные анализу этой стороны научной деятельности В.И.Вернадского, причем количество их каждый год увеличивалось. В 1983 г. в связи со 120-летием и особенно в 1988 г. в связи со 125-летием со дня рождения В.И.Вернадского было проведено много конференций, в заглавиях докладов на которых десятки раз повторялось слово "ноосфера". Ряд конференций специально был посвящен проблемам ноосферного развития человечества, или ноосферогенеза.

Среди этого потока литературы выделяются крупные и очень глубокие исследования проблем становления ноосферы, принадлежащие в главной своей части перу двух академиков - Н.Н.Моисеева [1987, 1988, 1990] и А.Д.Урсула [1990, 1996]. Эти исследования существенно дополняют и развивают взгляды В.И.Вернадского. В них разработаны вопросы вероятных изменений форм государственной власти и социальных отношений при вступлении в ноосферу. Очень широко обсуждены вопросы ноосферного воспитания и образования, рассмотрены процессы политического и экономического сближения народов Земли при долгом сохранении их национальных особенностей, анализ современных противоречий, возникших в результате различной скорости развития научных исследований, промышленного производства в разных странах и т.д. Особенно подчеркивается одно условие создания ноосферы, еще "не созревшее" во времена В.И.Вернадского - необходимость широкого развития методов информатики для обобщения и облегчения возможности использования стремительно возрастающего количества экспериментов, анализов, наблюдений и другого фактического материала.

Ноосферное общество должно быть информационным. Однако главное - это сознательное самоограничение потребностей, развитие авто-трофности человечества и коренное изменение характера отношений человека к окружающей его природной среде. Не случайно первая часть труда Н.Н.Моисеева "Человек и ноосфера" [1990] имеет заглавие "От стратегии Природы к стратегии Разума".

Следует отметить, что и мировое общественное мнение склоняется к тем же принципам развития человеческого общества, которые заложены в учении В.И.Вернадского о ноосфере.

В этом отношении мы сошлемся лишь на один яркий факт. В июне 1992г., через 20 лет после Стокгольмской Конференции, ООН созвала в Рио-де-Жанейро Вторую Международную Конференцию по окружающей среде и развитию, в работе которой приняли участие главы правительств или полномочные представители глав правительств 180 государств.

Конференция после дебатов, продолжавшихся несколько дней, приняла ряд основополагающих документов которые, по мнению ее участников, должны обеспечить устойчивое развитие мирового сообщества [Коптюг, 1994; Программа..., 1893]. Главный из этих документов - "Программа действий. Повестка дня на XXI век". Читая этот международный документ, мы можем видеть, что для перехода человечества на путь устойчивого развития необходимо его более тесное экономическое и политическое объединение при сохранении культурных традиций каждого народа, необходимо равенство людей всех рас и религий, увеличение роли народных масс в управлении государствами, прекращение войн и вооруженных конфликтов, расширение обитаемых территорий Земли и освоение космического пространства, открытие и использование новых мощных источников энергии, т.е. требуется как раз все то, что В.И. Вернадский считал необходимым для становления ноосферы. Это совпадение ясно показывает, насколько современны давние идеи В.И.Вернадского о ноосфере.

### Глава 3 ТЕОРИЯ ЦИКЛОВ Н.Д. КОНДРАТЬЕВА

Исследованием циклов в природе и обществе ученые занимаются более двух тысячелетий, начиная с Платона, Аристотеля и других античных мыслителей (которые понимали цикл как замкнутый круг, повторение одних и тех же фаз, а не как движение по спирали). С тех пор высказаны тысячи оригинальных идей по этим проблемам. Видное место в этой пестрой толпе принадлежит Николаю Дмитриевичу Кондратьеву (1892-1938). Почему его имя быстро получило признание в мире, возникла обширная международная научная школа (и с запозданием - в собственной стране) по длинным волнам в экономической динамике, в открытиях, изобретениях и инновациях, в социально-политических процессах? Есть ли основания говорить о теории циклов Н.Д.Кондратьева, и какое место занимает эта теория в современной науке?

Постараемся вкратце ответить на эти весьма актуальные вопросы, показать ту нишу, которую занял в истории российской и мировой науки этот выдающийся исследователь.

Главным научным достижением Н.Д.Кондратьева, сердцевиной его научного наследия стало учение о *больших циклах конъюнктуры*, впервые опубликованное им в 1925 г. [Кондратьев, 1993] и развитое в докладе на дискуссии в Институте экономики в 1926 г.

Позднейшие исследования показали, что гипотезу о существовании наряду со среднесрочными долгосрочных колебаний экономической конъюнктуры высказывали Мур, Лескор, Шпит-гофван, Гельдерен, де Вольф и другие. Но это были именно гипотезы, догадки. Полная, развернутая аргументация долгосрочных циклов, раскрытие их содержания, разнообразных сфер проявления, механизмов взаимодействий, убедительные статистические доказательства - все это впервые сделано Н.Д.Кондратьевым. Это было признано сразу после появления зарубежного перевода У.Митчеллом [Mitchell, 1927], развито крупнейшим американским экономистом Йозефом Шумпетером [Shumpeter, 1939] с учетом

опыта мирового экономического кризиса 1929-1933гг., который назвал этот вид циклов "Кондратьевскими" (теперь для сокращения их называют в специальной литературе К-циклами). В СССР эта теория была встречена в штыпи - как сторонниками "перманентной революции" (Л.Троцкий), так и ее противниками: те и другие считали неизбежным близкий крах капитализма и не допускали возможности после кризиса нового подъема на волне большого цикла конъюнктуры. Когда в середине 70-х годов вновь разразился мировой кризис, связанный с переходом к очередному Кондратьевскому циклу, возникла новая волна исследований, конференций и публикаций по Кондратьевским циклам, начиная с книги немецкого экономиста Герхарда Менша [Mensch, 1979]. Приближавшееся 100-летие со дня рождения Н.Д.Кондратьева, посвященная этой дате международная научная конференция (Москва-Санкт-Петербург, март 1992 г.), создание Ассоциации "Прогнозы и циклы", Международного фонда Н.Д. Кондратьева дали импульс для развертывания исследований по теории циклов, освоению наследия Н.Д.Кондратьева в России.

Однако суть теории Н.Д.Кондратьева не стоит сводить только к учению о больших циклах конъюнктуры. Он признавал *полицикличность* экономической динамики: наряду с существованием 7-11-летних среднесрочных циклов, морфология, последовательность и симптомы развития которых изучены довольно полно, "... теория циклов и кризисов вплотную подошла уже к проблеме прогноза их хода" [Кондратьев, 1993, с.25].

Н.Д.Кондратьев отмечает вероятность существования малых циклов со средней продолжительностью около 3,5 лет, больших циклов динамики капиталистического хозяйства со средней продолжительностью около 50 лет; возможны и иные формы колебаний в динамике капиталистического хозяйства. Такой подход менял представление об экономической динамике: "Реальный процесс экономической динамики один.



*Николай Дмитриевич Кондратьев*

*Основные предпосылки, идеология, модели*

Но если мы, анализируя и разлагая этот реальный процесс на простейшие элементы и формы, признаем существование различных циклов в этой динамике, то вместе с тем мы должны признать, что эти циклы как-то переплетаются между собой и оказывают то или иное влияние друг на друга" (там же).

Н.Д.Кондратьев раскрыл закономерный механизм взаимодействия больших и средних циклов. "Средние циклы, приходящиеся на понижательный период большого цикла, характеризуются длительностью и глубиной депрессий, краткостью и слабостью подъемов; средние циклы, приходящиеся на повышательный период большого цикла, характеризуются обратными чертами" (там же, с.60).

Н.Д.Кондратьев не ограничивается исследованием экономических циклов; он видит их взаимосвязь с циклическими процессами в других сферах общества, вплотную подходя к пониманию исторических циклов: "Периоды повышательных волн больших циклов, как правило, значительно богаче крупными социальными потрясениями и переворотами в жизни общества, чем периоды понижательных волн" (там же, с.55). "Перед началом повышательной волны каждого большого цикла, а иногда в самом начале ее наблюдаются значительные изменения в условиях хозяйственной жизни общества: значительные технические изобретения и открытия, глубокие изменения техники производства и обмена, изменения условий денежного обращения, усиление роли новых стран в мировой хозяйственной жизни и т.п." (там же). События в мире конца XX века подтверждают истинность этого научного вывода. Поэтому неправильно сводить Кондратьевские циклы к длинным волнам в экономической динамике; по существу речь идет о долгосрочных циклах в динамике всего общества, всех составляющих его элементов, о сложном переплетении и взаимодействии циклов разных сфер общественной жизни, равнодействующая которых может быть определена как исторические циклы [Яковец, 1995].

Теория циклов послужила Н.Д.Кондратьеву основой для формирования *новой парадигмы предвидения будущего*; ее основы изложены в статье "Проблемы предвидения", опубликованной в 1926 г. [Кондратьев, 1993], и развиты в статье "План и предвидения", опубликованной годом позже. В отличие от теории больших циклов конъюнктуры, теория предвидения (хотя перевод первой статьи и был опубликован в Германии в 1927г.) осталась не замеченной современниками и только теперь начинает браться на вооружение прогнозистами, когда стала очевидной несостоятельность индустриальной парадигмы. Теории предвидения Н.Д.Кондратьева, ее развитию и применению в современных условиях были посвящены V Кондратьевские чтения в мае 1997 г. [Яковец, 1997]. В основе этой парадигмы лежит признание циклично-генетических закономерностей динамики общества, возможность предвидения возникающих кризисов и потрясений, смены повышательных и понижательных фаз в циклах разной длительности, отказ от линейной экстраполяции на будущее траектории прошлой динамики без учета ее закономерно-неравномерных колебаний.

Н.Д.Кондратьев определил место теории циклов в трехчленной структуре номографической экономической теории - *статике, динамике и генетике*. Изучение статических закономерностей, структуры общества в состоянии покоя или равновесного движения, циклических закономерностей динамики с переходом к новому качественному состоянию, через кризисы и потрясения, должно завершаться выяснением закономерностей наследственности, изменчивости и отбора в развитии общественных систем. Находясь в заключении, он намеревался завершить цикл своих работ "Книгой по синтетической теории социально-экономической теории генетики или развития" [Кондратьев, 1993, с.520]. К сожалению ему не дали возможности осуществить этот грандиозный замысел. В какой-то мере изучением социальной генетики занимался его друг, Питирим Сорокин. Но разработка теории со-циогенетики по настоящему развернулась лишь в 90-е годы [Яковец, 1992; Суббето, 1994].

Оценивая с позиций современного научного переворота историческое место творческого наследия Н.Д.Кондратьева, его теории циклов, можно сказать, что оно стало одним из краеугольных камней формирования *индустриальной парадигмы обществоведения* - вместе с творчеством П.А.Сорокина, А.Л.Чижевского, А.А.Богданова, Н.А.Бердяева и других русских ученых 20-30-х годов XX века [Формирование..., 1996]. Правоммерно говорить и о том, что он стал одним из основоположников признанной в мире школы русского циклизма.

Подвергнув критической ревизии господствовавшую в то время индустриальную парадигму - в ее марксистской, позитивистской и иных разновидностях - эти ученые выработали основы новых подходов к пониманию закономерно-неравномерно меняющегося общества, циклично-генетических закономерностей его динамики.

В конце XX века эта парадигма переживает вторую волну своего становления, когда стало очевидным, что индустриальная парадигма исчерпала себя, потеряла прогностическую силу и уходит в прошлое вместе с породившим его обществом.

Нужно новое видение стремительно меняющегося общества, которое вопреки предсказаниям разных школ XIX-XX веков не будет ни капиталистическим, ни коммунистическим. Основой более надежного понимания содержания происходящих глубоких перемен в обществе и в его взаимоотношениях с природой, предвидения возможных его перспектив становятся теория циклов Н.Д.Кондратьева и А.Л.Чижевского, учение о ноосфере В.И.Вернадского.

Освоение и развитие постиндустриальной парадигмы осуществляется учеными, объединившимися в Международный фонд Н.Д.Кондратьева, Ассоциацию "Прогнозы и циклы", отделение исследования циклов и прогнозирования Российской академии естественных наук. Эти проблемы находят отражение на проходящих раз в три года международных Кондратьевских конференциях, ежегодных междисциплинарных дискуссиях и Кондратьевских чтениях, конференциях в МГУ. Можно констатировать, что в России сложилась сильная научная школа по циклам, социогенетике, прогностике, развивающая идеи Н.Д.Кондратьева. Эти идеи находят отражение в журнале "Cycles", издающемся Фондом изучения циклов в США более полувека. Активные группы последователей Кондратьева имеются в Германии, Франции, США, Великобритании, Италии, Австрии (где расположен Международный институт прикладного системного анализа, немало сделавшего для изучения "длинных волн"), Болгарии, Венгрии, Японии и других странах. Это свидетельствует о всемирном признании теории циклов Н.Д.Кондратьева.

#### ***Глава 4* ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ЦИКЛИЧНОСТЬ ЗЕМЛИ**

Горные породы, слагающие земную кору, представляют собой своеобразные документы геологической летописи, то есть "документы", в которых нашли отражение (запечатлены) следы геологических процессов и явлений, имевших место в геологическом прошлом, а следовательно, и сами эти процессы. Изучение этих "документов" позволяет формировать представления о типах геологических процессов как недавнего, так и далекого геологического прошлого, формах и интенсивности проявления этих процессов и явлений, характере их чередования во времени, и в целом, об эволюции Земли и земной коры.

Множественность горных пород, частая смена одних пород другими как по латерали, так и в вертикальных разрезах, подмеченные еще в далекой древности, позволили сформулировать, пожалуй, один из немногих не подлежащих сомнению (общепризнанных) всеобъемлющих естественнонаучных принципов принцип "изменчивости" окружающего Мира. С тех пор и до настоящего времени геология, как и многие другие естественные науки, находится на этой понятийной позиции и, по существу, ставит своей целью выявление характера, скорости, интенсивности и других характеристик этих изменений.

Еще задолго до появления современной геологической науки великими античными мыслителями уже были сформулированы первые представления о характере

происходящих изменений Земли и ее верхней оболочки - земной коры. Это позволило обосновать научный принцип, который сейчас мы называем принципом актуализма. В соответствии с этим принципом допускается, что наблюдаемые процессы, приводящие к изменениям земной поверхности, образованию новых и (или) преобразованию уже существовавших до того горных пород, существенным образом не отличались от таковых, имевших место в давно прошедшие эпохи.

Уже античной философией было выработано два подхода к пониманию протекания геологических процессов, два мировоззрения. В соответствии с одним из них (градуализмом), преобразование геологической среды происходит непрерывно и постепенно, тогда как противоположное мировоззрение (пунктуализм) постулировало прq)biВНСТocТЬ, скачкообразность проявления геологических процессов.

На заре современной геологической науки, колыбелью которой являлась средневековая Европа, представления об истории Земли в целом и отдельных ее оболочек - геосфер (в частности земной коры), а также характере, последовательности и взаимосвязи геологических явлений и движущих силах геологических процессов формировались под влиянием геологических догматов о дискретности актов Творения и кратковременности истории Мира, на протяжении которой Мир был неоднократно потрясаям разрушительными катаклизмами - актами обновления. Это обусловило оформление идей "катастрофизма".

С середины XVIII века, по мере отхода от трактовки геологической эволюции с библейских позиций потопа, хотя и отмечалось, что естественные катастрофы, такие как наводнения, землетрясения, ураганы, цунами, извержения вулканов, падения метеоритов и т.д., играют значительную роль в изменении лика Земли, все же для объяснения этапности проявления геологических процессов начали развиваться "эволюционистские" идеи, гносеологической основой которых явились представления Джеймса Хаттона (Гет-тона) (1726-1797) о взаимосвязи различных геологических процессов и протекании их в определенной последовательности.

Из опыта обыденной жизни нашего и предыдущих поколений известно, что для природных катастроф в значительной степени характерна эпизодичность их проявления. Более того, не вызывает сомнения тот факт, что чем значительнее по своим масштабам природная катастрофа, тем меньше вероятность ее повтора. Иными словами говоря, чем меньше масштаб катастрофы, тем больше вероятность того, что это событие случится. В пределе это означает, что в природе наиболее вероятны нормально, спокойно протекающие геологические явления и процессы, тогда как катастрофы - геологические аномалии - случаются тем реже, чем больше величины этих аномалий. Это особенно четко установлено для землетрясений. При этом природные катастрофы, хотя они и весьма кратковременны, приводят к существенным изменениям поверхности Земли. Например, в результате известного извержения вулкана Везувий в 79 году н.э. на Апеннинском полуострове в считанные часы под вулканическим пеплом был погребен античный город Помпеи; в результате крупных землетрясений неоднократно отмечались мгновенные (по геологическим понятиям) смещения горных пород, амплитуда которых превосходит десятки метров, и т.д.

Нормальные же по скорости и интенсивности своего проявления геологические процессы, медленно протекающие у нас на глазах, и без сомнения имевшие место и в минувшие геологические эпохи (деятельность рек, морей, ветра, ледников, поднятия и опускания поверхности Земли и т.д.), с учетом колоссальной длительности этих эпох (миллионы и десятки миллионов лет), приводят к не менее, если не более грандиозным следствиям.

Так, например, медленное вековое воздымание земной поверхности со скоростью в миллиметры и первые сантиметры в год за последние 10-15 млн л. привели к появлению грандиозных горных массивов, таких как Гималаи, Памир.

При этом уже давно подмечено, что, с одной стороны, геологические катастрофы, нарушающие спокойный ход нормальных по интенсивности (фоновых) геологических процессов, случаются эпизодически. Эта эпизодичность имеет, по-видимому, явно или неявно выраженный периодический характер. Выявление и обоснование периодичности природных катастроф - сложная задача, решение которой возможно лишь при комплексном мониторинге окружающей среды.

С другой стороны, интенсивность самих фоновых геологических процессов и формы их проявления характеризуется вариациями (изменчивостью). Так, например, изменение скорости векового воздымания и связанных с ним темпов эрозионных процессов в Гималайских горах за неотектоническое время характеризуются несколькими фазами относительного замедления и ускорения; установлено изменение интенсивности фоновой вулканической активности в осевых частях срединно-океанических хребтов и т.д.

Многочисленными исследованиями, выполненными как у нас в стране, так и за рубежом, выявлен периодический характер вариаций фоновых геологических процессов, их скорости и интенсивности. Более того, известны многочисленные примеры наличия корреляционных связей между разными характеристиками этих фоновых процессов, а так же попытки выявить движущие силы, обеспечивающие как временные вариации разных форм проявления геологических процессов, так и причинно-следственные связи самих этих геологических процессов и явлений.

### **Цикличность вариаций геологических процессов**

Вариации геологических процессов характеризуются периодичностью нескольких порядков -рангов.

Очевидно, что к наиболее короткопериодичной цикличности относится цикличность, связанная с суточным вращением Земли вокруг своей оси - суточная периодичность. К выражениям этой цикличности можно отнести геологические следствия действия морских приливов и отливов, изменения температуры земной поверхности (особенно в пустынях), цикличность биологической продуктивности и фотосинтеза, связанные со сменой дня и ночи и т.д.

