

С. М. ШУГРИН А. М. ОБУТ



**СОЛНЕЧНАЯ
АКТИВНОСТЬ
И БИОСФЕРА**

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИИ И ГЕОФИЗИКИ
ИНСТИТУТ ГИДРОДИНАМИКИ им. М. А. ЛАВРЕНТЬЕВА

С. М. ШУГРИН А. М. ОБУТ

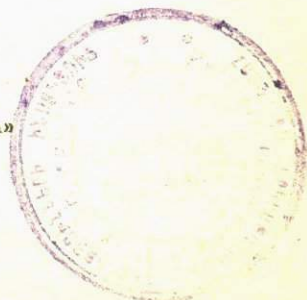
СОЛНЕЧНАЯ АКТИВНОСТЬ И БИОСФЕРА

Ответственный редактор
канд. геол.-мин. наук А. В. Каныгин

4698



НОВОСИБИРСК
ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
1986



Шугрин С. М., Обут А. М. Солнечная активность и биосфера. — Новосибирск: Наука, 1986.

В монографии приводятся многочисленные данные о влиянии периодичности активности Солнца на физические и биохимические процессы, динамику геосферы, климат и биосферу Земли; показана тесная связь изменений солнечной активности и эволюции биосферы. В книге затронут ряд дискуссионных положений.

Для палеонтологов, геологов, геофизиков и всех, кто интересуется вопросами развития жизни на Земле.

Рецензенты *В. П. Дубатов, Ю. Г. Шафер*

*Сергей Михайлович Шугрин
Александр Михайлович Обут*

СОЛНЕЧНАЯ АКТИВНОСТЬ И БИОСФЕРА

Утверждено к печати
Институтом геологии и геофизики СО АН СССР

Редактор издательства **И. С. Цитович**
Художественный редактор **М. Ф. Глазырина**
Художник **В. М. Рузайкин**
Технический редактор **С. А. Смородинова**
Корректоры **С. В. Блинова, А. А. Надточий**

ИБ № 23739

Сдано в набор 05.02.86. Подписано к печати 20.08.86. МН-01700. Формат 60 × 90 1/4.
Бумага типографская № 3. Обыкновенная гарнитура. Высокая печать. Усл. пел. л. 8.
Усл. кр.-отт. 8,5. Уч.-изд. л. 8,6. Тираж 1850 экз. Заказ № 36. Цена 1 р. 30 к.

Ордена Трудового Красного Знамени издательство «Наука», Сибирское отделение.
630099, Новосибирск, 99, Советская, 18.

4-я типография издательства «Наука». 630077, Новосибирск, 77, Ставильского, 25.

Создавая учение о биосфере, Вернадский [1965, 1967] прежде всего выделял глобальный геологический масштаб ее функционирования. И в то же время подчеркивал, что организация биосферы есть элемент космической организации.

Геологическая значимость процессов жизнедеятельности в биосфере в настоящее время общепризнана, и этот аспект учения Вернадского широко разрабатывается многими исследователями разных стран мира. Второй же тезис — о роли многообразных космических влияний на биосферу — длительное время недооценивался и вызывал недоверие или же интерпретировался слишком упрощенно. Приходится согласиться с Чижевским [Чижевский, Шишина, 1969], что в науке до сих пор в большой мере сохранились традиции геоцентризма, приводящие к невольному преувеличению роли факторов чисто земного происхождения. Но и в этом отношении в последние годы намечается определенный перелом. Все большее число исследователей начинают изучать различные космические воздействия на всевозможные процессы, протекающие на Земле. В 1974 г. в Москве даже состоялась все-союзная конференция, по материалам которой была опубликована книга «Космос и эволюция организмов». По-видимому, определяется и другая тенденция — связывать космические влияния на биосферу прежде всего с солнечной активностью [Чижевский, 1973].

Однако изучение космических влияний наталкивается на многие трудности, возникающие из-за сложности и разнообразия рассматриваемых явлений, а также потому, что не всегда удается выделить немногие доминирующие причины их возникновения. Поэтому здесь необходим комплексный, системный подход. Космос представляет собой сложную, иерархически устроенную (многоуровневную) единую систему, многообразно воздействующую на каждую из своих подсистем. Прежде всего следует выделить важнейшие «системные» характеристики интересующего нас целого, которые далее должны быть «спроецированы» на каждую из основных подсистем. Это «проецирование» позволяет в каждой подсистеме выделить факторы, наиболее значимые для целого, т. е. «систем-

ные» («космические»). Каждая из изучаемых подсистем должна быть далее рассмотрена индивидуально, с учетом ее специфики, причем в первую очередь следует обратить внимание на особенности проявления и трансформации выделенных системных факторов. Степень детализации такого рассмотрения определяется как целью исследования, так и имеющимися возможностями, в первую очередь современным уровнем знаний. В заключение должна быть сделана попытка синтеза детализированной на втором этапе информации в единое целое.

Предварительно можно сказать, что к важнейшим общесистемным факторам относятся:

информационность — космические влияния на Землю, и в частности на биосферу, воспринимаются через посредство планетных структур (геосфер), включающих сложно организованную систему положительных и отрицательных обратных связей, которые способны регулировать направление основных потоков энергии в геосферах и сами подвержены влиянию космических факторов. При определенных условиях эта система может усиливать внешние (космические) воздействия;

временные циклы — существует иерархическая система временных циклов разных масштабов; земные циклические процессы могут синхронизироваться космическими; возможна также взаимная синхронизация параллельно протекающих земных процессов при установлении между ними «резонансных» отношений; процессы, протекающие в циклах разных временных масштабов, качественно различны;

кумулятивность — существуют разные фазы космической динамики и соответственно динамики земных процессов — фаза повышенной активности, во время которой происходит увеличение числа и разнообразия различных активных событий, их соединение и взаимное усиление (кумуляция), а также фаза относительно более пассивная, во время которой прежние связи, возникшие благодаря синхронизации, могут частично распадаться, заменяясь более «случайной» системой отношений;

асимметрия и диссимметрия — во всех интересующих нас системах Космоса, геосфер и живого вещества на всех основных структурных уровнях их организации прослеживаются асимметрия и диссимметрия важнейших форм; для космических систем и геосфер — это различные вихревые образования, в которых имеется выделенное направление вращения и происходит перераспределение и трансформация момента количества движения; какой-то аналог характерной для вихря полярности, видимо, имеет место также для живого вещества, в частности для информационного поля в некотором биологически активном состоянии;

направленность эволюции — имеет место длительный процесс совместной направленной эволюции космической системы, в которую входит Земля, самой Земли (системы геосфер) и живого вещества, хотя этот процесс сильно усложнен временными циклами;

поэтому некоторые фундаментальные тенденции развития биосферы обусловлены соответствующими космическими тенденциями изменений, а также основными формами асимметрии космических динамических структур.

Обсуждению этих и некоторых других факторов и посвящена предлагаемая вниманию читателя книга.

Авторы считают своим долгом выразить искреннюю благодарность академику А. Л. Яншину, академику АМН СССР В. П. Казначееву и доктору геолого-минералогических наук В. Н. Дубатову за обсуждение рукописи книги и полезные рекомендации, а также кандидату геолого-минералогических наук, заведующему лабораторией микропалеонтологии ИГиГ СО АН СССР А. В. Каныгину за любезное согласие быть научным редактором работы.

**СОЛНЕЧНАЯ АКТИВНОСТЬ
И СОЛНЕЧНАЯ СИСТЕМА**

Общепризнано, что Солнце — это желтый карлик, слабопеременная звезда, медленно эволюционирующая в направлении к красному гиганту. По существующим оценкам, светимость Солнца должна была увеличиваться приблизительно на 30% за те ~ 5 млрд. лет, которые оно существует как звезда главной последовательности [На переднем крае..., 1979]. Однако для геофизиков основные характеристики динамики Солнца по существу до сих пор не ясны. Отрицательные результаты опытов Дэвиса с солнечным нейтрино до сих пор не имеют признанного всеми объяснения, и есть исследователи, склонные поставить под сомнение самые основные концепции энергетики Солнца. Но по-видимому, наиболее простое и потому наиболее вероятное объяснение — в циклическом характере эволюции Солнца в отличие от рассматривавшейся ранее монотонной схемы развития. Согласно этой гипотезе, интенсивные термоядерные процессы ведут к расширению ядра Солнца и к увеличению излучения, в результате чего меняется состояние ядра и снижается интенсивность ядерных реакций; следствием этого является охлаждение ядра и его сжатие, что ведет в конечном счете к интенсификации термоядерных реакций и т. д. По предварительным оценкам, колебание светимости Солнца в подобном цикле могло составлять около 10% за несколько миллионов лет. С позиций геофизики это слишком много; более реальной кажется цифра ~ 3%.

Хотя эта гипотеза скорее всего в ряде пунктов будет пересматриваться и уточняться, основной постулат о существовании больших циклов динамики Солнца представляется правильным. Эти циклы накладываются на необратимую в целом эволюцию Солнца в направлении к красному гиганту, что ведет к сложной динамике изменения светимости и структуры циклов; в частности, общее увеличение светимости, вероятно, связано с интенсификацией циклических форм активности, хотя эта связь может быть довольно сложной.

Следует подчеркнуть, что существование больших циклов солнечной активности играет значительную роль для геофизики прошлого Земли и для палеонтологии, так как оно должно отразиться на общем циклическом характере процессов и в геосфере,

и в биосфере, причем эти циклы оказываются тесно связанными с направленной в целом эволюцией Солнца, с одной стороны, и с необратимыми изменениями в геосфере и биосфере — с другой.

Наиболее изучен в настоящее время 11-летний цикл солнечной активности.

Известно, что колебание солнечной постоянной (общей энергии излучения на единичной площадке, перпендикулярной солнечным лучам и находящейся на середине расстояния между Землей и Солнцем) в этом цикле чрезвычайно мало. По данным опытов, оно не более 1%; наиболее вероятным представляется колебание порядка 0,25—0,75% за цикл в зависимости от его мощности (для солнечных циклов XX в.). Однако спектральное распределение энергии во время вспышки на Солнце значительно меняется, резко (на несколько порядков) увеличивается корпускулярное излучение. В настоящее время земная атмосфера прозрачна для двух диапазонов излучения Солнца — в области видимого света (оптическое окно) и в области радиоизлучения (радиоокно) в диапазоне длин волн примерно от 1 мм — 1 см до 10—50 м. В оптическом диапазоне и близких к нему частях спектра, где поступает основной поток энергии, существенных изменений не наблюдается. В радиодиапазоне энергия излучения может меняться в тысячи раз. Все эти излучения не являются по структуре чисто «шумовыми», но несут в себе некоторую информацию. Переменная, но медленно меняющаяся компонента радиоизлучения (*S*-компонента) в сантиметровом и миллиметровом диапазоне поляризована по кругу. Поток излучения мощного источника, который обычно локализуется над группой пятен, имеет пик для длин волн $\lambda \sim 6-8$ см, а степень поляризации максимальна на коротких сантиметровых волнах. Кроме медленно меняющейся компоненты существуют радиовсплески, значительно более кратковременные, но в своем максимуме гораздо более мощные. Они также в большей или меньшей степени поляризованы по кругу [Поток..., 1980]. Как известно, оптический диапазон имеет огромное значение для биосферы. Точно так же и существование радиоокна должно иметь для нее большое значение, тем более что характерные длины волн здесь соответствуют характерным размерам живых организмов.

Существует гипотеза (см., например, [Жвирблис, 1980, 1982]), что биологическая значимость слабого электромагнитного поля определяется прежде всего, видимо, типом его хиральности, т. е. типом круговой поляризации. Поэтому некоторые компоненты солнечной радиации в области сантиметровых радиоволн могут оказаться особенно биологически активными. Значительно (примерно в 2 раза) меняется распределение энергии излучения в ультрафиолетовой и примыкающих к ней частях спектра. Корпускулярное излучение, так же как ультрафиолетовое и гамма-излучение, несущие в себе высококонцентрированную энергию, в настоящее время задерживаются магнитосферой и верхними частями атмосферы (озоновым экраном и другими образованиями) и непосредственного воздействия на живое вещество практически

не оказывают. Но они вызывают значительные изменения в магнитосфере и в верхней атмосфере, которые инициируют магнитные бури и другие явления, уже значимые для биосферы. В далеком прошлом эти излучения могли воздействовать на живое вещество более непосредственно, поскольку озоновый экран отсутствовал, да и существование тогда магнитосферы в ее современной форме весьма проблематично. Современный радиационный экран Земли, который состоит из ряда компонентов (уровней), сформировался в течение сотен миллионов лет в результате комплексного воздействия Солнца, гео- и биосферы. Через воздействие на этот экран биосфера оказалась источником важнейших изменений в геосфере; в частности, несомненно участие биосферы в формировании современной глобальной электромагнитной структуры Земли. Несомненно также и обратное — существенное воздействие последней на глобальные динамические процессы в биосфере.

От цикла к циклу происходит регулярное изменение магнитной полярности основных активных образований («пятен» и некоторых других). Если для четных циклов ведущие пятна имеют одну полярность, то для нечетных — другую, причем в северном и южном полушариях Солнца полярность основных образований различна (так что возникает диссимметричная структура магнитной динамики). Поэтому многие исследователи считают, что основным является 22-летний магнитный цикл, который состоит из двух полциклов примерно по 11 лет.

Следует обратить внимание на одну важную особенность 11-летнего цикла — его «взрывной» характер. Этим он отличается от циклов значительно большей длительности, гораздо более плавных и регулирующих интенсивность и другие особенности проявления 11-(или 22-)летнего цикла. С «взрывными» формами солнечной деятельности в ходе 11-летнего цикла связаны кратковременные резкие возмущения геомагнитного поля (магнитные бури и пр.).

Интегрально степень солнечной активности часто характеризуют числами Вольфа W , определяемыми по формуле

$$W = k(f + 10g),$$

где g — число групп пятен на видимом солнечном диске, f — полное число пятен, включая пятна в группах; коэффициент k зависит от условий наблюдения. График изменений чисел Вольфа приведен на рис. 1. Систематические наблюдения за изменениями чисел Вольфа начались с середины XIX в., а более ранние наблюдения не носили систематического характера и потому не всегда достоверны. Кроме того, как сейчас уже ясно, солнечные пятна не служат сами по себе наиболее существенной характеристикой солнечной активности: скорее, это вторичные проявления более глобальных процессов; они также не могут считаться непосредственной причиной многих важных земных эффектов этой активности. Их ценность состоит, во-первых, в том, что за ними легко следить. По этой причине имеется не только длинный ряд непре-

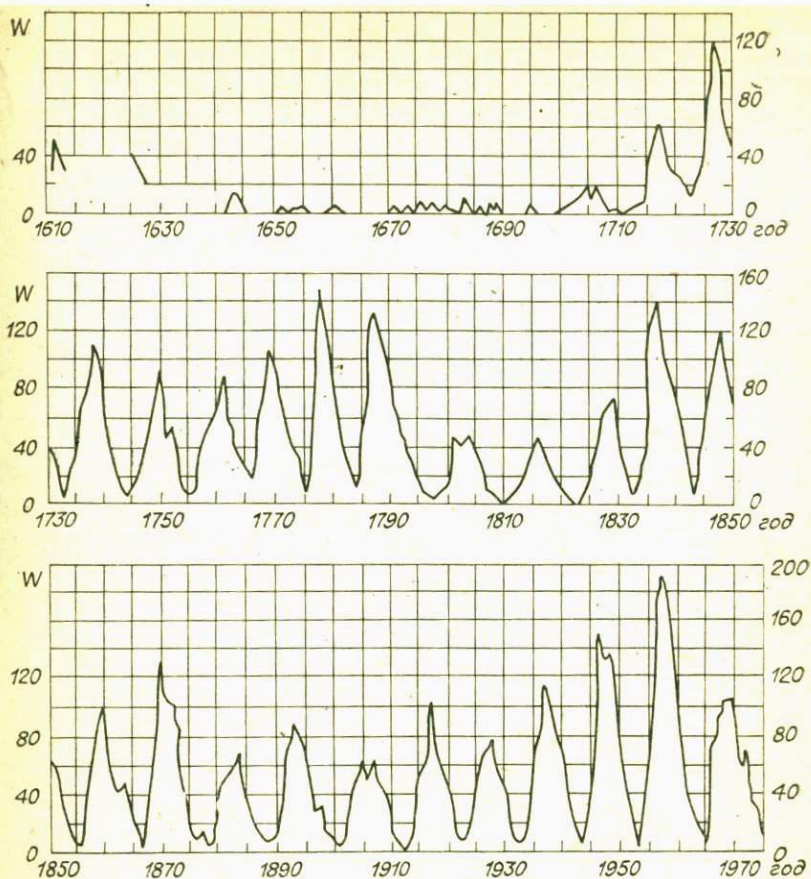


Рис. 1. Среднегодовые числа солнечных пятен [Поток..., 1980].

рывных наблюдений, но и некоторые сведения о пятнах на Солнце в летописях и других источниках за длительный исторический период. Другие, более точные и полные характеристики активности фиксируются примерно с начала XX в. или даже только в последние 20—30 лет, что приводит к большим трудностям при попытке экстраполяции наблюдаемых явлений на более длительный период. Во-вторых, ценность чисел Вольфа в том, что, как оказалось, многие (но не все!) проявления солнечной активности имеют высокий коэффициент корреляции с ними.

В начале цикла основные области пятнообразования находятся на широтах примерно $\pm 40^\circ$ (начальная широта зависит от мощности цикла — чем мощнее цикл, тем она выше), а затем они смещаются к экватору; в конце цикла они располагаются в интервале широт $\sim 7,5-12,5^\circ$, где постепенно исчезают. Вместе с ними смещаются к экватору и некоторые другие проявления солнечной активности. Из-за особенностей строения Солнечной системы

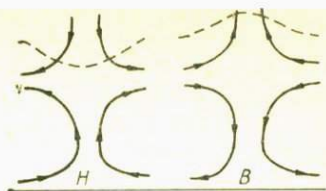
наибольшее влияние на земные явления оказывают активные процессы (вспышки и др.) около экватора. Синодический период вращения Солнца 27,0 сут, часто используемый в статистических геофизических исследованиях, соответствует гелиографической широте $\pm 8^\circ$ [Витинский и др., 1976]. Поэтому хотя к концу цикла активность Солнца ослабевает, относительное влияние некоторых активных солнечных образований на земные процессы может увеличиться. Из-за существования дифференциального вращения Солнца, т. е. сильной зависимости периода вращения от гелиографической широты, в ходе цикла меняются также периоды некоторых солнечных явлений, связанных с пятнами, — от ~ 30 сут соответственно широтам около 40° до 27 сут соответственно широтам $5-10^\circ$ (периоды синодические, т. е. отнесенные к земному наблюдателю). Вместе с тем в ритмике ряда явлений на разных широтах, вопреки дифференциальному вращению, обнаруживаются черты определенной синхронности, что позволило выделить активные долготы на Солнце. Комплексы активности, соответствующие этим долготам, имеют период около 27 сут. Они могут сохраняться в течение нескольких лет. По-видимому, такие долготы существуют попарно на расстоянии примерно 180° друг от друга. На активных долготах повышена частота протонных вспышек.

Измерение скоростей движения газа в солнечных пятнах показало, что на уровне невозмущенной фотосферы и глубже газ вытекает из пятна с некоторым антициклоническим закручиванием (и с некоторой восходящей составляющей) со скоростью около 2 км/с, растущей с глубиной до 5—6 км/с. Такое движение прослеживается до высот 500—1000 км над поверхностью Солнца, а выше оно меняет знак, и на высотах примерно 2000 км в хромосфере наблюдается циклонически закрученное втекание газа в видимую область пятна с некоторой нисходящей составляющей [Монин, 1980].

Таким образом, пятно — это образование, аналогичное до некоторой степени земным антициклонам. Заметим, что, по мнению некоторых метеорологов, над антициклоном возможно существование ячейки обратной циркуляции с восходящим движением воздуха (в самом антициклоне преобладает нисходящее течение), а над циклоном — ячейки с нисходящим движением. Область раздела находится на высотах примерно 10—12 км, т. е. вблизи тропопаузы, где имеются мощные струйные течения, связывающие циклоны и антициклоны, и где происходит интенсивный перенос момента количества движения к полюсам. Следовательно, по этим представлениям, в верхней тропосфере имеет место втекание воздуха в антициклон, а в стратосфере — вытекание; для циклона картина обратная. Такой характер циркуляции объясняет особенности распределения озона над циклонами и антициклонами и некоторые другие явления. Эта схема течений показана на рис. 2 и носит название схемы Пальмена (см. также [Хромов, 1948; Витинский и др., 1976; Лоренц, 1970]).

Рис. 2. Схема Пальмена.

В — область высокого давления (антициклон), Н — область низкого давления (циклон). Штриховой линией показано примерное положение тропопаузы.



Но наряду с чертами сходства между ними есть и значительные различия.

Во-первых, резко отличны их энергетические параметры, т. е. термодинамика явления. Уже отсюда следует ряд фундаментальных различий. Например, при скоростях 1—5 км/с в окрестности пятна возможно формирование системы спиральных ударных волн, с которыми, быть может, связаны некоторые вспышки. Во-вторых, все солнечные пятна имеют сильные магнитные поля. Напряженность магнитного поля в центре пятна растет с его площадью и варьирует в диапазоне от 100 до 4 тыс. Гс. По традиции кинематике магнитных силовых линий в этих явлениях уделяется основное внимание, хотя гидродинамический аспект здесь, несомненно, не менее важен.

Итак, можно полагать, что пятна — это некоторые вихревые образования в солнечной плазме и, по-видимому, усиление пятнообразования свидетельствует об усилении специфических форм вихревой динамики в верхних слоях Солнца.

Пятна — не единственные заметные образования на Солнце. Существует еще ряд других: гранулы, факелы, хромосферные вспышки и другие, описания которых имеются во всех современных монографиях по физике Солнца. Некоторые из них связаны с пятнами и зависят от уровня и фазы солнечной активности, хотя обычно это корреляция статистического типа; другие входят в число стабильных образований, по крайней мере по данным имеющихся наблюдений.

В тесной связи с солнечными процессами и как непосредственное их продолжение выступает динамика межпланетного магнитного поля. Обычно наблюдается устойчивая секторная структура этого поля с чередованием секторов с противоположными (к Солнцу или от Солнца) преимущественными направлениями магнитного поля. В годы спокойного Солнца чаще всего наблюдается четырехсекторная структура; вблизи максимума и в фазе роста цикла солнечной активности более типична двухсекторная структура. С межпланетным магнитным полем взаимодействуют заряженные частицы солнечного ветра (главным образом протоны и электроны) — в своем движении от Солнца они закручиваются вокруг магнитных силовых линий этого поля по или против хода часовой стрелки в зависимости от того, в какой сектор попадают. С секторной структурой коррелируют скорость солнечного ветра, концентрация протонов и некоторые другие его параметры. Характерный период вращения секторной структуры — около

27 сут, что указывает на ее преимущественную обусловленность процессами, идущими около экватора Солнца. По некоторым данным, период вращения секторной структуры может меняться в зависимости от фазы активности Солнца от 28,3 сут в начале цикла до 27,1 сут в конце 11-летнего цикла [Витинский и др., 1976].

В солнечном ветре возможно образование ударных волн, особенно после сильных вспышек на Солнце. При столкновении такой волны с магнитосферой Земли в ней возникают резкие возмущения, в частности могут инициироваться магнитные бури.

Природа 11-летнего цикла пока остается спорной. В настоящее время многие исследователи считают, что он вызван существованием стабильного дифференциального вращения Солнца и определяемыми им особенностями динамики магнитных полей; некоторую роль играют также силы Кориолиса, способствующие образованию вихревых структур, аналогичных до некоторой степени земным циклоническим и антициклоническим формам, усложненным, однако, магнитогидродинамическими эффектами.