Цикличность более высокого порядка - сезонная, связана с периодичностью обращения Земли вокруг Солнца. В качестве геологического примера выражения этой цикличности может служить накопление соленосных толщ в современных солеродных бассейнах. Эти соленосные отложения имеют отчетливое слоистое сложение, обусловленное чередованием минералов, кристаллизующихся из рассола или растворяющихся в нем при разной его температуре. Другим примером могут служить ленточные глины, образующиеся в озерах на периферии областей покровного оледенения.

Разные исследователи выделяют несколько порядков более низкочастотной геологической цикличности с периодами от 9-11 л. до 1-2 тыс. л. В литературе (С.Л.Афанасьев) периодичность с такой продолжительностью периодов называется наноцикличностью.

Далее следует периодичность геологических процессов с продолжительностью циклов от 400 до 20 тыс. л., связанных с изменением параметров земной орбиты, наклоном и

прецессией оси ее вращения. Этой периодичности подчиняются чередования ледниковых и межледниковых эпох и связанное с ним изменение уровня Мирового океана, изменения литологического состава и мощности паралических угленосных толщ, эвапоритов и других внеледниковых отложений.

Хроностратиграфическая шкала фанерозоя (палеозоя, мезозоя и кайнозоя) расчленена на системы и периоды, состоящие из отделов и эпох, которые в свою очередь разделены на ярусы и века продолжительностью по 3-5 млн л. Эта продолжительность соответствует длине периода следующего ранга цикличности.

О существовании более длиннопериодической цикличности в геологической истории отдельных структурных элементов земной коры и Земли в целом, длина периодов которой определяется в 30-45 млн л., стало известно со времени работ американского геолога Джеймса Дэна (1813-1895). Дж. Дэна объединил этапы прогибания земной поверхности в пределах обособленного фрагмента земной коры, одновременного с этим прогибанием, происходившего здесь же осадконакопления и последующего складкообразования вновь накопившихся осадков и более древних пород, затем горообразования в геосинклинальный цикл. Позднее была показана полицикличность некоторых геосинклинальных систем - образование их в результате нескольких последовательных геосинклинальных циклов.

Это привело к тому, что к началу XX-го века в геологической науке прочно укоренились представления о повторяемости в пределах отдельных частей земной коры в разные отрезки их геологической истории определенной цепи тектонических процессов. В дальнейшем эти взгляды породили представления о глобальной (планетарной) тектонической цикличности. Так, в 1924 г. немецким тектонистом Гансом Штилле (1876-1966) был опубликован "канон орогенических фаз", в котором были установлены тектонические этапы, с которыми связаны соответствующие циклы геологического развития обширных площадей в пределах внутриконтинентальных складчатых поясов. При этом допускалось, что длительные (продолжительные) этапы относительно спокойного развития поверхности Земли, в течение которых доминировали плавные, волнообразные (эпейрогенические) движения земной коры, не приводившие, как правило, к складчатым деформациям слоев (нарушению их первичного залегания), прерывались глобально проявленными и относительно кратковременными эпизодами высокой тектонической активности. В эти моменты, получившие название - "фазы орогенеза", на Земле преобладали высокоамплитудные, резкодифференцированные тектонические движения, выразившиеся в складко- и горообразовании.

В настоящее время можно считать общепризнанным, что проявление тектонической активности в глобальном масштабе непрерывно, а намеченные

Г. Штилле тектонические (орогенические) фазы отвечают значительному усилению интенсивности проявления различных форм эндогенной активности Земли и выражаются в существенных перестройках структурного плана складчатых систем. Геологические циклы этой фазы получили название "циклов Штилле".

Более низкочастотные геологические циклы с продолжительностью 150-200 млн л. в честь выделившего их французского геолога Марселя Бертра (1847-1907) получили наименование - "циклы Бертра". В конце XIX века работами этого исследователя, содержащими результаты изучения последовательности характерных древних осадочных комплексов формаций, было показано, что территория современных Альпийских гор в течение мезозойской и кайнозойской эры прошла несколько в целом однотипных стадий

(этапов) своего развития, и что те же или аналогичные стадии (этапы), причем в той же последовательности, проявлялись во время палеозойской эволюции складчатых систем Центральной Европы и протерозойского развития Северной Америки. Так были выделены гуронский, каледонский, герцинский (варисский) и альпийский тектонические циклы. В настоящее время реальность существования этой глобальной геолого-тектонической ритмичности (циклов Бертрана) подтверждена, в частности, результатами выполненного К.Б.Сеславинским полуколичественного анализа вариаций различных форм проявления тектонической и вообще эндогенной активности Земли отдельно для каледонского цикла, палеозоя и всего фанерозоя.

Следующий ранг геолого-тектонической цикличности представлен так называемыми "циклами Вил-сона", мегациклами продолжительностью 500-600 млн л., в течение которых проявляется основной сценарий эволюции верхних геосфер Земли, заключающийся в периодическом "собираании" всех континентальных блоков (континентов), дрейфующих по поверхности Земли, в единый суперконтинент - Пангею. В отрезки геологического времени, на протяжении которых существовала Пангея, остальная часть поверхности планеты представляла собой океаническое пространство - суперокеан Панталасса.

На протяжении послепалеозойской истории Земли выделяются четыре глобальных мегацикла (2,5-1,6 млрд л.; 1,6-0,8 млрд л.; 0,8-0,24 млрд л.; 0,24 млрд л. - н.в.). Каждый мегацикл начинался с распада суперконтинента на отдельные континенты, разделенные новообразованными вторичными океаническими пространствами.

Окончание мегациклов знаменуется закрытием разделявших континентальные массивы вторичных океанических бассейнов и обратным стягиванием континентов в суперконтинент.

Таким образом, мегацикличность геологической истории есть важнейшее проявление ритма эволюции Земли. Ее следует воспринимать как замкнутую цепь событий от начала сокращения Панталассы (раскола Пангеи) до ее максимального расширения (образования очередной Пангеи). На эту мегацикличность накладываются вариации более высоких порядков, представленные циклами Бертрана с периодами 150-200 млн л., циклами Штилле с периодами 40-45 млн л., циклами с периодом 3-5 млн л., продолжительность которых соответствует ярусному расчленению глобальной стратиграфической шкалы фанерозоя, циклами нескольких порядков с периодами от 400-100 тыс. л. до 1-2 тыс. л., наноцикличностью с периодами колебаний от 452 до 11-9 л., а так же годовая и суточная цикличности, сопряженные со сменой времен года, а также дня и ночи.

Подводя итог вышеизложенному, можно заключить, что эволюция верхних геосфер, и в первую очередь земной коры, представляет собой периодически проявляющиеся вариации фоновых геологических процессов, протекание которых эпизодически нарушается катастрофами - процессами, в целом сходными по типу, но резко отличными по интенсивности (скорости и т.п.) от фоновых. При этом эти катастрофы существенно не искажают периодичность вариаций фоновых процессов, зависящих от других причин.

Без сомнения, интенсивность протекания фоновых геологических процессов должна подчиняться всем этим многоуровневым вариациям. Однако при изучении изменения эндогенной (тектонической) активности Земли в глобальном масштабе в фанерозое по очевидным причинам не возможно корректное выделение высокочастотных вариаций с периодичностью менее 3-5 млн л., а зачастую и более продолжительных периодов. Это обусловлено реальной точностью региональных стратиграфических шкал и недостаточно

высокой детальностью межрегиональных стратиграфических корреляций, а также недостаточной точностью радиогеохронологических (изотопных) датировок.

### **Тектоно-магматическая цикличность Земли**

К началу XX-го века в геологической науке прочно укоренились представления о повторяемости в пределах отдельных частей земной коры в разные отрезки их геологической истории определенной цепи тектонических процессов. С этого времени представления о преемственности, унаследованности и цикличности протекания геологических процессов и явлений прочно вошли в геологическую науку. Однако еще задолго до этого Дж.Хаттоном и его последователями была подмечена определенная взаимосвязь различных геологических процессов и протекание их в определенной последовательности.

В дальнейшем именно эти взгляды породили представления о глобальной (планетарной) тектонической цикличности. В опубликованном в 1924 г. Г.Штилле "Каноне орогенических фаз" были установлены глобально проявленные кратковременные этапы высокой тектонической активности - фазы орогенеза, разделяющие во времени продолжительные этапы относительно спокойного развития Земли. В более поздних своих работах Г.Штилле показал, что орогенические фазы тектонических циклов вовсе не были столь уж быстротечными.

К настоящему времени установлено, что отдельные орогенические фазы "канона Г.Штилле" в некоторых регионах редуцированы или вовсе не выражены, т.е. одновременное циклически повторяющееся проявление этапов тектонической активности в глобальном масштабе не находит повсеместного подтверждения. Несмотря на это, значимость и необходимость выделения самих глобальных тектонических циклов в существенной степени не утратила своего научного значения до настоящего времени.

Научно-техническая революция, охватившая в последние четыре десятилетия все области человеческой деятельности, в том числе и науки о Земле, позволила проникнуть глубже в недра планеты и сформулировать представления о литосфере и астеносфере, а также вовлечь в орбиту геологических исследований три четверти земной поверхности, ранее выпадавшей из поля зрения геологов - Мировой океан. Накопление данных по строению океанов, составу и возрасту распространенных здесь осадочных и магматических пород и обнаружение их аналогов на континентах предопределило отход многих геологов от геосинклинальной концепции, господствовавшей до того времени в умах большинства исследователей, и формирование новой парадигмы наук о Земле - тектоники литосферных плит (мобилизма).

В рамках мобилизма становление (формирование) континентальной земной коры и ее эволюция воспринимается не как зарождение и полициклическое развитие геосинклиналей, а как эволюция бывших континентальных окраин и срединно-океанических хребтов, а тектоническая цикличность - как распад суперконтинентов, зарождение, развитие и закрытие океанических бассейнов и рождение новых суперконтинентов (циклы Вилсона).

Таким образом, в рамках как геосинклинальной гипотезы, так и в рамках пришедшей ей на смену тектоники литосферных плит - мобилизма, значительная роль придается циклическому характеру геолого-тектонической эволюции. Вся история выделения циклов в развитии земной коры насчитывает уже более 150 лет. За эти полтора века многие исследователи не раз обращались к проблеме региональной и глобальной

цикличности проявления тектонических процессов, приводя многочисленные примеры, ее подтверждающие. Однако, кроме сторонников, это научное мировоззрение имеет и своих оппонентов. Так, сама концепция глобальной цикличности тектогенеза и представления о регионально проявленных тектонических циклах, и в целом система взглядов о периодичности, эпизодичности и прерывистости тектогенеза неоднократно подвергалась и подвергается сомнению. При этом возражения против глобальной тектонической периодичности в значительной степени обоснованы тем, что фазы тектогенеза более или менее одновременно проявлены лишь в пределах конкретных, хотя зачастую и очень крупных и далеко отстоящих друг от друга фрагментов земной поверхности. Дело доходит до того, что порой даже само понятие "тектонический цикл" подвергалось и подвергается критике. Основой этой критики являются несколько причин, среди которых: 1) термин "цикл" подразумевает строгую повторяемость событий, каковой в действительности не наблюдается; 2) при изучении отдельных складчатых областей или их сегментов на первый план выступает не столько совпадение периодов накопления толщ осадочных и вулканогенных горных пород, периодов их деформаций (складчатости), сколько определенная направленность геологической эволюции рассматриваемого региона, выражающаяся в усложнении его внутренней структуры.

Однако опыт геологического изучения отдельных участков земной поверхности показывает, что степень выраженности некоторых черт развития земной коры и форм выражения целых этапов геотектонической эволюции этих участков могут существенно меняться от региона к региону, вплоть до полного (или почти полного) отсутствия признаков этих черт или их показателей. Это приводит к ситуациям, когда в некоторых складчатых областях тектонические циклы соответствующего возраста могут быть просто не выражены, что дает некоторым критикам концепции глобальной цикличности повод подвергать сомнению само ее (цикличности) существование и высказывать представления о непрерывности, а иногда даже об общей хаотичности всех геотектонических процессов. И все же, реальность периодичности тектонической активности Земли в глобальном масштабе, хотя и статистически, все же устанавливается. А именно: при межрегиональных корреляциях наблюдается совпадение (концентрация) в определенных временных интервалах геологической истории однотипных тектонических процессов, имевших место в разных частях Земли. При этом, с точки зрения диалектической логики, циклы вовсе не должны быть вполне тождественны. Напротив, поскольку направленность геологической эволюции (например, усложнение строения земной коры) имеет в целом необратимый характер, естественно допустить, что каждый последующий цикл так или иначе должен отличаться от предыдущего. Основная закономерность эволюции выражается лишь в повторяемости однотипных процессов и явлений, а также общей направленности тектонического развития. То есть повторяемость проявляется лишь в самых общих чертах: условия растяжения сменяются во времени условиями сжатия; офиолитообразование - островодужным и окраинно-континентальным вулканизмом:

глубоководное осадконакопление - шельфовым и континентальным; стадии тектонического покоя - складкообразованием и т.д. и т.п.

Реальность цикличности проявления тектонических процессов в развитии земной коры подтверждается, в частности, результатами количественного анализа глобальной распространенности и мощности осадочных пород, накопившихся в течение герцинского и альпийского (А.В.Ро-нов и В.Е.Хаин), а также каледонского циклов (К.Б.Сеславинский). Аналогичные выводы сделаны по результатам статистической обработки данных по изотопному датированию гранитов мира [Загрузина, 1991], распространенности глаукофановых сланцев и офиолитов [Добрецов, 1988] и т.д.

Следует заметить, что некоторые сторонники тектоники плит (Др.Шенгёр и др.) полагают, что представление об эпизодичности фаз повышенной тектонической активности противоречит тому факту, что спрединг и субдукция, а вместе с последней и деформация аккреционных клиньев, происходили в истории Земли непрерывно. Однако, к настоящему времени установлено, что скорость спрединга, а очевидно и субдукции, заметно менялись во времени, что аккреция в зонах субдукции сменялась эрозией, что положение осей спрединга и зон субдукции испытывало скачкообразное перемещение. Более того, время от времени появлялись новые оси спрединга и зоны субдукции, и вообще, на определенных временных рубежах происходила значительная реорганизация системы литосферных плит. Причем эпохи этих реорганизаций в течение последних 60 млн л. обнаруживают определенную корреляцию с эпохами (фазами) тектогенеза, давно установленными в складчатых системах континентов. Таким образом, эти воззрения против глобальной цикличности тектогенеза нельзя признать состоятельными.

### **Глобальные тектономагматические ритмы в фанерозойской геологической истории Земли**

Фанерозой (от лат. ел. "фанерос" - явный, "зоэ" - жизнь) - отрезок геологической истории, охватывающий интервал времени от 540 млн л. до современности и подразделяемый на палеозойскую, мезозойскую и кайнозойскую эры. Фанерозойский этап - наиболее изученная и известная нам часть истории Земли. Основным мотивом тектонического развития планеты в это время явилось сначала объединение континентов -разобщенных обломков позднедокембрийской Пангеи, с образованием в позднем палеозое нового суперконтинента - Вегенеровской Пангеи и, затем, в начале мезозоя, распад этого суперконтинента с образованием современных Арктического, Индийского и Атлантического океанов.

Распад позднедокембрийской Пангеи, существование которой относится ко времени примерно между 1650 и 1000 млн л., привел к возникновению большого числа новообразованных океанических бассейнов. При этом континентальные блоки бывшей позднедокембрийской Пангеи были разделены на северные и южные материи, соответственно, материи лавразийской и гондванской групп, между которыми заложился и развивался океан Палеотетис.

К началу палеозоя океанические бассейны, разделявшие континенты гондванской группы, закрылись, т.е. произошло смыкание некоторых обломков бывшей Пангеи с образованием нового мегаконтинента - Гондваны (панафриканская орогения). Тогда как континенты лавразийской группы - Северная Америка, Восточная Европа (Балтия), Сибирь (Ангарида) и Китай (Синия), оказались разделенными, соответственно, новообразованными океаном Япетус (Палеоатлантическим) и Палеоазиатским океаном.

К среднему девону произошло закрытие палеоокеана Япетус, что привело к образованию крупного единого континента - Евразии, или Лавруссии. В позднекаменноугольную эпоху происходит закрытие Уральской и Монголо-Охотской ветвей Палеоазиатского океана, следствием чего стало "спаивание" континентов лавразийской группы в единый массив с континентальной корой - Лавразию. К концу палеозоя произошло закрытие западной части океанического бассейна Палеотетиса, что привело к столкновению Гондваны с Лавразией и формированию Вегенеровской Пангеи.

Новый суперконтинент существовал лишь в самом конце палеозоя и раннем мезозое. Основным мотивом дальнейшего, мезозойско-кайнозойского развития Земли является

распад Вегенеровской Пангеи и становление современного макроструктурного рисунка глобального ансамбля крупных и малых литосферных плит Земли. Следствием распада Пангеи стало обособление современных континентов и возникновение между ними впадин, занятых Атлантическим, Индийским и Северным Ледовитым океанами.

Разрушение Пангеи началось в позднем триасе ранней юре с этапа заложения континентальных рифтов. В середине юрского периода эти рифто-генные прогибы перерождаются сначала в мелководные, а затем относительно глубоководные морские бассейны, на месте которых со временем возникают новообразованные океаны. Момент зарождения современных океанов отражен в "замороженном" в их ложе древнем магнитном поле - системе полосовых магнитных аномалий последовательности Китли, отвечающих поздне-юрской эпохе и началу раннемеловой эпохи.

На возрастном рубеже 90-80 млн л. произошло дальнейшее разрушение фрагментов Пангеи, а именно: началось разделение Южной Америки и Антарктиды, Мадагаскара и Индостана, отделение Гренландии, а затем хребта Ломоносова от Евразии.

Таким образом, фанерозой охватывает окончание позднедокембрийско-палеозойского и начало мезо-кайнозойского (незавершенного) мега-цикла, то есть два неполных мегацикла. На палеозойскую часть фанерозоя (палеозойскую часть позднепротерозойско-палеозойского мегацикла) приходится каледонский и герцинский тектоно-магматические циклы более низкого ранга (циклы Бертрана) длительностью около 150 млн л. каждый. А на мезозойско-кайнозойскую (незавершенный в настоящее время мегацикл) - киммерийский цикл Бертрана продолжительностью около 120 млн л. и длящийся уже около 90 млн л. альпийский незавершенный тектономагматический цикл.

Каждый из перечисленных циклов Бертрана осложнен цикличностью еще более высокого порядка, представляющей собой чередование эпох (фаз) относительного снижения эндогенной активности (но не полного ее затухания!) с эпохами (фазами) существенного ее повышения. Так, для фанерозоя некоторые исследователи насчитывают до полутора десятков циклов этого ранга. Завершающие фазы почти всех этих циклов в свое время были предусмотрены "канонам Штилле".