Средний (кэррингтоновский) синодический, т. е. отнесенный к Земле, период вращения Солнца, который определяется по движению пятен, равен $\sim 27,3$ сут (соответствующий сидерический период, т. е. отнесенный к «неподвижным» звездам, равен $\sim 25,4$ сут, что отвечает $\sim \pm 16^\circ$ гелиографической широты). Синодический период вращения экваториальных областей несколько меньше 27 сут (сидерический период ~ 25 сут). Около полюсов синодический период ~ 40 сут (сидерический период ~ 35 сут) [Витинский и др., 1976; Гибсон, 1977].

Таким образом, налицо резкая неравномерность вращения вещества Солнца на разных широтах. Поскольку турбулентный обмен ведет к выравниванию угловых скоростей (если нет противодействующих факторов), то должен быть регулярный перенос вихря (момента) с высоких широт в направлении к экватору. Возможно, это частично проявляется в смещении различных активных образований с более высоких широт к экватору в ходе солнечного цикла. Динамика колебаний в этом процессе переноса — один из основных факторов, определяющих динамику всего феномена. Существуют разные полуэмпирические модели явления, акцентирующие различные его аспекты, в основном некоторые особенности кинематики магнитных полей. В общем все они приводят к магнитному циклу колебаний. Хотя основную роль (по энергетическим параметрам) в этом явлении, несомненно, играют внутренние процессы, протекающие на Солнце, некоторое («регулирующее» или «информационное») значение имеет также совокупное воздействие всех планет Солнечной системы.

По Джойсу [Jose, 1965], существует высокая степень корреляции между циклами изменений некоторым образом определенного момента Солнца относительно центра масс Солнечной системы и числами Вольфа, причем соответствие распространяется также на магнитную фазу цикла. Изменение центра Солнца относительно центра масс Солнечной системы определялось совокупным влия-

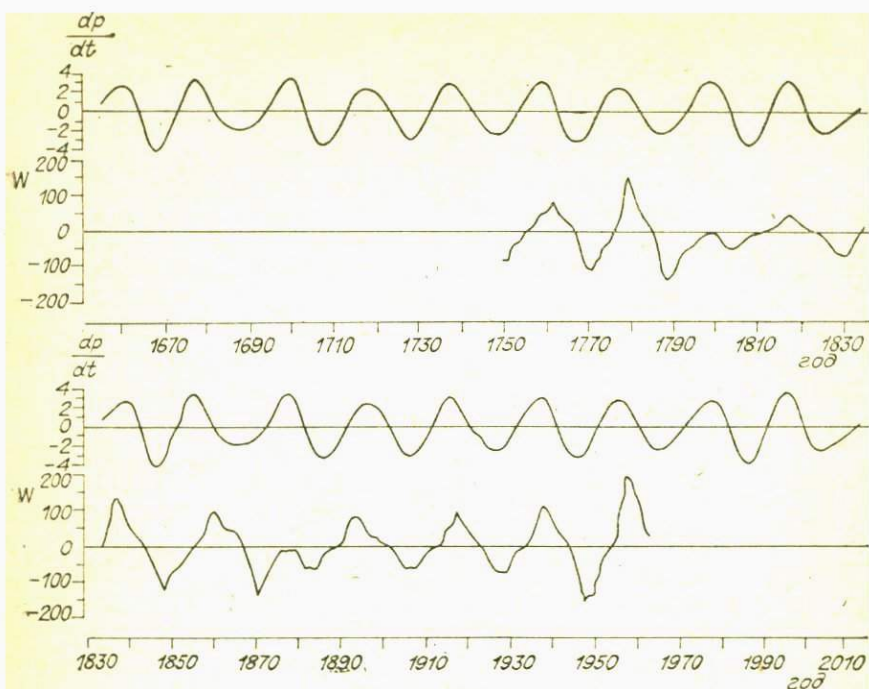


Рис. 3. Солнечная активность (W) и изменение момента Солнца $\left(\frac{dp}{dt}\right)$.

нием в основном больших планет — Юпитера, Сатурна, Урана и Нептуна. Результаты Джойса приведены на рис. 3. Числам Вольфа здесь приписан знак плюс или минус в зависимости от фазы магнитного цикла. Однако прямые измерения этой фазы проводились только с начала XX в., поэтому тот или иной знак данным предыдущего периода приписывается предположительно. Судя по графику, корреляция частот (циклов) выражена более отчетливо, чем корреляция амплитуд.

К сожалению, в настоящее время совсем не ясно, как можно физически естественно связать эти две характеристики, т. е. числа Вольфа и изменение момента Солнца. Если подтвердятся некоторые гипотезы о значительной неоднородности строения Солнца по глубине, т. е. о наличии отчетливой гравитационной его стратификации, в частности о существовании плотного ядра, то можно будет попытаться объяснить явление с наличием плотного ядра относительно центра Солнца, неравномерностью распределения вариаций полного момента Солнца по глубине, т. е. по различным сферам, и вытекающей отсюда динамикой магнитогидродинамических возмущений. Но какова бы ни была природа этого соответствия, она как-то связана с близостью периодов колебаний двух различных процессов, так что между ними устанавливаются

«резонансные» отношения. В итоге более регулярный процесс (воздействие планет) синхронизирует более активный, но вместе с тем и более пластичный процесс (внутреннюю динамику колебаний Солнца).

Следует отметить, что вообще в Солнечной системе имеется ряд «резонансов», происхождение которых и особенно их влияние на различные динамические процессы, протекающие в Солнечной системе, не всегда ясны [Молчанов, 1973; Приливы..., 1975; Альвен, Аррениус, 1979]. Их наличие может привести к высокой чувствительности соответствующих систем к внешним воздействиям определенного информационного типа, т. е. имеющим определенный спектр частот.

Резонансным в небесной механике называется соотношение вида

$$n_1\omega_1 + n_2\omega_2 + \dots + n_k\omega_k = 0,$$

где $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_k$ — частоты обращения соответствующих планет вокруг Солнца (или спутников какой-то планеты вокруг нее) в их среднем движении; n_1, n_2, \dots, n_k — целые числа (положительные или отрицательные).

Точных (практически) резонансов в Солнечной системе немного, но зато обнаружено большое число приближенных резонансов, которые выполняются с хорошей точностью — порядка 1% и менее. Примером может служить классический резонанс 2 : 5 Юпитера и Сатурна, известный еще Лапласу:

$$2\omega_{\text{Юп}} - 5\omega_{\text{Сат}} \approx 0.$$

Другим примером служит соотношение, найденное Молчановым:

$$\omega_{\text{Юп}} - 2\omega_{\text{Сат}} - \omega_{\text{Ур}} - \omega_{\text{Пл}} \approx 0.$$

Из последних двух соотношений следует простое и красивое соотношение

$$\omega_{\text{Сат}} \approx 1/3 (\omega_{\text{Юп}} + \omega_{\text{Ур}} + \omega_{\text{Пл}}).$$

Некоторые из таких резонансов в настоящее время могут быть объяснены приливными воздействиями; для остальных строгой теории пока нет.

Рассматривая подобные соотношения, Молчанов [1973] выдвинул гипотезу о существовании резонансной структуры (полной резонансности) Солнечной системы. По его мнению, эволюционно зрелые колебательные процессы неизбежно резонансны, а их строение задано (подобно квантовым системам) набором целых чисел. Молчанову удалось найти для планет Солнечной системы полную систему резонансов, т. е. восемь соотношений для девяти планет. Более того, аналогичные резонансы он обнаружил для некоторых спутников планет. Все эти резонансы приближенные, но выполняются с хорошей точностью; числа n_k , как правило, небольшие, что также свидетельствует в пользу гипотезы Молчанова.

В последующих публикациях разных исследователей были выдвинуты соображения, подкрепляющие и уточняющие основную идею Молчанова, и проанализирована роль подобных резонансов в динамике Солнечной системы (см., например, [Белецкий, 1977; Блехман, 1981]). В частности, Блехман обратил внимание на то, что в нелинейных колебательных системах при очень общих условиях имеет место явление синхронизации колебательных процессов, причем даже при наличии очень слабых (по энергетическим оценкам) связей между осцилляторами; правда, чем слабее связь, тем больше время установления синхронности колебаний. Синхронизация протекает наиболее интенсивно, если характерные периоды собственных колебаний взаимодействующих колебательных систем близки, т. е. существует приближенный резонанс типа $1 : 1$. Но возможна также синхронизация и при более сложном соотношении периодов колебаний типа $n : m$, где n и m — целые числа, хотя чем сложнее это отношение (чем больше n и m , если считать, что дробь n/m несократима), тем более слабой, при прочих равных условиях, оказывается взаимная синхронизация осцилляторов. В системах, состоящих из многих осцилляторов, результатом синхронизации может быть, например, «коллективизация» колебаний, т. е. выделение набора осредненных частот, на которые настраиваются все или большинство осцилляторов, а также формирование различных сложных отношений между несколькими осцилляторами.

Как уже было замечено, основные резонансные соотношения в Солнечной системе не вполне точны, а выполняются с погрешностью $\sim 1\%$. При несовпадении, но близости периодов двух колебательных процессов возникают «биения», т. е. общее колебание со средней частотой, равной полусумме исходных частот, и вариацией фазы и амплитуды колебаний с частотой, определяемой разностью частот исходных колебательных процессов. Приближенные резонансы между несколькими связанными осцилляторами также, видимо, порождают в системе долгопериодические колебания типа биений. В Солнечной системе подобные биения могут выражаться в вариациях элементов орбит планет и положения оси их вращения. Характерные периоды таких колебаний — от 500 лет до 1 млн. лет. В нелинейных динамических системах биения могут определять небольшие регулярные возмущения осцилляторов и поэтому в принципе также могут синхронизироваться (синхронизация «второго порядка»), хотя интенсивность синхронизации здесь мала и для ее завершения необходимы большие интервалы времени. Тем не менее, учитывая огромность времени существования Солнечной системы, можно допустить возможность и таких синхронизаций. В итоге возникает единая система коллективных колебаний, имеющая иерархическую структуру.

Для Солнечной системы проведение детальных расчетов, имеющих целью выявить ее коллективные колебания и колебания ее основных подсистем, пока что наталкивается на большие трудности. Но, вероятно, четкое выделение разных временных масшта-

бов, основанное на современных эмпирических знаниях о точности резонансов, и соответствующие асимптотические разложения позволят со временем эти трудности преодолеть, что даст возможность уточнить и конкретизировать нарисованную выше качественную картину. Особый интерес имело бы выявление долговременных циклов изменения момента Солнца и положения оси его вращения. Эти параметры, с одной стороны, могут влиять на долговременную динамику солнечной активности, а с другой — на изменение положения активных областей на Солнце и межпланетного магнитного поля по отношению к планетам.

Близкие к резонансным явления имеют место в системе Луна — Земля — Солнце.

Период обращения Луны вокруг Земли, а также период ее вращения вокруг своей оси (сидерический лунный месяц) равен $\sim 27,32$ сут, что очень близко к кэррингтоновскому синодическому периоду вращения Солнца ($\sim 27,28$ сут). В результате приливных воздействий Луны возникают изменения в магнитосфере и верхней атмосфере, т. е., по сути, изменения свойств защитного экрана Земли в ритме, близком к ритму воздействия активных образований Солнца на Землю, так что влияние одного фактора может усиливаться за счет другого. Характерные периоды изменения приливных сил на Земле — $27,32$ сут (лунный тропический месяц, определяющийся широтными изменениями движения Луны) и $27,55$ сут (аномалистический лунный месяц, определяющийся существованием эксцентриситета орбиты Луны). На приливные процессы, вызываемые этими силами, накладывается еще один, более мощный процесс с близким ритмом — возникающие из-за неравенства солнечных и лунных суток солнечно-лунные приливы, период которых $29,53$ сут (синодический лунный месяц). Напомним, что основной период воздействия активных образований Солнца на Землю около 27 сут (по отношению к Земле), но из-за наличия дифференциального вращения Солнца возможны воздействия с периодами примерно от 27 до 30 сут.

Значительно реже эти резонансы были выражены в прошлом.

Как показали исследования кораллов, в среднем девоне (около 370 млн. лет назад) год состоял из 397 ± 7 сут, а месяц — из $30,59 \pm 0,13$ сут (очевидно, имеется в виду лунный синодический месяц). Таким образом, девонские сутки имели продолжительность около 22 ч, а девонский синодический лунный месяц — около $28,1$ современных суток (см. также [Стейси, 1972]).

С помощью линейной экстраполяции находим, что примерно между 600 — 650 млн. лет назад синодический лунный месяц был равен 27 современным суткам, т. е. имел место точный резонанс с Солнцем. Учитывая дифференциальный характер вращения Солнца и медленность эволюции системы Луна — Земля, можно считать, что вторая половина венда и начало кембрия прошли под знаком этого резонанса (см. также гл. 5).

Тропический лунный месяц имел длительность 27 сут примерно 80 — 90 млн. лет назад, т. е. во второй половине мела. Аномали-

стический лунный месяц имел длительность 27 сут ориентировочно 130 млн. лет назад, т. е. примерно в самом начале мела. Таким образом, мел и частично кайнозой также прошли под знаком резонанса, правда значительно более слабого, чем резонанс конца венда.

В динамике Луны имеются также многолетние периоды длительностью $\sim 18-19$ лет. Один из них — цикл Сарос (18,03 г.), известный с глубокой древности и характеризующий повторяемость солнечных и лунных затмений. Было бы интересно восстановить эволюцию во времени также и этих циклов.

Существуют еще некоторые резонансы, значительно менее ясные.

Период вращения Меркурия вокруг своей оси равен 59 сут, т. е. практически точно двум синодическим лунным месяцам. Период обращения Меркурия вокруг Солнца — около 88 сут по отношению к «неподвижным» звездам, т. е. близко к трем синодическим лунным месяцам (88,6 сут), и около 116 сут по отношению к Земле, т. е. близко к четырем синодическим лунным месяцам (118 сут). Точный резонанс имел место примерно 130 млн. лет назад, когда синодический лунный месяц содержал около 29 сут и 4 лунных месяца — около 116 сут.

Прямая связь между движениями Луны и Меркурия кажется невероятной, точнее, пренебрежимо малой. Но возможность каких-то косвенных связей пока исключать нельзя. Существует гипотеза о возможном влиянии на солнечную активность приливных воздействий Меркурия, Венеры, Земли и Юпитера [Максимов и др., 1970; Дружинин и др., 1974]. Судя по имеющимся оценкам, это воздействие чрезвычайно мало — примерно в 200 раз меньше приливных сил Луны, влияющих на Землю [Рубашев, 1964]. Но из-за значительно большей величины Солнца моменты этих сил уже оказываются сравнимыми, а именно трансформация и перенос момента в явлении солнечной активности особенно важны. Поэтому не исключено, что при каких-то обстоятельствах (при достаточно высокой активности Солнца) приливные воздействия планет могут синхронизировать некоторые процессы на Солнце, например динамику активных областей на соответствующих гелиоширотах. Это значит, что какие-то формы солнечной активности будут модулироваться с периодом, кратным характерному периоду солнечно-лунных приливов на Земле, и опять возникнут условия для формирования резонанса.

Хотя вопрос о роли всевозможных резонансов в динамических процессах, протекающих в Солнечной системе, еще совсем не ясен, видимо, все же можно считать, что по отношению к некоторым фундаментальным воздействиям, каков бы ни был их источник, Солнечная система должна рассматриваться как единое целое. Более того, если эти воздействия достаточно регулярны, то в принципе вероятно, что даже будучи энергетически слабыми, они могут синхронизировать активные процессы в некоторых из подсистем Солнечной системы.

Обсуждая проблему резонансов, Альвен и Аррениус [1979] замечают, что при определенных условиях образования, попавшие в резонанс, далее могут оставаться захваченными резонансом неограниченно долго; следовательно, резонансная структура стабилизирует Солнечную систему на очень большие периоды времени. Действительно, по мере формирования резонанса может возникнуть определенная согласованность взаимных силовых воздействий, препятствующая выходу из него. Но здесь необходимо различать устойчивость самой структуры, которая может быть очень высокой, и возможную изменчивость отдельных характеризующих ее параметров (элементов орбиты, положения осей вращения), преимущественно связанных с особенностями распределения и вариаций момента. В принципе резонансная система способна настраиваться на определенные внешние воздействия и усиливать их. Не случайно, что в не разрешенной до сих пор проблеме строгого обоснования устойчивости Солнечной системы для больших интервалов времени наибольшие трудности представляет наличие «малых знаменателей», появление которых обусловлено в конечном счете именно резонансами [Гребенников, Рябов, 1978]. Поэтому, как можно думать, устойчивость Солнечной системы относительна — при большой устойчивости в одном отношении, т. е. устойчивости основной структуры, она может оказаться очень чувствительной к определенным воздействиям в других отношениях.

В проблеме резонансов есть еще некоторые моменты, к которым полезно привлечь внимание. В. В. Белецкий [1977] считает, что резонансные движения служат «особыми траекториями» динамической системы и, аналогично «особым точкам» дифференциальных уравнений, могут быть устойчивыми и неустойчивыми. Устойчивые резонансы определяют, возможно, устойчивую в целом структуру Солнечной системы. Сильно неустойчивые резонансы фактически осуществиться не могут и фигурируют в классе всех динамически возможных траекторий как «запрещенные». Такие резонансы также проявляются в общей структуре Солнечной системы и обуславливают существование в ней «разрывов». Именно неустойчивыми резонансами, вероятно, вызваны наличие «провалов» в поясе астероидов и некоторые другие явления [Альвен, Аррениус, 1979]. Сильно неустойчивые резонансы могли оказаться особенно существенными в начальной фазе эволюции Солнечной системы, когда «первичное облако» распалось на дискретные части. Возможен также промежуточный случай резонанса слабо устойчивого или же относительно устойчивого (т. е. неустойчивого по отношению к специальным возмущениям). В этом варианте процессы синхронизации могут приводить систему к резонансному состоянию, которое, однако, точно осуществиться не может из-за своей неустойчивости. В результате может возникнуть, например, следующее: в среднем система находится близко к резонансному состоянию, т. е. в ее динамике отчетливо обнаруживаются соответствующие периоды, но на основное резонансное состояние накладываются сильные

колебания соответствующих параметров. Возможно, что-то подобное имеет место для феномена солнечной активности, где синхронизирующее воздействие планет накладывается, по-видимому, на активный, но относительно неустойчивый внутренний процесс [Физические основы..., 1977].

Совокупное влияние планет в какой-то степени регулирует динамику солнечной активности. Одновременно оно же вызывает возмущение орбит и положения оси каждой из планет, а также воздействует на межпланетные электромагнитные структуры. Далее все эти процессы трансформируются в синхронизированные в некоторых отношениях внутрипланетные процессы.

Здесь уместно напомнить о теории Миланковича и его последователей, связывающей изменения климата Земли с возмущениями ее орбиты, которые приводят к изменению положения Земли относительно Солнца и перераспределению солнечной радиации по сезонам и полушариям [Шараф, Будникова, 1969; Краснов, 1974; Изменения климата, 1980]. Чисто феноменологически эта теория хорошо соответствует данным о динамике ледниковых периодов за последний миллион лет. Вместе с тем физическая ее обоснованность у некоторых ученых вызывает сомнение, поскольку суммарное изменение радиации вследствие учитываемых факторов мало; кроме того, это изменение радиации очень медленное и плавное, тогда как переход к ледниковому периоду, судя по последним данным, совершался в своей начальной фазе очень резко [Изменения климата, 1980]. Ситуация, однако, может выглядеть совсем по-иному, если принять, что изменения положения Земли относительно Солнца до некоторой степени синхронны изменениям радиации Солнца и положения его оси, поскольку и то, и другое определяется совокупным влиянием планет. К сожалению, в настоящее время нет эмпирического материала для проверки и уточнения подобных гипотез.

Возвращаясь к обсуждению особенностей 11-летнего цикла, обратим еще внимание на следующее обстоятельство. Было отмечено, что внутренние процессы, характерные для этого цикла, связаны с динамикой вихревых структур, т. е. переносом момента. Отмечалось также, что имеется корреляция между изменениями чисел Вольфа и момента Солнца, причем в отношении характерных энергетических параметров такие корреляции или неизвестны, или слабо выражены и потому пока дискуссионны. Поэтому весьма вероятно, что какова бы ни была природа солнечной активности, трансформация и перенос момента (завихренности) — один из наиболее важных факторов. В частности, должен иметь место перенос вихря от Солнца как электромагнитным излучением, так и корпускулярным потоком; более общо можно говорить о переносе асимметрии, примером которой служит круговая поляризация некоторых форм солнечных излучений. Эти процессы, видимо, сильно зависят от особенностей протекания процессов на Солнце, в частности от фазы цикла, а также от особенностей секторной структуры межпланетного магнитного поля.

По Лунгерсгаузену [1957, 1964], ритмы, близкие к 11-летнему, прослеживаются в нижнем кембрии и даже в верхнем докембрии по изменениям отложений известковых лент и некоторых других образований. Это косвенно свидетельствует о высоком уровне стабильности 11-летнего цикла, что не вызывает удивления, если принять концепцию о синхронизирующем влиянии на него планет.

Из циклов высших порядков отметим прежде всего цикл, близкий к 180 годам. По Джойсу [1965], этот период обусловлен главным образом характерными изменениями взаимного расположения больших планет — Юпитера, Сатурна, Урана и Нептуна — и равен 178,77 года. Небольшое отклонение в длительности от наблюдаемого цикла солнечной активности, который, по вычислениям Джойса, близок к 178,55 года, может быть обусловлено или неточностями в наблюдениях в начальный период, или неучетом роли других планет и иных возможных физических факторов. Любопытно, что этот период очень близок десяти циклам Сарос (180,3 года). Из-за близости, но не совпадения этих периодов возникают биения с периодом около 21 тыс. лет, что, в свою очередь, близко к одному из характерных периодов изменения орбиты Земли (около 21 тыс. лет), обусловленному возмущениями планет. По-видимому, в настоящее время существует далеко идущая синхронность движений Луны и основных планет Солнечной системы.

180-летний цикл состоит из двух полуциклов, по-видимому, неравной длительности, примерно по 70—80 и 100—110 лет. В литературе их обычно называют 80—90-летними в соответствии со средней продолжительностью. В этих циклах меняются мощность и некоторые другие проявления 11-летних циклов. Важная особенность 80—90-летних циклов — регулярное изменение асимметрии расположения активных образований на северном и южном полушариях Солнца. Данные об этой асимметрии получены в основном по суммарным площадям солнечных пятен. Она проявляется в различии вклада северного и южного полушарий Солнца в его суммарную активность; так же регулярно изменяются некоторые другие характеристики. В эпоху минимума 80—90-летнего цикла активность распределяется более или менее равномерно по полушариям Солнца. Примерно через 20 лет, т. е. по истечении четверти цикла, активность преобладает в северном полушарии Солнца. В середине цикла, т. е. примерно в эпоху максимума, активность снова распределяется равномерно. По истечении трех четвертей цикла активность преобладает в южном полушарии. В конце наблюдается возврат к условиям минимума и активность равномерно распределяется между северным и южным полушариями Солнца. Иногда эта асимметрия может быть выражена чрезвычайно резко. Так, в 1672 — 1704 гг. в северном полушарии пятен вообще не было [Рубашев, 1964; Витинский и др., 1976]. В той мере, в какой кинематика процессов на Солнце определяется кориолисовыми силами, в разных полушариях при прочих равных условиях возникают противоположные формы завихренности (по или против часовой стрелки). Некоторые различия

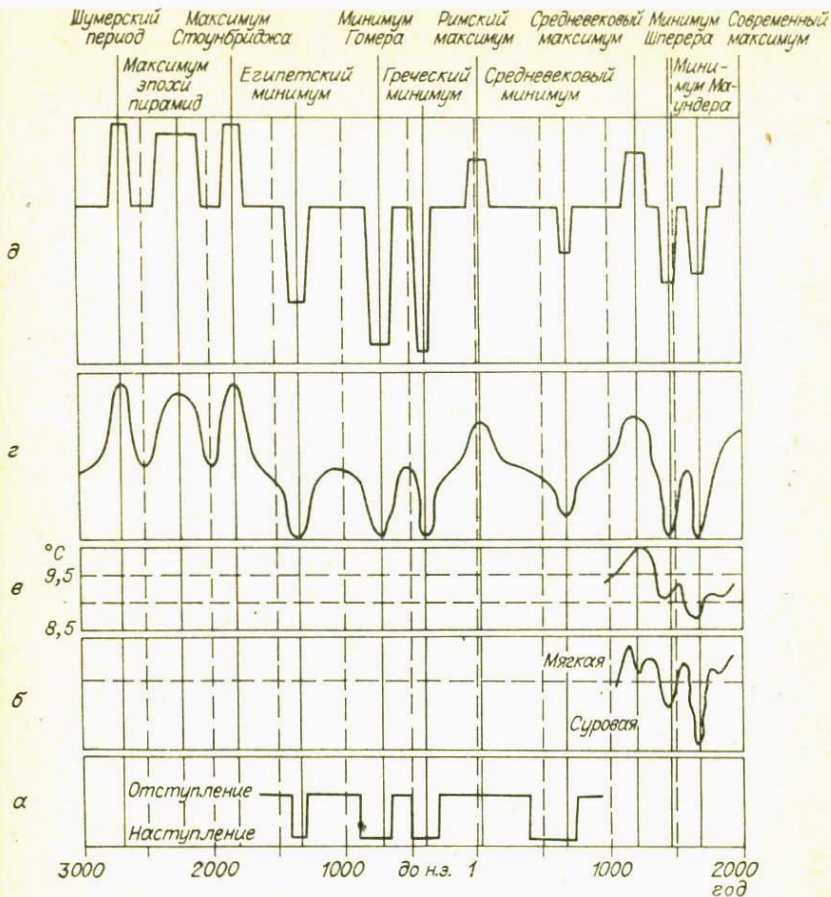


Рис. 4. Реконструкция хода солнечной активности за последние 5 тыс. лет [по Эдди, 1978].