Цикличность этого ранга хорошо устанавливается при изучении в пределах конкретных складчатых поясов или континентальных окраин показателей таких форм проявления эндогенной активности, как гранитизация (гранитообразование), региональный метаморфизм, складко- и горообразование, вулканизм и т.д. Суммирование данных о проявлении эндогенной активности в пределах отдельных регионов мира показывает, что изменения интенсивности проявления этих форм эндогенной активности в глобальном масштабе имеет периодический (циклический) характер. Продолжительность циклов этого ранга около 40 млн л. Почти все фазы нарастания эндогенной активности, завершающие соответствующие циклы, имеют подлинно глобальное значение, проявляясь в разных, часто весьма далеко отстоящих друг от друга складчатых поясах. Вместе с тем ни одна из них не охватила всей планеты целиком, более того - не охватила все подвижные пояса соответствующего возраста и даже все сегменты одного пояса.

Более высокочастотная геотектоническая цикличность в глобальном масштабе не устанавливается.

Причинами геотектонических вариаций (геотектонической цикличности), вероятно, являются характер протекания физико-химических процессов в глубоких недрах Земли, суперпозиция этих процессов и процессов в литосфере. В частности, чередование

мегациклов происходит, по-видимому, в связи с коренной перестройкой мантийной конвекции - с периодической сменой двуячейстой конвекции одноячейстой. Периодичность второго порядка (циклы Бертрана) может объясняться изменением плана конвективных течений лишь в верхней мантии. А реорганизация кинематики литосферных плит может служить причиной более высокочастотной цикличности тектономагматической активности - тектонических деформаций, гранитного магматизма, метаморфизма и вулканизма.

В общем можно констатировать, что высокочастотная цикличность, вплоть до циклов продолжительностью в первые миллионы лет, непосредственно определяется астрономическими факторами, а низкочастотная, длительностью от десятков до сотен миллионов лет - изменением эндогенного режима Земли. Однако, более чем вероятно, что эти длиннопериодические циклы обязаны своим проявлением резонансу глубинных процессов с воздействием на Землю космических факторов.

Далее следует оговориться, что развитие конкретных регионов, в частности, подвижных поясов и систем, происходит при одновременном влиянии цикличности разных порядков, так что трудно ожидать проявления цикличности одного определенного порядка в чистом виде. Поэтому реальное развитие каждого конкретного региона неизбежно имеет нелинейный характер, с чем необходимо считаться.

Исследования выполнены при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проекты №№ 95-05-14545 и 96-05-64118.

## *Глава 5*

### **ДИНАМИЧЕСКАЯ СОПРЯЖЕННОСТЬ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ**

#### **Характерные тектонические процессы и формы их выражения в среде**

##### **1. Организация геологического пространства. Разноэтажная тектоника и делимость среды.**

Вертикальная и латеральная гетерогенность в строении земной коры и литосферы в целом, а также сложные соотношения поверхностных и глубинных структур, от полного соответствия до полной дисгармонии, свидетельствуют о сильной делимости и расслоенности среды. Это означает, что:

- неоднородности (блоки) весьма заметно отличаются друг от друга по обобщенным геологическим и геофизическим показателям; они имеют различные размер и конфигурацию, различаются наличием в них локальных аномалий скорости упругих волн, плотности, электропроводности;
- места пересечения неоднородностей (блоков) можно связывать с зонами глубинной трещиноватости и высокой проницаемости;
- свойства контактов между неоднородностями не одинаковы на протяжении зоны;
- тектоническая делимость среды сохраняется на всех ее уровнях, а также в коре в целом;

- структурные планы в коре, как правило, дискордантны, равно как не совпадают неоднородности земной коры и верхней мантии;

- простирающиеся контакты, разломы, ослабленные зоны в земной коре отражают следы крупнейших геологических событий;

латеральные неоднородности среды в коре и верхней мантии (волноводы, высокоскоростные включения, слои с аномальной электрической проводимостью) другой важнейший показатель тектонической активности и расслоенности среды в процессе ее эволюции;

природа латеральных ослабленных зон различна: вещественная, реологическая, структурно-динамическая (тектонические срывы, разрушение и разупрочнение), сейсмогенная, метаморфическая и др.

## **2. Активные объемы и области их влияния. Геологический отклик среды.**

Предлагается новая концепция активной глубинной тектоники, основанная на идее взаимодействия орогенов и платформ как единых динамических систем, развивающихся в пространстве и во времени. Такие системы протяженностью в тысячи километров и глубиной в сотни километров по-существу представляют собой активные объемы земной коры и верхней мантии и определяют с геологического прошлого до настоящего времени масштаб, интенсивность и специфику проявлений тектонических процессов, а также направленность и энергию современных геодинамических проявлений. Глубинные источники энергии этих систем расположены в пределах активных орогенов.

*Геологическим откликом платформы на тангенциальное воздействие орогенов следует считать:*

- пространственно-временные колебательные и волновые тектонические движения, синхронные в орогенах и платформах, сопровождаемые при этом также накоплением и деформацией разновозрастных осадков;

- скорость, мощность, тип осадконакопления на платформе, соответствующие фазам развития геосинклинали (складчатой области, орогену);

- отчетливую смену ориентации морских осадочных бассейнов по отношению к активной складчатой области [Карпинский, 1947];

тектонические дислоцированные зоны, переходные от орогенов к платформе, т.е. периферо-рогенов, в нашем понимании;

- интенсивную идиоморфную (прерывистую - по В.В. Белоусову) платформенную складчатость (куполовидные поднятия, валы, плакантиклиналы, инверсионные структуры чехла);

- глубокие дислокации, охватывающие платформы и складчатые области [Шатский, 1948];

- глубинные структурные связи и разломные дислокации платформ, синхронные эпохам тектонической активности смежных складчатых областей;

- синорогенный магматизм и минерагенические проявления орогенного типа.

*Геофизическими признаками динамического взаимодействия являются:*

- крупномасштабные аномалии поля силы тяжести (единые для разнородных тектонических элементов), отождествляемые с плотностными неоднородностями верхней мантии на глубинах 100-150 км;

- единые для орогенов и платформы скоростные неоднородности, определяющие, в частности, структуру низкоскоростной (аномальной) мантии на глубинах 70-110 км;

- единый или близкий структурный план мантийных неоднородностей (нормальная мантия);

- упорядоченность структурного плана и типов земной коры;

- сквозные для орогенов и платформ сейсмо-генные структуры литосферы.

*Важными для минерагенических целей оказываются:*

- положение и эволюция фронта тектонических деформаций, определяющие предпочтительные пути миграции флюидов;

- зоны динамического влияния и интерференции динамических систем;

- периророгены и транзитные (переходные) зоны;

- платформенные складки и инверсионные структуры осадочного чехла;

- зоны шарьяжно-надвиговых структур верхней части коры;

- глубинные зоны проницаемости для флюидов и газов.

### **3. Новейшая и современная геодинамика, сейсмотектоника.**

Сопоставление структур разновозрастных и разноглубинных поверхностей свидетельствует о значительных перестройках структурных планов, происходивших в ходе геологической эволюции, а также о том, что степень наследования новейшими структурами древних, - а также современная активность последних весьма различны [Макаров, 1996].

*Структурно-тектоническими следствиями таких процессов являются:*

- обновление древних и формирование новых структурных направлений, в особенности поперечных - в условиях продольных деформаций линейных складчатых структур; омоложение нижней коры и раздела Мохоровичича;

- тектоническая расслоенность и делимость литосферы новейших подвижных поясов, формирование субгоризонтальных, дисгармонично развивающихся структур, тектонических срывов в верхней, средней и нижней коре;

- структурно-динамические связи областей новейшей и современной активизации со смежными платформенными областями, динамическое влияние на последние.

*Сейсмология для геологии.* Сейсмогенные движения литосферы как фактор:

- интенсивного дислокационного разупрочнения среды в зонах субвертикальных контактов с сильной флюидной проницаемостью;

- интенсивного разрушения среды в зонах латеральных сейсмогенных структур с возможным последующим заполнением их гидротермальными растворами (в геофизических полях - это волноводы, электропроводящие слои);

- современной тектонической орогенной, вну-триплитной подвижности и как индикатор скрытых зон ослабленной прочности и проницаемости (зоны затухания, поглощения упругих волн);

- благоприятного формирования углеводородов в среде с аномальными сеймотектоническими условиями (Трофимук, Черский);

- выжимания ("выбивания") углеводородов и захороненной воды из проницаемых сред при горизонтальных динамических усилиях [Камале-гдиновидр., 1988];

- влияния на нефтегазовые комплексы в регионах с разной сейсмической активностью [Сидоров, 1989; Касьянова, Кузьмин, 1996];

- современной структурной анизотропии земной коры и верхней мантии горно-складчатых и платформенных регионов;

- выявления и трассирования по сейсмологическим данным зон скрытого эндогенного оруденения.

#### **4. Напряженное состояние, его влияние на структурные показатели и физические свойства геологической среды.**

Напряженно-деформированное состояние является важнейшей, но еще слабо изученной планетарной характеристикой среды. Энергетика напряженной литосферы - ведущий фактор, задающий и регулирующий структуру, динамику и специализацию большинства физических и геохимических полей Земли. Перестройка напряжений - эффективный механизм самоорганизации геологической среды [Кузнецов и др., 1994]:

- тектоническая память литосферы платформ и орогенов может быть использована для реконструкции палеотектонических напряжений и определения тензочувствительности, подвижности и активности среды;

- в земной коре и верхней мантии наряду с геологическими (структурно-вещественными) границами отчетливо выражены границы, скорее всего, отражающие напряженное состояние среды (динамические границы) [Щукин и др., 1984];

- сейсмические границы внутри коры вполне могут соответствовать разным типам трещиноватости и различным степеням разрушения горных пород, осложненным

влиянием сдвиговых нагрузок при тектонических движениях в гетерогенной среде [Мясников, Ляховский, 1991];

- поле отраженных сейсмических волн изображает скорее всего дислокационные процессы различной природы, причем общий узор отражаемости не связан с возрастом последней складчатости и под воздействием более поздних деформаций отражает современное состояние земной коры [Чекунов и др., 1993];

- плотность осадочных отложений возрастает с глубиной благодаря увеличению продолжительности того периода времени, в течение которого эти отложения подверглись воздействию каких-то уплотняющих факторов, действующих в определенные периоды и изменяющихся в зависимости от времени и места; в значительном ряде случаев упомянутым уплотняющим фактором являются процессы геотектогенеза [Шванк, 1948];

- геотектоническое давление, возникающее при различных тектонических процессах, вызывает дополнительное уплотнение осадочных пород;

необратимое уплотнение пород под воздействием геостатического и геотектонического давлений позволяет выявить по распределению физических параметров с глубиной наличие этих геологических процессов [Озерская, Семенова. 1972];

- несмотря на явные различия в геологическом строении и тектоническом режиме развития складчатых и платформенных областей, очевидно сходство в закономерных связях между особенностями аномального изменения флюидодинамических систем в пределах нефтегазовых площадей и нестабильным напряженно-деформированным состоянием земных недр; это позволяет также определить влияние современной геодинамики глубинных разломов на динамику дебитов скважин нефтегазовых месторождений, расположенных в зонах с разной тектонической и сейсмической активностью [Касьянова, Кузьмин, 1996].

## **5. Динамическая сопряженность сред с разными режимами развития. Пространственно-временная неустойчивость процессов в изменяющейся среде.**

Геологические основы изучения изменяющейся среды заключаются в том, что при разнообразии строения среды (литологические особенности, наличие или отсутствие зон разломов, разная дефектность и т.д.) временная изменчивость естественных полей различна. Физическая основа - высокая тензочувствительность реальных сред, наличие эндогенных и экзогенных воздействий на среду [Гамбургцев, 1992]. Сказанное коррелируется с известными представлениями о том, что:

- процессы, вызывающие волнообразные колебательные движения и в геосинклиналях, и на платформах, происходят на разных глубинах в недрах Земли, и суммирование движений одного знака осуществляется, когда два процесса - геосинклинальный и платформенный - развиваются друг над другом, в двух этажах [Белоусов, 1962];

- в процессе развития колебательных движений земной коры наблюдаются некоторые особенности, указывающие на существование взаимной зависимости между рядом расположенными геосинклиналями и платформами. Создается впечатление, что движения, идущие от геосинклинали, интерферируют с собственными движениями платформы [Белоусов. 1962];

- динамическое влияние орогенных зон на платформы выражается в характере тектонических подвижек по разломам фундамента, поскольку длина волн нерегулярных колебаний увеличивается в сторону платформы, а размах колебаний в том же направлении уменьшается. Колебания высокой частоты можно связывать с воздействием пограничных горно-складчатых сооружений альпийского возраста, в то же самое время колебания высоких частот являются частью общих колебательных движений. Можно говорить о функциональной связи подвижек по разломам чехла платформ с общими колебательными движениями как на платформе, так и в смежных горно-складчатых сооружениях [Семов, 1980];

- в деформационные процессы вовлечены огромные объемы среды - коры и верхней мантии. Коллективное динамическое взаимодействие неоднородностей объясняет наблюдаемый на больших удалениях от источника энергии отклик среды на активные процессы. Такой отклик на фоне слабой тектонической активности может быть весьма сильным и непредсказуемым;

- волны деформаций по существу поддерживают равновесие между естественными процессами в земной коре [Невский, 1993], они могут проявляться не только в изменениях деформационного, но других геофизических полей;

- изменение во времени пробега и спектров сейсмических волн, возбужденных взрывами;

изменение поля обменных волн далеких землетрясений (исчезновение и появление во времени границ обмена), перемена знака скачка сейсмических скоростей на границах, изменение отклонения во времени и др. [Безгодков, Чавушян, 1988] в тектонически активных средах может свидетельствовать о вариациях динамического состояния среды.

## **6. Парадигма взаимосвязи поверхностных и глубинных структур и процессов. Динамические системы литосферы.**

Очевидно, что динамика мантии определяет движение плит, а литосферу можно рассматривать как верхнюю термическую покрывку кон-вектирующей мантии. Менее очевидно, однако, масштабы областей, участвующих в конвекции, роль литосферы в определении схем конвекции, пространственное распределение напряжений и деформаций и, следовательно, механизмы деформации (диффузионная или дислокационная ползучесть), а также степень возврата коры и литосферы в мантию. Эти процессы характеризуются особыми сейсмическими и геохимическими признаками, которые могут быть измерены и положены в основу тектонических моделей.

Деформация механически жесткой оболочки Земли - литосферы, вызванная взаимодействием плит, концентрируется на их границах. Для нижележащей астеносферы, постулированной в 1959 г. Б.Гутенбергом, характерны пониженные скорости поперечных волн, обычно связываемых с большей подвижностью этого слоя мантии,

возможно, содержащего частично расплавленные породы.

Система "литосфера - астеносфера" и лежащие в ее основе представления требуют пересмотра в свете новых данных моделей, являющихся результатом глобальной и региональной томографии и исследований последнего десятилетия [Структура ..., 1997].

Создание новой геодинамической парадигмы невозможно без решения принципиальных вопросов геологии и геофизики:

- в чем причина глубинных и сверхглубинных неоднородностей и как долго они сохраняются во времени?
- являются ли различия в масштабах структур свидетельством различных процессов деформации?
- отражает ли анизотропия скоростей недавние процессы смещения в мантии?
- ответственны ли значительные смещения в верхней мантии за поля напряжений в коре или они контролируют только напряжения на границах плит?
- что могут рассказать кимберлиты о долговременной устойчивости континентальных кратонов?

Для практических решений новыми могут стать вопросы:

- структурная самоорганизация глубинных динамических систем;
- тектоническая память литосферы;
- активные объемы среды и их взаимодействие;
- минер агонический отклик среды на глубинные процессы;
- нелинейные геофизические и геотектонические процессы в земной коре и верхней мантии;
- взаимодействие и динамика глубинных геосфер Земли.

## 32 Часть 1

### **Глава 6 РОСТ НАСЕЛЕНИЯ ЗЕМЛИ И ЕГО ЦИКЛИЧНОСТЬ**

Из всех глобальных проблем рост народонаселения мира представляется главной. Рост численности населения выражает суммарный результат всей экономической, социальной и культурной деятельности, составляющей историю человечества. Данные демографии в количественной форме описывают этот процесс в прошлом и настоящем и поэтому представляется существенным как понять и описать закономерности этого развития, так и продолжить его в предвидимое будущее. Для этого оказалось возможным на основе системного подхода предложить математическую модель для феноменологического описания мирового демографического процесса. В рамках модели описываются крупные периоды, выделенные историей и антропологией циклы социально-экономических и технологических этапов роста.

Ежедневно население Земли возрастает на двести пятьдесят тысяч. Образ все увеличивающегося роста, если его наивно экстраполировать в будущее, приводит к тревожным прогнозам и даже апокалиптическим сценариям для глобального будущего человечества [Ehrlich, Ehrlich, 1991]. Наиболее существенно то, что человечество переживает *демографический переход*. Это явление состоит в резком возрастании скорости роста популяции, сменяющейся затем столь же стремительным ее уменьшением, после чего население стабилизируется в своей численности. Для описания и изучения

явления такого масштаба следует искать адекватные общие методы и пытаться отсеять при этом локальные и второстепенные факторы.

В такой сложной многофакторной системе, которую являет собой человечество, все связи существенно нелинейны и не допускают простого суммирования линейных причинно-следственных связей, непосредственного перехода от частного к общему. Это ограничивает возможности современных методов демографии в описании изменения населения Земли на несколько поколений вперед. Альтернативой может быть только последовательно системный подход, когда все население Земли рассматривается как эволюционирующая система. Такой системно-исторический подход развивается и характерен для современной демографии [Вишневский, 1991]. Эта же концепция лежит и в основе математической модели [Капица, 1996], которая охватывает развитие всего человечества.

Трудность такого рода междисциплинарных исследований состоит в том, что в такой области с хорошо устоявшимися и традиционными подходами, как демография, делается попытка использовать методы, развитые в других науках. Однако в настоящее время методы исследования нелинейных явлений и синергетика представляют такие возможности [Хакен, 1980; Капица и др., 1977].

Население мира в момент времени  $T$  мы будем характеризовать числом людей  $N(T)$ . Процесс роста будем рассматривать на значительном интервале времени - очень большом числе поколений. В анализе систем тогда, когда имеется многофакторный процесс со множеством степеней свободы, обладающий однако статистической стационарностью, следует ожидать, что рост происходит *самоподобно*. При этих условиях в основе моделирования лежит предположение о его локальной во времени *автомодельности*, что выражается в масштабной инвариантности этого процесса.

Самоподобный рост необходимо должен описываться степенными законами вида  $n=c(t_1-t)^a$ , где  $C$  и  $a$  - постоянные, а время отсчитывается до некоторого момента  $T_1$ .

В таких самоподобных процессах проявляется постоянство отношений изменений численности населения и времени. Простейший пример такого рода - линейный рост, когда  $a=1$ . Но рост по геометрической прогрессии - экспоненциальный рост, или развитие по логистическому закону, этому условию уже не удовлетворяет, так как появляется внутренний масштаб времени - время удвоения, и масштабной инвариантности нет.

Для описания населения мира рядом авторов была предложена эмпирическая формула  $N=C/(T_1-T) = 200 \times 10^9 / (2025-T)$ , при  $a=-1$ , которая с удивительной точностью описывает рост населения Земли в течение сотен и даже многих тысяч лет. Это выражение следует рассматривать как объективный закон роста, как процесс самоподобного развития, следующий гиперболическому закону эволюции, так называемый *режим с обострением*, изученный в системных исследованиях по нелинейной динамике [Kurdiunov, 1990]. Однако это решение асимптотически ограничено как в будущем, так и в прошлом. Справедливо поставить вопрос, где границы его применимости.

Во первых, по мере приближения к 2025 г. население мира будет стремиться к бесконечности. Во-вторых, для прошлого получим столь же абсурдный результат - при сотворении Вселенной должно было присутствовать 10 человек! Если ввести в

рассмотрение эффективную продолжительность жизни человека  $t$ , то математические особенности асимптотики гиперболического роста можно устранить.

Регуляризация автомодельного роста достигается тем, что скорость роста последовательно описывается тремя уравнениями [Капица, 1996]:

$dN/dT = N^2/C + 1/\tau$ , (1)  $dN/dT = C/(T_1 - T)^2$ , (2)  $dN/dT = C/((T_1 - T)^2 + \tau^2)$  (3) Интегрируя эти выражения, можно получить переходящие друг в друга решения, охватывающие всю историю человечества от  $T_0$  до  $T_1$  и продолжить его дальше в предвидимое будущее ( $T_0$  - начальное время роста, когда минимальная скорость не может быть меньше появления одного человека за характерное время  $\tau$ ). Значения постоянных, определяющих решение, получаются на основе сравнения современных демографических данных с расчетами по формуле, полученной интегрированием (3):

$N = C/\tau * \text{arctg}(T_1 - T/\tau)$ . (4) Это решение описывает эпоху до демографического перехода (эпоха В) и сам переход. Соответствующие значения постоянных, определенных с точностью до нескольких процентов, составляют

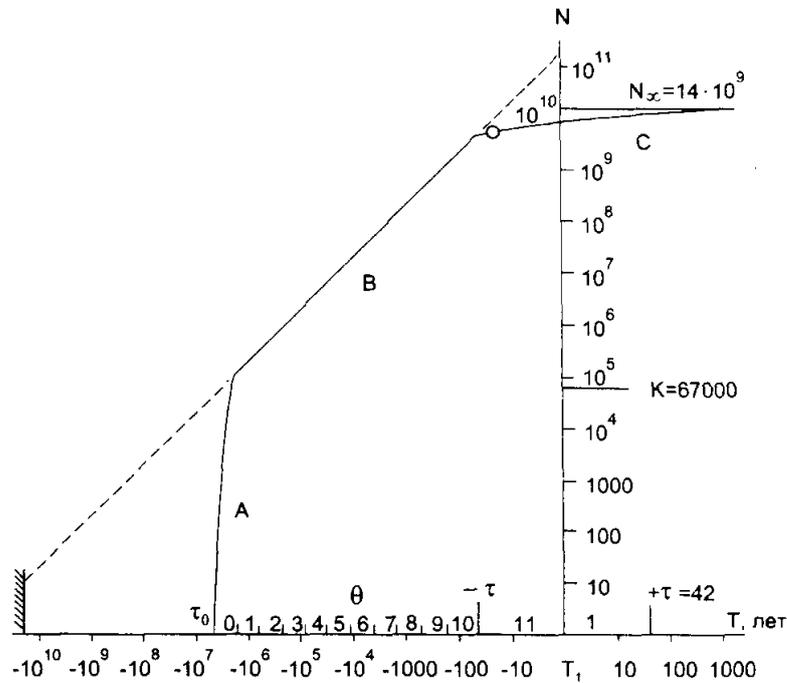
$$C = 186 * 10^9, T_1 = 2007, \tau = 42, \text{ и}$$

$$K = (C/\tau)^{1/2} = 6700 \text{ (5)}$$

Из-за введения  $\tau$  значение  $T_1$  сдвигается от 2025 года к 2007 году. Само значение  $\tau$ , равное 42 годам, отражает некоторую характеристику для жизни человека, хотя это число получено из обработки демографических данных, как харак

теристика глобального демографического процесса, а не из опыта жизни, которому эта характеристика отвечает.

Число  $K$  - это главный большой параметр теории, который определяет тот значительный диапазон времени и численности тех асимптотических выражений, которыми на трех участках последовательно описывается рост - эпохи А, В и С. На рисунке 6.1 изображена картина роста в двойном логарифмическом масштабе. Именно в таком масштабе все степенные законы - законы автомодельного развития, описываются прямыми линиями. Это указывает на постоянство логарифмической относительной скорости роста, поскольку все точки на прямой не выделены одна относительно другой.



**Рис. 6.1.** Население мира от возникновения человечества до предвидимого будущего; О - настоящее время

Если выразить время  $T$  в единицах  $t$ , тогда, введя безразмерную переменную  $t=T/\tau$ . скорость роста в эпоху В можно представить в виде:

$dN/dt = N^2/K^2$  (6) где виден смысл параметра  $K$ , определяющего скорость роста как результат бинарного взаимодействия групп по  $K$  человек в каждом сообществе. Это простейшее выражение для коллективного взаимодействия, которое и моделирует социальные процессы, когда все взаимодействия описываются эффективным полем, квадратичным по  $N$ . Развитие настолько медленно в начале, что к нему надо добавить линейную часть, чтобы обеспечить рост при малых  $N$  (эпоха А). В дальнейшем, в эпоху В, квадратичный член растет намного быстрее линейного и экспоненциального роста, поскольку гиперболический рост расходится за конечное время  $T_1$ . Скорость самоускоряющегося роста не зависит явно от внешних условий и определена только собственными системными характеристиками - параметром  $K$  и  $t$ .

Таким образом, на основе этих выражений можно дать оценку начала роста, произошедшего  $T_0=(\pi/2)K\tau=4.4$  млн л. н. Начальная эпоха А начинается 4,4 млн л. н. и продолжается  $K\tau=2,8$  млн л. Так модель в общих чертах описывает первоначальный этап роста человечества, который может быть отождествлен с эпохой разделения гоминид от гоминоидов, произошедшего, по оценкам, 4,5 млн л. н. [The Cambridge..., 1994]. К концу эпохи А появился *Homo Habilis*, а сама его численность возросла до величины  $N=K \tan 1=1,04 \times 10^5$ . Эта оценка совпадает с оценкой антропологов, данной для того существенного момента в развитии человечества, когда в нижнем палеолите в Африке появился "человек умелый".

Эпоха В охватывает палеолит, неолит и исторический период. За этот отрезок времени длительностью 1,6 млн л. число людей выросло в  $K$  раз. Ко времени наступления демографического перехода, которое можно отнести к  $T_1-\tau=1965$  году, расчетное население Земли составило  $(\pi/4)K^2=3,5$  млрд человек.

На основе полученных выражений легко вычислить предел, к которому стремится численность человечества в обозримом будущем (в эпоху С):  $N=piK^2=14$  млрд, а также флуктуации в системе населения мира:  $\Delta N=(KN)^{1/2}$  (дельта N). В абсолютной степени в наше время они могут достигать  $\Delta N=20$  млн человек.

Если проинтегрировать выражение для процесса роста от  $T_0$  до  $T_1$ , можно оценить общее число людей, когда-либо живших на Земле  $-P_{01}=2K^2 \ln K=100$  млрд человек. (7)

Учитывая приближенность оценок, данных палеодемографами для населения мира в глубокой древности, общее согласование с моделью следует считать удовлетворительным. Это тем **более** удивительно, что расчет подразумевает постоянство констант роста.

Существенное свойство модели - это изменение масштаба исторического времени, происходящее по мере роста численности человечества. Растяжение и сжатие времени лучше всего видно, **если** известные исторические периоды представить в логарифмическом масштабе. Опыт антропологов и традиции историков четко намечают рубежи эпох, равномерно разделяющие в лога

рифмическом масштабе время от  $T_0=4,4$  млн л. н. до  $T_1=2007$  (табл. 6.1). При этом следует иметь в виду, что сами границы исторических периодов, а тем более доисторических, невозможно установить со сколько-нибудь значительной точностью. Тем не менее эти эмпирически установленные периоды замечательным образом ложатся на логарифмическую шкалу на всем протяжении развития человечества. Эта периодизация соответствует тому, что каждый следующий цикл короче предшествующего в  $e=2,72$  раза и ведет к увеличению численности во столько же раз. Заметим, что для далекого прошлого оценки численности известны только по поряжу величин.

Цикличность такой геометрической прогрессии времен может быть представлена как последовательность интервалов

$$\Delta T(\Theta) = K\tau e^{-\Theta}, \quad (8)$$

где  $\Theta$  – номер периода, начиная с  $\Theta=0$  до  $\Theta=\ln K=11$ .

Суммируя (8) по всем периодам, получим время развития:

$$T_1 - T_0 = \sum_0^{\ln K} \Delta T(\Theta) = \frac{e}{e-2} \cong \frac{\pi}{2} K\tau \quad (9)$$

В каждый из 11 периодов эпохи В жило по  $2K^2=9$  млрд людей. Это число выступает как *инвариант* системного роста, а продолжительность циклов изменялась от 1 млн л. до 42 л. Таким образом, самоподобие развития человечества проявляется на новом уровне скейлинга, в масштабировании хронологии и численности циклов социально-экономического и технологического роста, которыми отмечены выделенные этапы.

Для Каменного века видно не только подтверждение отмеченной цикличности, но и общая закономерность перехода от одного цикла к другому. Неолитической революции в рамках модели, как скачка, нет, поскольку описывается только осредненная картина развития. Поэтому даже если локально Неолитическая революция привела к быстрому росту населения, в среднем рост на протяжении эпохи В был плавным. Подчеркнем, что неолит приходится на середину времени развития человечества, представленного в

логарифмическом масштабе (см. табл. 6.1). К этому времени прожила половина из всех людей, когда-либо живших, - 50 миллиардов.

Отмеченные в таблице даты переходов обычно связывают с появлением новой технологии. По мере дальнейшего развития происходит распространение новых признаков (технологий) в следующий цикл. На такую периодичность социально-технологических циклов впервые было

***Таблица 6.1. Развитие человечества в логарифмическом масштабе***

ГЕОЛОГИЯ		ДЕМОГРАФИЯ, ИСТОРИЯ И АНТРОПОЛОГИЯ							
Период	Ледник	Эпоха	Век	T, лет	N	Период	ΔT, лет	Исторические события	θ
ГОЛОЦЕН		С	ИСТОРИЯ	2175	$13 \times 10^9$	Стабилизация	125	Предел населения 14 млрд Изменение возрастного состава, урбанизация	11
				2050	$10,5 \times 10^9$	Мировой демографический переход	42	← T <sub>1</sub> ← 1997 г.	
				2007	$7 \times 10^9$	Новейшая	42	Компьютеры Атомная энергия, космос Мировые войны	
				1965	$3,5 \times 10^9$	Новая	125	Электроэнергия	
				1840		Средние века	340	Промышленная революция	
				1500	$10^9$	Древний мир	1000	Географические открытия Книгопечатание	
				500 н.э.		Неолит	2500	Рим Греция	
				2000 до н.э.	$10^8$	Мезолит	7000	Китай Бронза, керамика Египет	
				9000		Мустье	20000	Письменность Микролиты	
				29000	$10^7$	Ашель	51000	Заселение Америки	
				ПЛЕЙСТОЦЕН	ВЮРМ РИСС МИНДЕЛЬ ПЮНЦ ДУНАЙ	В	КАМЕННЫЙ ВЕК	80000	
220000	$10^6$	Опудвай	380000					Заселение Европы, Азии	
600000			1000000					Рубила	
1600000	$10^5$		2800000					Обработка камней HOMO HABILIS	
4400000	1							Отделение гоминид от гоминоидов в Африке	
		А						0	

Заметим, что для далекого прошлого оценки численности известны только по порядку величин, тогда как датировка известна сравнительно лучше

### 36 Часть 1

обращено внимание в 1928 г. Н.Д.Кондратьевым [Кондратьев, 1989]. Для гиперболического роста населения Земли периодичность реализуется в логарифмическом масштабе и, кроме того, охватывает всю историю человечества.

В целом таблица отражает цикличность развития человечества на протяжении сотен тысяч лет и показывает синхронность исторического процесса. Этот вопрос давно находится в центре внимания историков и философов [Конрад, 1972], а в недавней монографии [Дьяконов, 1994] четко указано на экспоненциальное сокращение исторического времени, по мере приближения к нашему времени - времени демографического перехода. **С каждым циклом роста все меньше усилий шло на обеспечение пищей, все больше - на развитие. Наконец, сегодня в развитых странах 3-4% населения может прокормить всю страну.**

В представленной периодизации, даже не обращаясь к выводам моделирования, видно, как в настоящее время происходит завершение целой эпохи роста и смена парадигмы развития человечества. В этом следует видеть сильный довод в пользу справедливости предположений, которые легли в основу модели, а также то, что на всем протяжении развития человечества его можно рассматривать как единую и открытую систему.

## **Глава 7 ВВЕДЕНИЕ В ФИЗИКУ ОТКРЫТЫХ СИСТЕМ**

### **1. Немного истории**

Возникновение физики открытых систем было подготовлено трудами многих выдающихся исследователей девятнадцатого столетия. В их числе физик Людвиг Больцман, математики Анри Пуанкаре и Александр Ляпунов и конечно биолог Чарльз Дарвин.

Людвиг Больцман назвал XIX столетие веком Дарвина. Он полагал тем самым, что теория эволюции Дарвина, основанная на принципе естественного отбора, является наиболее значительным открытием прошлого века. Такой вывод может показаться неожиданным. Действительно, XIX век очень богат великими открытиями в естествознании, в частности, в физике. Ведь XIX век - это век термодинамики, созданной в значительной мере трудами Сади Карно, Рудольфа Клаузиуса и Вильяма Томсона. Это век электромагнитной теории Майкла Фарадея и Джеймса Максвелла. В XIX веке были заложены и основы современной молекулярно-кинетической теории материи. Одним из ее основателей был сам Людвиг Больцман. Именно он предложил первое кинетическое уравнение для описания необратимых процессов в газах. Оно описывает, в частности, установление равновесного состояния в газе. Больцман ввел впервые и статистическое определение энтропии. Он доказал и знаменитую "H-теорему Больцмана", согласно которой в процессе установления равновесного состояния энтропия монотонно возрастает и остается постоянной при его достижении. Наконец, именно Больцман понял, что в замкнутых системах энтропия может служить мерой относительной степени хаотичности. И все же именно Больцман определил XIX век как век Дарвина. Тем самым на первое место он поставил принцип биологической эволюции.

В чем же дело? Ведь во времена Больцмана не существовало каких-либо математических моделей биологической эволюции. Основным движущим фактором была уверенность Больцмана в

том, что развитая им теория временной эволюции газа в замкнутой системе будет обобщена и на открытые системы. К числу последних относятся и все биологические объекты. Теория эволюции Дарвина была, таким образом, первым шагом в теории эволюции открытых систем. Больцман был одним из немногих в то время, кто понял важность этого "первого шага".

Такую точку зрения тогда разделяли далеко не все. Да и сама теория Больцмана вызывала возражения у большинства ученых того времени. Вокруг теории Больцмана бушевали страсти. Среди его оппонентов был и величайший математик - Анри Пуанкаре. Он полностью отвергал теорию Больцмана.

А.Пуанкаре, основываясь на обратимых уравнениях механики, пришел к выводу, что теория необратимых процессов и механика несовместимы. Основанием служило, в частности, то, что в механике нет функции, играющей роль энтропии.

Как разительно отличается от оценки А.Пуанкаре оценка работ Людвиг Больцмана, данная представителем следующего поколения ученых, одним из основателей квантовой механики - Эрвином Шредингером: "Его (Больцмана) направление мышления можно было бы назвать моей первой любовью. Никакие идеи не захватывали меня столь глубоко и вряд ли смогут захватить меня в будущем".

Таким образом, уже на пороге XX столетия стало ясно, что развитие теории неравновесных процессов в физических и биологических системах является одной из важнейших задач естествознания. Оказалось, однако, что от понимания важности проблемы до ее даже далеко не полного решения потребовалось почти целое столетие.

Первым принципиальным шагом в этом направлении была развитая Альбертом Эйнштейном, Марианом Смолуховским и Полем Ланжевенем теория броуновского движения -хаотического движения малых, но все же макро-

скопических частиц в жидкости. Его причиной являются толчки со стороны молекул жидкости. Таким образом, система броуновских частиц представляет пример открытой системы.

Теория броуновского движения была развита в начале текущего столетия и сразу стала рабочим инструментом при рассмотрении многих физических явлений. Однако лишь по прошествии более полувека в статистической теории открытых систем были сделаны последующие принципиальные шаги. Для этого понадобились новые идеи, новые образы и понятия: *самоорганизация, синергетика, физика открытых систем*. Об этом и пойдет речь ниже. Здесь же отметим следующее.

Большую роль в теории открытых систем играют работы А.М. Ляпунова - одного из создателей теории устойчивости движения, математика А.Н.Колмогорова, физиков Л.И.Мандельштама, А.А.Андропова, Н.С.Крылова, Я.Б.Зельдовича и многих других. К числу основоположников теории самоорганизации относится, несомненно, Владимир Иванович Вернадский - создатель учения о ноосфере (сфере разума).

Приступим теперь к изложению основного материала. По мере продвижения вперед мы снова будем делать краткие экскурсы в историю.

## **2. Физика открытых систем. Диссипативные структуры. Синергетика**

Из названия следует, что речь пойдет об открытых системах, которые могут обмениваться с окружающими телами энергией, веществом и, что не менее важно, информацией.

Здесь будут рассматриваться макроскопические открытые системы. Они состоят из многих объектов, принимаемых за *элементы структуры*. Эти элементы могут быть *микроскопическими*, например, атомы или молекулы в физических и химических

системах. Они, однако, могут быть малыми, но все же макроскопическими. Это, например, макромолекулы в полимерах, клетки в биологических структурах. Они могут быть и не малыми телами, например, "элементарные" объекты в социологии.

Именно благодаря сложности открытых систем в них возможно образование различного рода структур. При этом вся диссипация играет при их образовании конструктивную роль. Это кажется на первый взгляд удивительным, т.к. понятие диссипации ассоциируется с затуханием различного рода движений, с рассеянием энергии, с потерей информации. Однако, и это чрезвычайно

важно, диссипация необходима для образования структур в открытых системах.

Чтобы подчеркнуть это обстоятельство. И.Пригожин [1985] ввел термин "диссипативные структуры". Это чрезвычайно емкое и точное название объединяет все виды структур: временные - например, автоколебания в генераторе;

пространственные - например, ячейки Бенара на поверхности жидкости и, наконец, наиболее общие пространственно-временные структуры, примером которых могут служить автоволны на поверхности жидкости.

Сложность открытых систем представляет широкие возможности для существования в них коллективных явлений. С целью подчеркнуть роль коллектива, роль кооперации при образовании диссипативных структур, Г.Хакен [1980] ввел термин *синергетика*, что означает - совместное действие.

Синергетика не самостоятельная научная дисциплина, но новое междисциплинарное научное направление. Цель синергетики - выявление общих идей, общих методов и общих закономерностей в самых разных областях естествознания, а также социологии и даже лингвистики. Более того, в рамках синергетики происходит кооперирование различных специальных дисциплин.