α — движение ледников; β — коэффициент суровости зимы; γ — ход температур; δ — солнечная активность (δ — огибающая числа солнечных пятен, δ — содержание C^{14}).

могут вытекать также из особенностей строения и динамики магнитных полей. Таким образом, происходит изменение не только количественных (общей интенсивности), но и качественных характеристик 11-летних циклов. В ходе 11-летнего цикла также наблюдается асимметрия полушарий [Витинский, 1973].

В настоящее время неизвестно, чем обусловлена такая асимметрия активности полушарий Солнца, и потому нельзя уверенно судить о долговременных тенденциях динамики этой асимметрии. Если такие тенденции действительно существуют, то влияние одного из полушарий Солнца, например северного, на биосферу Земли может оказаться преобладающим, по крайней мере в критические эпохи ее эволюции.

Большой интерес представляют исследования Эдди [1978], который реконструировал ход солнечной активности за последние 5 тыс. лет. При этом обнаружился не вполне регулярный цикл в среднем порядка 500—700 лет (рис. 4). В основном был использован радиоуглеродный метод — изменение содержания C^{14} в кольцах древесных стволов зависит от уровня солнечной активности; учитывались также данные о пятнах на Солнце и необычных атмосферных явлениях (северных сияниях и др.), имеющиеся в летописях и других исторических письменных источниках [Eddy, 1977; Эдди, 1978; Поток..., 1980]. Следует заметить, что результаты Эдди содержат некоторый элемент неустойчивости, поскольку количество C^{14} зависит также от особенностей динамики геомагнитного поля, которая определяется как космическими факторами, так и процессами в глубинах Земли, очень инерционными по своим проявлениям, т. е. обладающими определенной автономией по отношению к космическим факторам интересующего нас сейчас временного масштаба. Но хотя результаты Эдди в дальнейшем будут, видимо, несколько откорректированы, они, несомненно, есть хорошее первое приближение и могут быть использованы для анализа и законов солнечной активности, и особенностей солнечно-земных связей.

Обратим внимание на один момент. Как правило, промежуток времени между соседними максимумами — не более 600 лет (за наиболее достоверный исторический период). Исключение из этого правила — время между «римским» и «средневековым» максимумами, которое оказывается ~ 1200 лет. На этот интервал приходится максимум геомагнитного поля в цикле его изменений 7—10 тыс. лет, который примерно совпадает со «средневековым» минимумом (рис. 5). Поэтому можно ожидать, что здесь погрешности радиоуглеродного метода, основанного на использовании корреляций, характерных для современного состояния геомагнитного поля, будут наиболее велики из-за сильного изменения состояния электромагнитного экрана Земли. Поэтому не исключено, что ориентировочно между VII и XI вв. был небольшой

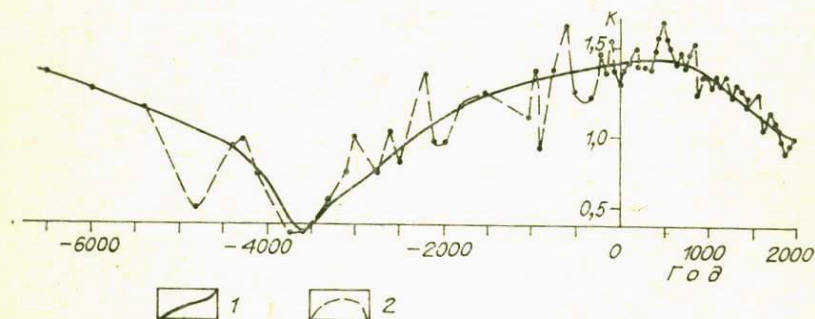


Рис. 5. Изменения напряженности магнитного поля Земли по отношению к его современному значению (без учета данных по Индии) [Бурлацкая, 1970].

1, 2 — усредненные мировые данные за 500 (1) и за 50 (2) лет.

максимум, пропущенный Эдди. С этой гипотезой согласуются особенности изменения геомагнитного поля. Некоторые исторические свидетельства также как будто подтверждают, что было два средневековых максимума, причем более поздний из них, возможно, приходится на XIV в., т. е. несколько позже, чем по схеме Эдди [Рубашев, 1964].

Отметим еще, что в структуре циклов Эдди прослеживается что-то вроде 900—1200-летнего цикла, который, вероятно, состоит из двух полуциклов — длинного (~600—700 лет) и короткого (~200—300 лет). Независимые геофизические подтверждения существования такого цикла нам, однако, не известны. Что же касается ~600-летнего цикла, то его существование предполагалось исследователями задолго до Эдди на основании различных косвенных данных. Одним из первых это утверждал Рубашев по материалам, касающимся числа комет, открытых невооруженным глазом за последние 2500 лет. Он допускал также существование ~900-летнего цикла, хотя и с большой степенью неуверенности.

Высказывалось предположение о возможности 1800—2000-летнего солнечного цикла на основании обнаруженной цикличности степени увлажненности и некоторых других геофизических факторов [Ритмичность..., 1971; Дружинин и др., 1974]. Результатами Эдди существование такого цикла не подтверждается. Этот цикл примерно совпадает с одним из периодов изменения геомагнитного поля, определяемым его «западным дрейфом». Возможно, что замеченные в этом цикле климатические изменения обусловлены именно динамикой геомагнитного поля. Впрочем, пока еще нельзя исключить, что вариации геомагнитного поля сами порождены космическими процессами, поскольку возможны не только резонансы типа $1 : 1$, которые обычно учитываются в теории солнечно-земных связей, но и более сложные резонансы типа $n : m$, а также различные долговременные биения.

Циклы более высоких порядков приходится восстанавливать по косвенным данным, поэтому их величины следует рассматривать как ориентировочные и требующие подтверждения.

Очень вероятным представляется существование цикла 7—10 тыс. лет, связанного с характерными изменениями магнитного поля Земли и климатических процессов. Возможно также существование цикла порядка 20—40 тыс. лет. Подобные циклы (~20 и ~40 тыс. лет) — это характерные циклы изменений элементов орбиты и положения оси Земли, поэтому многие геофизики, вслед за Миланковичем, пытаются объяснить динамику ледников за последний миллион лет перераспределением солнечной радиации по сезонам года. Но, как уже отмечалось, в этих объяснениях есть уязвимые для критики моменты. По полученным недавно данным, изменения климата за последний миллион лет хорошо коррелируют с динамикой геомагнитного поля (рис. 6). Но трудно поверить, что большие изменения геомагнитного поля есть результат медленных и плавных изменений элементов орбиты Земли. Более вероятно, что за всеми этими явлениями стоит сложная синхро-

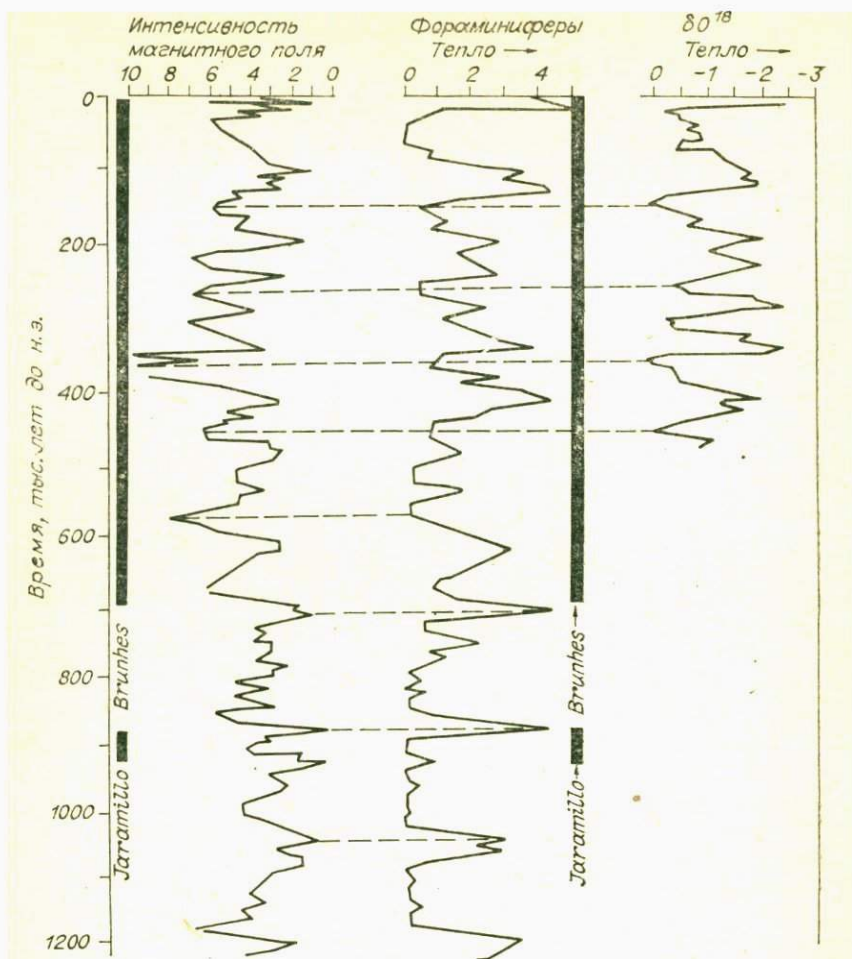


Рис. 6. Изменение температуры океана и напряженности магнитного поля [Wollin e. a., 1971].

низация различных космических и земных процессов. Конечно, теорию Миланковича не следует полностью отбрасывать — в ней есть свои рациональные моменты. Но в целом она слишком упрощает действительную картину.

Возможным кажется также существование цикла порядка 100 тыс. лет. Вероятен цикл порядка 1—5 млн. лет. Почти не вызывает сомнений существование циклов 20—30, 40—60 и 160—200 млн. лет. Последний цикл достаточно отчетливо прослеживается в истории Земли по ряду параметров. Вместе с тем он имеет порядок галактического года, т. е. периода обращения Солнечной системы вокруг ядра Галактики. Его наличие, вероятно, свидетельствует о существовании процессов галактического масшта-

ба, способных воздействовать на Солнечную систему. Быть может, это связано с какими-то формами активности ядра Галактики, воздействующими на Солнечную систему через посредство галактической структуры электромагнитных и других полей. Вопрос этот пока остается дискуссионным. Неясно также, можно ли считать галактический год последним циклом, или еще имеется сверхцикл порядка 1000—1500 млн. лет.

В литературе приводятся различные величины длительности галактического года. Здесь нет смысла обсуждать, какая из них должна считаться наиболее достоверной, поскольку пока не определено, по отношению к каким событиям эта величина должна вычисляться. Например, можно определять галактический год по эксцентricности движения Солнечной системы относительно ядра Галактики, по моментам ее прохождения через спиральные рукава Галактики и т. д. Если галактический год действительно отразился в истории Земли, то он должен определяться прежде всего по совокупности данных геологии, геофизики и палеонтологии, и только затем нужно выяснять, с какого рода космическими процессами в нашей Галактике он может быть соотнесен. Возможно, что после внимательного анализа всех данных окажется, что существует не один галактический год, а два или более различной длительности (примерно 160—180 и 220—250 млн. лет). Аналогично дело обстоит с «земным» годом, который представлен двумя годами различной длительности — основным солнечным (365,26 сут) и лунным (354,37 сут), из-за несовпадения которых возникают биения с периодом $\sim 32,5$ лет, который близок к утроенному 11-летнему циклу. Точно так же существование различных галактических периодов может привести к формированию более длительного цикла, например порядка 1000—1500 млн. лет.

Какие бы галактические факторы ни были ответственны за проявление галактического года в земных процессах, одно во всяком случае несомненно: они воздействуют на Солнечную систему как на нечто целое. Благодаря ее резонансной структуре в ней возбуждается система согласованных возмущений, проявляющихся в вариациях элементов орбит планет, положения осей их вращения, в изменениях межпланетного магнитного поля. Процесс синхронизации захватывает также Солнце и приводит к возбуждению или перестройке солнечной активности. Последняя затем, в свою очередь, отражается во внутрипланетных процессах.

Подводя итоги, выделим следующее.

1. Практически не вызывает сомнений существование сложной иерархии циклов солнечной деятельности, которые должны приводить к циклическим изменениям процессов в геосфере и биосфере. Эти циклы накладываются на необратимые в целом процессы изменений Солнца, Земли и ее биосферы.

2. Характер проявления циклов разных масштабов существенно различен. В коротких циклах (11-летний и сравнимые с ним) основную роль играют «взрывные» процессы и, быть может, вариации, трансформации и перенос момента (вихря); изменения средней энергии излучения здесь малы. Длинные циклы прежде всего связаны с изменением интенсивности и некоторых других параметров, характерных для коротких циклов. В больших циклах (1 млн. лет и более) уже должны быть заметны вариации полной энергии излучения. Порядок вариации энергии на средних циклах пока не ясен (вероятно, не более 2—2,5%).

3. Динамика ряда явлений зависит от системы «резонансных» отношений, т. е. от близости ритмов двух различных, но параллельно протекающих процессов. В результате этого более активный, но менее регулярный (более пластичный) процесс может синхронизироваться процессом менее активным, но более регулярным. Этот процесс синхронизации, в свою очередь, может быть источником различных «резонансных» отношений.

4. Изменение солнечной радиации в циклах активности Солнца должно рассматриваться в отношении не только изменения ее средней энергии, но и переносимой ею информации. В частности, имеет место перенос асимметрии в различных ее формах (существование «закрученности» заряженных частиц, круговая поляризация радиоизлучения и др.). Эти явления в большой степени обусловлены вихревыми процессами на Солнце и особенностями переноса и трансформации момента.

Глава 2

СОЛНЕЧНАЯ АКТИВНОСТЬ И ГЕОСФЕРА

При рассмотрении солнечно-земных связей, как это следует из гл. 1, нужно различать короткие циклы, основной из которых — 11-(или 22)-летний, длинные (порядка 1 млн. лет и более) и средние (ориентировочно от 10 тыс. до 1 млн. лет). Наиболее неясна специфика средних циклов; с ними могут быть связаны значительные вариации климата, положения оси Земли, магнитного поля и некоторых других факторов, но пока трудно выделить в этих вариациях ведущие (системные) характеристики (вероятно, они определяются некоторыми особенностями магнитного поля Земли и связанной с ним системой токов, которые, быть может, являются ведущими синхронизаторами процессов этого масштаба). С геофизической точки зрения важнейший из длинных циклов — галактический год.

В этой главе мы остановимся на особенностях солнечно-земных связей, характерных в основном для коротких циклов. Некоторые особенности динамики длинных циклов будут рассмотрены в гл. 4 и 5.

В последние 15—20 лет произошел существенный сдвиг в наших представлениях о богатстве и сложности солнечно-земных связей. Сейчас можно считать уже твердо установленным, что в принципе солнечная деятельность влияет на все основные про-

цессы, протекающие в геосфере *, хотя точная научная формулировка законов этого влияния — дело будущего. Пока можно сказать, что это воздействие не столько «энергетическое», сколько «информационное» и связано прямо или косвенно с перестройкой процессов переноса и трансформации основного потока солнечной энергии (который в коротких циклах мало меняется по абсолютной величине), а также внутренних потоков в геосфере, независимо от их происхождения. Солнце тотально воздействует на все земные процессы и в некоторых отношениях синхронизирует их; это может приводить к установлению «резонансных» отношений между различными земными процессами, так что один из них может резко усилиться за счет другого. В связи с этим полезно обратить внимание на обстоятельство, отмеченное в монографии Ю. И. Витинского и соавторов [1976], а именно, что хорошо прослеживается общая тенденция к усилению связи солнечного и геофизического явлений при возрастании интенсивности солнечного. Причину этого в каждом конкретном случае часто понять трудно. В общем же создается впечатление, что ослабление тотально воздействующего синхронизатора ведет к распаду установившихся связей из-за всевозможных случайных возмущений. Это следует иметь в виду также и при рассмотрении воздействия солнечных процессов на биосферу. Во всяком случае, несомненно, что в сериях циклов с большой интенсивностью солнечной активности, что возможно в максимумах больших и средних циклов, увеличивается относительное значение солнечных процессов, а также, как следствие этого, скоррелированность самых разных земных процессов.

Рассматривая особенности этой связи, некоторые исследователи обращают внимание на то, что по солнечному масштабу Земля находится очень близко к Солнцу — примерно на расстоянии 215 радиусов Солнца. Для сравнения укажем, что характерный размер магнитосферы Земли ~ 10 радиусов Земли, а хвост магнитосферы уходит от Земли по меньшей мере на сотни ее радиусов. Таким образом, размеры магнитосферы, отнесенные к характерному земному параметру — радиусу Земли, соизмеримы с размерами орбиты Земли, отнесенными к характерному солнечному параметру — радиусу Солнца. Еще заметим, что гелиосфера — область космического пространства, где обнаруживаются специфические структуры солнечного ветра, — имеет размеры по меньшей мере в десятки раз больше расстояния Земли от Солнца. Поэтому в принципе не должно вызывать удивления, что динами-

* Термин *геосфера* может использоваться в двух смыслах: во-первых, в узком смысле *геосфера* есть термодинамически определенная оболочка земного шара (различают *внешние* (магнитосфера, термосфера — ионосфера, стратосфера — мезосфера, тропосфера, гидросфера) и *внутренние* (земная кора, верхняя мантия с астеносферой, нижняя мантия, внешнее и внутреннее ядра) геосферы); во-вторых, *геосфера* есть собирательный термин для обозначения совокупности геосфер в узком смысле, обычно противопоставляемый *биосфере* или *ноосфере*.

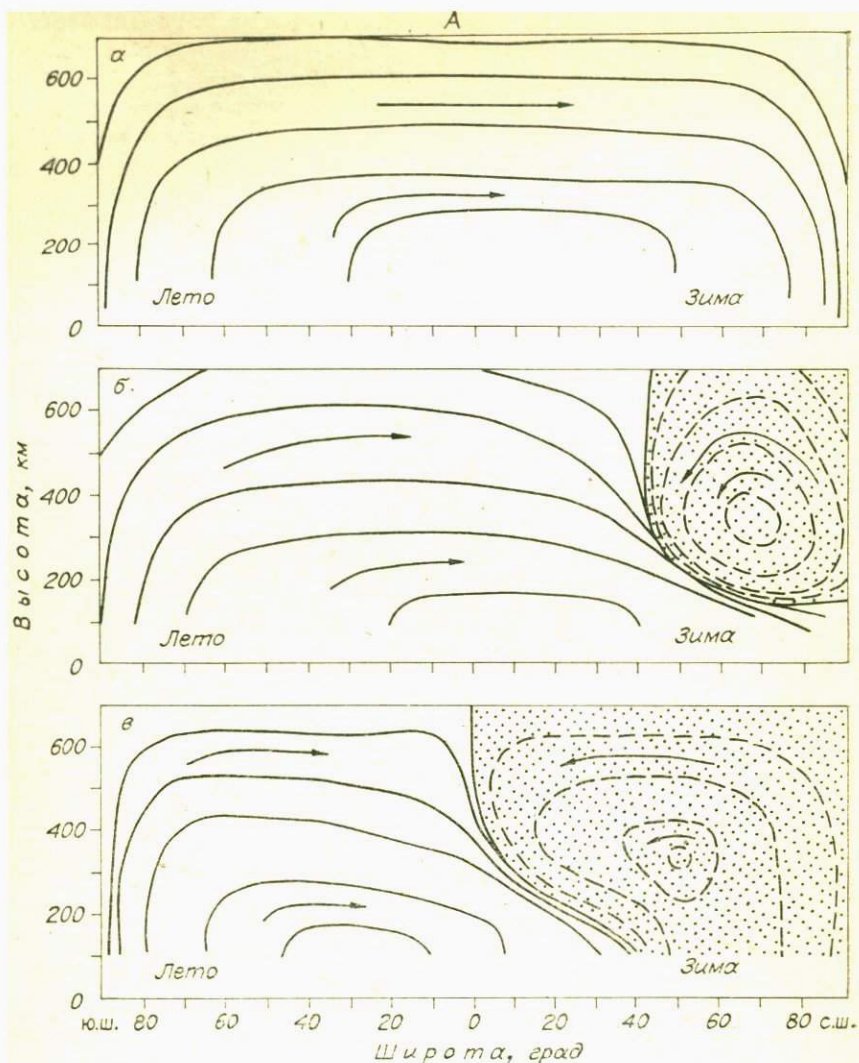
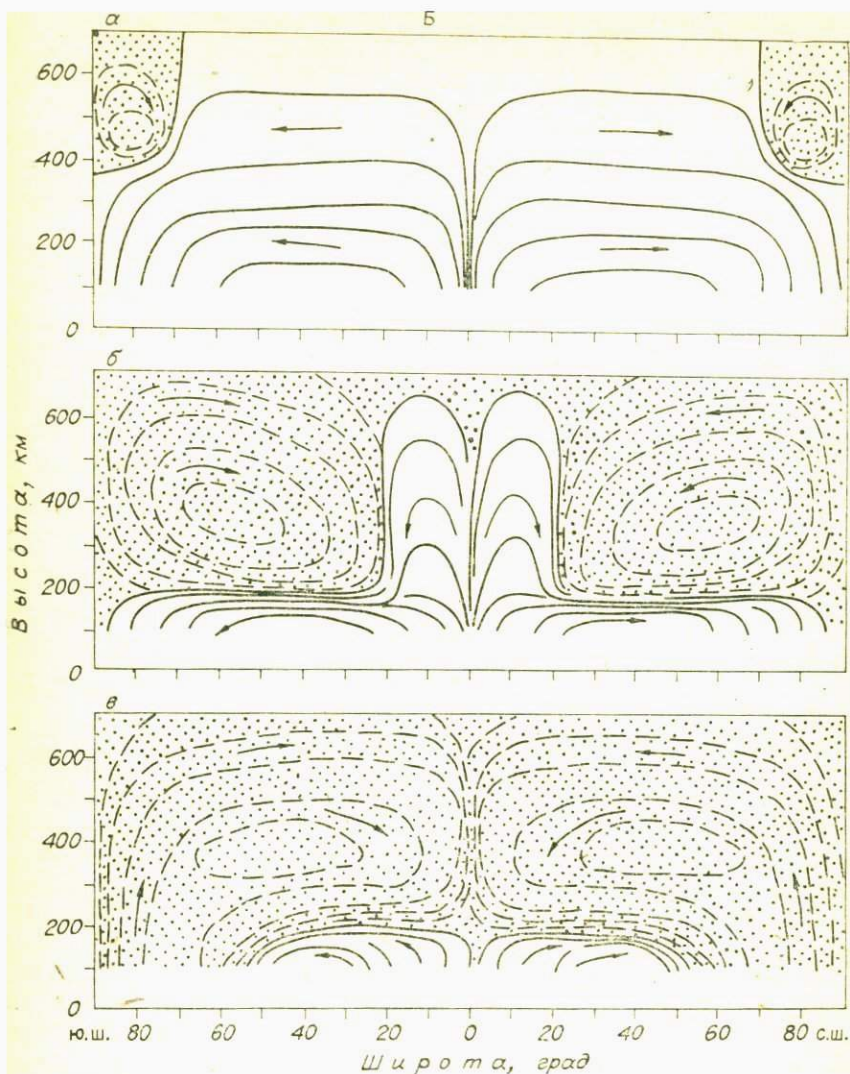


Рис. 7. Поле меридионального ветра в период
 а — магнитоспокойные условия; б — умеренное

ка солнечной активности очень многообразно отражается на динамике земных процессов.

Очень тесная связь между солнечными и земными процессами наблюдается для магнитосферы и верхней атмосферы Земли. Наиболее непосредственно это сказывается затем на динамике геомагнитного поля и связанной с ним системы токов. Кроме того, значение процессов в верхних геосферах определяется тем обстоятельством, что тут находятся важнейшие радиационные экраны



а — солнцестояния (А) и равноденствия (Б).

б — возмущение; в — магнитная буря.

Земли и в зависимости от их состояния здесь уже частично трансформируется основной поток солнечной энергии.

Процессы, протекающие в магнитосфере и в верхней и средней атмосфере, еще не описаны с достаточной полнотой, но многое уже известно. В зависимости от солнечной активности значительно меняются плотность и температура среды [Справочник..., 1965]. Очень сильно может меняться структура конвективных течений. На ионосферу сравнимое влияние оказывают электромаг-

нитное и корпускулярное излучения Солнца. Но соотношение этих видов излучения зависит от особенностей активности Солнца. Кроме того, пространственное распределение потока заряженных частиц определяется уровнем геомагнитной активности. Поэтому ионосфера — это высокодинамичная область, где возможны большие вариации потоков заряженных частиц и конвективных течений. В спокойных геомагнитных условиях эти течения имеют сравнительно упрощенную структуру, определяемую в основном широтным распределением температур и положением относительно Солнца. С повышением геомагнитной активности, особенно во время геомагнитных бурь, происходит перестройка и усложнение конвективных течений; в высоких геомагнитных широтах возникают или усиливаются дополнительные вихревые образования (рис. 7) [Казимирский, Косоуров, 1979]. Вероятно, перестройка вихревой структуры конвекции влияет на особенности обмена моментом с нижележащими частями атмосферы, особенно в высоких широтах. Результатом этого может быть изменение условий взаимодействия таких образований, как озоновый экран с высокоэнергетическими заряженными частицами. Изменение состояния вышележащего экрана меняет условия взаимодействия нижележащего с соответствующими компонентами солнечного излучения, что иногда может дестабилизировать этот экран. При нормальных условиях более верхние образования сильнее всего подвержены космическим влияниям и наиболее изменчивы, но каждый экран в каком-то отношении демпфирует воздействие космической среды, и поэтому в нижней атмосфере ее вариации проявляются относительно слабо. Однако эффективность демпфирования сильно зависит от состояния геомагнитного поля, которое само подвержено значительным изменениям, обусловленным как космическими, так и земными факторами, например процессами в области ядра Земли. В итоге устанавливается сложная система положительных и отрицательных обратных связей, в которых отражены все основные геосферы.

Возмущения в магнитосфере и верхней атмосфере после солнечных вспышек или из-за других причин — основной источник магнитных бурь, северных сияний и пр.; одновременно меняются распределение и интенсивность магнитосферных и ионосферных круговых токов. Все это непосредственно отражается на электромагнитных процессах в нижележащих геосферах. Любые изменения магнитного поля Земли, в частности магнитные бури, вызывают в проводящих областях Земли индукционные электрические токи, которые называются теллурическими. Наибольшей величины эти токи достигают во время магнитной бури. Распределение их зависит от особенностей тектонической структуры и других факторов. В аномальных районах, в частности вблизи разломов, возможна концентрация этих токов. В связи с проблемами биосферы особенно интересно выяснить, каково воздействие всех этих явлений на процессы, протекающие в Мировом океане, а также и влияние на них Мирового океана. Этот круг вопросов изучен

пока очень мало, хотя существенная роль океана уже ясна.

Со всеми упомянутыми явлениями тесно связана грозовая активность. В период высокой солнечной активности гроз обычно бывает больше, хотя в отдельных регионах число гроз, напротив, сокращается [Рубашев, 1964; Герман, Голдберг, 1981]. Грозы имеют существенное значение как фактор, определяющий величину вертикальной составляющей градиента электрического поля Земли (с усилением гроз она увеличивается), служат источником мощных электромагнитных возмущений, воздействующих на биосферу, и сильно увеличивают концентрацию аэроионов. По Чижевскому [1960], увеличение концентрации легких отрицательных аэроионов ведет к активизации процессов жизнедеятельности организмов. Концентрация аэроионов изменяется также с изменением активности системы циклонов и антициклонов, которая тоже несколько повышается с увеличением солнечной активности, хотя связь здесь не непосредственная и потому достаточно сложная.

Постепенно выясняется, что многие геофизические процессы тесно связаны с особенностями межпланетного магнитного поля. Благодаря своей дискретной структуре — наличию двух или четырех секторов — оно оказывается источником регулярных возмущений в верхних геосферах, имеющих характерные периоды 6—7, 13—14 и ~27 дней. После пересечения Землей границ секторов через один-два дня часто возникают магнитные бури, изменяются атмосферное электрическое поле и степень завихренности атмосферы, инициируются грозы [Герман, Голдберг, 1981; Солнечно-земные связи..., 1982]. Имеются отдельные данные, свидетельствующие о противоположной реакции атмосферного давления над северной и южной полярными шапками на вхождение Земли в различные секторы. Было замечено также, что знак корреляции между параметрами солнечного ветра и подходящими параметрами атмосферы в некоторых случаях меняется на противоположный, когда Земля переходит из одного сектора в другой [Витинский и др., 1976]. Это значит, что тип корреляции в своей основе векторный, т. е. определяется наиболее непосредственно связью векторов, таких как напряженность магнитного поля, завихренность и т. п. Вторичным проявлением этой связи является уже связь со скалярными величинами — температурой, давлением и пр.

Особый интерес представляют фотохимические процессы в верхней и средней атмосфере, поскольку, по-видимому, именно они вместе с геомагнитным полем в наибольшей степени определяют состояние озонового и других радиационных экранов. Пока мы еще далеки от достаточно полного понимания всей системы этих реакций; приходится даже констатировать существование противоположных мнений о направленности влияния некоторых факторов на количество озона, что не удивительно, поскольку здесь имеет место сложная система равновесий с положительными и отрицательными обратными связями. В настоящее время внима-

ние исследователей привлекают реакции, определяемые оксидами азота NO_n (NO и NO_2), озоном и ионами кислорода, азота и пр., которые сильно зависят от ультрафиолетового и других излучений, а также от потока высокоэнергетических частиц; все эти излучения сильно меняются в ходе солнечного цикла. Заметим, что само существование этой системы регулирования солнечной энергии — уникальная особенность Земли, определяемая наличием на ней живого вещества. Биохимические циклы круговорота кислорода и азота относятся к числу важнейших геохимических циклов, регулируемых живым веществом.

При воздействии ультрафиолетового излучения и высокоэнергетических частиц при определенных условиях в атмосфере увеличивается количество окислов азота; они разрушают озон, уменьшая его концентрацию. В некоторых случаях количество окиси азота в стратосфере и мезосфере, порожденное солнечными протонными вспышками, в высоких геомагнитных широтах может увеличиваться вдвое, а количество озона — соответственно сильно сокращаться. Например, добавочное поступление NO_n в стратосферу после крупнейшей солнечной протонной вспышки 4 августа 1972 г. привело к уменьшению содержания озона над высокоширотными районами (выше 60°) приблизительно на 16%. Таким образом, мощные вспышки оказывают сильное влияние на поглощение ультрафиолетового излучения озоном в земной атмосфере [Поток..., 1980]. По Гриббину [Изменения климата, 1980], большая солнечная вспышка такого типа, который обычно наблюдается во время цикла солнечной активности, уничтожает достаточное количество озона, чтобы уровень ультрафиолетового излучения превысил на 15% нормальный уровень, наблюдаемый на Земле в современную эпоху; солнечная вспышка в 10 раз сильнее обычной привела бы к возрастанию ультрафиолетового излучения на 55%, а солнечная вспышка, которая в 100 раз сильнее обычной (по мнению Гриббина, вероятность ее — раз в несколько тысяч лет), может привести к увеличению уровня ультрафиолетового излучения у поверхности Земли на 160%. Эти оценки пока спорны, но что не вызывает сомнения — это возможность сильного изменения радиационных экранов и, в частности, изменения альbedo соответствующих образований верхней атмосферы, а также зависимость этих явлений от состояния геомагнитного поля. Все это и, быть может, некоторые другие процессы ведут к изменению интенсивности потока солнечного излучения на верхней границе тропосферы, т. е. «метеорологической солнечной постоянной», примерно на 0,5—1,5% за солнечный цикл [Кондратьев, Никольский, 1982]. Эти колебания, по-видимому, имеют большую амплитуду в высоких геомагнитных широтах, а также вблизи мировых магнитных аномалий, где возможна концентрация потока высокоэнергетических заряженных частиц. Еще более значительные, но кратковременные изменения альbedo возможны после мощных вспышек на Солнце, особенно происходящих в низких гелиоширотах.

Следует отметить, что изменения озонового экрана в ходе солнечного цикла неоднозначны. С одной стороны, как показывают наблюдения, мощные солнечные вспышки, после которых резко увеличивается корпускулярное излучение, дестабилизируют озоновый экран. Вместе с тем имеются данные, согласно которым в средних широтах Земли происходит увеличение количества озона с возрастанием солнечной активности, точнее, с увеличением ультрафиолетового излучения определенных длин волны. Рост количества озона имеет порядок 3—8% за цикл в зависимости от высоты и других факторов. Согласно расчетам Ракишовой, этого достаточно для изменения температуры тропосферы примерно на $0,5^{\circ}$ за цикл [Логинов и др., 1980]. Таким образом, вариации озонового экрана возможны в ту и другую сторону в зависимости от соотношения ультрафиолетовых и корпускулярных излучений Солнца. Кроме того, эффект сильно зависит от состояния геомагнитного поля, которое отбрасывает поток высокоэнергетических заряженных частиц от низких широт к высоким, а также может фокусировать этот поток в аномальных геомагнитных областях.

Отметим еще, что количество озона над циклонами и антициклонами несколько различно, так что воздействие излучения на эти образования неодинаково.

В связи с проблемой изменения альбеда Земли в ходе солнечного цикла представляют интерес наблюдения за изменением яркости других планет Солнечной системы. Оказывается, что яркость Юпитера, Сатурна и некоторых других космических тел регулярно изменяется и это коррелируется с ходом солнечной активности [Рубашев, 1964; Поток..., 1980]. Прежнее объяснение, что вариации яркости планет вызваны вариацией солнечной постоянной на величину $\sim 2\%$ за цикл (примерно такой величине феноменологически эквивалентно наблюдаемое изменение яркости), сейчас признается несостоятельным, поскольку такое изменение солнечной постоянной в настоящее время считается завышенным. Более вероятно, что фотохимические реакции приводят к изменению альбеда этих планет из-за влияния какой-то переменной компоненты солнечного излучения. К сожалению, прямое использование этих данных для Земли невозможно, так как из-за наличия биосферы и других своих особенностей она имеет резко отличные от других планет структуру и химический состав верхних геосфер. Во всяком случае, наблюдения показывают, что изменения альбеда на 1—2% за цикл в принципе не вероятны. Б. М. Рубашев [1964] указывает также, что существует цикличность порядка 600 лет для числа комет, открытых невооруженным глазом за последние 2500 лет. В этом явлении, как считает Рубашев, отражен 600-летний солнечный цикл. Этот вывод следовало бы проверить с учетом данных последних работ Эдди, но в общем он правдоподобен. Изменение видимого числа комет может иметь причиной изменение как их светимости, так и прозрачности атмосферы, т. е. условий прохождения солнечного

луча. В нижней атмосфере изменение видимости определяется вариациями облачности, количества аэрозолей из-за усиления вулканической активности и другими факторами.

Выше уже отмечалось, что динамические процессы в озоновом и других экранах зависят от состояния геомагнитного поля. В настоящее время оно имеет сравнительно высокую напряженность и отклоняет высокоэнергетические заряженные частицы в основном к высоким геомагнитным широтам. Но такая ситуация существовала не всегда. В ходе 7000—10 000-летнего цикла напряженность поля может меняться более чем в 2 раза. Известны даже инверсии поля, т. е. изменения знака магнитных полюсов на обратный; во время инверсии на некоторое время исчезает основная дипольная составляющая поля и электромагнитный экран Земли резко ослабляется. В этом случае поток высокоэнергетических солнечных частиц, не отклоняясь заметно к полюсам, в большой степени попадает в низкие и средние широты и вызывает там те изменения озонового экрана, которые в настоящее время сосредоточены в основном в высоких широтах. Это различие очень существенно, так как именно в низкие широты поступает основной поток солнечной энергии, т. е. климатические последствия при прочих равных условиях здесь более велики. Отсюда следует, что эпохи с низкой напряженностью магнитного поля должны быть, при прочих равных условиях, более теплыми [Изменения климата, 1980]. Возможна также дестабилизация системы циркуляционных течений, климатический эффект которой неоднозначен. Связь потеплений с ослаблением геомагнитного поля в первом приближении подтверждается реконструкциями климата и геомагнитного поля за последний миллион лет (см. рис. 6). Однако здесь пока нельзя четко дифференцировать влияние одного только магнитного поля и других возможных факторов, могущих воздействовать одновременно и на климат, и на геомагнитное поле. Важнейший из таких факторов — солнечная активность.

Изменения в верхних геосферах имеют следствием не только изменение альбедо этих частей. При уменьшении озонового экрана увеличивается пропускаемое им ультрафиолетовое излучение. Это вызывает ряд взаимосвязанных следствий — увеличение количества аэроионов, возрастание электрической проводимости соответствующих слоев атмосферы и пр. Все это влияет на образование облачности (после вспышки на Солнце возможно увеличение облачности), грозовую деятельность и другие явления в верхней части тропосферы; изменение облачности меняет альбедо планеты. Однако этот круг вопросов пока никем не проанализирован с достаточной полнотой [Герман, Голдберг, 1981; Солнечно-земные связи..., 1982].

Большое число корреляций с солнечной деятельностью известно для процессов, протекающих в нижней атмосфере, т. е. для метеорологических явлений. Одно из них — изменение интенсивности гроз — уже отмечалось. В связи с солнечной активностью

отмечается также изменение хода температур, количества осадков, полей давления, стока рек и пр. [Рубашев, 1964; Влияние..., 1971; Витинский и др., 1976; и т. д.]. Большинство из этих корреляций носит региональный характер, и «просуммировать» их для всей Земли не удастся. Если в одних районах с увеличением солнечной активности количество осадков возрастает, то в других оно сокращается, а в третьих никакой корреляции вообще не обнаруживается. Некоторые из этих связей к тому же неустойчивы — положительная корреляция, существовавшая в течение нескольких солнечных циклов, может затем быстро перейти в отрицательную. Пока трудно сказать, есть ли это результат неустойчивости связей, или же тут отражаются какие-то особенности динамики циклов большой длительности, например изменения асимметрии солнечных процессов; ряды наблюдений пока недостаточно длинны, чтобы уверенно анализировать сложные особенности больших циклов. Но все же постепенно и здесь выявляются факторы более или менее общего порядка, хотя пока только в самом первом приближении.

С солнечными процессами, по-видимому, очень тесно связано изменение степени завихренности атмосферы, определяемой специальными индексами, например индексом завихренности поверхности (ИЗП) [Солнечно-земные связи..., 1982]. Оказалось, что завихренность меняется после пересечения Землей границы сектора межпланетного магнитного поля, а также после мощных вспышек на Солнце; примерно параллельно сильные возмущения происходят в геомагнитном поле. В среднем наблюдается такая последовательность событий. Если принять за начало отсчета день сильной вспышки на Солнце, то:

через день после начала вспышки или ко второму дню ИЗП в северном полушарии увеличивается на 5—10% сверх своего фонового уровня;

ко второму или третьему дню начинается геомагнитная буря; к третьему или четвертому дню ИЗП уменьшается на 5—10% по сравнению со значением, которое было до вспышки;

к пятому или шестому дню ИЗП возвращается к первоначальному уровню [Изменения климата, 1980].

Таким образом, после солнечной вспышки происходит увеличение завихренности, которая затем после некоторых колебаний возвращается к своему равновесному уровню (с этим следует сопоставить также факт существования корреляции изменений скорости вращения Земли с числами Вольфа (см. с. 47)). Приведенные наблюдения качественно согласуются с наблюдениями над изменениями атлантической циркуляции после солнечных вспышек и геомагнитных бурь, приводимыми Рубашевым [1964] и другими исследователями.

С диссимметричными циклоническими и антициклоническими образованиями атмосферы связано еще одно феноменологическое обобщение, называемое «законом акцентации». Большая работа по его проверке и уточнению была проделана Э. Р. Мустелем и

другими исследователями. В первом приближении можно сказать, что «закон акцентации» утверждает своеобразное изменение барических полей, приводящее (с увеличением активности Солнца) к понижению давления в тех районах Земли, которые для данного сезона характеризуются в среднем циклоническим режимом, и к увеличению давления в тех районах, где в среднем наблюдается преобладание антициклонического режима [Рубашев, 1964; Покровская, 1969; Влияние..., 1971]. Фактически за этим «законом» стоит активизация центров действия атмосферы. Это можно интерпретировать как усиление диссимметричной циклонической — антициклонической деятельности с увеличением солнечной активности, т. е. как активизацию некоторых вихревых форм атмосферных процессов. В формулировке «закона акцентации» есть, однако, неясности, возникающие из-за отсутствия четких определений условий его применимости. Видимо, в окончательной формулировке «закон» должен включать классификацию основных центров действия атмосферы по их расположению в геомагнитно активных или сравнительно спокойных районах Земли и по другим геофизическим характеристикам. Примечательно, что эмпирическое обоснование «закона» Мустелем проведено в основном для высокоширотных областей, где уровень геомагнитной активности по соответствующим показателям очень высок и куда под влиянием магнитного поля преимущественно попадают заряженные частицы.

В литературе имеются утверждения, что проявления «закона акцентации» зависят от фазы 80—90-летнего цикла. В первой четверти этого цикла, считая от минимума, «закон», по-видимому, проявляется более отчетливо, затем происходит перестройка системы атмосферной циркуляции, усложняющая картину явления [Рубашев, 1964]. Ряды наблюдений еще недостаточны, чтобы можно было уверенно это утверждать. Но с общих позиций подобная закономерность кажется правдоподобной. Действительно, по мере усиления солнечной активности в длинном цикле изменения происходят прежде всего в атмосфере, затем влияние солнечной деятельности распространяется на более глубокие геосферы, в первую очередь на Мировой океан; меняется также криосфера (область льда и снега). Специфическая реакция всех этих геосфер отражается далее на динамике атмосферы, усложняя ее.

С «законом акцентации», понимаемым в широком смысле как закон активизации некоторых вихревых образований, связано другое феноменологическое обобщение, согласно которому имеет место усиление меридиональной циркуляции с увеличением активности Солнца [Влияние..., 1971]. Такая перестройка атмосферных процессов может привести к глобальным изменениям климата. Следствием этого оказывается усиление процессов широтного перемешивания в фазе максимума активности. Оно может приводить к своеобразной неустойчивости климатических процессов, вытекающей из возможности проникновения теплых масс воздуха с юга на север, а холодных — с севера на юг. Но вместе с тем

в долговременном плане усиление перемешивания способствует снижению широтного контраста средних температур и, как следствие, общему потеплению климата. Усиление любых форм вихревых течений и вызванное этим увеличение турбулентности также благоприятствует широтному перемешиванию. В противоположной фазе климат относительно более стабильный (несколько более резко выражен его широтный контраст) и в целом более холодный. Как известно, в периоды активной солнечной деятельности в циклах порядка 500—700 лет происходило уменьшение площади ледников, а в периоды понижения активности солнечной деятельности — ее увеличение (см. рис. 4). В свою очередь, увеличение площади ледников ведет к возрастанию альбедо Земли, т. е. способствует дальнейшему ее охлаждению; следовательно, возможно усиление начавшегося процесса [Будыко, 1971, 1974; и др.]. При уменьшении площади ледников происходит обратное. Таким образом, в данном случае мы имеем дело со своеобразным аналогом цепной реакции, приводящим к тому, что результат в энергетическом плане оказывается несоизмерим с энергией иницирующего фактора. Это вообще характерно для многих явлений, обусловленных солнечной активностью.

Но наряду с положительными обратными связями, усиливающими эффект воздействия, обычно имеются и отрицательные, действующие в противоположном направлении и приводящие в конечном итоге к формированию какого-то равновесия. Так обстоит дело и в данном случае. Усиление широтного контраста температур вызывает усиление атмосферной циркуляции, имеющей термическое происхождение и способствующей смягчению широтного контраста. Уменьшение его, напротив, ослабляет атмосферную циркуляцию; уменьшение интенсивности циркуляции при прочих равных условиях ведет к усилению широтного контраста из-за резкого различия количества солнечной энергии, получаемой Землей на разных широтах. В итоге устанавливается относительное равновесие между термическими и «вихревыми» факторами (распределением вихревых структур, особенностями трансформации момента) и климат стабилизируется, хотя процесс стабилизации может сильно усложняться собственными колебаниями системы, изменениями альбедо и другими причинами.

Воздействие солнечной активности на Мировой океан изучено значительно меньше. Известно, например, что с солнечными процессами связаны некоторые особенности течений, изменения температур и уровня ледовитости [Рубашев, 1964; Максимов и др., 1970; Влияние..., 1977]. Однако общие феноменологические закономерности, которым подчиняются эти процессы, исследователями пока не сформулированы. Поскольку океан подвергается воздействию атмосферы, то можно думать, что общий характер изменений в нем должен быть примерно аналогичен изменениям в атмосфере. Так, усиление циклонических и тому подобных образований в атмосфере должно приводить к интенсификации циклонических вихрей и других подобных структур в океане. Это способ-

ствуем усилению процессов перемешивания (вертикального и широтного), что имеет уже не только климатическое, но и биологическое значение. Вместе с тем океан обладает и своей спецификой.

Во-первых, он значительно более инерционен, чем атмосфера. На кратковременные воздействия он может заметно не реагировать (как механическая система); благодаря этой особенности он служит важнейшим стабилизирующим фактором климата. Но, с другой стороны, если в нем произошли существенные изменения поля течений и температур, то они могут сохраняться длительное время и после исчезновения вызвавшего их фактора. Вероятно, именно из-за демпфирующего влияния океана 11-летний цикл солнечной деятельности отражен в глобальных изменениях климата слабо; в то же время, казалось бы, менее значительные, но зато долговременные тенденции в изменении солнечной деятельности в более длительных циклах выражены в динамике глобального климата отчетливее. Во-вторых, будучи громадным «электронитом», океан подвержен специфическим формам воздействия на него электромагнитного поля Земли. Вероятно, в нем имеется глобальная система токов, связанная с общей системой океанических циркуляций и особенностями поля температур и испытывающая влияние геомагнитного поля. Однако этот аспект пока не ясен.