Синергетика родилась на базе термодинамики и статистической физики. Слово "физика" в названии этой статьи подчеркивает, что в основе теории открытых систем лежат фундаментальные физические законы.

### **3. Дегградация и самоорганизация в процессах эволюции**

Эволюция - это процесс изменения, развития в природе и обществе. Такое понятие является очень общим. В физических замкнутых системах эволюция во времени приводит к равновесному состоянию. Ему отвечает, как показал впервые Больцман на примере разреженного газа, максимальная степень хаотичности. В открытых же системах можно выделить два класса эволюционных процессов:

1. Временная эволюция к равновесному (неравновесному, но стационарному) состоянию.
2. Процесс эволюции идет через последовательность неравновесных стационарных состояний открытой системы. Смена стационарных состояний происходит благодаря медленному изменению так называемых управляющих параметров.

Теория эволюции Дарвина основана на принципе естественного отбора. При этом эволюция может либо вести к дегградации, либо представлять собой процесс самоорганизации, в ходе которого возникают более сложные и более совершенные

структуры. Самоорганизация является, таким образом, не единственным результатом эволюции. Ни в физических, ни даже в биологических системах не заложено "внутреннее стремление" к самоорганизации. Физическим примером деградации может служить временная эволюция к равновесному состоянию замкнутой системы.

Таким образом, самоорганизация - лишь один из возможных путей эволюции. Для ответа на вопрос, по какому пути будет развиваться процесс, надо иметь *критерии самоорганизации*. При этом нет необходимости давать определения таких фундаментальных понятии, как деградация и самоорганизация. Такие определения очень трудны и, что существенно, не являются однозначными. Более важным является сравнительный анализ относительной степени упорядоченности (или хаотичности) различных состояний рассматриваемой открытой системы. Только такой анализ может дать ответ на вопрос, является ли рассматриваемый в открытой системе процесс эволюции самоорганизацией или деградацией.

Мы уже использовали понятия: *хаос и порядок*. Как же отличить порядок от хаоса? В ряде случаев такое отличие представляется очевидным. Однако, сравнение, например, ламинарных и турбулентных течений показывает, что кажущийся очевидным вывод может оказаться все же неправильным. Для получения более обоснованных ответов и нужны, как уже говорилось, количественные критерии относительной степени упорядоченности (или хаотичности) различных состояний открытых систем.

Результаты такого анализа объективны и дают дополнительную информацию. Основная информация состоит в установлении некоторой "*нормы хаотичности*", а также отклонений от нормы (в ту или иную сторону) под влиянием тех или иных воздействий. В биологии это могут быть различные стрессы, которые и вызывают отклонения степени хаотичности от нормы. При этом отклонения и в ту и другую стороны могут означать "болезнь" и, следовательно, представлять собой процесс деградации.

Таким образом, далеко не всегда констатация (по выбранному критерию) уменьшения степени хаотичности означает наличие самоорганизации,

и наоборот - увеличение степени хаотичности означает наличие деградации. Такие выводы правомерны только в тех открытых физических системах, когда за начало отсчета степени хаотичности можно принять состояние теплового равновесия, В такой открытой системе, как, например, генератор электрических колебаний, равновесному состоянию, т.е. состоянию при нулевой обратной связи, отвечают тепловые колебания в электрическом контуре.

Поскольку нормальное функционирование организма возможно лишь при некоторой норме хаотичности, которая отвечает существенно неравновесному состоянию, то указанная выше точка отсчета здесь не существует. По этой причине в биологии, а также конечно в экономике и социологии объективная информация об изменении степени хаотичности еще не достаточна. чтобы делать вывод о наличии процесса самоорганизации или деградации.

Здесь целесообразна другая классификация. Как уже говорилось, если удастся установить для данной системы норму хаотичности, то отклонения в обе стороны можно рассматривать как "болезнь" и, следовательно, как деградацию. Далее можно контролировать выбор методики "лечения". Здесь снова вступает в игру критерий относительной степени упорядоченности. Если по этому критерию "лечение" приближает

состояние открытой системы к норме, то имеет место процесс самоорганизации. В противном случае "лечение" вызывает дальнейшую деградацию.

Но каковы же критерии относительной степени упорядоченности? Что является относительной мерой порядка или беспорядка? Это очень сложные вопросы, и ответы на них были получены совсем недавно.

Трудности введения относительной меры упорядоченности (или, напротив, хаотичности) открытых систем связана, в первую очередь, с отсутствием четких определений самих исходных понятий: *хаос, порядок, деградация, самоорганизация*. Определения этих понятий, как уже отмечалось, являются в большей мере условными. Мы только что отметили, что далеко не всегда, особенно в биологии, а также социологии и экономике, переход к более хаотическому состоянию следует рассматривать как деградацию. Существенным является рассмотрение отклонений от нормы хаотичности.

В связи с изложенным полезно рассмотреть основные понятия более подробно. Это и откроет нам путь для формулировки *критерия относительной степени упорядоченности*, без которого сами понятия деградации и самоорганизации остаются фактически бессодержательными.

#### **4. Физический и динамический хаос. Неравновесные фазовые переходы**

*Хаос и порядок* - понятия, которые играли существенную роль уже в мировоззрении философов древности.

По представлениям Платона и его учеников, хаос - состояние материи, которое остается по мере устранения возможностей проявления ее свойств. С другой стороны, из хаоса возникает все, что составляет содержание мироздания, т.е. из хаоса может рождаться порядок.

В физике понятия "хаос" и "хаотическое движение" являются фундаментальными, но все же недостаточно четко определенными. Действительно, согласно Больцману, наиболее хаотическим является движение в состоянии равновесия. Хаотическими, однако, называют и движения, далекие от равновесного. Это, например, "движения" в генераторах шума, предназначенных для подавления сигналов.

Хаотическими называют, как правило, и различного рода турбулентные движения в газах и жидкостях. Примером- служит турбулентное движение в трубах. Оно возникает из ламинарного движения при достаточно большом перепаде давления на концах трубы. При этом представление о турбулентном движении как более хаотичном, чем ламинарное, принято считать само собой разумеющимся. Такой вывод основан, однако, на смешении понятий сложности и хаотичности. При наблюдении турбулентного движения проявляется именно сложность движения. Вопрос же о степени хаотичности требует дополнительного анализа, и для количественных оценок необходимы соответствующие критерии.

В последние годы стало широко использоваться понятие "*динамический хаос*" для характеристики сложных движений в сравнительно простых динамических системах. Слово "динамический" означает, что отсутствуют источники флуктуаций - источники беспорядка.

По этой причине понятие "динамическая система" отвечает определенной идеализации. Более реальное хаотическое движение с учетом и случайных источников можно назвать "*физический хаос*". Его примером и является хаотическое движение атомов и молекул в состоянии равновесия.

Исторически первый пример динамического хаоса был обнаружен в работе Эдварда Лоренца в

1963 году. Он исследовал решение уравнений, которые служат математической моделью кон-вективного движения в газах и жидкостях. Кон-вективное движение возникает благодаря совместному действию поля тяжести и градиента температуры, создаваемого внешним источником тепла. Речь идет, таким образом, об открытой системе.

Представим себе слой жидкости, который подогревается снизу, Конвективное движение выражается в том, что более нагретые элементы жидкости перемещаются вверх, а более холодные - вниз. Происходит тем самым передача тепла снизу вверх. При достаточно малых градиентах температуры перенос тепла определяется за счет теплопроводности. Это молекулярный - неорганизованный процесс. Он не сопровождается упорядоченным гидродинамическим движением, которое могло бы, подобно регулировке уличного движения, управлять переносом тепла.

Ситуация существенно меняется, когда градиент температуры превышает некоторое критическое значение. Изменение проявляется в том, что в жидкости возникает упорядоченное макроскопическое движение. Оно и называется конвективным. В результате происходит саморегулировка теплового потока - внутри ячеек более теплая жидкость поднимается вверх, а по краям более холодная опускается вниз. Таким образом, распределение встречных тепловых потоков становится упорядоченным.

Эта ситуация напоминает регулировку встречных потоков при уличном движении. Есть, однако, и существенная разница. Действительно, регулировка уличного движения регламентируется правилами дорожного движения. При кон-вективном же движении имеет место процесс самоорганизации. Задается лишь градиент температуры. Перестройка же движения происходит благодаря внутренним свойствам самой системы. Внешне результат этой перестройки проявляется в том, что на поверхности жидкости появляется диссипативная пространственная структура -ячейки Бенара. Благодаря такой перестройке обеспечивается большая пропускная способность, чем при молекулярном - неупорядоченном тепло-переносе. Появление новой структуры можно рассматривать как неравновесный фазовый переход.

Отметим необходимые условия для возникновения неравновесных фазовых переходов, которые выражаются в образовании новых дис-сипативных структур:

1. Диссипативные структуры могут образовываться только в открытых системах.

Только в них возможен приток энергии, компенсирующий потери за счет диссипации и обеспечивающий существование более упорядоченных состояний.

2. Диссипативные структуры возникают в макроскопических системах, т.е. в системах, состоящих из большого числа элементов (атомов, молекул, макромолекул, клеток и т.д.). Благодаря этому возможны коллективные - синергетические взаимодействия, необходимые для перестройки системы.

3. Диссипативные структуры возникают лишь в системах, описываемых нелинейными уравнениями для макроскопических функций. Примерами могут служить кинетические уравнения, например, уравнение Больцмана, уравнения газовой динамики и гидродинамики, уравнения Максвелла в электродинамике для напряженностей электромагнитного поля и т.д.

4. Для возникновения диссипативных структур нелинейные уравнения должны при определенных значениях управляющих параметров допускать изменение симметрии решения. Такое изменение выражается, например, в переходе от молекулярного теплопереноса к конвективному теплопере-носу по ячейкам Бенара.

Неравновесные фазовые переходы гораздо разнообразней, чем равновесные. Они играют существенную роль не только в физических, но и в химических и биологических процессах. Все больше осознается роль неравновесных фазовых переходов и в социальных системах, и в экономике.

Рассмотрим математическую модель, которая была использована в работе Лоренца для описания конвективного движения в атмосфере с целью предсказания погоды.

Конвективное движение в атмосфере описывается весьма сложными уравнениями газовой динамики. Они служат примером уравнений механики сплошной среды.

Для математического моделирования этого движения Лоренц использовал весьма упрощенную модель - систему трех обыкновенных, но нелинейных дифференциальных уравнений. Они представляют собой динамические уравнения для макроскопических характеристик среды - компонент Фурье локальной скорости и температуры. Их решения могут быть проведены лишь с помощью компьютеров.

Проведенный анализ показал, что при достаточно больших значениях градиента температуры поведение решения является настолько сложным, что соответствующие движения воспринимаются как хаотические. Это и дало основание

ввести новое понятие- динамический хаос".

Более того, было установлено, что малейшие изменения начальных условий радикально меняют характер движения. Тем самым движение оказывается *динамически неустойчивым*. Поскольку начальные условия могут быть заданы лишь с конечной точностью, то предсказание вида движения по заданным начальным условиям становится практически невозможным.

Таким образом, из-за наличия динамической неустойчивости движения в атмосфере задача долгосрочного прогноза погоды становится чрезвычайно трудной.

## 5. Управляющие параметры

Итак, термином "хаос" характеризуют самые различные виды сложных движений. Во многих случаях, как мы видели, хаотическое движение очень трудно отличить от упорядоченного, но очень сложного движения. По этой причине возникает необходимость в критериях относительной степени упорядоченности или хаотичности различных движений в открытых системах. При этом оказывается очень важным выбор управляющих параметров, при изменении которых и происходят неравновесные фазовые переходы.

Выбор управляющих параметров представляет во многих случаях самостоятельную задачу. При этом, естественно, возможны ошибки. В связи с этим критерии степени упорядоченности должны содержать и возможность контроля правильности сделанного выбора управляющих параметров.

Приведем примеры. В лазерах управление может осуществляться путем изменения уровня накачки, т.е. вклада энергии, за счет которой создается инверсная заселенность. В классических генераторах накачке соответствует так называемый параметр обратной связи.

При конвективном движении управляющим параметром служит градиент температуры. При переходе от ламинарного течения к турбулентному управление может осуществляться путем изменения разности давления на концах трубы.

В медицине роль управляющих параметров могут выполнять лекарства. Наблюдение за состоянием больного позволяет контролировать правильность выбора лекарства. Роль управляющего параметра играет и скальпель хирурга. Управляющим параметром может служить и время выздоровления - время, в течение которого организм без внешнего вмешательства возвращается к норме.

## **6. Динамическое и статистическое описание сложных движений**

Во введении мы отметили, сколь драматичным было соперничество двух теорий статистического и динамического описания неравновесных процессов. Хотя в настоящее время "накал страстей" не столь велик, эти два направления и по сей день развиваются в значительной мере независимо. Необходимость их синтеза особенно остро ощущается в последние годы в связи, в первую очередь, с развитием физики открытых систем.

В чем же причина столь долгого противостояния этих двух фундаментальных научных направлений? Является ли такое независимое развитие оправданным? Ответ на второй вопрос очевиден: их синтез необходим. Первый же вопрос не является столь простым. Ниже мы попытаемся дать на него ответ.

Выделим два класса систем: динамические и стохастические (или статистические). Такое разделение является условным, т.к. во многих случаях трудно провести различие между динамическим и физическим хаосом. Его, однако, можно провести на основе численного эксперимента. Это оправданно, поскольку практически все представляющие интерес математические модели не имеют аналитических решений.

В основу классификации положим свойство *воспроизводимости движения по заданным начальным условиям*. Тогда по определению к динамическим относятся воспроизводимые, а к стохастическим - невоспроизводимые по начальным данным движения в нелинейных диссипативных системах.

Естественно, что в реальном эксперименте, когда наличие шума неизбежно, все процессы в той или иной мере являются стохастическими. При численном же эксперименте возможно точное (при заданной разрядности компьютера) повторение начальных условий. Воспроизводимость решения зависит лишь от структуры математической модели. Если уравнения не содержат случайных источников, то процесс воспроизводим и, следовательно, движение является динамическим, хотя оно и может быть при этом очень сложным и практически непредсказуемым. В противном случае (при наличии тех или

иных источников), когда движение невоспроизводимо по начальным данным, мы имеем дело, следовательно, со стохастическим движением.

При исследовании стохастических процессов путем численного эксперимента существенно, что

источники случайных чисел в компьютерах построены по определенному алгоритму и являются поэтому фактически детерминированными. Они могут рассматриваться как случайные, если характерные времена повторения для них значительно больше характерных времен релаксации динамической системы.

Основной особенностью динамического хаоса служит *динамическая неустойчивость движения*. Она выражается в сильной (экспоненциальной) расходимости близких в начальный момент траекторий. Следствием ее является перемешивание траекторий, наличие которого и позволяет перейти от полного описания на основе уравнений движения всех частиц к более простым уравнениям для функций, сглаженных по объему перемешивания. Тем самым радикально меняется способ описания, *система частиц заменяется сплошной средой*.

Именно так, не делая на этом акцента, поступил Больцман, когда ввел свое знаменитое кинетическое уравнение для плотности распределения частиц в пространстве шести измерений - в пространстве координат и компонент скорости. Таким образом, функция распределения, для которой Больцман записал свое уравнение, является макроскопической характеристикой.

В результате такого радикального изменения меняется и временная симметрия уравнений. Именно система обратимых уравнений механики для системы частиц заменяется необратимым уравнением для макроскопической плотности сплошной среды - кинетическим уравнением Больцмана. Как следствие этого возникают новые характеристики, которых нет в механике частиц. Важнейшей из них является энтропия.

После классических работ А. Пуанкаре можно выделить два этапа развития динамической теории в диссипативных системах. Первый связан с возникновением радиотехники, с необходимостью развития для этих целей теории автоколебаний. Замечательные физические и математические результаты в этой области принадлежат Ван дёр Полю, Л.И. Мандельштаму, А.А. Андронову, А.А. Витту, Л.С. Понтрягину, Н.М. Крылову, Н.Н. Боголюбову и многим другим. Особое место в установлении связи динамического и статистического описания сложных движений принадлежит очень рано ушедшему из жизни Николаю Сергеевичу Крылову.

Второй этап развития динамической теории стимулировался проблемами теории турбулентности и трудностями решения задачи о долгосрочном прогнозе погоды. Фактически его

началом явилась работа Эдварда Лоренца. Значение этой работы было понято, однако, значительно позднее, после появления статьи математиков Д. Рюэля и Ф. Такенса, опубликованной в 1971 году. В ней был введен новый математический образ сложного движения в нелинейных диссипативных динамических системах - *странный аттрактор*.

Слово "странный" подчеркивает два свойства аттрактора. Это, во-первых, необычность его геометрической структуры. Она не может быть представлена в виде кривых или плоскостей, т.е. геометрических элементов целой размерности. Размерность странного

аттрактора является дробной или, как принято говорить, *фрактальной*. Во-вторых, странный аттрактор - это притягивающая область для траекторий из окрестных областей. При этом все траектории внутри странного аттрактора динамически неустойчивы.

Странный аттрактор существует только в нелинейных диссипативных системах с числом переменных больше двух. Так, уравнения Лоренца представляют систему трех нелинейных диссипативных уравнений. Напомним, что автоколебания, например, в генераторе Ван дёр Поля описываются системой двух уравнений. В этом случае имеются лишь простые аттракторы - состояние покоя (точка) и предельный цикл (замкнутая кривая). Для возможности существования странного аттрактора необходимо усложнение генератора Ван дёр Поля. Оно может быть осуществлено различными способами.

Один из них принадлежит В.С.Анищенко и В.В.Астахову. Они ввели дополнительную обратную связь с использованием полупериодного детектора. Такой генератор описывается системой трех дифференциальных уравнений, которые содержат два управляющих параметра: параметр обратной связи и характерный временной параметр, определяющий *степень запаздывания*.

Результаты физического и численного экспериментов показали следующее. При фиксированном времени запаздывания по мере увеличения параметра обратной связи в генераторе возникает последовательность бифуркаций удвоения периода колебаний - бифуркаций Фейгенбаума. Так происходит до некоторого критического значения параметра обратной связи. При значениях больше критического возникает странный аттрактор со сложным чередованием областей динамического хаоса и порядка. При этом в широкой области значений параметров наблюдалась достаточная близость результатов физического и численного анализа. Это соответствие нарушается, однако, вблизи критических точек - точек бифуркации, где динамическая математическая модель генератора оказывается недостаточной.

Подведем некоторые итоги. Мы видели, что в сравнительно простых динамических системах существуют чрезвычайно сложные движения, которые воспринимаются как хаотические. Это и дало основание для введения новых понятий:

*странный аттрактор и динамический (или детерминированный) хаос.*

Слово хаос является, как правило, негативным как в физике и биологии, так, например, и в экономике. Это понятие, однако, как уже отмечалось выше, очень многогранно. Так, жизнь невозможна как при полном хаосе, так и при полном порядке. Для нормального организма нужна некоторая норма степени хаотичности. Для ее определения и поддержания необходимы количественные оценки относительной степени хаотичности.

Покажем, что динамическая неустойчивость может играть в физике открытых систем и конструктивную роль.

Начнем с иллюстративного примера из социологии.