Совокупная реакция атмосферы и океана определяет климат Земли. Поэтому представляет интерес сопоставление изменений климата за последние 5000 лет с ходом солнечной активности в циклах Эдди [Монин, Шишков, 1979; Изменения климата, 1980].

Последниково-климатический оптимум. Кульминация этого периода приходится примерно на 5 тыс. лет до н. э. Это наиболее теплая эпоха за последние 40 тыс. лет — время существования современного человека. Средние летние температуры в Европе были выше современных на 2—3°. Площадь полярных льдов была значительно меньше. Палеораствительность на Шпицбергене позволяет предположить, что Арктический океан в значительной степени был свободен ото льдов. О том же свидетельствует растительность на берегах Сибири и Гренландии. По-видимому, пакового льда в этот период в Арктическом бассейне не было — образовавшийся за зиму лед летом полностью стаял. Из-за таяния льдов, как плавучих, так и континентальных ледниковых, уровень океана был выше современного на ~3 м (около 2 тыс. лет до н. э.). Степень увлажнения в целом, по-видимому, была выше современной; в частности, на территории Сахары и Ближнего Востока количество осадков было достаточно высоким. Однако распределение осадков существенно отличалось от современного. Например, если на севере и на северо-западе европейской территории СССР влажность сильно увеличилась, то южнее 50—55° с. ш. она была значительно меньше современной, что способствовало продвижению на север зоны степей, полупустынь и пустынь. В то же время в Средней Азии было более влажно, чем сейчас.

На это время приходится минимум геомагнитного поля в цикле его изменений порядка 7—10 тыс. лет и, весьма вероятно, повышенный средний уровень солнечной активности. Во всяком случае, так было, по Эдди, за 2—3 тыс. лет до н. э. (см. рис. 4), а судя по общей тенденции, и раньше. Правда, в этой части реконструкция Эдди наименее достоверна; кроме того, Эдди, по-видимому, использовал здесь некоторые соображения, связанные с климатом, так что во всей этой аргументации можно усмотреть элементы логического круга. Но все же существование повышенного среднего уровня солнечной деятельности в этот период весьма вероятно. Очень сомнительно, чтобы привлечение соображений, основанных только на динамике геомагнитного поля, было достаточным для объяснения столь сильного потепления. Более вероятно, что примерная синхронность изменений геомагнитного поля и климата в данном случае обусловлена одним фактором — Солнцем. Но коль скоро такая синхронизация сформировалась, усиление воздействия произошло из-за изменения альbedo верхней атмосферы, сокращения площади льдов и влияния других факторов.

Судя по структуре солнечных циклов Эдди, примерно за 1800—1200 лет до н. э. имела место крупная перестройка режима деятельности Солнца. По-видимому, в это время увеличилась нестабильность климата. Вероятно, был повышен уровень тектонической активности; в частности, около 1400 г. до н. э. произошел крупнейший взрыв влк. Санторин, который привел к упадку крито-минойскую цивилизацию. Усиление деятельности вулканов усложняет климатическую ситуацию и усиливает тенденцию к похолоданию из-за выброса большой массы аэрозоля.

Похолодание «железного века». По данным европейских хроник, период между 900—300 гг. до н. э. или несколько позже был относительно холодным. Это подтверждается изменением видового состава растительности. Изменилось и распределение осадков. В северных областях Евразии развиваются болота, что указывает, по-видимому, на увеличение количества осадков (могло сыграть роль также уменьшение испарения и развитие флоры, задерживающей влагу). В Северной Африке и Средиземноморском регионе климат становится, напротив, суше, однако не настолько сухим, как в настоящее время (современная засушливость этих регионов объясняется скорее всего антропогенным фактором, главным образом уничтожением лесов).

Согласно материалам Эдди, этот период примерно совпадает с эпохой низкого среднего уровня активности Солнца. Климатические последствия снижения солнечной активности были несколько смягчены благодаря предшествующему очень теплomu периоду, который привел к сильному сокращению площади льдов и соответствующему уменьшению альbedo в высокоширотных областях.

Картина следующих ~1000 лет не вполне ясна. Это период наиболее высокой за последние 8 тыс. лет напряженности магнитного поля Земли, максимум которой приходится на раннее средне-

вековые — примерно между V и VII вв. Высокая плотность электромагнитного экрана, видимо, смягчала климатические следствия изменений солнечной активности, один из больших максимумов которой падает примерно на I в. н. э. После похолодания «железного века» приблизительно параллельно повышению солнечной активности наступает потепление, но не очень большое. Судя по схеме движения ледников (см. рис. 4), в раннее средневековье вместе с понижением солнечной активности происходит похолодание, но опять-таки не очень значительное. Не вполне ясны средний уровень и некоторые особенности динамики солнечной активности в эту эпоху, поскольку в реконструкции Эдди здесь есть спорные моменты. Более ясное соответствие восстанавливается начиная с позднего средневековья.

Второй климатический оптимум. Сильное потепление, имевшее место примерно между 1000—1300 гг., документируется многими историческими источниками. Данные об изменении флоры свидетельствуют, что средняя летняя температура в Европе выросла более чем на 1°. Произошло сокращение площади морских долярных льдов и частично льдов Гренландии, что позволило обосноваться на ней колонии викингов. Общее улучшение условий судоходства в высоких широтах позволило последним открыть путь в Америку, который из-за последовавшего затем похолодания и увеличения площади морских льдов оказался «закрытым». В южных районах (Центральная Америка, Кампучия, Ближний Восток, Средиземноморье) с периодом второго климатического оптимума совпадает период высокого увлажнения. В континентальных областях Северной Америки зафиксирован 200-летний период засухи. Ряд больших засух отмечается также в России; их кульминацией была катастрофическая засуха 1372 г., во время которой сохли и горели леса и болота. В Никоновской летописи этот год описывается так: «...бысть знамение на Солнце, места черные на Солнце, аки гвозди... Сухомень бысть велика, и зной и жар много, яко устрашились и вострепетали людем, реки много пересохше, и озера и болота, леса и боры горяху, и земля горяше. И бысть страх и трепет на всех человецех, и бысть тогда дорогонь велика и глад великий по всей земле...» (цит. по [Дружинин и др., 1974]).

Это одно из прямых свидетельств высокой солнечной активности в XIV в.

Малая ледниковая эпоха. Это время сильного похолодания, продолжавшегося примерно с середины XV до середины XIX в., приходится в среднем на низкий уровень активности Солнца. В этот период начинаются прямые инструментальные измерения метеорологических факторов и наблюдения за Солнцем, поэтому уже имеются относительно многочисленные данные, позволяющие более детально реконструировать динамику климата. Между 1780—1820 гг. температура воздуха в Северной Атлантике (севернее 50° с. ш.) была на 1—3° ниже, чем в настоящее время. Значительно увеличилась площадь льдов. Из-за усилившегося

оледенения колония в Гренландии была вынуждена прекратить свое существование, а колония в Исландии выжила с большим трудом. В горных районах Эфиопии было зарегистрировано выпадение снега. Начиная примерно с 1500 г. леса в некоторых районах Европы, особенно в горных, в частности в Шотландии, сильно деградировали. Для северного полушария отмечается смещение основных путей циклонов в более низкие широты, повторяемость полярных антициклонов увеличивается. В результате этого широтное распределение осадков изменилось. Есть свидетельства, что во время кульминационного периода малой ледниковой эпохи (ориентировочно между 1550—1700 гг.) основные барические центры и зоны циркуляции сместились к югу примерно на 5° широты, при этом интенсивность атмосферной циркуляции в летнее время уменьшилась примерно на 30%, а в зимний период — на 5—10% [Изменения климата, 1980]. Это качественно подтверждает наш анализ связи циркуляции и солнечной активности. Вопрос этот настолько важен, что к нему придется вернуться еще раз.

Современная ситуация. Примерно с начала XVIII в. солнечная активность снова возрастает, хотя, как следует из прямых наблюдений за Солнцем, этот процесс происходит не монотонно, а «волнами». Судя по структуре циклов Эдди, максимум активности еще не достигнут. Уменьшается напряженность геомагнитного поля. Таким образом, в современную эпоху оба фактора — изменение солнечной активности и геомагнитного поля — пока что действуют синхронно, т. е. общая направленность изменения магнитного поля такова, что влияние Солнца на климат усиливается. В этом, вероятно, одна из основных причин современного потепления. Сравнение современной обстановки с климатической ситуацией в позднее средневековье делает весьма вероятным прогноз о дальнейшем развитии этого потепления, которое в итоге должно быть сравнимым по величине с климатическим оптимумом XII—XIV вв. Однако на естественные тенденции изменения климата, особенно с середины XX в. начали накладываться мощные антропогенные факторы, из-за влияния которых этот прогноз нельзя считать достоверным.

Пока что тенденции таковы: из-за сжигания большого количества угля и нефти и уничтожения лесов в атмосфере происходит заметное накопление углекислого газа; удвоение его концентрации возможно к 2050 г. или даже раньше; из-за парникового эффекта и с учетом изменения альбедо вследствие изменения площади льдов это повлечет за собой в середине XXI в., по расчетам, общее потепление на $1,5\text{—}3^\circ$; в высоких широтах, начиная примерно с 50° , увеличение температуры будет в 3—5 раз больше (по расчетам М. И. Будыко [1980], это приведет к практически полному таянию полярных плавучих льдов); уровень океана значительно повысится; изменится система атмосферной циркуляции. Так как основная причина потепления — изменение термического баланса атмосферы из-за парникового эффекта — то можно ожи-

дать, что снижение широтного температурного градиента будет здесь доминирующим фактором; поэтому интенсивность атмосферной циркуляции в среднем снизится. Результатом этого может быть снижение количества осадков в континентальных районах в интервале широт ориентировочно между 40 и 50°. Южнее и особенно севернее увлажненность возрастет. В итоге климат может приблизиться к климату послеледниковому климатического оптимума (5—3 тыс. лет до н. э.), однако с той существенной разницей, что в современной ситуации ожидаемые изменения произойдут намного быстрее и поэтому обычные системы регулирования в биосфере должны будут действовать в условиях «стрессовой» ситуации [Будыко, 1980; Изменения климата, 1980; Энергия..., 1981].

В посылках, на которых строится этот прогноз, имеются, однако, неясные элементы, вследствие чего действительная ситуация может существенно отличаться от прогнозируемой, причем масштабы изменения климата в итоге могут оказаться и больше, и меньше прогнозируемых. Основные неясности таковы.

Во-первых, не ясно, будет ли иметь место в действительности прогнозируемое развитие энергетики или же здесь произойдут какие-то качественные перемены. Изменения возможны как в результате дальнейшего научно-технического прогресса, так и из-за социальных, экономических и других факторов, весь комплекс которых в настоящее время предвидеть нельзя.

Во-вторых, совсем не ясна реакция Мирового океана на столь быстрые изменения в атмосфере. Из-за большой термической инерционности изменения в нем будут, видимо, сильно отставать от изменений в атмосфере, и может возникнуть какое-то рассогласование состояний этих сфер и сдвиг равновесия. Вероятным результатом может быть развитие каких-то форм общей неустойчивости климата, особенности которых пока трудно предугадать.

Не ясно, к чему приведет электромагнитное загрязнение, которое уже заметно проявляется в динамике геомагнитного поля, а также и многие другие виды загрязнения, например фреоны, разрушающие озон и увеличивающие парниковый эффект. Возможен также кумулятивный эффект в результате суммирования многих трудно учитываемых факторов.

В общем же совпадение многих причин должно привести к сильному и устойчивому в конечном итоге потеплению, хотя основная тенденция будет значительно осложняться различными вторичными факторами, в частности, вероятно, общей нестабильностью процесса в период установления климата.

Итак, с циклами солнечной активности Эдди связаны значительные изменения климата. В первом приближении можно считать, что увеличение солнечной активности ведет к потеплению, а уменьшение — к похолоданию. Прямая связь, однако, осложнена наличием системы регулирования геосфер, т. е. совокупной системой обратных связей, имеющей свои особенности и способной как усиливать, так и ослаблять прямое воздействие Солнца.

Эта система регулирования определяется особенностями динамики геомагнитного поля, фотохимическими реакциями, меняющимися альбедо соответствующих слоев атмосферы, динамикой криосферы, интенсивностью и распределением вихревых образований в атмосфере, особенностями океанических течений и другими факторами. В северном полушарии меняются преобладающие пути циклонов: при общем потеплении и высоком уровне активности Солнца циклоны, по-видимому, имеют тенденцию смещаться в среднем в более высокие широты, а в противоположном случае — в более низкие. В результате происходит широтное перераспределение осадков, в одних районах увлажненность увеличивается, в других уменьшается, соответственно меняются барические поля, температура и пр. Исторический анализ тоже как будто подтверждает, что сильное схождение солнечной активности коррелирует со снижением интенсивности атмосферной циркуляции, тогда как сильное увеличение, напротив, возбуждает ее. Эмпирически этот вывод подтвержден в основном для Европы и северной части Атлантики, где число инструментальных измерений достаточно велико.

Обычно атмосфера рассматривается как своего рода «тепловая машина», преобразующая тепловую энергию, получаемую от Солнца, в кинетическую энергию атмосферных циркуляций; при этом часто считают, что достаточно рассматривать только тропосферу (не учитывать динамику верхней атмосферы) вместе с Мировым океаном, причем последний описывается в современных моделях пока весьма приближенно. При таком подходе естественно, что увеличение широтного контраста температур может только усилить циркуляцию атмосферы. Именно такой результат был получен, когда по существующим математическим моделям попытались рассчитать климат ледниковой эпохи (см., например, [Изменения климата, 1980]. Согласно этим расчетам, для ледникового периода характерен интенсивный зональный перенос. Но большее усиление циркуляции привело бы к усилению широтного турбулентного перемешивания, что имело бы следствием смягчение широтного контраста температур. Кроме того, по крайней мере для малого ледникового периода, отмечается не усиление, а уменьшение циркуляции. Очевидно, в этих моделях не учтены какие-то существенные факторы. Одним из таких факторов может быть возбуждение или, напротив, подавление вихревых структур атмосферы солнечной активностью и, вероятно, геомагнитным полем. Ввиду особой важности этого аспекта рассмотрим его более внимательно.

В настоящее время считается, что на генерацию кинетической энергии атмосферной циркуляции расходуется примерно сотая часть потока солнечной радиации. Таким образом, если рассматривать атмосферу как тепловую машину, производящую кинетическую энергию, то ее к. п. д. $\approx 1\%$ (точнее, 1,5—2%). При прочих равных условиях рост широтного перепада температур увеличивает к. п. д., причем добавочная циркуляция способству-

ет усиленно широтного перемешивания (как из-за усиления меридиональной составляющей, так и за счет усиления турбулентного перемешивания) и, как следствие, уменьшению широтного контраста температур. Аналогично, снижение широтного перепада температур при прочих равных условиях снижает к. п. д., причем возникающий из-за этого дефицит циркуляции обуславливает снижение широтного перемешивания, что благоприятствует увеличению широтного контраста температур. Таким образом, при стабильном режиме солнечной радиации и отсутствии долговременных изменений в других геосферах, в атмосфере в принципе должна была бы сложиться устойчивая система циркуляции и широтных климатических зон. Но к. п. д. атмосферы зависит не только от термических факторов, но и от существующих в ней вихревых структур, определяющих особенности переноса и трансформации момента количества движения. Поэтому воздействия на условия переноса момента, подавление или активизация основных вихревых структур могут менять к. п. д. атмосферы, что вызывает сдвиг равновесия. Именно в этом важнейший источник влияния солнечной активности на тропосферу.

Горизонтальный перенос момента в тропосфере происходит в основном в верхней ее части (у тропопаузы), где существуют мощные струйные течения, а вертикальный перенос осуществляется циклонами и антициклонами и другими вихревыми ячейками циркуляции [Лоренц, 1970]. Значит, воздействие на течения в верхней части тропосферы, даже при неизменном потоке поступающей в тропосферу энергии, влияет на распределение и степень активности циклонов и антициклонов, т. е. на циркуляцию в нижней части тропосферы. В свою очередь, верхняя часть тропосферы тесно связана с нижней стратосферой (в основном играющей роль радиационного экрана), которая отчетливо реагирует на изменения солнечной активности и геомагнитного поля. Здесь, видимо, и кроется ключ к ответу на загадку влияния солнечной активности на нижнюю атмосферу.

Заметим еще, что основная часть потока тепла от Солнца нагревает непосредственно не толщу атмосферы, а подстилающую поверхность материков и верхний слой океанов, т. е. в конечном счете нижнюю часть тропосферы. Прямой нагрев верхней тропосферы солнечной энергией невелик. Из этой энергии, видимо, наибольшую часть составляет энергия ультрафиолета и близких к нему частей солнечного спектра, интенсивность которых зависит от состояния озонового экрана (как мы уже знаем, и то, и другое меняется в ходе солнечной активности). Сюда же поступает значительная доля быстрых корпускул, не задержанных озоновым экраном и несущих не только энергию, но и момент.

Таким образом, благодаря особенностям солнечной радиации и атмосферы (наличию радиационных экранов и оптического окна прозрачности) нижняя и верхняя части тропосферы по отношению к солнечным излучениям оказываются противопоставленными. Если в нижней части основной управляющий фактор — тер-

мический нагрев, то в верхней — воздействие на условия переноса момента количества движения. Взаимодействие этих частей, осуществляемое циклонами и антициклонами, а также другими вихревыми ячейками циркуляции, ведет к формированию подвижного динамического равновесия между влияниями разных типов.

По-видимому, можно попытаться учесть некоторые из этих факторов феноменологически путем включения в дифференциальные уравнения движения добавочного члена. Простейший, хотя и наиболее грубый, способ состоит в том, чтобы записать уравнение сохранения импульса в виде

$$-\frac{\partial v}{\partial t} + (\dots) = \theta \times v,$$

где v — вектор скорости; t — время; символ (...) означает обычные конвективные и другие члены, записываемые в зависимости от типа используемой модели; символ \times есть знак векторного умножения; θ — некоторый вектор, зависящий от солнечной активности.

В силу свойств векторного произведения уравнение сохранения энергии не меняется (здесь не обсуждается проблема учета изменений альbedo, которые влияют уже на баланс энергии; в простейшем случае это можно учесть через изменение граничных условий). Для верхней атмосферы вектор θ для начала можно представить следующим образом:

$$\theta = \theta_N + \theta_S + \theta_0,$$

$$|\theta_N| = k_N W_N, \quad |\theta_S| = k_S W_S,$$

где W_N и W_S — числа Вольфа для северного и южного полушарий Солнца соответственно, k_N и k_S — эмпирические коэффициенты, зависящие от фазы магнитной полярности. Векторы θ_N и θ_S расположены на прямой, направленной из данной точки Земли к центрам активных образований северного и южного полушарий Солнца. Вектор θ_0 определяется магнитным полем Земли и может считаться приблизительно линейно зависящим от напряженности этого поля.

Другая идея, в сущности аналогичная первой и не исключающая ее, состоит в том, чтобы рассматривать коэффициент турбулентной вязкости (диффузии) как функцию чисел Вольфа. Солнечная активность опять-таки рассматривается как источник завихренности, но в данном случае мелкомасштабной (точнее, подсеточного масштаба по отношению к характерным размерам разностной сетки, используемой в современных метеорологических расчетах по общим математическим моделям), которая далее трактуется как «наведенная турбулентность» [Рубашев, 1964]. Естественно, что увеличение турбулентности атмосферы, инициируемое высокой солнечной активностью, ведет к усилению перемешивания и способствует снижению широтного перепада температур.

Так или иначе, в уравнениях динамики атмосферы (особенно верхней) должен фигурировать дополнительный член, определяющий изменение завихренности атмосферы (или непосредственно, или через изменение коэффициентов диффузии и др.) в зависимости от характера солнечной активности и структур межпланетного и геомагнитного полей. Отдельно должны выписываться уравнения динамики основных радиационных экранов (хотя бы в сильно упрощенном виде) для определения изменений альбедо.

В качественном плане подобные идеи близки соображениям Б. И. Сазонова о возможности передачи энергии и импульса протонами высокой энергии атмосфере, минуя малоэффективный цикл тепловой машины [Дружинин и др., 1974; Витинский и др., 1976]. Этот эффект сильно зависит от секторной структуры межпланетного магнитного поля и от внешних структур геомагнитного поля. Поля могут не только ускорять заряженные частицы и закручивать их вокруг магнитных силовых линий, но и концентрировать потоки частиц в определенных областях Земли. Следует только заметить, что Сазонов строит свою аргументацию на сопоставлении порядков энергий потока частиц и соответствующих образований тропосферы во всей ее толще (разрыв энергий здесь очень велик), тогда как, с нашей точки зрения, наиболее существенную роль играют перенос момента и привносимая этими частицами завихренность, что повышает уровень турбулентности соответствующих частей атмосферы и пр. Увеличение завихренности атмосферы после сильных солнечных вспышек подтверждается прямыми измерениями (см. с. 35).

Существование связи 11-летнего и других циклов солнечной активности с различными тектоническими процессами (вулканической деятельностью, землетрясениями и др.) в настоящее время сомнений не вызывает, хотя связь эта не очень тесная, что естественно. А. Д. Сытинский [1979] пытается даже предсказывать на этой основе интенсивность землетрясений для Земли в целом; как он утверждает, оправдываемость прошлых прогнозов была достаточно высокой. К. А. Куликов и Н. С. Сидоренков [1977] отмечают существование приблизительно 600—700-летнего цикла колебаний земной коры, что примерно соответствует 500—700-летнему циклу солнечной активности. Анализировать особенности связи этих явлений пока трудно, так как данные о коротких (примерно до 10 тыс. лет) циклах тектонической активности, само существование которых сомнений не вызывает, пока еще недостаточно систематизированы, чтобы можно было делать вполне определенные выводы. Очень огрубляя, можно сказать, что значительное повышение солнечной активности или, более общо, всякая крупная перестройка режима солнечной деятельности дестабилизирует геосферу, что вызывает активизацию некоторых тектонических процессов; это приводит затем к некоторой интенсификации (по сравнению с фоновым состоянием) вулканической деятельности и росту количества землетрясений. В действительности же характер связи более сложен отчасти из-за большой

инерционности тектонических процессов, а отчасти из-за того, что влияние солнечной деятельности на тектонику не прямое, но опосредовано изменениями в верхних геосферах. Резкое изменение солнечной активности может оказаться также иницирующим фактором, который в тех случаях, когда создаются критические ситуации, способен ускорить «запуск» соответствующих процессов [Дружинин, Хамьянова, 1969]. Напомним, что чем мощнее солнечный цикл, тем более вероятно развитие на Солнце различных взрывных явлений (вспышек и др.), которые вызывают резкие возмущения в геосферах. Канал передачи воздействия здесь пока не ясен. По Сытинскому [1979], связь солнечной активности и землетрясений опосредуется атмосферными процессами — глобальные перераспределения воздушных масс и соответствующие изменения барических полей, по его мнению, могут инициировать землетрясения. Возможно, некоторое значение имеет воздействие теллурических токов, которые, согласно сказанному выше, могут концентрироваться в районах аномалий (районы повышенной тектонической активности обычно связаны с разломами и другими областями, которые обладают четко выраженными аномалиями по тем или иным параметрам). Для одновременного аспекта, по-видимому, более важны общие особенности структуры и динамики геомагнитного поля и ледников. Некоторое влияние могут оказать вариации орбиты, положения оси вращения Земли или угловой скорости ее вращения. Но если эти факторы способны влиять на тектонические процессы, то не непосредственно, а в связи с какими-то синхронно протекающими процессами.