Представим себе, что происходит лекция для учителей, которые съехались из различных областей России. Предположим, что лекция подошла к концу, исчерпаны все вопросы. Примем это состояние слушателей за начальное. Рассмотрим два возможных варианта их дальнейшего движения: 1. Слушатели после окончания лекции перемещаются вместе, не удаляясь друг от друга на значительные расстояния. 2. Слушатели разъезжаются по местам работы и жительства - "разбегаются экспоненциально". Иными словами движение

слушателей становится "динамически неустойчивым". Какой из этих двух вариантов движения в большей мере способствует использованию полученных во время лекции знаний?

Первый вариант полезен в определенной мере, так как позволяет продолжить обсуждение затронутых в лекции вопросов. Несомненно вместе с тем, что лишь второй вариант движения, когда имеют место "динамическая неустойчивость" и "перемешивание" траекторий слушателей по территории России, позволяет донести полученные знания до школьников.

Этот пример демонстрирует, что динамическая неустойчивость движения и перемешивание могут и не вести к "хаосу", а играть позитивную и конструктивную роль.

Вернемся после этого иллюстративного примера к физической системе. Рассмотрим

разреженный газ. Это означает, что объем атома или молекулы газа гораздо меньше среднего объема, который приходится на одну частицу. Представим атомы в виде абсолютно упругих шариков. Такая модель во многих случаях оказывается вполне оправданной.

С точки зрения механики для описания эволюции газа надо использовать систему уравнений для всех его атомов. Такая задача непосильна даже для самых мощных компьютеров. В чем же выход? Как же найти способ описания неравновесных процессов в газе - системе, состоящей из огромного числа частиц? Покажем, что решение такой задачи возможно, и именно благодаря конструктивной роли динамической неустойчивости движения атомов газа.

Из-за динамической неустойчивости движения - экспоненциального разбегания траекторий,

происходит перемешивание траекторий в фазовом пространстве. Это открывает возможность ввести понятие "сплошная среда" и использовать вместо микроскопических уравнений движения частиц газа приближенные уравнения для макроскопических функций. Атомарная структура системы принимается во внимание при определении понятия "точка сплошной среды". Для этого необходимо конкретное определение физически бесконечно малых масштабов времени и длины и соответствующего физически бесконечно малого объема, который и играет роль "объема точки" сплошной среды. Такое определение должно быть согласовано с определением минимальной области перемешивания и минимальным временем развития динамической неустойчивости.

45 *Основные предпосылки, идеология, модели*

## Глава 8

### **ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ОБНАРУЖЕНИЯ ХАОТИЧЕСКОГО АТТРАКТОРА ПРИ АНАЛИЗЕ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ**

Данные, полученные в результате многочисленных геофизических экспериментов и натуральных наблюдений, указывают на то, что вариации различных наблюдаемых в природе процессов подчиняются нескольким ярко выраженным ритмам, проявляющимся на значительных отрезках измеряемого временного ряда. Конечно, число ритмов и их амплитудно-частотные характеристики зависят от исследуемого процесса и измеряемых

физических параметров. С другой стороны, во многих случаях происходит изменение числа значимых ритмов, их число в спектрально-временной диаграмме значительно увеличивается на некотором отрезке временного ряда. Происходит смена режима: характер изменения наблюдаемой величины становится менее упорядоченным, и при возникновении значительного числа часто! с соизмеримыми по величине амплитудами естественно говорить о хаоти-зации процесса в той или иной степени.

В первом томе Атласа (стр. 25) был введен показатель упорядоченности процесса, принимающий крайние значения, соответственно, при полной упорядоченности процесса (наличие одной гармоника) и при полной хаотизации ("белый шум"). Такая характеристика упорядоченности процесса находится в полном соответствии с теорией Ландау о возникновении турбулентности, когда предельное движение частиц жидкости представляется как квазипериодическое движение по бесконечномерному тору [Ландау, Лифшиц, 1986]. Возможен также обратный процесс: смена хаотического режима более упорядоченным. Такая смена может происходить многократно (переменяемость).

Но имеется и другой подход к описанию возникновения турбулентности, предложенный Д.Рюэлем и Ф.Такенсом [Ruelle, Takens, 1971]. Согласно этому подходу, предельное движение жидкости описывается движением в окрестности некоторого инвариантного конечномерного множества (аттрактора), ограничение движения

на котором обладает сильными статистическими (хаотическими) свойствами.

Поэтому возможен и представляется целесообразным другой способ анализа хаотического поведения, а именно: получения из экспериментальных данных информации о существовании хаотического аттрактора, оценки его размерности, статистических свойств предельной динамической системы. Многие авторы отмечают, что вряд ли возможно извлечь указанную информацию из спектральных характеристик исследуемой системы (по крайней мере, пока неизвестно, как это сделать).

Ниже излагается другой метод обработки экспериментальных данных и его теоретические предпосылки, основанные главным образом на идеях из [Takens, 1981, Sauer, Yorke et al., 1991]. Мы предполагаем, что исследуемый нами процесс может быть описан как открытая нелинейная система с фазовым пространством  $M^k$  и сдвигом  $S^t$  на время  $t$  вдоль каждой траектории. Только в такой динамической системе может существовать компактная область  $A$  фазового пространства, такая, что траектория любой точки  $x$  принадлежит при  $t \rightarrow \infty$  попадает в сколь угодно малую окрестность компакта  $A$ :  $d(S^t x, A) \rightarrow 0$  при  $t \rightarrow \infty$ , где  $d(\dots)$  - расстояние в фазовом пространстве  $X$ .

Мы предполагаем, что притягивающее множество  $A$  ( аттрактор) принадлежит некоторому) гладкому конечномерному многообразию  $M^k$  размерности  $k$ . Аттрактор  $A$  может состоять из одной или нескольких стационарных точек или из одного или нескольких предельных циклов, по каждому из которых происходит периодическое движение со своей частотой. В этом случае движение в предельной динамической системе устойчиво. Мы же предполагаем, что предельная система  $(A, S^t)$  обладает сильными статистическими свойствами.

Согласно Я.Г.Синаю [1996], следующие пять свойств, в некотором смысле усиливающие друг друга, естественно назвать статистическими:

существование конечной инвариантной меры, эргодичность, перемешивание, справедливость центральной предельной теоремы, экспоненциальное убывание корреляций.

В случае конечного числа стационарных точек или конечного числа предельных циклов - может иметь место лишь первое (или первое и второе) из указанных свойств.

### 1. Стохастические аттракторы. Гиперболические аттракторы [Синай,1976]

Мы предполагаем, что предельная динамическая система обладает сильными хаотическими свойствами: для нее имеют место по крайней мере первые три из указанных выше статистических свойств.

Более точно, аттрактор  $A$  называется стохастическим, если для любого начального распределения  $P_0$  плотностью  $p_0$  на  $X$ , сконцентрированного в некоторой окрестности аттрактора  $A$ , его сдвиги при  $t \rightarrow \infty$  сходятся к некоторому инвариантному распределению  $P$  на  $A$ , не зависящему от  $p_0$ ; предельное распределение  $P$  обладает перемешиванием, т.е. автокорреляции стремятся к 0 при  $t \rightarrow \infty$ .

Еще более сильными статистическими свойствами обладает гиперболический аттрактор. Движение на таком аттракторе и в его окрестности обладает экспоненциальной неустойчивостью; сам аттрактор состоит из неустойчивых гладких многообразий по некоторым своим направлениям, а по другим - представляет собой множество канторовского типа (такой аттрактор принято называть странным; его размерность может быть нецелым числом).

С точки зрения теории вероятностей динамическая система, возникающая на таком аттракторе, изоморфна цепи Маркова.

### 2. Размерность аттрактора, топологическая энтропия динамической системы

Существует много вариантов определения фрактальной размерности метрического пространства (в частности, аттрактора). Мы напомним только одно из них, которое будем называть  $b$ -размерностью (от boxing - counting dimension), наиболее удобное в приложениях. Эта размерность обозначается  $\text{boxdim}$ .

Пусть  $X$  - некоторое множество, лежащее в евклидовом пространстве  $R^k$  размерности  $k$ . Выберем произвольное число  $\epsilon > 0$  и рассмотрим кубическую решетку, разбивающую все пространство  $R^k$  на кубы с ребром длиной  $\epsilon$ . Обозна

чим  $C_\epsilon(X)$  - число кубов решетки, имеющих непустое пересечение с  $X$ . Тогда  $b$ -размерность  $X$ , по определению, есть

$$\hat{\text{boxdim}}(X) = \lim_{\epsilon \rightarrow 0} \ln C_\epsilon(X) / (-\ln \epsilon).$$

(Если такого предела не существует, то нужно рассмотреть верхний (нижний) предел, определяющий верхнюю (нижнюю)  $b$ -размерность множества  $X$ ). Если  $\text{boxdim}(X) = d$ , тогда число кубов решетки, покрывающих  $X$ , имеет порядок  $\epsilon^{-d}$ .

Пусть  $X$  - компактное метрическое пространство, на котором действует динамическая система  $S^t$  ( $t$  - непрерывный или дискретный параметр,  $S^t$  - сдвиг вдоль траектории на

время  $t$ ). Обозначим через  $p$  расстояние, определенное на метрическом пространстве  $X$ . Топологическая энтропия  $h(S^I)$  динамической системы  $(X, S^I)$  может быть определена следующим образом [Динабург, 1971]:

Рассмотрим пространство  $X^{(n)}$  траекторий длины  $n$ , т.е. совокупность последовательностей длины  $n$ :  $x^{(n)} = (x, S^1x, S^2x, \dots, S^{n-1}x)$ ,  $x$  принадлежит  $X$ -произвольная точка. Определим на  $X^{(n)}$  метрику  $d^{(n)}$ , полагая расстояние между двумя траекториями длины  $n$  равным максимальному расстоянию между ними, достигаемому за время  $< n$ :

$$d^{(n)}(x^{(n)}, y^{(n)}) = \max_{0 \leq i < n} d(S^i x, S^i y).$$

Выберем произвольное положительное число  $\epsilon$  и положим  $C^{(n)}(\epsilon)$  равным  $\epsilon$ -емкости пространства  $X^{(n)}$ . Напомним, что  $\epsilon$ -емкость метрического компонента - это число точек минимальной  $\epsilon$ -сети, т.е. такого конечного (в силу компактности) подмножества этого пространства, от которого любая точка компакта отстоит на расстояние  $\leq \epsilon$ . Тогда

$$h(X, S^I) = \lim_{\epsilon \rightarrow 0} \lim_{n \rightarrow \infty} H^{(n)}(\epsilon)/n,$$

где  $H^{(n)}(\epsilon) = \ln C^{(n)}(\epsilon)$  -  $\epsilon$ -энтропия компакта  $X^{(n)}$ .

Топологическая энтропия характеризует разнообразие траекторий динамической системы. Если  $h(X, S^I)$  положительна, то число траекторий длины  $n$  растет экспоненциально с ростом  $n$ .

Так как  $h(X, S^I)$  является верхней гранью метрических энтропий по всем инвариантным мерам, динамическая система  $(X, S^I)$  обладает сильными статистическими (хаотическими) свойствами хотя бы по одной из этих инвариантных мер.

### 3. Отображение координат запаздывания [Takens, 1981; Sauer, York et al., 1991]

Для любой наблюдаемой  $\phi(x)$  и некоторого интервала времени  $\Delta t$  рассмотрим временной ряд

$$\phi(x), \phi(S^{\Delta t} x), \dots, \phi(S^{(n-1)\Delta t} x)$$

длины  $n$  значений

наблюдаемого параметра в точке  $x$  в моменты времени, кратные  $\Delta t$ . Отображение  $\Phi: A \rightarrow R^n$

аттрактора  $A$  в евклидово пространство  $R^n$  размерности  $n$ , сопоставляющее каждой точке  $x$  принадлежит  $A$  вектор значений наблюдаемой в точке  $x$  в моменты времени  $0, \Delta t, \dots, (n-1)\Delta t$ , называется отображением координат запаздывания (ОКЗ). Так как аттрактор  $A$ , по предположению, принадлежит гладкому многообразию  $M^k$  размерности  $k$ , то согласно классической теореме Уитни типичное отображение  $F: M^k \rightarrow R^{2k+1}$  многообразия  $M^k$  в евклидово пространство  $R^{2k+1}$  размерности  $2k+1$ , является вложением, т.е. взаимнооднозначно, и сохраняет гладкую структуру многообразия. (Типичность можно рассматривать как в топологическом смысле, так и в вероятностном, используя введенное в работе [Sauer, et al., 1991] понятие превалирования в бесконечномерном пространстве). Однако ОКЗ являются отображениями специального класса и к ним теорема Уитни не относится.

Необходимо, чтобы предельная динамическая система  $(A, S^{\wedge t})$  удовлетворяла некоторым дополнительным условиям. Эти условия связаны с ограничением размерности множества периодических орбит малых периодов и с невырожденностью действия динамической системы вдоль этих орбит. А именно, если  $d = \text{boxdim}(A)$ ,  $n > 2d$  и  $\text{boxdim}(A_p) < p/2$  для  $p \leq n$ , где  $A_p$  - множество периодических точек периода  $p$ , и вдоль каждой периодической орбиты линеаризация динамической системы имеет различные собственные значения, тогда для типичной (в смысле вероятности) наблюдаемой  $\phi$  соответствующее ОКЗ Ф взаимнооднозначно и гладко на любом компактном гладком подмногообразии, содержащемся в  $A$ . Таким образом, с помощью ОКЗ, соответствующего типичной наблюдаемой, можно реконструировать аттрактор  $A$  как подмножество некоторого конечномерного евклидова пространства и затем исследовать его структуру и свойства предельной динамической системы, используя определения пункта 2.

#### 4. Определение размерности аттрактора и топологической энтропии предельной динамической системы по данным эксперимента

Как правило, экспериментатор имеет последовательность значений наблюдаемой  $\phi$  не во всех точках изучаемой системы, а только в одной

или нескольких точках. Обозначим наблюдаемую величину  $\phi$  в точке наблюдения  $x$ , выберем отрезок временного ряда  $\phi_0(x), \phi_{\wedge t}(x), \dots, \phi_{N \wedge t}(x)$ , предположительно соответствующий ее хаотическому поведению. Точка  $S^t x$  не принадлежит аттрактору, а только стремится к нему при  $t \rightarrow \infty$ . Поэтому траектория движения точки  $x$  на различных интервалах времени находится близко к траектории некоторой точки аттрактора. Из предположения о хаотическом характере движения на аттракторе следует, что если время наблюдения достаточно велико, то траектория точки  $x$  побывает вблизи многих точек аттрактора. В силу перемешивания движения самой точки и ее достаточно далекого сдвига вдоль траектории будут слабо коррелированы. Поэтому разделив временной интервал  $N \wedge t$  на  $k$  отрезков, каждый из которых содержит большое число наблюдений, можно предположить, что временной ряд на каждом из отрезков подразделения представляет собой значения наблюдаемой вдоль траектории точки, близкой к некоторой точке аттрактора, различным отрезкам соответствуют независимые наблюдения. Поэтому можно считать, что мы имеем  $k$  независимых наблюдений.

Предполагается также, что каждый из полученных подотрезков (окон) содержит достаточное количество точек, которое определяется спецификой наблюдаемого процесса. Выберем в каждом окне первые  $n$  значений наблюдаемой величины  $\phi: \{\phi_{j+M \wedge t}\}, 0 \leq j \leq n-1, M = Nk^{-1}, 0 \leq l \leq k$ . Мы получим  $k$  векторов  $n$ -мерного евклидова пространства. Вычисляем  $\epsilon$ -емкость  $C$ , для некоторого достаточно малого значения  $\epsilon$ . Увеличивая  $n$  мы можем оценить как значение  $\text{boxdim}(A)$ , так и топологическую энтропию. Конечно, необходимо уменьшать и значения  $\epsilon$ .

Если полученные в результате увеличения  $n$  и уменьшения  $\epsilon$  приближенные значения размерности и топологической энтропии стабилизируются - в исследуемой динамической системе присутствует конечномерный аттрактор.

Если полученная оценка размерности дает нецелое число - хаотический аттрактор является странным.

Если вычислительная процедура не сходится, то гипотеза о существовании аттрактора должна быть отвергнута.

### **33.3. Вариации частоты вызовов для ремонта ЭВМ (рис. 33.8-33.12)**

Проанализированы вызовы на ремонт ЭВМ типа ЕС, обслуживавшихся одним из подразделений МПО вычислительной техники и информатики. В качестве материала для обработки использованы записи в журнале регистрации вызовов с февраля 1985 по сентябрь 1987 гг. Число обслуживавшихся ЭВМ - около 30. Рассмотрены два ряда данных: даты *всех* вызовов и даты *аномальных* вызовов. Аномальными считали вызовы, число которых за два соседних дня составляло 3 и более при среднем числе вызовов за два дня около 1 (с 13.02.87 в связи с ростом среднего числа вызовов аномальными считались вызовы, когда их число за два соседних дня составляло 5 и более).

Проведенный анализ показывает, что самыми отчетливыми ритмами являются 7- и 30-суточные. 7-суточный ритм связан с ритмом рабочей недели: усредненное за 130 недель число вызовов, почти одинаковое во вторник, среду и четверг, снижается в пятницу примерно на треть, а в понедельник "отложенные" вызовы добавляются к среднему значению. Для аномальных вызовов та же закономерность проявляется значительно ярче: по пятницам их практически нет, но в понедельник их вдвое больше, чем во вторник, среду или четверг.

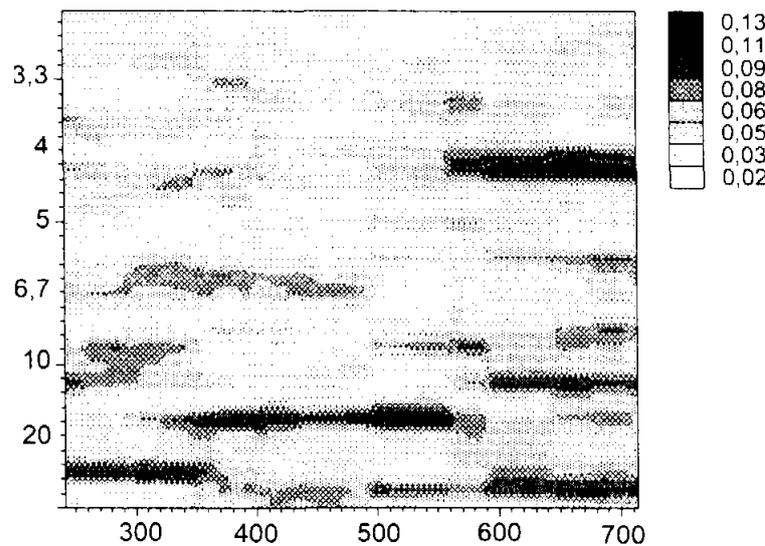
Одной из причин околomesячного ритма, по-видимому, является периодичность выдачи зарплаты: в начале и в середине каждого месяца происходит достоверное увеличение частоты вызовов; периодичность праздничных дней приводит к появлению двухмесячного и полуго

дового ритмов. Но доминирующим околomesячным ритмом, как показывает метод наложенных эпох (см рис. 33.9), является ритм синодического лунного месяца. Весьма устойчивый 19-20-суточный ритм, а также ритмы с периодами около 15 и около 10 сут, составляют 2/3, 1/2 и 1/3 синодического лунного месяца (это доказывает метод наложенных эпох). Околomesячный ритм изменения солнечной активности (26-28 сут) почти не проявляется на периодограмме *всех* вызовов (см. рис. 33.10), хотя и заметен на периодограмме *аномальных* вызовов (см. рис. 33.11). Некоторые соответствия между усредненной частотой вызовов и числами Вольфа можно заметить и на рис. 33.8, что укрепляет предположение о существовании связи между частотой вызовов и солнечной активностью.