Особый интерес вызывают вариации скорости вращения Земли. Оказывается, что небольшие нерегулярные колебания скорости вращения нашей планеты вокруг своей оси, которые длительное время не находили объяснения, коррелируются с числами Вольфа, т. е. обусловлены солнечной активностью [Киселев, 1980]. Здесь мы опять сталкиваемся с четкой корреляцией чисел Вольфа и изменений момента количества движения. Небольшие колебания угловой скорости вращения Земли могут иметь причиной изменения в атмосферной циркуляции, т. е. изменения процесса переноса и трансформации момента. Как показали расчеты [Лоренц, 1970], в тропосфере существует интенсивный меридиональный перенос углового момента, причем в северном полушарии поток момента направлен к северному полюсу, а в южном — к южному. Этот перенос максимален на широтах примерно ± 30 — 40° . Интересно отметить, что это одновременно наиболее сейсмически активные широты. Через систему циклонов и антициклонов переносимый момент перераспределяется по вертикали и благодаря силам трения передается подстилающей поверхности. В первом приближении противоположно направленные процессы переноса момента в северном и южном полушариях симметричны и уравновешивают друг друга, т. е. результирующий момент сил трения, действующий на земную кору, примерно равен нулю.

Но, учитывая диссимметрию северного и южного полушарий, а также (по отношению к этим полушариям) диссимметрию солнечной радиации (частично обусловленную вариациями элементов орбиты Земли и положения ее оси вращения), точное уравнивание маловероятно. Таким образом, наличие различных форм диссимметрии приводит к тому, что угловой момент может перераспределяться между атмосферой и другими геосферами. В этом одна из причин существования связи солнечной активности с изменениями угловой скорости вращения Земли.

На вращение Земли влияет также динамика геомагнитного поля (ср. теорию происхождения магнитного поля Земли [Рикитани, 1968]). Обратим теперь внимание на резкую неоднородность внутренних геосфер: если одни из них относительно пластичные (астеносфера, область внешнего ядра), то другие более твердые. Это значит, что Земля вращается не вполне как твердое тело и вариации ее угловой скорости распределяются по геосферам неравномерно. Такая неравномерность вращения может возбуждать внутренние конвективные течения, в первую очередь в наиболее пластичных геосферах. Едва ли все это может заметно проявиться в коротких циклах, но в длинных динамика такой вибрации внутренних геосфер может оказаться существенным синхронизирующим фактором, возбуждающим более активные процессы.

Итак, атмосферная циркуляция и другие явления во внешних геосферах, по-видимому, могут влиять на тектонические процессы. Имеет место и обратная связь, так как активизация вулканов есть существенный фактор изменения климата, в первую очередь из-за выброса большой массы аэрозоля [Будыко, 1974; и др.]. Активизация вулканов может поэтому усложнить климатическую ситуацию, а в некоторых случаях сыграть роль положительной обратной связи, усиливающей эффект космического фактора. В более долговременном плане деятельность вулканов — важный положительный фактор динамики биосферы, так как вулканы обогащают атмосферу углекислым газом и другими жизненно важными веществами.

Подведем итоги.

1. Солнечная активность по отношению к геосфере выступает прежде всего как тотальный синхронизатор самых разных геофизических явлений. Синхронно протекающие процессы воздействуют друг на друга, что ведет к формированию циклических связей, в частности на основе резонансных отношений, усиливающих эффект воздействия. С понижением солнечной активности эти связи могут частично распадаться, заменяясь более «случайной» системой отношений. Одно из наиболее важных следствий всего этого — изменение условий прохождения и трансформации основного потока солнечной энергии, т. е. в конечном счете изменение «коэффициентов полезного действия» преобразований тепловой энергии солнечной радиации в энергию активных процессов в геосферах.

2. Разные процессы обладают неодинаковой степенью инерционности и скоростью протекания. Наименее инерционным образованием по отношению к космическим влияниям является магнитосфера, наиболее инерционным — верхняя мантия (более глубокие образования Земли на короткие циклы, по-видимому, практически не реагируют). Максимумы относительно больших циклов связаны со сравнительно длинными рядами малых циклов высокой активности и способны оказывать наиболее глубокое влияние на многочисленные процессы; влияние малых циклов, приходящихся на минимум больших циклов, более поверхностно.

3. Для периодов высокой солнечной активности характерно возбуждение (дестабилизация или интенсификация) многих сравнительно независимых процессов — различных типов вариаций геомагнитного поля, циклонической и антициклонической активности, гроз, тектонических процессов и пр. Это возбуждение более тотально в максимуме больших циклов. Вероятно, можно говорить об общем возбуждении различных вихревых образований, в особенности таких диссимметричных, как система циклонов — антициклонов, а также круговых систем ионосферных и других токов и пр. В такого рода образованиях происходят трансформация и перенос момента от одной геосферы к другой.

4. При высоком уровне солнечной активности в результате интенсификации и синхронизации различных процессов оказывается более вероятным появление разных «аномалий» — электромагнитных (северных сияний, сильных магнитных бурь и др.), климатических (засух, наводнений, смерчей и ураганов), тектонических (извержений вулканов, землетрясений) и др. Причины каждого такого явления весьма разнообразны и имеют между собой мало общего; сравнительно высокая вероятность их примерного совпадения по времени есть результат существования единого синхронизатора самых различных процессов, каковым выступает Солнце. В максимумах больших циклов эти аномалии, по-видимому, могут принять характер «всемирных катастроф». Однако, рассматривая проблему в рамках концепции биогенеза, следует подчеркнуть, что подобные аномальные (экстремальные) ситуации по сути не только «катастрофические», но и «творческие», они вынуждают биосистему к активности, пластичности и трансформации при одновременном увеличении интенсивности отбора. «Всемирные катастрофы» на время существования человека не приходились *. Но они были важным элементом истории био-

* За последние 40 тыс. лет наиболее сложная ситуация в биосфере имела место в конце плейстоцена — начале голоцена (примерно 10—13 тыс. лет назад). Геомагнитное поле достигло своего минимума (в цикле порядка 7—10 тыс. лет), который был, по-видимому, близок к нулю; имеются утверждения о существовании инверсии поля примерно 12,4 тыс. лет назад. Климат северного полушария отличался повышенной неустойчивостью — волны сильного потепления, ускорявшего отступление вюрмского оледенения, сменялись похолоданием. Весьма вероятно, что средний уровень солнечной активности был повышен. В средних и высоких широтах северного полушария

сферы, которая складывается из длительных периодов сравнительно спокойного существования и более кратковременных сложных периодов катаклизмов, очень различных по масштабу. Но прежде чем обсуждать особенности этих воздействий на динамику биосферы, следует кратко рассмотреть характер влияния солнечной активности на биосистемы.

Глава 3

СОЛНЕЧНАЯ АКТИВНОСТЬ И ИЗМЕНЕНИЯ ЖИВОГО ВЕЩЕСТВА

Под *живым веществом* Земли понимается совокупность всех населяющих ее живых организмов. *Биосфера* — это вся область существования живого вещества, включающая как живые организмы, так и среду их обитания [Вернадский, 1967; и др.].

Таким образом, живое вещество есть часть биосферы, тесно связанная со всей биосферой в целом потоками энергии и информации и биогенной миграцией атомов; поэтому живое вещество есть функция организации биосферы. Структура организации биосферы определяется совокупным действием геобиофизических и геобиохимических потоков энергии, момента количества движения, информации и разнообразных химических веществ, связанных в единое целое сложной системой регулирования. Система регулирования потоков определяет их распределение, направленность и интенсивность и включает положительные и отрицательные обратные связи, экраны и фильтры (образования, смягчающие вариации проходящих через них потоков), области неустойчивости, резонансы, диссимметричные вихревые структуры, ресурсы и пр. Существовая как часть биосферы, живое вещество является вместе с тем основным элементом ее организации; оно способно как ускорять важнейшие геобиохимические потоки, так и концентрировать многие элементы в биогенных скоплениях, создавая крупнейшие запасы ресурсов (углерод,

прокатилась «волна вымирания» — вымирают или резко сокращаются в численности многие группы фауны (мамонт, шерстистый носорог, пещерный медведь, пещерный лев, пещерная гиена и др.). По мнению некоторых исследователей, это был первый в истории современного человека крупный экологический кризис. Начинается «неолитическая эволюция» — переход от хозяйства, основанного на охоте и простом собирательстве, к скотоводству и земледелию.

кальций, магний, железо, марганец, фосфор, сера и др.) [Лано, 1979; Шипунов, 1980].

Важнейшая функция живого вещества — «космическая», по выражению Вернадского [1967], которая состоит в улавливании солнечной и последующем накоплении биохимической энергии, в создании в биосфере термодинамического поля с высоким информационным потенциалом. Как будет видно далее (см. гл. 4 и 5), роль космической функции в ходе эволюции живого вещества возрастает. Живое вещество внутренне организовано и включает многоплановую систему структур от молекулярно-клеточных до популяционно-экологических. Благодаря органической связи живого вещества со всей биосферой как общие изменения в биосфере, выражающиеся прежде всего в изменениях потоков энергии, информации и т. д., отражаются на процессах жизнедеятельности, так и изменения в живом веществе влияют на распределение и другие особенности этих потоков в биосфере.

Пожалуй, наибольшее число фактов, свидетельствующих о существовании связи между ходом солнечных и биологических процессов, собрано в результате изучения статистики заболеваемости. Со «взрывными» солнечными вспышками и сильными магнитными бурями связаны обострения сердечных и мозговых заболеваний. Зависимость от хода солнечных процессов обнаруживают динамика дорожных аварий, некоторых психических заболеваний и т. д. С 11-летним циклом и производными от него связан ход ряда инфекционных болезней, имеющих характер эпидемий и пандемий: гриппа, чумы, холеры, скарлатины и др. [Чижевский, 1973; Влияние..., 1971; Дубров, 1974; Дружинин и др., 1974].

Следует заметить, что в 11-летнем цикле одни из этих эпидемий распространялись преимущественно в годы высокой активности Солнца (грипп, холера и пр.), а другие — скорее в годы минимальной активности (например, чума).

Сами по себе эти факты, конечно, нельзя интерпретировать однозначно. Во-первых, в медицинских работах организм часто рассматривается в его патологическом состоянии, а не все наблюдения, справедливые для этого состояния, можно перенести на здоровый организм; тем более нужно быть осторожным при попытках обобщать такие наблюдения для биосферы в целом. Например, совершенно неприемлемым представляется утверждение, что всплеск солнечной активности оказывает на организмы преимущественно разрушительное воздействие, от которого они должны защищаться. Во-вторых, очень редко учитываются экологические связи, делающие возможными активацию и распространение агента заболеваний и во многом предопределяющие особенности процесса. Например, эпидемиям чумы часто предшествуют увеличение плотности популяции грызунов и последующие эпизоотии. Последнее замечание носит общий характер: воздействие любого тотального агента на биосферу не может быть правильно понято без учета существующей в биосфере системы

информационно-экологических связей на различных структурных уровнях ее организации.

Из других фактов, представляющих интерес, можно отметить установленное в опытах воздействие солнечной активности на жизнедеятельность коринебактерий (эффект Чижевского — Вельтхера). С ходом солнечных процессов связаны изменения некоторых характеристик крови, урожайность сельскохозяйственных культур, рост годовых колец деревьев, активность насекомых, динамика численности популяций грызунов и т. д. [Влияние..., 1971; Проблемы..., 1973; Дубров, 1974; и др.].

Имеются также утверждения о существовании прямого генетического эффекта воздействия солнечной активности и динамики геомагнитного поля. Например, по А. П. Дуброву [1974], у дрозофилы сезонный ход инверсий хромосом точно соответствует изменению геомагнитного поля за тот же период; при сильном снижении уровня естественного геомагнитного поля у дрозофилы наблюдались мутации, приводившие к отклонению в соотношении полов по сравнению с нормальным ожидаемым соотношением. И. П. Дружинин, Б. И. Сазонов и В. Н. Ягодинский [1974] утверждают, что существует связь солнечного цикла с изменением полового распределения потомства лошадей в России и т. д. Подобные наблюдения пока недостаточно проанализированы, и даже сами утверждения о существовании прямых генетических эффектов, по-видимому, еще не могут считаться хорошо доказанными; некоторые из имеющихся в литературе утверждений, во всяком случае, могут вызывать пока сомнение.

Здесь следует заметить, что жесткое рентгеновское или гамма-излучение, генетический эффект воздействия которых хорошо изучен, несут в себе высококонцентрированную энергию, но для организма в целом они малоинформативны и потому оказывают на него преимущественно локальное разрушительное воздействие. Напротив, солнечная радиация и связанные с ней вариации геомагнитного поля для биосферы в целом высокоинформативны в силу как своего внутреннего информационного богатства (возможность одновременного воздействия на процессы различных масштабов), так и того, что они в течение сотен миллионов лет были факторами, к которым организмы так или иначе должны были приспосабливаться. Их воздействие могло вызвать возбуждение всего организма, которое при определенных условиях приводило к кумулятивному эффекту усиленного воздействия на некоторые его функциональные системы. Одним из результатов этого может быть генетическое изменение или непосредственно, т. е. силами самого организма, что весьма вероятно, но требует более полного доказательства, или косвенно — через изменение поведения, изменение общей численности популяции и т. д.

Многие из приведенных выше утверждений длительное время вызвали недоверие, в особенности у физиков и биофизиков, так как априори считалось несомненным, что общие изменения

солнечной радиации и геомагнитного поля по своей энергии настолько малы, что не могут оказывать на живое вещество сколько-нибудь заметного воздействия. Однако и здесь за последние примерно 20 лет произошли существенные сдвиги. Многими исследователями было доказано, что биосистемы очень чувствительны к слабым электромагнитным полям, так как последние могут быть для них информативны. В зависимости от хода солнечной деятельности и вариаций геомагнитного поля меняются свойства некоторых коллоидных растворов (тесты Пиккарди) и крови [Влияние..., 1971; Реакция..., 1978]. Слабые электромагнитные поля влияют на нервную систему и многие процессы в организме [Пресман, 1968; Холодов, Шило, 1979]. С эффектом слабых геомагнитных полей, по крайней мере в некоторых случаях, связана временная организация жизненных процессов («биологические часы» и пр.) и пространственная ориентация организмов [Биологические часы, 1964; Пресман, 1968; Дубров, 1974]. Обнаружена корреляция между динамикой геомагнитного поля и процессами акселерации и ретардации (замедленного развития), а также изменениями некоторых морфологических особенностей черепа [Василик, 1974].

Большую ценность представляют наблюдения над растениями и животными, которые длительное время вынуждены жить в аномальных по электромагнитным параметрам условиях. Обнаружено, например, что длительное пребывание в условиях экранирования от естественного геомагнитного поля (в гипомагнитной среде) в некоторых случаях приводит к большим и необратимым изменениям в организме и даже к прогрессирующему вырождению. Одно из таких наблюдений проводилось над белыми мышами. В каждом поколении у них наблюдались специфические расстройства важных жизненных функций. К четвертому поколению воспроизводство прекратилось. В раннем возрасте большинство мышей становились неактивными и вялыми, их поведение было необычным — длительное время они лежали на спине. Примерно у 14% мышей взрослой популяции фиксировалось прогрессирующее облысение, начиная от головы и до половины спины. Во втором поколении, даже в большей степени, чем в третьем и четвертом, имел место каннибализм. Отмечались также отчетливые изменения в почках и других органах. Различные формы нарушений жизнедеятельности наблюдались исследователями также у микроорганизмов, растений и человека. У микроорганизмов в гипомагнитных условиях могут появляться мутантные формы клеток. В некоторых случаях заметных эффектов не обнаружено [Дубров, 1974]. Различные отклонения от обычной нормы встречаются также у растений в районе Курской магнитной аномалии [Реакция..., 1978].

По мере расширения исследований число обнаруживаемых эффектов растет, так что, по-видимому, вообще не существует биосистемы, на которую солнечная активность и геомагнитное поле не оказывали бы какого-либо прямого воздействия, хотя

оно может быть очень завуалированным и осложненным косвенными воздействиями иных факторов и более или менее случайными обстоятельствами.

Хотя фактов, свидетельствующих о связи различных форм жизнедеятельности с солнечной активностью и динамикой геомагнитного поля, собрано уже огромное количество, в целом они еще концептуально не оформлены. Общеизвестной теории связи солнечной активности и динамики живого вещества пока не существует. Трудность проблемы усугубляется тем, что здесь оказывается малоэффективным традиционный для естествознания аналитический подход, сводящий всю внешнюю сложность явления к немногим сравнительно простым «первопричинам», которые затем можно было бы анализировать в их «чистом» виде. Напротив, биосистема с самого начала должна представляться как многоуровневая организованная система, чувствительная как к интенсивным («энергетическим»), так и к некоторым значительно более слабым («информационным») внешним воздействиям.

Создание такой теории — дело будущего, а пока можно сказать следующее.

1. «Взрывные» и некоторые другие формы солнечной активности и связанные с ними вариации геомагнитных полей (магнитные бури и пр.) ведут к общему неспецифическому возбуждению (отчасти дестабилизации) биосистем; в более интенсивной форме они могут создавать внутреннее общее напряженное состояние, т. е. ведут к стрессу.

Концепция стресса и аналогичных форм общей неспецифической активации наиболее полно разработана применительно к человеку и некоторым млекопитающим [Селье, 1972; Гаркави и др., 1977]. И хотя некоторые аспекты феномена специфичны именно для человека, существование общебиологической основы явления в принципе сомнения не вызывает. Наиболее важная для данного обсуждения особенность стресса и других форм общей неспецифической активации организма заключается в существовании принципиально различных фаз общей реакции биосистемы на стресс. При действии стресса среднего уровня интенсивности происходит возбуждение «внешних» функциональных систем, вынуждающее организм быть внешне более активным (даже, возможно, агрессивным), причем, видимо, одновременно подавляются некоторые внутренние функции, а также некоторые «запреты», препятствующие свободной активации возбуждаемых систем; в частности, могут активизироваться половые функции и связанные с ними типы поведения. Для интенсивного стресса имеет место обратное — начинают развиваться процессы типа «запредельного торможения», организм переходит во внешне пассивное состояние, стремясь как бы «отключиться» от внешнего мира, подавляются половые функции; возможно развитие внутренних процессов саморазрушения, источником которого служит внутренний дисбаланс функций, возникающий в результате неспособности выработать адекватную реакцию на стимул.

Ясно, что стресс тотального воздействия и достаточной интенсивности в принципе ведет к функциональному «расслоению» организмов и целых популяций, причем характер этого «расслоения» и его масштабы зависят от особенностей факторов, вызывающих стресс. Для одних форм, относительно более пластичных, типичной реакцией будет общее возбуждение, которое затем ведет к усилению внешних форм активности, к экспансии, размножению, увеличению общего разнообразия и пр. Для других форм, относительно более жестких, основные тенденции могут быть противоположными: общая пассивизация, «усталость», снижение интенсивности размножения, уменьшение разнообразия, появление органических патологий, рост заболеваемости — и, возможно, полное вымирание. Последнее может произойти также и много позже окончания действия физического фактора в силу того, что активизировавшиеся формы, занимая доминантное положение в экосистеме, могут угнетать прямо или косвенно и наконец вытеснять более пассивные формы. Иначе говоря, если первоначально в роли фактора, ведущего к стрессу, выступает физический агент, то затем его аналогом может стать биологический фактор, а именно изменившаяся, но еще не пришедшая в равновесие организация экосистемы. Даже если полного вымирания популяции не происходит, в результате нарушается равновесие в экосистеме, инициируются сукцессия, смена доминантных форм, «волны жизни» (как реакция экосистемы на нарушение равновесия) и т. д., изменяется внутренняя структура экосистемы, что приводит к сложным и длительным динамическим процессам. Повторим, что все это относится к достаточно интенсивному стрессу.

Следствием более слабых форм стресса может быть временное изменение численности и плотности популяции, вариации генофонда и прочее, что в целом ведет к развитию «волн жизни», т.е. к колебаниям численности популяции, качественного их состава и т. д. Все это обычно осложняется многочисленными побочными явлениями — отношениями типа «хищник — жертва», развитием эпизоотий и эпифитотий и пр. Затем, кстати, что увеличение заболеваемости может интерпретироваться как результат вспышки жизненной активности у вызывающих ее агентов — вирусов или бактерий или как результат ее снижения у организма из-за недостаточной общей стимуляции жизнедеятельности в сложной неблагоприятной ситуации. Несомненно, развитие разнообразных эпизоотий и эпифитотий служит важным биологическим фактором, усугубляющим «катастрофический» характер переломных эпох в развитии живых организмов. Не исключено, однако, что при определенных обстоятельствах вирусы могут выполнять и более позитивные функции как источник «внешней» генетической информации, в частности как ее переносчик [Уманский, 1979; Грант, 1980]. Если это так, то развитие эпизоотий и эпифитотий при определенных условиях может стать важным фактором трансформации видов.

2. Одна из основных форм временной организации биосистем — ее ритмическая (циклическая) структура. Система ритмов (циклов) определена на всех основных структурных уровнях биосферы (от молекулярного уровня организации до экосистем). Существуют внутриклеточные колебательные процессы, связанные с быстротекущими циклами биохимических реакций, циклы активности организмов (циркадные, месячные, сезонные и др.) и многолетние колебания численности популяций («волны жизни»). В результате образуется сложная иерархическая система циклов, в которых воспроизводятся основные формы жизнедеятельности живого вещества. В основе этой ритмической (циклической) организации обычно лежат внутренние процессы автоколебательного типа, который хорошо изучен в теории колебательных систем [Биологические часы, 1964; Андронов и др., 1959; Мандельштам, 1972]. Однако, как оказалось, характерные периоды этих колебаний очень часто близки к периодам колебаний того или иного внешнего фактора геосферы (в том числе к некоторым частотам геомагнитных пульсаций), который в принципе может выполнять роль синхронизатора многих параллельно протекающих процессов (см. также [Владимирский, 1977, 1982]). При наличии такого внешнего колебательного процесса, если он информационно значим для биосистемы, возможен феномен «затягивания», т. е. приведение внутреннего цикла в примерно «резонансное» отношение к внешнему фактору. В результате биосистема, с одной стороны, настраивается на динамику внешних условий, с другой — происходит, по-видимому, взаимная синхронизация внутренних циклов. При отсутствии внешнего синхронизатора, вероятно, имеет место некоторая десинхронизация внутренних циклов под влиянием случайных возмущений и, как следствие, «распад» внутренней организации и «деградация» биосистемы [Биологические часы, 1964; Дубров, 1974; Блехман, 1981].

В силу тотальности своего воздействия Солнце является особым родом синхронизатором ритмов и «волн жизни». Оно инициирует сложную систему ритмических колебаний геомагнитного поля, климата и других компонентов геосферы, причем так или иначе затрагивает практически все ритмы биосферы. Синхронизация их может приводить к формированию многочисленных резонансных отношений, в результате чего роль одного фактора может резко усилиться за счет другого. Например, активация какого-то вируса или бактерии может быть результатом непосредственного влияния солнечной активности. Такое заключение можно сделать, в частности, из рассмотрения эффекта Чижевского — Вельговера [Чижевский, 1973]. Одновременно в силу аналогичных причин может резко увеличиться численность и плотность какой-либо популяции. Итогом может быть массовое заражение, т. е. быстрое распространение агента заболевания, который затем может переходить на популяцию другого вида и т. д. Формирование или активация систем жизненных цик-

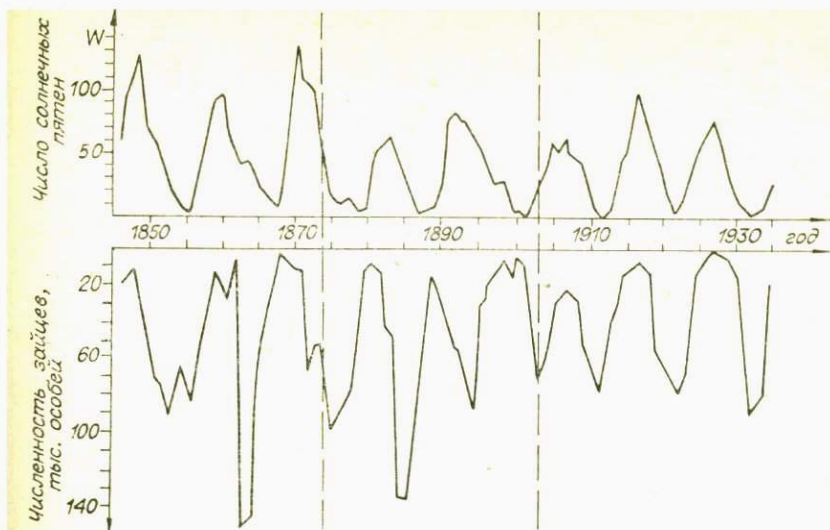


Рис. 8. Динамика изменения численности зайца-беляка в сравнении с числами Вольфа.