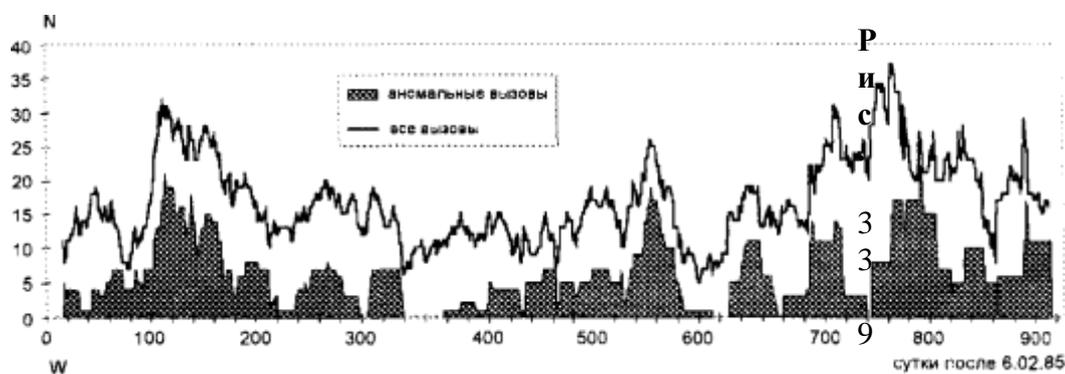
Многие из других выявленных ритмов (3,4, 4,9, 9,1, 11,4, 13,8, 17,5, 22, 35, 51, 138 сут) близки к обнаруженным ритмам геомагнитной и солнечной активности [Владимирский и др., 1994].

Таким образом, вариации числа вызовов отражают, помимо производственно-социальных факторов, геофизические и космофизические воздействия. Понятна возможность их *косвенного* влияния через изменение психофизиологического состояния обслуживающего персонала. Яркость проявления ритма синодического лунного месяца дает основание для предположения о существовании и иных, пока непонятных, механизмов космофизических воздействий на процессы в электронных устройствах.

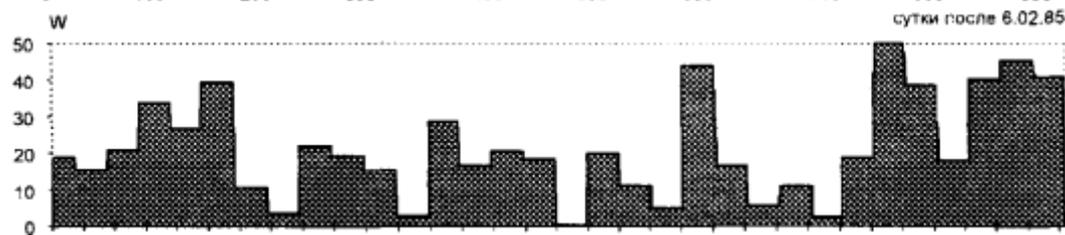
периоды, сутки



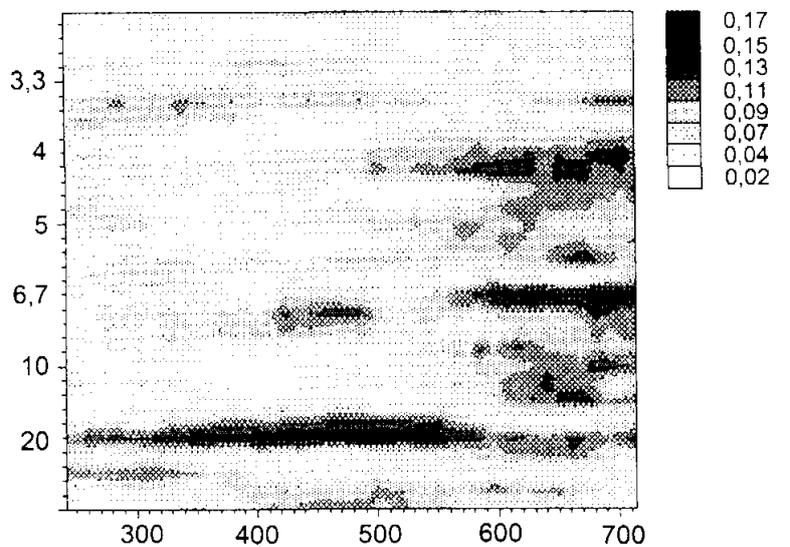
сутки после 6.02.85



сутки после 6.02.85



периоды, сутки



сутки после 6.02.85

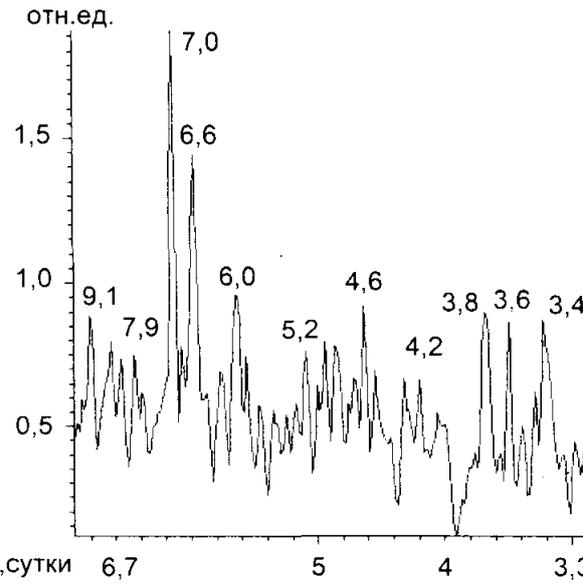
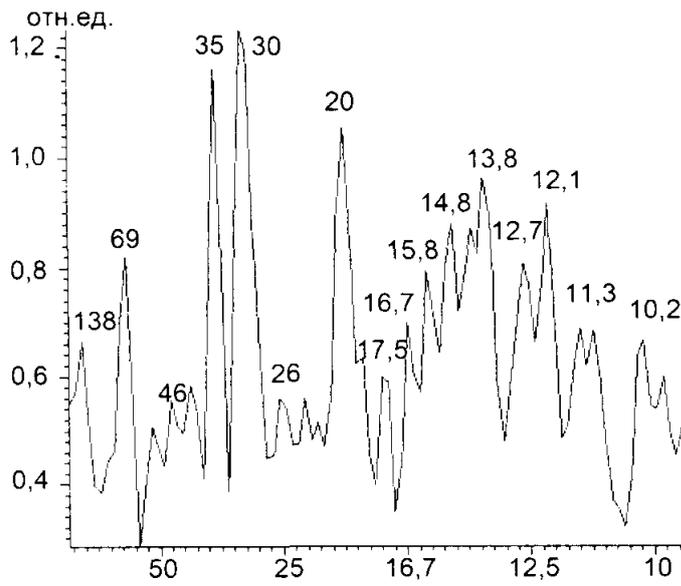


Рис. 3  
3.10

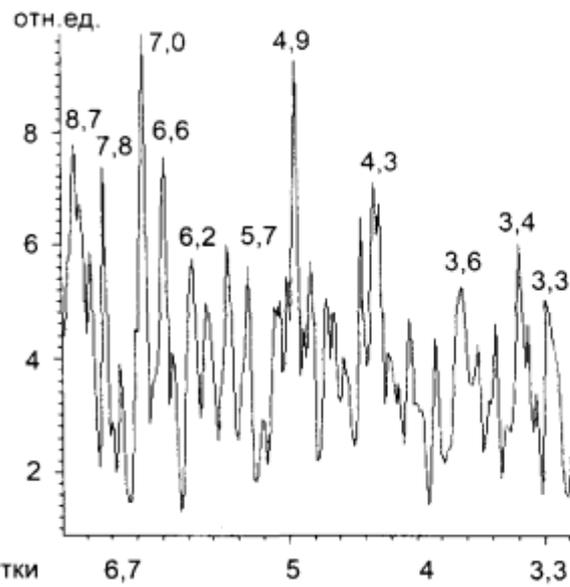
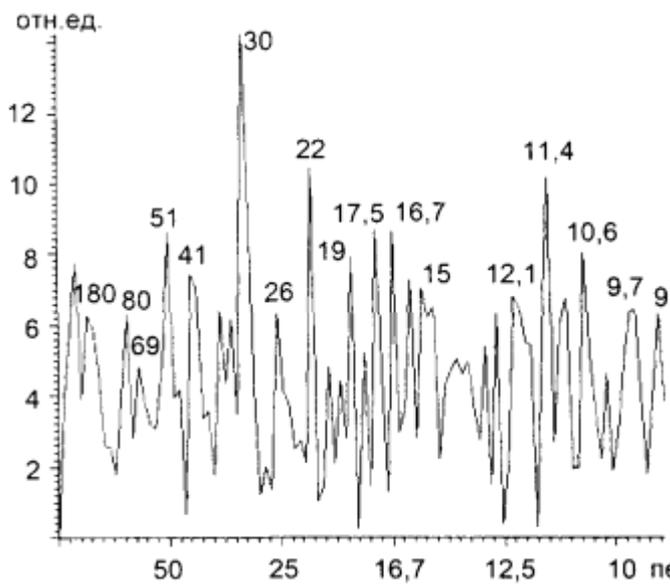
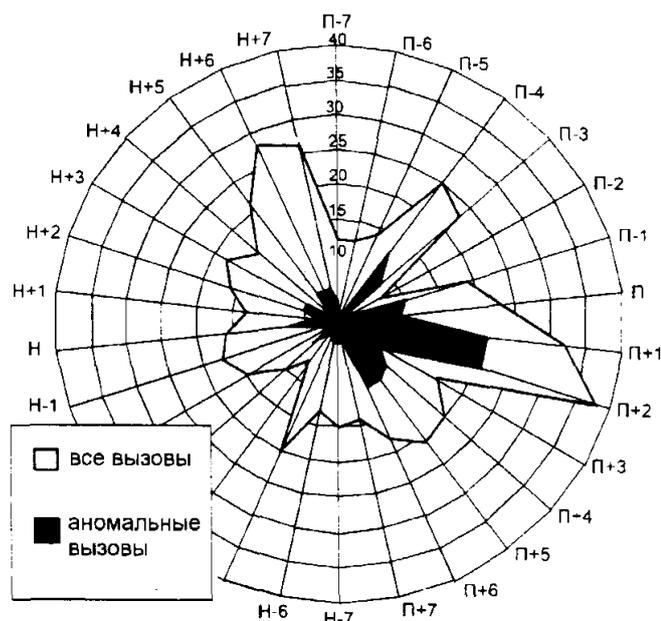


Рис.33.11



**Рис. 33.9.** Спектрально-временные диаграммы временного ряда *всех* вызовов (слева) и *аномальных* вызовов (справа)

Для *всех* вызовов наиболее устойчивым является ритм с периодом около 20 сут. Устойчивыми являются также ритмы с периодами около 3,5 и 7,0 сут. 30-суточный ритм характерен для начала проанализированного интервала времени. Для *аномальных* вызовов ритмы с периодами около 30 и 70 сут проявляются более отчетливо, чем в случае *всех* вызовов. Выделяются ритмы с периодами около 16, 6,6 и 4,3 сут

**Рис. 33.10.** Периодограммы временного ряда *всех* вызовов

Выделяются ритмы с периодами около 35, 30, 20, 7,0 и 6,6 сут. Ритмы 17,5, 35, 69 и 138 сут образуют ряд с соотношением периодов 1:2:4:8

**Рис. 33.11.** Периодограммы временного ряда *аномальных* вызовов

Наиболее заметными являются ритмы с периодами около 30, 7,0 и 6,6 сут. По сравнению с периодограммой *всех* вызовов более заметны ритмы с периодами 51, 26, 22, 19, 11,4, 8,7 и 4,3 сут

**Рис. 33.12.** Распределение числа вызовов относительно полнолуний (П) и новолуний (Н) с февраля 1985 по сентябрь 1987 г.

Величина радиуса соответствует числу вызовов в дни, отстоящие от полнолуний или новолуний на указанное на диаграмме число суток.

Наиболее близким космофизическим ритмом, к 30-суточному ритму вариаций частоты вызовов является ритм изменения фаз Луны, т.е. взаимного положения Земли, Луны и Солнца - синодический лунный месяц (29,5 сут). Хорошо видно, что некоторым значениям фаз Луны соответствуют существенные изменения частоты вызовов. Статистически достоверными (отклонение от среднего значения  $>2\sigma$ ,  $\sigma$  - стандартное отклонение) являются подъемы *всех* вызовов на 6-7-ой день после новолуний и на 3-4-ый день до полнолуний, а также спад за два дня до полнолуний. Подъем на 1-2-ой день после полнолуний является высокодостоверным (отклонение от среднего  $5\sigma$ ). Особенно сильно меняется частота *аномальных* вызовов: за 7 дней после полнолуний их зарегистрировано

90, тогда как за 7 дней, предшествующих новолуниям. всего 19. Число аномальных вызовов на 1-2-ой день после полнолуний превышает среднее значение более чем на 7ст. Столь сильные отклонения от среднего при наложении тридцати трех циклов убедительно свидетельствуют о наличии в вариациях частоты вызовов на ремонт ЭВМ ритма, совпадающего с ритмом изменения лунных фаз

*Медицина и социальная сфера 367*

### **35.5. Вариации техногенной аварийности в России и авиакатастроф в мире (рис. 35.16-35. 20)**

. Исследования временных рядов возникновения техногенных аварий и катастроф в России проведены на основе анализа более 3000 событий, имевших место в России с 1990 по 1994 гг. рпов, 1995], и которые характеризуются как чрезвычайные ситуации (ЧС). Использованы также данные поквартального количества авиационных катастроф в мире с 1944 по 1994 гг.

В динамике практически всех типов ЧС наряду с трендовой составляющей и случайной компонентой присутствуют и среднечастотные квазициклические компоненты. Наличие и характеристики каждой из них обусловлены воздействием на техносферу различных факторов: низкочастотный тренд в основном отражает макроэкономические и macrosоциальные процессы в обществе, определяющие в свою очередь общий уровень техногенной аварийности; случайная компонента отражает субъективные причины аварий - например, из-за ошибок персонала. Особый интерес вызывает среднечастотная составляющая.

С этих позиций рассмотрена динамика числа аварий и катастроф на стационарных промышленных и технологических объектах (т.е. практически всех техногенных ЧС, за исключением транспортных). Нами выделена среднечастотная составляющая, обладающая поразительным свойством: это абсолютно повторяющиеся 16-месячные циклы, каждый из которых является отрезком затухающей квазисинусоиды с периодом 4 мес. Этой цикличности подвержена динамика практически всего "недвижимого" компонента техносферы.

Все это наводит на мысль, что техносфера находится под воздействием некоторых закономерных процессов планетарного характера, которые в значительной мере определяют потенциальную опасность возникновения аварий и катастроф. Основной физической предпосылкой здесь является то, что на современном этапе цивилизации техносфера, как система, стала настолько мощной и широко развитой, а функциональные и энергетические связи между ее элементами

настолько многочисленными и сложными, что функционирование ее объектов все чаще стало выходить из-под человеческого контроля с возникновением непредсказуемых последствий. Другими словами - техносфера превратилась в своего рода стихию, состояние которой определяется не только и не столько особенностями поведения обслуживающего ее персонала, но и ее внутренними закономерностями, неразрывно связанными с глобальной системой Космос Земля. Отсюда и динамика таких закономерностей определяется суммарными физическими воздействиями на объекты техносферы со стороны природных систем.

В России в отличие от западных стран в настоящее время практически везде инженерные сооружения, промышленные объекты, транспортные и энергетические коммуникации

низкокачественны, малонадежны, сильно изношены и к тому же эксплуатируются с нарушениями технологических требований и при низкой исполнительской дисциплине. Техносфера стала настолько неустойчивой, что любые слабые воздействия на нее способны привести к неуправляемым ситуациям с возникновением якобы беспричинных аварий и катастроф.

Из этих фактов следует, что такие казалось бы несоприкасающиеся явления, как отказы в системах воздушных судов и воспламенения на складах происходят под влиянием каких-то общих причин, в значительной мере связанных с солнечной активностью.

Объяснение здесь скорее всего надо искать в воздействии электромагнитных возмущений на режимы функционирования электронных устройств, силовых электрических агрегатов, а также на характер протекания химических процессов, приводящих к самовозгораниям. Если приведенные объяснения справедливы, то в принципе возможно организовать мониторинг, включающий отслеживание особенностей электромагнитного поля и ближайший прогноз потенциальной опасности возникновения указанных ЧС с принятием превентивных мер.

### **Рис. 35.16. Временные ряды числа техногенных аварий и катастроф в 31-суточном скользящем временном окне**

В динамике практически всех типов ЧС наряду с низкочастотным трендом, отражающим изменение макроэкономических и макросоциальных причин аварийности, присутствуют и квазициклические компоненты, обусловленные вариациями воздействий со стороны природных систем

### **Рис. 35.17. СВАН-диаграммы временных рядов, изображенных на рис. 35.16, в той же последовательности**

На диаграммах преобладает ритм с периодом несколько более 1 г. Длительность существования этого ритма для разных процессов различна. Помимо указанного имеют место и другие ритмы, в том числе 6, 4 и 2 мес.

### **Рис. 35.18. Компоненты временного ряда числа аварий и катастроф на стационарных промышленных и технологических объектах**

а, 1 - фактическое ежемесячное число аварии;

а, 2 - низкочастотный тренд; б - среднечастотная циклическая компонента; в - случайная компонента типа белого шума.

Низкочастотная составляющая отражает изменения макроэкономической и макросоциальной обстановки, определяющей общий уровень аварийности техносферы. Значительное возрастание аварийности происходило после политических потрясений в России 1991 и 1993 годов. Циклическая компонента представляет собой 16-месячные циклы, каждый из которых является отрезком затухающей квазисинусоиды с периодом 4 мес, что отражает изменение потенциал

ной опасности возникновения аварий и катастроф

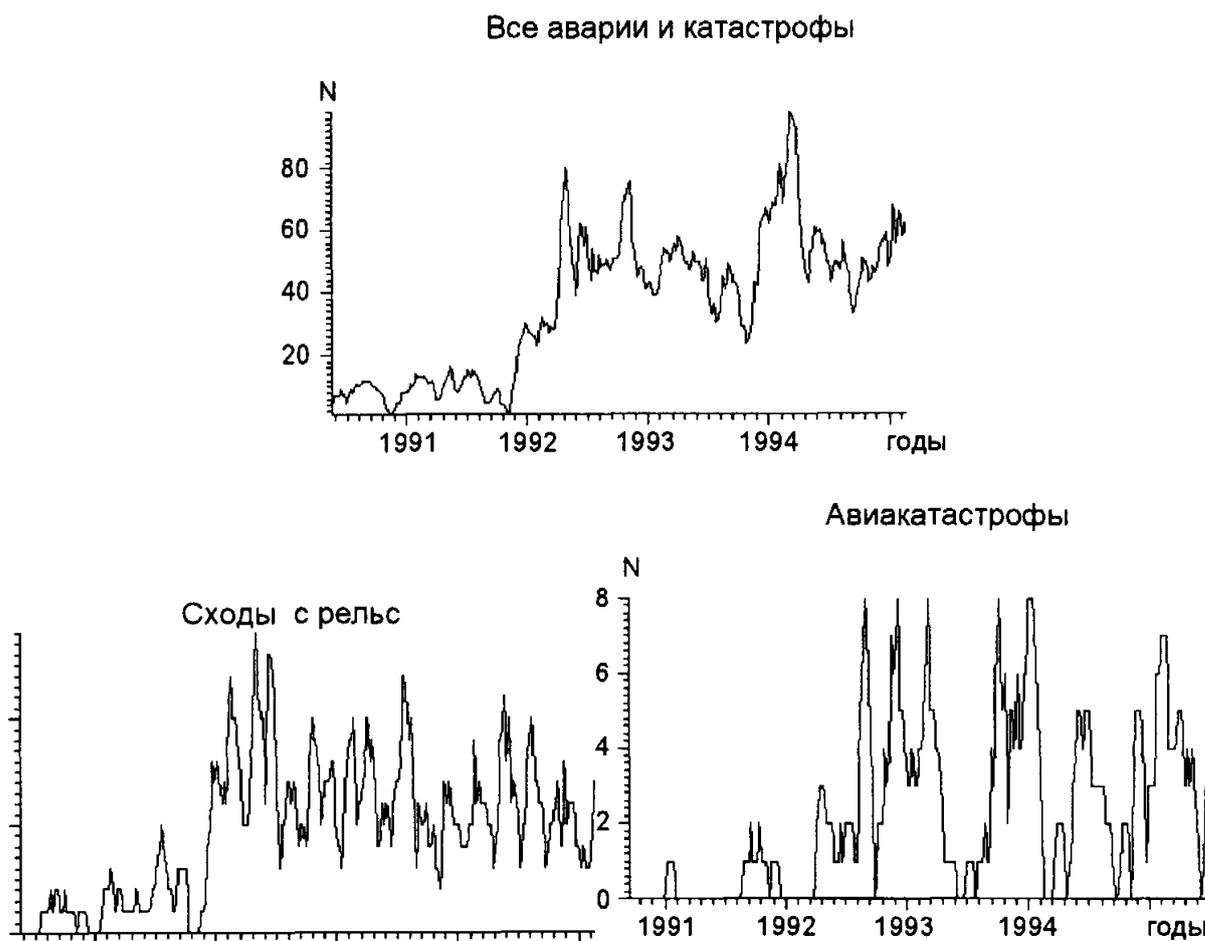
вследствие циклических воздействий со стороны природных систем

**Рис. 35.19. Сопоставление временных рядов динамики числа авиакатастроф (я), числа пожаров на складах сырья и готовой продукции (б) и солнечной активности (числа Вольфа с обратным знаком) - (в)**

Коррелируемость кривых не вызывает сомнений. Коэффициент корреляции кривых а и б равен 0,74, кривых а и в - 0,76, кривых б и в - 0,56. Столь высокая коррелируемость временных рядов свидетельствует о том, что такие казалось бы несовместимые явления, как отказы в системах воздушных судов и воспламенения на складах, в значительной мере происходят под воздействием общих причин, во многом связанных с вариациями солнечной активности

**Рис. 35.20. Поквартальный график количества авиакатастроф в мире (слева) и числа Вольфа (справа) и соответствующие спектрально-временные диаграммы**

Временной ряд авиакатастроф имеет очень сложный характер. СВАН-диаграммы процесса сложны и мозаичны. Тем не менее можно выделить сравнительно протяженные ритмические вариации. Среди них преобладают по амплитуде и протяженности ритмы в диапазоне периодов 5-15 л. Кроме них выделяется сравнительно четкий и протяженный годовой ритм, а также полугодовой и некоторые другие. СВАН-диаграммы солнечной активности показывают преобладающее присутствие 11-летнего ритма. Можно видеть некоторое соответствие диаграмм в области существования этого ритма



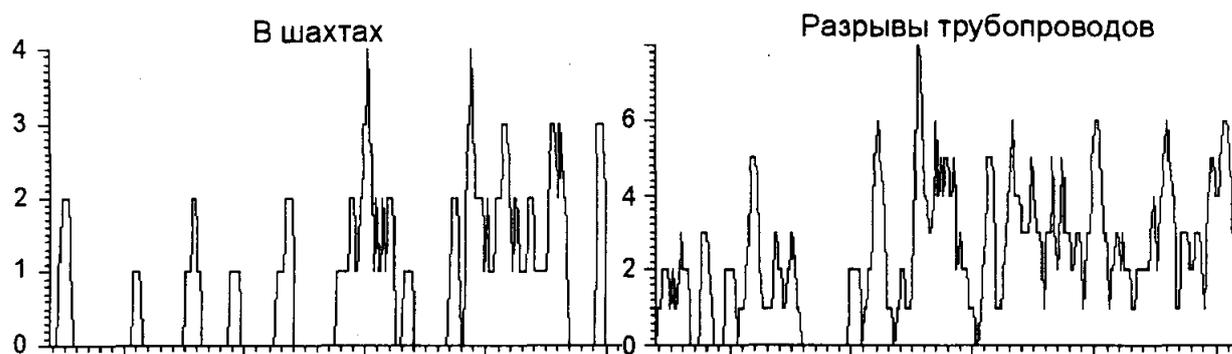
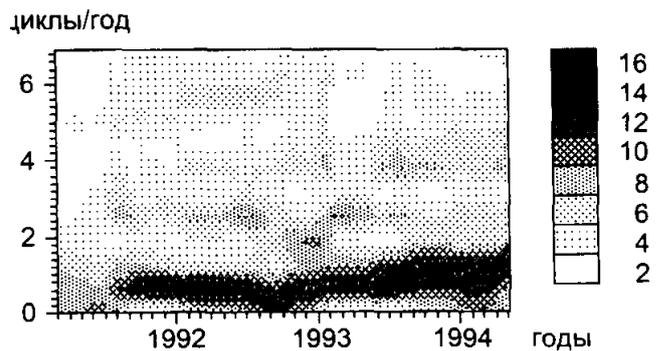
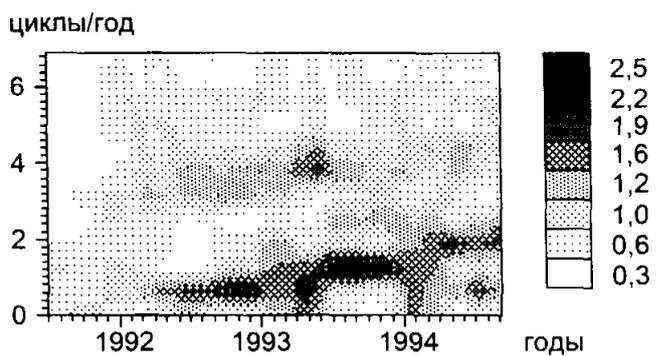


Рис. 35.16

### Все аварии и катастрофы



### Авиакатастрофы



Пожары в непроизводственной сфере,  
кроме бытовых

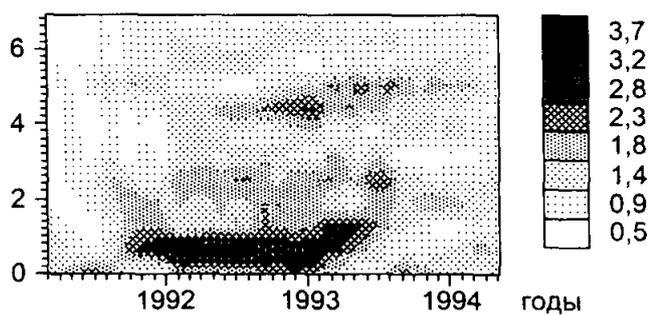
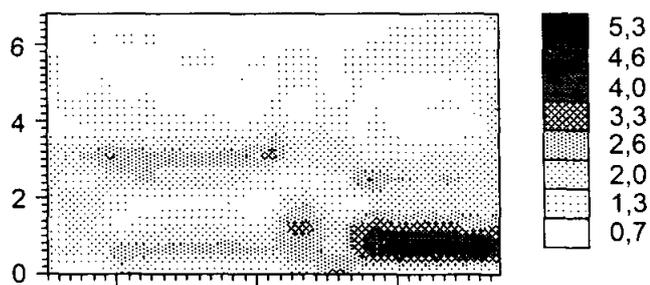
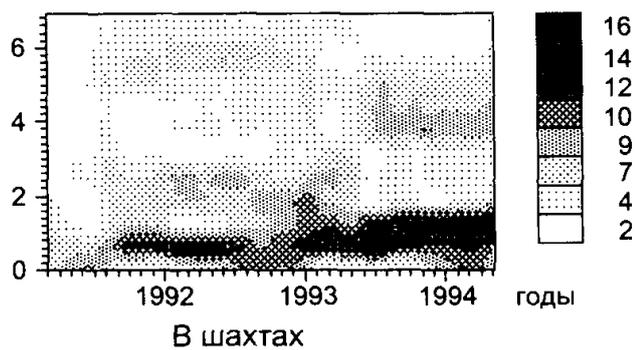
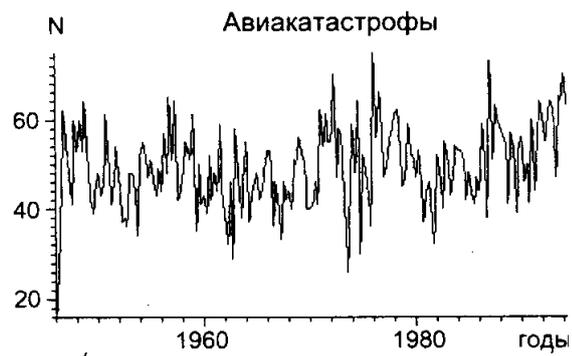
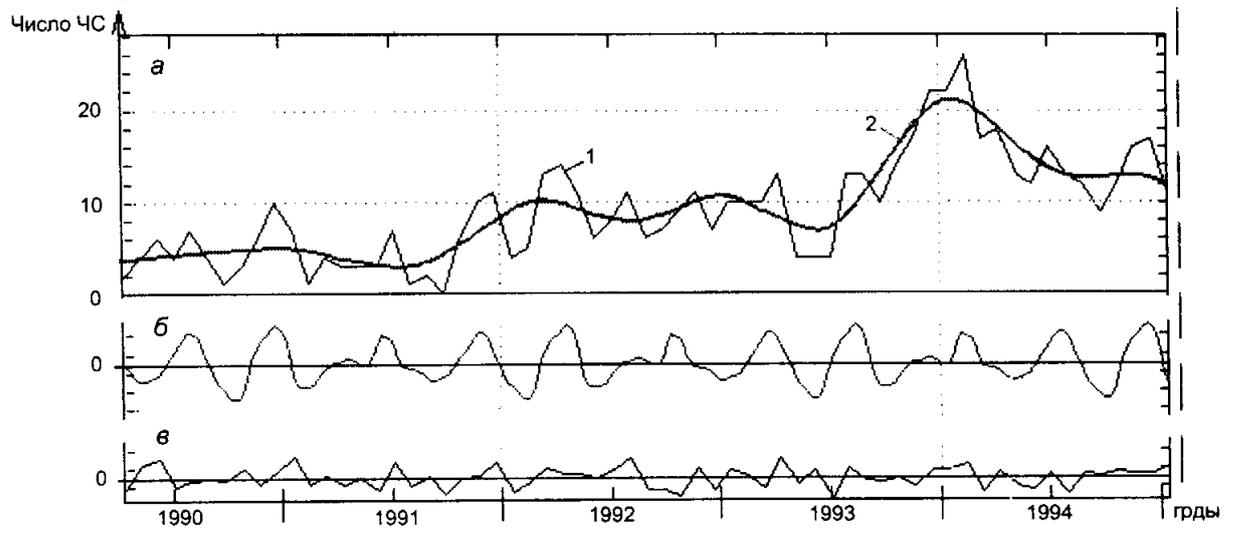
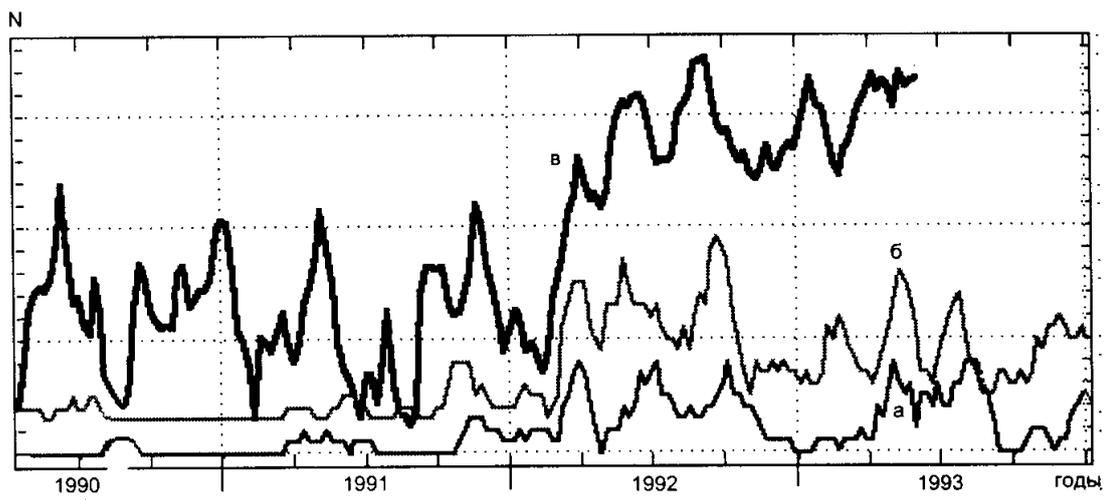


Рис. 35.17



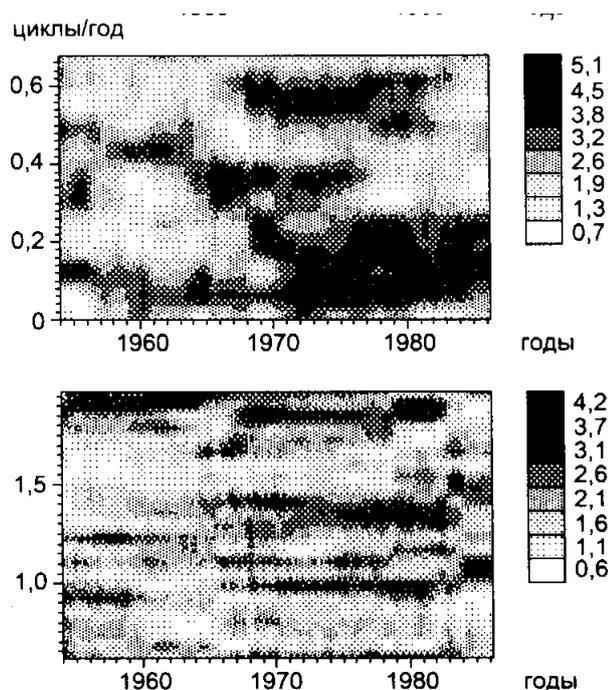


Рис. 35.20



### Часть 8

## САМОПОДОБИЕ ПРИРОДНЫХ ПРОЦЕССОВ. ВЕЙВЛЕТНЫЙ И ДРУГИЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА

*Рассмотрены некоторые теоретические и методические вопросы самоорганизации и самоподобия природных процессов, вопросы применения фрактального анализа при изучении сейсмотектонических областей и других природных объектов. Приведены также материалы по другим методам анализа данных мониторинга.*

### Глава 36

## САМООРГАНИЗАЦИЯ И САМОПОДОБИЕ СЕЙСМОТЕКТОНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ (рис. 36.1-36.6)

В последнее десятилетие нелинейный анализ превратился в один из основных способов получения новой информации в сейсмотектонике. Так, с 1982 года и по настоящее время теория фрактальных множеств широко используется для исследования тектонических

объектов, давая простейшее нетривиальное описание самоподобия разреженных лакунарных структур [Turcotte, 1992]. В последние годы исследование геометрии странных аттракторов динамических систем, а также турбулентных потоков стимулировало рождение математического аппарата, ориентированного на описание общего типа самоподобия объектов вероятностной природы - теории мультифрактальных мер [Mandelbrot, 1989]. Новая теория исследует масштабно-инвариантную природу мер или полей и, будучи более адекватной традиционным геофизическим задачам, постепенно занимает место теории фракталов при изучении тектонических процессов.

В конце 80-х годов была сформулирована концепция самоорганизации физических систем, претерпевающих критические состояния (Self-Organized Criticality, SOC) [Bak et al., 1987]. В соответствии с концепцией SOC эволюция систем, претерпевающих критические состояния, происходит вне связи с каким-либо характеристическим масштабом (самоподобно), т.е. определяется катастрофическими событиями всех масштабов, происходящими одновременно. С момента своего рождения концепция SOC рассматривала земную кору как пример природной системы в критическом состоянии [Feder, Feder, 1991]. Этот подход практически реализует одну

из наиболее плодотворных идей современной геофизики - идею органической взаимосвязи тектонических процессов, обусловленных самоорганизацией материала земной коры под действием тектонических напряжений. Как правило, концепция SOC использует мультифрактальную теорию для строгого описания геометрических характеристик самоподобных объектов.

Базовым понятием теории мультифракталов является понятие самоподобной меры, которая может быть индуцирована, например, точечным (самоподобным) множеством [Grassberger et al., 1988]. Пусть в  $n$ -мерном пространстве (в дальнейшем  $n$  будет равно 1 или 2) задана ограниченная область, покрытая сеткой с  $n$ -мерными прямоугольными ячейками ("боксами"). Будем считать, что в рассматриваемой области на точечном множестве определена (вероятностная) мера  $p$ , которая на  $i$ -том боксе принимает значение  $p_i$ . Элементы множества - носителя меры, предполагаются идентичными, могут иметь любую физическую природу и характеризуются только координатами в пространстве с ортонормированным базисом. Размер бокса сетки обозначим через  $r$ . Мультифрактальной мерой называется непрерывная сингулярная мера, сосредоточенная на множестве меры 0 по Лебегу, удовлетворяющая (асимптотически) условию локального самоподобия:

$$p_i \propto r^a \quad (1)$$

и условию глобального самоподобия:

$$\sum N_a(r) \propto \rho(a, r) r^{-f(a)}. \quad (2)$$

Все. Конец файлу, но не конец книге.

=====

Хартия исследователей ноосферы  
«Ноосфера.Общество.Человек»  
journal «Noosphere.Society.Man»

[http://noocivil.esrae.ru/;](http://noocivil.esrae.ru/)

<http://www.scireg.org/rus/files/fileinfo/458>