лов в принципе создают возможность установления новой системы связей между параллельно протекающими процессами, т. е. сдвига в организации биосистемы.

Для иллюстрации рассмотрим изменения численности американского зайца-беляка (Канада) в сравнении с числами Вольфа * (рис. 8, где для удобства график изменения численности зайцев представлен в перевернутом виде) [Одум, 1975]. Само по себе изменение солнечной активности, наверное, не есть основная причина колебаний численности зайцев; наиболее вероятно, что такой причиной являются отношения «хищник — жертва» в условиях сравнительно бедной высокоширотной экосистемы (увеличение числа зайцев создает благоприятные условия для роста популяции рысей, что приводит к более интенсивному уничтожению зайцев; в результате численность последних сокращается, что ведет к уменьшению количества корма для хищников, численность которых также начинает вследствие этого сокращаться; значительное сокращение популяций хищников опять создает благоприятные условия для увеличения популяции зайцев и т. д.). Однако формирование цикла изменений популяции зайца с характерным периодом около 10 лет в геомагнитно активном высокоширотном районе Земли создает предпосылки для синхронизации этого цикла с циклом солнечной активности. Отчетливо эта синхронизация проявляется приблизительно в

* Вероятно, было бы правильнее проводить сравнение не с числами Вольфа, а с аналогичными характеристиками для северного полушария Солнца.

первой половине 80—90-летнего цикла — того, который продолжается сейчас (примерно с 1905 г. до конца имеющегося в нашем расположении ряда наблюдений) и прошлого (с начала наблюдений примерно до 1870 г.). Во всех этих случаях год минимума численности популяции зайцев близок к году максимума солнечной активности. В конце прошлого 80—90-летнего цикла в связи с общим уменьшением солнечной активности и, возможно, также какими-то другими его особенностями, например изменением асимметрии (см. гл. I), такая форма синхронизации распалась. Любопытно, что при этом возникла тенденция к замещению отрицательной корреляции положительной — между 1880 и 1990 гг. максимум популяции зайца оказался близким к максимуму солнечной активности*.

Таким образом, хотя связь изменений солнечной активности с изменением численности популяции зайца оказалась достаточно сложной, достоверность ее существования сомнений не вызывает.

Экологи, физиологи и биофизики еще только начинают изучать временную организацию биосистем. И хотя в свете большого числа накопившихся наблюдений их важность уже совершенно ясна, построение основных концепций еще впереди.

3. С особенностями динамики биосистем, в частности со структурой временных циклов, тесно связаны субстантивные диссимметричные и асимметричные структуры живого существа. Вернадский [1965, 1975, 1980] придавал большое значение диссимметрии и асимметрии живого вещества и относил их к числу самых важных характерных его свойств. Сам временной цикл в ряде случаев может рассматриваться как своеобразная временная диссимметрия, так как в противоположных фазах цикла, в максимуме и минимуме активности, в биосистемах могут выполняться различные взаимодополняющие функции. Поэтому в разное время биосистема оказывается чувствительной к воздействиям различных типов и различным образом на них реагирует соответственно разным фазам временного цикла. Типичной формой диссимметрии живых организмов выступает дуализация функций, одна из которых более ориентирована на «внешнюю» активность и связана с процессами распада и т. п. (например, катаболизм, формы поведения, связанные с поиском и добыванием пищи), тогда как другая — на «внутреннюю» активность и связана с процессами внутреннего восстановления, синтеза, упорядочения и т. п. (например, анаболизм, «гнездовые» и им подобные формы поведения). Каждая из этих форм активности в норме связана с определенными состояниями внешней среды, изменение которой так или иначе нарушает обычный ход жизнедеятельности организмов.

* Подобное изменение знака корреляции отмечается также и для некоторых метеорологических явлений [см.: Влияние..., 1971].

Особое значение диссимметричные и асимметричные структуры живого вещества имеют для всего круга вопросов, связанных с проблематикой солнечной активности. Выше было отмечено, что всплеск солнечной активности, весьма вероятно, тесно связан с увеличением переноса и трансформацией завихренности (асимметрии) и активизацией диссимметричных процессов в геосфере. Это приводит к специфическим (асимметричным) воздействиям на живое вещество. Естественно, здесь прежде всего следует рассмотреть самую основу биофизических структур, т. е. диссимметричную функциональную систему «нуклеиновые кислоты — белки», тем более что и тем, и другим свойственна ярко выраженная асимметрия структуры и функций.

Как известно, ДНК в своем обычном состоянии — это плотно упакованная правая двойная спираль (модель Уотсона — Крика). Для исполнения функции синтеза белка эта спираль должна быть раскручена по ходу часовой стрелки; после ее выполнения она должна скрутиться в противоположном направлении. По-видимому, в скрученном состоянии ДНК также осуществляет важные биофизические функции. Она, вероятно, является значимым элементом электромагнитной организации клетки и играет существенную роль в процессах трансформации потоков слабого электромагнитного поля в некотором биологически активном состоянии. Как бы то ни было, ясно, что в динамике активации ДНК важен не только перенос энергии, но и перенос и трансформация момента, как бы этот процесс ни осуществлялся — через магнитное поле или через вещество. Поэтому наличие специфических источников и потоков «завихренности» в биологически значимой форме должно иметь особую важность для активизации фундаментальных жизненных процессов.

С этой точки зрения естественно рассматривать изначальные формы асимметрии и диссимметрии живого вещества в качестве отражения изначальной асимметрии Солнечной системы как целого, а именно основной формы ее закрученности («завихренности») против хода часовой стрелки (в системе координат, ориентированной на Полярную звезду). Эта асимметрия волнами в больших и малых циклах солнечной активности переносится на Землю, воздействует на ее глобальные асимметричные и диссимметричные структуры (Земля тоже вращается против часовой стрелки, что вызывает специфические асимметрии системы циклонов — антициклонов, геомагнитных структур и пр.) и затем трансформируется в соответствующие структуры и формы динамики биосферы. Иначе говоря, асимметрия и диссимметрия живого вещества возникли в результате воздействия Космоса, в первую очередь Солнечной системы и ее управляющего центра — Солнца, и служат инструментом восприятия космических влияний.

Согласно сказанному выше, на уровне макромолекул в процессах трансформации «биополей» важную роль играют функционально диссимметричные структуры «нуклеиновые кислоты —

белки», разумеется не сами по себе, а в системе с другими образованиями. В принципе не вызывает сомнения, что с клеточной организацией потоков и трансформацией биополей тесно связаны определенные формы организации биосистем на всех высших уровнях, в частности на уровнях организма и экосистем. К сожалению, эти вопросы изучены очень слабо и сказать здесь что-то определенное трудно.

Здесь полезно обратить внимание на систему «активных точек» и «каналов» и связанную с ней систему «янских» и «иньских» органов, фигурирующих в китайской системе иглотерапии [Вогралак, 1964; и др.], в которой, кстати, очень разнообразно и вместе с тем последовательно проявляется принцип функциональной диссимметрии «ян — инь». Современными исследователями реальность «каналов» и «активных точек» подтверждается. Например, выяснилось, что «каналы» характеризуются пониженным электрическим сопротивлением по сравнению с близлежащими тканями тела: особенно сильно меняется сопротивление в активных точках. Заметим еще, что во время геомагнитных бурь меняется величина электрических потенциалов кожи человека и одновременно появляется или усиливается асимметрия в их распределении [Дубров, 1974]. «Активные точки» обнаружены также и у животных [Март, 1978; Жирмунский, Кузьмин, 1979]; сведений о существовании аналогичной системы у растений нет. В целом система имеет как «внутренний» (выступающая в качестве системы относительной перенастройки активности (тонуса) основных внутренних функциональных образований), так и «внешний» аспекты, хотя внешний очень неясен, поскольку система «активных точек» и «каналов» в целом явно функционирует как нечто способное воспринимать какие-то сигналы извне и затем трансформировать их в соответствующие формы внутренней активности. С этой точки зрения «каналы» ассоциируются со своего рода «антеннами», а вся система в целом — со своеобразным «приемным» устройством. Напомним, что атмосфера прозрачна как для видимого света, так и для радиоволн в диапазоне примерно от 1 мм — 1 см до 10—50 м и что, подобно видимому свету, излучения этого диапазона должны иметь определенное значение для живых организмов. К сожалению, биофизические и экологические функции системы почти не исследованы и практически неизвестны.

Так или иначе, но влияние солнечной активности и геомагнитного поля воспринимается всем организмом и затем трансформируется в соответствующие формы активации внутренних функциональных систем, что, в свою очередь, ведет к общей функциональной перенастройке организма как целого, и здесь, несомненно, формы диссимметрии и асимметрии морфологических структур имеют первостепенное значение.

Ярко и многообразно выражена диссимметрия у человека, у которого «правое» и «левое», «переднее» и «заднее», «верхнее» и «нижнее» функционально и психологически резко различают-

ся. И даже его «разум» представляется диссимметричным единством эмоционально-образной * системы, ассоциируемой преимущественно с правым полушарием головного мозга, и счетно-решающей логической и вербальной системы, ассоциируемой в основном с левым полушарием. По данным Брагиной и Доброхотовой [1981], для правой правое полушарие сопряжено с прошлым временем человека, а левое — с будущим (для левой в этом отношении картина более сложная и пока неясная). С этим и, возможно, с некоторыми другими диссимметриями связана, как они считают, психологическая диссимметрия (необратимость) времени человека, т. е. резкая неэквивалентность прошлого и будущего: прошлое переживается преимущественно в конкретных (реальных) чувственных образах (через воспоминание), тогда как переживание будущего предполагает целевые и тому подобные более абстрактные типы деятельности и носит более конструктивно-творческий характер. По-видимому, с этими диссимметриями связана также своеобразная диссимметрия области бессознательного у человека, в частности недавно введенное некоторыми советскими психологами противопоставление «подсознания» с его опорой на прошлое, потребности «нужды» и охранительной функцией и «надсознания», опирающегося относительно больше на будущее, потребности «роста» и высшие творческие и смысло-жизненные потенции человека [Симонов, 1981]. Весь этот интересный круг проблем по существу только начинает разрабатываться.

Для разных организмов формы морфологической асимметрии могут быть выражены по-разному, и наряду с резко асимметричными и диссимметричными существуют формы, обладающие высокой степенью симметрии различных типов (медузы, морские звезды и др.). Интересно, что все эти симметричные формы организмов в основном достаточно древние, т. е. ассоциируются с исторически ранними фазами развития многоклеточных организмов. Видимо, одна из основных тенденций развития биосферы — переход от сравнительно симметричных начальных форм к формам диссимметричным [см. также: Беклемишев, 1964; Хоменко, 1974], хотя этот процесс может реально протекать очень сложно («волнами»), так как накладывается на совокупность временных циклов всех рассмотренных выше систем.

Интересные факты о связи диссимметрий с солнечной активностью и геомагнитным полем приводит А. П. Дубров [1974]. Оказывается, что, несмотря на кажущуюся устойчивость диссимметричных признаков у растений (определяемых по расположению лепестков по ходу или против хода часовой стрелки и другими способами), они не остаются постоянными, а непрерывно варьируют. Эти вариации в изменении относительного количества той или иной диссимметричной модификации имеют цикличность с периодами

* Наверное, было бы точнее сказать более длинно — «экспрессивно-выразительной и реально-чувственной».

~1 год и 11 лет. Наблюдалось также соответствие изменений диссимметрии цветков у растений одного и того же вида изменениям наклона геомагнитного поля, изучавшееся в разных географических точках, изменение симметричных свойств левых и правых форм растений при разной ориентации по отношению к геомагнитным полюсам. Имеются высказывания, что геомагнитное поле может влиять на соотношение полов. Все подобные утверждения представляют особый интерес, и потому они требуют тщательной проверки и анализа возможных тенденций. Возникает также вопрос, действительно ли разные диссимметричные формы живых организмов могут считаться вполне равноценными, или же одна из этих форм более устойчива в определенных диссимметричных условиях среды и, возможно, по каким-то критериям более активна. Складывается впечатление, что различные дуальные формы организмов не эквивалентны (не вполне симметричны) по отношению к естественным активирующим воздействиям, с чем, вероятно, связан постепенный распад первоначальных сравнительно симметричных форм на диссимметричные, в которых разные симметричные (по расположению) части наделяются несимметричными и даже дополнительными (противопоставляемыми) функциями.

Обсуждение проблемы диссимметрии будет продолжено в следующих главах.

В заключение выделим основное. Всплеск солнечной активности, по-видимому, ведет к общему неспецифическому возбуждению почти всех основных форм жизнедеятельности. Но через систему жизненных циклов и диссимметричные структуры, которые определяют относительную чувствительность и тип реакции разных функциональных систем на активизирующее воздействие, это возбуждение оказывается качественно направленным, т. е. ведет к акцентированию некоторых функциональных центров и соответствующих субстантивных структур. С этим тесно связано то обстоятельство, что «стрессовые» характеристики различных элементов биосистем различны. Если для одних функциональных элементов (органов, организмов, популяций и пр.) наблюдается общий подъем жизнедеятельности, то для других могут начать развиваться внутренние процессы типа «запредельного торможения» и даже самораспада; таким образом, возможно какое-то расслоение функциональных компонентов биосистем и перестройка доминантной структуры. Все эти явления могут быть слабо выражены в малых циклах и при низком уровне активности Солнца и геомагнитного поля, но значительны в больших циклах, в особенности тогда, когда совмещаются максимумы ряда циклов.

Выше, при анализе воздействия солнечной активности на гео-сферу, было отмечено, что, во-первых, повышение солнечной активности в принципе ведет к общему возбуждению почти всех ее компонентов, и, вероятно, в первую очередь вихревых структур, хотя этот процесс довольно сложен как из-за различной инерционности подсистем, так и из-за неоднозначности их воздействия друг на друга; во-вторых, увеличивается вероятность примерно одно-

временного появления различных «аномалий» и даже «катастроф», масштаб которых зависит от типа временного цикла и общего уровня солнечной деятельности. Образно говоря, Солнце через геосферу как бы создает для биосферы «творческую» ситуацию, требующую активности и способности к нестандартному ответу на «вызов». Примерно то же можно сказать и о биосфере в целом, которая также возбуждается через различные каналы воздействия, создавая «творческую ситуацию» для составляющих ее подсистем. Особенно замечательно то, что примерно параллельно всем внешним процессам происходит самоактивация живого организма. Сложность внешней ситуации и интенсивность самоактивации определяются масштабом временного цикла, а также уровнем пластичности или инерционности различных подсистем. Хотя и те, и другие процессы достаточно сложны и во многом определяются независимыми причинами, они до некоторой степени синхронизированы единым внешним фактором — Солнцем.

Здесь уместно вспомнить концепции Северцева о существовании качественно различных форм эволюции организмов, и в первую очередь его концепцию ароморфоза. Ароморфоз он определяет следующим образом: «*Морфофизиологический прогресс*, или *ароморфоз*, характеризуется осложнением и дифференцировкой организации животных и осложнением, дифференцировкой и интенсификацией функций их активных органов (органов дыхания, кровообращения, питания и движения, а также центральной нервной системы и органов чувств), в результате чего происходит *общий подъем энергии жизнедеятельности животных*. Изменения строения эволюционирующих в направлении ароморфоза животных носят общий характер и не представляют собой приспособлений к каким-либо определенным и специальным условиям и особенностям окружающей среды» [Северцев, 1967, с. 137]. Кроме того, он отмечает: «Между появлениями двух групп прогрессивных изменений организаций, т. е. между двумя ароморфозами, может пройти весьма значительный промежуток времени, так что процесс прогрессивной эволюции идет в большинстве случаев как бы уступами, причем периоды подъема организации чередуются с периодами, когда морфофизиологический прогресс эволюции не происходит вовсе... Периоды ароморфоза представляют собой как бы узловые точки эволюционного процесса, после которых начинается процесс усиленной адаптивной радиации, и данная прогрессивная систематическая группа распадается на большое число дочерних групп адаптивного характера» (там же, с. 86).

С позиции развиваемой здесь концепции ароморфоз естественно совмещается с периодом высокой солнечной активности, т. е. максимумами больших циклов, которые выше были в целом охарактеризованы как периоды наиболее «творческие».

Продолжая мысль Северцева, было бы логично также говорить об ароморфозе экосистем, во время которого происходит трансформация не одного какого-то вида, но совокупности видов, объединенных системой экологических связей. Здесь вслед за Вернадским

следует подчеркнуть, что процесс трансформации видов протекает в трансформирующейся экосистеме и связан с изменением системы экологических связей, т. е. должен рассматриваться в соотношении с экологическими факторами (с изменением потоков энергии, геохимических круговоротов вещества и пр.). Во всяком случае, это должно быть справедливо по отношению к изменениям наиболее принципиального плана — крупным ароморфозам. Палеонтологический и другой материал, иллюстрирующий этот тезис, мы попытаемся проанализировать ниже. Пока же заметим, что периоды крупнейших ароморфозов экосистем были достаточно кратковременными в геологическом времени и сопровождались интенсивными процессами видообразования, протекавшими в значительной степени на всей Земле. В свою очередь, это свидетельствует о том, что за такими изменениями стоит некий фактор, способный тотально воздействовать на всю систему, активизируя ее. Весьма вероятно, что таким фактором является Солнце.

Глава 4

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ЭВОЛЮЦИИ ЗЕМЛИ

Напомним, что эволюция Солнца за последние 4,5 млрд. лет была достаточно сложна. Прежде всего нужно выделить следующее:

1) увеличение светимости в результате развития внутренних энергетических (термоядерных) процессов; по современным оценкам, общее изменение светимости Солнца за 4,5 млрд. лет составило ~30 %;

2) изменение полного момента количества движения Солнца, складывающегося из механического и магнитного. Вероятно, это явление тесно связано с суммарным влиянием планет на Солнце. В целом момент уменьшается, но основную тенденцию осложняет воздействие системы циклов, придающей процессу сложный колебательный характер;

3) развитие «взрывных» процессов на Солнце, иногда отождествляемых с солнечной активностью в узком смысле слова. Эти процессы тесно связаны с изменением светимости и собственного момента количества движения Солнца. Если исключить очень неясный первый период существования Солнечной системы (~1 млрд. лет), когда из-за ее начальной нестабильности уровень вспышечной активности Солнца мог быть очень высок, то естественно предположить, что в общем эти процессы усиливались вместе с увеличением светимости.

Вероятно, в ходе эволюции Солнца менялась поляризация солнечного излучения, но определенных данных об этом нет.

Основная структура Солнечной системы сформировалась достаточно рано; процесс стабилизации должен был в основном завершиться за первый миллиард лет ее существования. Как показали исследования Луны, примерно от 4,6 до 3,9 млрд. лет назад происходила ее интенсивная бомбардировка межпланетными обломками или метеоритами, кульминация которой приходится приблизительно на время 3,9—4,0 млрд. лет назад [Ранняя история . . ., 1980]. Это, по-видимому, указывает на существование какой-то неустойчивости, имевшей место в Солнечной системе. Для последующего периода явных свидетельств общей нестабильности Солнечной системы нет. Однако изменения продолжались в отдельных планетных системах, из которых для нас наиболее важна, конечно, система Земля — Луна.

Хотя Солнечная система в основном сложилась в ранний период своего существования, это не значит, что далее она не развивалась. Современные представления о резонансности Солнечной системы делают очень правдоподобной гипотезу о том, что в течение всего времени ее существования продолжался медленный процесс синхронизации движения планет, приводивший к увеличению числа и уточнению системы резонансов. Возможно, этот процесс еще не завершился. Его результатом выступает все большая согласованность динамики различных явлений в Солнечной системе. Кроме того, с развитием резонансов последняя должна была становиться более чувствительной к каким-то информационно значимым для нее внешним (галактическим) воздействиям. Однако какими могут быть эти воздействия реально — неизвестно. В отдельных подсистемах мог происходить неоднократный переход через состояние резонансности. Так было, например, в системе Луна — Земля — Солнце, в которой приливные силы оказались более мощным фактором эволюции, чем взаимная синхронизация. Но и в этом случае резонансные состояния должны рассматриваться как особые состояния этих систем.

Тезис об изменении светимости Солнца примерно на 30%, вытекающий из современных астрофизических теорий, кажется на первый взгляд парадоксальным. Действительно, по оценкам климатологов (см., например, [Будыко, 1974, 1977, 1980]), уменьшения солнечной постоянной на величину $\sim 5\%$ в современных условиях уже достаточно для катастрофического оледенения всей Земли (формирования «белой Земли»). Дело в том, что с уменьшением солнечной постоянной растет площадь ледников, что увеличивает альбедо Земли; последнее способствует дальнейшему охлаждению и росту ледников. Но по данным геологии и палеонтологии, за исключением сравнительно кратковременных периодов климат Земли в прошлом был теплым и достаточно стабильным. Это стало основанием для заключения, что за геологическое время до архея включительно светимость Солнца должна была оставаться практически постоянной. В конечном счете это и другие подобные

заклучения привели к мнению о достаточной стабильности космического окружения Земли, т. е. о несущественности динамики космических факторов. Но эти выводы основаны на некорректном использовании принципа актуализма. В определенном отношении Земля должна рассматриваться как устойчивая, саморегулирующаяся система, способная поддерживать стабильность некоторых своих параметров путем возбуждения или подавления соответствующих внутренних процессов. Важным элементом системы регуляции является биосфера. Поэтому примерное постоянство климата для больших отрезков времени свидетельствует скорее об эффективности системы регулирования, т. е. о высокой устойчивости по отношению к тепловому потоку Солнца.

Некоторые вероятные элементы системы регуляции будут обсуждаться далее. Пока же заметим, что ее эффективность вызывает удивление. Сейчас можно сказать совершенно уверенно, что за последние 3 млрд. лет, т. е. за 2/3 времени существования Земли, на ней никогда не было глобального оледенения (хотя известно уже много ледниковых периодов, в том числе и в докембрии), т. е. средняя температура поверхности не опускалась ниже 0°C (вероятно, всегда была выше $5-10^{\circ}\text{C}$). Точно так же средняя температура не поднималась выше 100°C (вероятно, даже до $50-60^{\circ}\text{C}$), поскольку весь этот период существовали гидросфера и живые организмы. Опираясь на современные теории климата, можно с высокой степенью вероятности утверждать, что практически всю историю Земли, кроме только самой начальной фазы ее формирования, средняя температура ее поверхности находилась в пределах примерно $0-100^{\circ}\text{C}$. Действительно, даже в современных условиях понижение температуры, достаточное для глобального оледенения Земли, привело бы к большому увеличению альбедо и, как следствие, к сильному последующему понижению температуры поверхности и формированию очень устойчивого режима «белой Земли». Правдоподобные, по современным представлениям, вариации светимости Солнца были бы не в состоянии вывести Землю из этого режима, который, следовательно, сохранялся бы очень долго, делая невозможным развитие биосферы (см. также [Будыко, 1977, 1980]). Поэтому глобального оледенения за все время существования Земли быть не могло и температура ниже 0°C возможна была только в самый ранний период, когда на ней еще практически не было гидросферы.

Более сложен вопрос об устойчивости режима «парной Земли» с горячей атмосферой ($\sim 100^{\circ}\text{C}$ и выше). При прогревании поверхности Земли примерно до 100°C произошло бы полное испарение вод океанов и морей и резкое увеличение в атмосфере плотности водяного пара и углекислоты. Парниковый эффект был бы настолько велик, что он исключил бы возможность последующего охлаждения подстилающей поверхности и атмосферы (ср. состояние современной Венеры). Правда, можно попытаться сделать допущение, что развитие каких-то процессов в геосфере могло изменить состав атмосферы в сторону уменьшения парникового эффекта,

что сделало бы возможным последующее охлаждение. В настоящее время мыслимы два таких процесса. Во-первых, развитие гидросферы, так как в воде может растворяться значительное количество углекислого газа и при определенных условиях возможно образование нерастворимых карбонатных и иных соединений. Но при температуре $\sim 100^\circ\text{C}$ и выше гидросфера вообще образоваться не может. Во-вторых, развитие живого вещества, способного усваивать углекислый газ и влиять на состав атмосферы. Но при высокой температуре в белках происходят необратимые изменения, делающие невозможным их нормальное функционирование. В горячих источниках имеются микроорганизмы, способные очень недолго выдерживать температуру выше 90°C , но не известны виды, которые при нормальном атмосферном давлении сохранялись бы продолжительное время при более высокой температуре [Одум, 1975]. Поэтому существование в прошлом живого вещества в горячей атмосфере (выше 90°C) крайне сомнительно.

Таким образом, пока нельзя назвать ни одного фактора, способного изменить состав атмосферы так, чтобы оказалось возможным ее последующее охлаждение, и приходится сделать вывод, что высокая устойчивость режима «парной Земли» исключает допущение о существовании на Земле горячей атмосферы, насыщенной большим количеством водяных паров и углекислоты. Поверхность Земли, скорее всего, никогда не была ни очень горячей (тем более полностью расплавленной, как это утверждалось в старых теориях происхождения Земли), ни очень холодной (за исключением, быть может, только периода образования). Поэтому практически с самого начала на ней в принципе могла формироваться первичная биосфера.

Итак, одна из основных тенденций развития Земли, и в частности биосферы, состояла в адаптации к длительному и направленному процессу изменения количества солнечных излучений. В биосфере это выражалось, во-первых, в увеличении общей активности всего живого вещества, во-вторых, в повышении общей организованности и расширении области влияния биосферы, в которую вовлекались все новые геобиофизические и геобиохимические процессы, объединяемые в целое динамической системой положительных и отрицательных обратных связей, и, в-третьих, в формировании системы защитных радиационных экранов. Итогом стало поддержание климата в достаточно узком диапазоне вариаций в течение очень большого отрезка времени, а также формирование «критического» равновесия по отношению к солнечной радиации и, в более широком понимании, — к космической среде.

Вероятно, как и сейчас, климатическая система Земли практически всегда находилась в состоянии, близком к неустойчивости по отношению к солнечной радиации, когда внезапного изменения последней на величину, близкую к $\pm 5\%$, было бы достаточно, чтобы перевести систему в одно из очень устойчивых состояний: «белой Земли» или «парной Земли». Но этого не случилось, так как изменение космической среды, достаточно медленное и цикличес-

ское, возбуждало многообразные процессы в геосферах и живом веществе, которые, с одной стороны, обеспечивали восстановление нарушенного равновесия, с другой — инициировали направленные изменения живого вещества и геосфер. Существование подобных «критических равновесий» — одна из основных причин высокой чувствительности земных явлений к изменениям космической среды. В состояниях, отличающихся высокой устойчивостью (типа состояний «белой Земли» или «парной Земли»), чувствительность их к космической динамике была бы намного меньше.

Подобные выводы могут показаться парадоксальными. Ведь сперва создается впечатление, что мощность глобальных тектонических процессов — горообразований, трансгрессий, регрессий и пр. — значительно превосходит мощность космических факторов и поэтому последние едва ли могут оказывать на них заметное влияние. Следовательно, изменение солнечной радиации на 30% едва ли может быть существенным фактором динамики геосфер, ответственным за эти явления. Но тогда придется принять, что стабильность климата случайна, или же вернуться к прежней точке зрения о неизменности светимости Солнца. Проблема возможных форм связи космической и тектонической динамики будет обсуждаться ниже. Сейчас же приведем примерные величины важнейших источников энергии земных процессов за $\sim 4,5$ млрд. лет существования Земли (см. также [Любимова, 1968; Рускол, 1975; Шипунов, 1980]):

Вид энергии	Энергия, $n \cdot 10^{38}$ эрг
Космическая (солнечная), полученная Землей	1500 *
Гравитационной дифференциации вещества Земли	1,5—2
Радиоактивного распада	0,5—2

* Величина этой энергии несколько уменьшена по сравнению с приводимой Шипуновым цифрой ($1660 \cdot 10^{38}$ эрг), чтобы учесть изменение светимости Солнца.

К этим источникам энергии следует добавить еще ротационную энергию, освободившуюся при замедлении скорости вращения Земли в основном под действием приливных сил Луны и Солнца, которая всего в несколько раз меньше энергии радиоактивного распада ($\sim (0,1 - 0,2) \cdot 10^{38}$ эрг). Согласно этим оценкам, космическая энергия в сотни раз превосходит остальные источники энергии вместе взятые.

Напомним, что в современных условиях в кинетическую энергию атмосферы превращается $\sim 1,5 - 2\%$ поступающей солнечной энергии [Лоренц, 1970]. В прошлом к. п. д. атмосферы был значительно меньше (из-за слабее выраженной зональности климата в более теплые эпохи и т. д.). Но все же несомненно, что в целом превращенная в кинетическую энергию атмосферы и гидросферы солнечная энергия — по меньшей мере одного порядка с важнейшими из собственно земных источников энергии, причем со вре-

менем с развитием атмосферы удельный вес этой энергии увеличивается. От интенсивности течений в атмосфере и гидросфере, т. е. от сосредоточенной в этих сферах кинетической энергии, зависят динамика ледников, мощность и географическое распределение речного стока, образование осадков и другие явления (см. также [Казанский, 1981]). По мере увеличения к. п. д. атмосферы и гидросферы, т. е. их способности переводить энергию солнечной радиации в кинетическую энергию, активность подобных процессов в целом должна повышаться.

Величина геобиохимической энергии, создаваемой живым веществом (в настоящее время главным образом через фотосинтез зелеными растениями), пока может быть оценена очень приблизительно; видимо, для современной эпохи это десятки доли процента ($\sim 0,2\%$) солнечной энергии [Одум, 1975]. В оптимальных условиях к. п. д. живого вещества может повышаться до нескольких процентов ($\sim 5\%$), но в целом для Земли условия его существования далеки от оптимума. Здесь также к. п. д. в прошлом был значительно меньше. Возможно, что суммарно, за все время существования Земли, количество геобиохимической энергии биосферы было примерно на два-три порядка меньше количества кинетической энергии атмосферы и гидросферы (правильную оценку дать трудно из-за неопределенности данных о плотности и других геобиохимических параметрах живого вещества в докембрии). Наряду с работой, производимой за счет фотосинтеза, живым веществом (растениями) совершается большая геохимическая работа по переносу жизненно важных химических элементов и соединений и включению их в биохимический круговорот вещества благодаря транспирации. Оценить эту работу трудно, но, видимо, она по порядку сравнима с работой фотосинтеза (во всяком случае, начиная с девона, т. е. со времени широкого распространения многоклеточных растений на суше); основной источник энергии, делающий эту работу возможной, — инфракрасное излучение Солнца.

Кроме непосредственного использования космической энергии живым веществом есть еще ряд косвенных его форм. Например, динамика озонового экрана определяется в основном энергией ультрафиолетового излучения Солнца и кинетической энергией атмосферы. Но ведь появился он благодаря деятельности живых организмов! Особенно важно то, что все больше возрастает роль биосферы как ведущей геологической силы Земли, поскольку растет к. п. д. непосредственного использования космической энергии, которая сама возрастает с увеличением светимости Солнца, и, кроме того, с ростом общей организованности биосферы возникают новые возможности косвенного использования космических и иных источников энергии. Рубежом, принципиальным по своей значимости, здесь является, несомненно, формирование ноосферы [Вернадский, 1980].

Конечно, приведенные выше оценки очень приблизительны и в дальнейшем могут несколько измениться. Но основной вывод, что для Земли именно космическая энергия должна считаться важ-

нейшим источником энергии, останется в силе. Одновременно следует подчеркнуть важность того, что Земля обладает достаточно большими собственными запасами энергии, сравнимыми с эффективно используемой космической энергией, и что в ней имеется такой активный трансформатор космической энергии, как живое вещество. Благодаря этим двум причинам оказалось возможным установление тесной связи между земными и космическими процессами («матричной» системы детерминаций, включающей равноправные «вертикальные» космические и «горизонтальные» собственно земные линии влияния). В этом же основная причина того, что развитие Земли все еще продолжается по восходящей линии усложнения и повышения активности (см. также гл. 5), в отличие от Луны, Меркурия и Марса, которые, судя по всему, находятся уже на нисходящей ветви планетной эволюции [Проблемы..., 1977]; о Венере определенных данных в этом отношении пока недостаточно, но, как кажется, поток солнечной энергии здесь настолько преобладает над потоками энергии из собственных источников планеты, что развитие Венеры прошло в ускоренном темпе, и сейчас она также находится в фазе затухания собственной эволюции. Чем больше мы узнаем о физических условиях и эволюции Солнечной системы, тем более уникальной видится Земля с ее биосферой.

Начальные стадии существования Земли были глубоко отличны от современных. Прежде всего, практически отсутствовала гидросфера. По современным представлениям [Сорохтин, 1974; Резанов, 1979; Мониин, 1977], вода имеет ювенильное происхождение, т. е. выделилась из мантии в процессе гравитационного и химического расслоения Земли на сферы. По имеющимся оценкам, гидросфера в общем формировалась довольно медленно, хотя, вероятно, процесс значительно ускорялся в периоды повышенной тектонической активности. Это имеет ряд важных следствий. Одно из них заключается в том, что в начальный период должна была практически отсутствовать облачность, которая в настоящее время закрывает в среднем около 50% поверхности Земли. По приблизительной оценке, отсутствие облачности уменьшает альбедо Земли примерно на 0,2, т. е. на величину, сравнимую с общим изменением светимости Солнца (~30%). Альбедо современной Луны примерно 0,07, что, вероятно, близко к значению альбедо Земли до возникновения на ней гидросферы и атмосферы; альбедо современной Земли ~0,28. Сопоставление этих величин позволяет сделать вывод, что альбедо Земли за время ее существования увеличилось примерно на 0,2 или несколько больше, причем основная часть этого изменения приходится на счет облачности. Таким образом, с одной стороны, возрастала светимость Солнца, с другой — развивалась гидросфера, увеличивалась облачность и, как следствие этого, росло альбедо Земли. Оба процесса должны быть до известной степени скоррелированы. Действительно, слишком быстрое развитие гидросферы повлекло бы значительное увеличение облачности и т. д. и, в соответствии с теоретическими построениями

Будыко и его коллег,— глобальное оледенение Земли. Трудно поверить, что корреляция двух существенно различных явлений случайна; более вероятно, что активизация Солнца способствует активизации тектонических и других процессов, что в конечном счете ведет к примерному климатическому равновесию.

Атмосфера, как и гидросфера, в начальный период существования Земли была очень тонкой и разреженной. Это опять-таки следует из того, что, подобно гидросфере, атмосфера постепенно формировалась в результате процесса дегазации мантии, причем этот процесс тоже должен был ускоряться с повышением тектонической активности. Химический состав первичной атмосферы определялся в основном составом газов, выделяющихся из недр Земли. Это были пары воды, углекислый газ и различные углеводородные, сернистые и другие соединения. Вначале углекислый газ, вероятно, накапливался, что способствовало прогреванию поверхности Земли благодаря парниковому эффекту. В дальнейшем накопление углекислоты приостановилось (и, возможно, началось ее уменьшение в атмосфере), во-первых, с развитием гидросферы и, во-вторых, с появлением живого вещества (в первую очередь водорослей), способного поглощать углекислоту и переводить ее в связанное состояние (карбонатные и другие соединения).

Таким образом, биосфера также способствует стабилизации климата. В еще большей степени, чем геосфера, она находится под контролем Солнца, так как солнечная энергия является основным источником жизнедеятельности.

Хотя существование связи между развитием Солнца и гидросферы, атмосферы и живого вещества в принципе сомнения не вызывает, ее не следует считать слишком жесткой. Отклонение от состояния примерного равновесия могло возбуждать различные обратные связи, ускоряющие или подавляющие соответствующие процессы, что вело затем к восстановлению примерного равновесия. Например, интенсификация жизнедеятельности могла приводить к уменьшению количества CO_2 в атмосфере, т. е. к снижению роли парникового эффекта, увеличению охлаждения Земли, распространению ледников и пр. (см. также [Беркнер, Маршалл, 1966]). Последние процессы ограничивали жизнедеятельность, из-за чего поглощение углекислоты уменьшалось, начиналось ее накопление за счет вулканизма и иных процессов, увеличивалась роль парникового эффекта, что вело к последующему потеплению. Конечно, в действительности все эти связи были гораздо более сложными.

Итак, в начальный период земной ландшафт должен был напоминать не столько современный земной, сколько современный марсианский — доминирующие темные поверхности, слабо развитые гидросфера и атмосфера. Продолжая эту «планетную» аналогию, можно также сказать, что на заключительной стадии развития Земля, весьма вероятно, будет походить на современную Венеру. Истощив свои защитные ресурсы по отношению к усиливающемуся потоку солнечной радиации, она начнет интенсивно прогре-

ваться и утратит гидросферу; в итоге образуется сплошной облачный слой над очень плотной атмосферой, где будут протекать бурные процессы перемешивания. Жизнь, в ее современных формах, станет невозможной.

Процесс формирования глобальной электромагнитной структуры Земли пока недостаточно ясен. В настоящее время считают, что в начальный период существования Земли магнитное поле практически отсутствовало [Рикитаки, 1968; Стейси, 1972; и др.]. Следовательно, не было также и радиационных поясов Земли, т. е. всей или почти всей магнитосферы. Трудно сказать, как все это могло повлиять на глобальную динамику климата. Но существование различного рода косвенных связей несомненно. Магнитосфера вместе с соответствующими образованиями верхней и средней атмосферы защищает организмы от непосредственного воздействия высокоактивных корпускулярных и иных излучений, т. е. играет роль буфера, смягчающего космические воздействия. Динамические процессы в магнитосфере и верхней атмосфере влияют на особенности трансформации основного потока солнечного излучения и на перераспределение момента между различными диссимметричными структурами атмосферы. Вероятно, по мере развития геомагнитного поля и магнитосферы несколько активизируются или перестраиваются вихревые процессы в атмосфере и гидросфере, но их влияние на климат неоднозначно.

В некоторых теоретических построениях, имеющих отношение к начальной фазе существования жизни, большое значение придается грозам, точнее, связанным с ними электрическим разрядам. Очень маловероятно, чтобы в тот период могли быть грозы. Это следует из общей разреженности и сухости первичной атмосферы и из слабого развития облачности. Кроме того, крайне сомнительно существование тогда сколько-нибудь значительной вертикальной проекции градиента электрического поля Земли, которое должно было формироваться в тесной связи с образованием магнитосферы, верхней атмосферы и геомагнитного поля.

Таким образом, в начальный период существования Земли многие факторы, определяющие современные условия существования биосферы, или отсутствовали, или были представлены в масштабах, резко отличных от современных. Но вместе с тем в силу отсутствия многих форм защиты несравненно большее значение имела солнечная радиация во всем ее многообразии.

Вернадский [1975, 1980], рассматривая проблему происхождения жизни и опираясь на исследования Пьера Кюри по теории симметрии, сформулировал важный принцип, который можно изложить так: *живое вещество могло образоваться только в диссимметричной среде; при отсутствии достаточной диссимметрии среды живое может произойти только от живого, как единственного источника диссимметрии.*

В общей форме здесь утверждается фундаментальный принцип сохранения некоторой структурной информации, связанной с основными процессами жизнедеятельности. Дать точное определение

этому типу информации пока невозможно. Ориентировочно можно сказать только, что эта информация должна выражаться с помощью особого типа векторов, как это заметил еще сам Вернадский. Точнее, он писал о «полярной» структуре пространства живого вещества, диссимметричные свойства которого должны характеризоваться «полярным», по его терминологии, вектором, который он противопоставлял обычному «изотропному» вектору [Вернадский, 1980]. Следует, однако, заметить, что в современном векторном анализе термин «полярный вектор» используется в смысле, отличном от того, какой вкладывал в него Вернадский, — как мера «полярной» диссимметрии состояния. Ближе к его представлению «аксиальные» векторы, определение которых тесно связано с дуальностью возможных направлений вращения — по или против хода часовой стрелки (а также и другие тензорные формы аналогичного типа, т. е. антисимметричные относительно зеркальных отражений). Простейшие примеры аксиальных векторов — вихрь и момент количества движения, причем для полного момента справедлив при некоторых условиях закон сохранения. Поэтому кажется разумным рассмотреть по возможности все процессы в биосфере, ассоциируемые с вихревыми структурами и трансформацией момента. Можно надеяться, что в результате этого изучения со временем будут выделены наиболее существенные факторы, что позволит дать диссимметрии живого вещества естественную меру.

Теперь обратим внимание на важную особенность Солнечной системы, которая длительное время не находила объяснения. Имеется в виду резкая неравномерность распределения момента внутри Солнечной системы. Если на долю доминирующего центра системы — Солнца — приходится около 2%, то на все остальные планеты — 98%! В настоящее время считается, что на ранней стадии эволюции Солнечной системы происходила интенсивная передача момента количества движения от Солнца к планетам, по-видимому через электромагнитное поле и корпускулярное излучение. Этот процесс, хотя и не проясненный в деталях, рассматривается как один из важнейших для начальной стадии существования Солнечной системы [Альвин, Арреннус, 1979]. Если не полагать схему монотонного развития Солнца обязательной, то можно допустить, что интенсивный перенос момента имел место неоднократно, т. е. циклически. Но и в этом случае следует принять, что он в основном приходится на раннюю стадию существования Солнечной системы, поскольку последние 3 млрд. лет она была вполне стабильным образованием, за исключением отдельных планетных систем. Если такое представление в принципе правильно, то можно предположить, что именно в результате интенсивного переноса момента солнечной радиацией на Земле была на некоторое время создана исходная диссимметричная среда, в которой локально доминировало вращение против хода часовой стрелки соответственно вращению Солнца (в естественной системе координат). Именно в этой среде происходило формирование первичных органических соединений, в частности характерных спиральных структур.

Конкретный ход молекулярной эволюции первичной жизни до сих пор неизвестен, несмотря на усилия многих исследователей. Особенно загадочно происхождение функциональной пары ДНК — белок, играющей центральную роль в молекулярной организации жизни. Но во всяком случае, можно считать, что примерно 3,5 млрд. лет назад важнейшие органические соединения уже образовались и, более того, были представлены в достаточном количестве и многообразии, чтобы создать первичную биосферу с характерным для нее набором биогеохимических и биогеофизических функций, связанных между собой уравновешенной системой обратных связей, регулирующих потоки энергии, вещества и момента; и это была уже, несомненно, общепланетная система организации. Создались объективные предпосылки для возникновения следующего важнейшего структурного уровня живого вещества — клеточного. Весьма вероятно, что для такого скачка развития оказался необходим новый мощный фактор, способный резко активизировать биосферу.

Здесь полезно обратить внимание на некоторые особенности эволюции планетной системы Земля — Луна. Вероятнее всего, Луна — захваченное (возможно, в результате резонансной неустойчивости первоначальной лунной орбиты) Землей тело. По Альвену и Аррениусу [1979], она максимально сблизилась с Землей примерно 2,8—3,3 млрд. лет назад и находилась тогда на расстоянии 5—10 радиусов Земли, причем, как они считают, в это время имел место резонанс орбитального движения Луны с вращением Земли. В настоящее время Луна находится на расстоянии 60 радиусов Земли. Задача теоретического восстановления эволюции системы Земля — Луна содержит много неизвестных, поэтому нельзя быть уверенным в точности приведенных оценок. Но их и нельзя считать произвольными, так как они опираются на ряд независимых и вполне разумных соображений. Скорее всего, общая схема эволюции правильна, но время и величина наибольшего сближения могут в дальнейшем быть уточнены. Могут также выявиться дополнительные аспекты этой эволюции, в частности новые резонансные эффекты и эффекты взаимодействия Луны с магнитосферой, поскольку при указанной выше величине сближения Луна оказывалась в пределах магнитосферы (современной) Земли. При больших приливных воздействиях возникают новые физические феномены, увеличивающие диссипацию. Все это может привести к тому, что время наибольшего сближения Земли и Луны несколько сдвинется (3,5 млрд. лет назад?), а величина его окажется порядка 10—15 радиусов Земли.

Прежде всего заметим, что если Луна 3—3,5 млрд. лет назад находилась на расстоянии не более 10 радиусов Земли, то в это время, безусловно, не могло быть еще Мирового океана, сравнимого по величине с современным. Действительно, поскольку приливообразующие силы пропорциональны кубу расстояния, они были бы больше современных не менее чем в $(60/10)^3 = 216$ раз. Огромнейшие приливы быстро разрушили бы континенты, образо-

ывая гигантские скопления осадочных пород. Но данных, подтверждающих это, нет. Скорее всего, Мировой океан был еще очень мелководным, а может быть, даже вся гидросфера состояла еще из слабо связанной совокупности мелководных морей и озер. В мелководном море прилив едва ли может более чем на порядок превышать максимальный современный. Дело в том, что при достижении некоторого критического уровня волны на мелководье начинают разрушаться и образуются прерывные волны типа движущегося гидравлического прыжка. Этот процесс сопровождается интенсивной диссипацией энергии. Дальнейшее увеличение приливного воздействия, вероятно, способствует росту уже не столько амплитуды волны, сколько числа таких волн, т. е. диссипации. Все это, в частности, резко усиливает процессы перемешивания в гидросфере и интенсифицирует минерализацию водоемов.

Одновременно с приливами в гидросфере аналогичные явления происходят в литосфере и мантии, хотя амплитуда колебаний здесь значительно меньше из-за большой инерционности и вязкости вещества Земли. Но все же должны были активизироваться различные тектонические процессы, в том числе вулканизм. По Хайну [1973], на эпоху около 3,5 млрд. лет назад приходится «пангранитизация», когда были полностью переработаны все более древние породы коры, по крайней мере в ее верхней части. При активизации вулканизма увеличивается выброс углекислого газа и других веществ в атмосферу, т. е. последняя обогащается многими жизненно важными соединениями. Увеличение количества углекислого газа должно было вызвать в итоге общее потепление.

В настоящее время Земля имеет ряд слоев, одни из которых сравнительно твердые — земная кора, большая часть мантии и внутреннее ядро, тогда как другие находятся или в жидком (расплавленном) состоянии, или каком-то другом, более сложном (например, смесь жидкой и твердой фаз), но во всяком случае очень пластичном состоянии — внешнее ядро и астеносфера. Эти образования могли формироваться очень медленно [Сорохтин, 1974], но весьма вероятно, что 3—3,5 млрд. лет назад они уже существовали; во всяком случае, земная кора к тому времени уже выделилась. Таким образом, Земля, вероятно, уже состояла из сравнительно твердых сфер, разделенных более или менее жидкими. Каждая из сфер подвергалась воздействию приливных сил. Поскольку приливный момент сил, действующих на сферу, можно считать приблизительно пропорциональным квадрату ее радиуса, то на внешние оболочки воздействие было значительно более сильным. Это не имело бы значения для жесткой модели Земли, но, благодаря наличию очень пластичных сфер и возможности конвективных течений в них, на некоторое время могла создаться десинхронизация движения различных оболочек. Однако именно такая десинхронизация вращений в области ядра и вызванная ею конвекция во внешнем ядре постулируется современными теориями происхождения магнитного поля [Рикитаки, 1968; и др.]. Поэтому весьма вероятно, что на этот период приходится процесс формиро-

вания или значительной перестройки геомагнитного поля. Вместо с магнитным полем должна была формироваться или перестраиваться магнитосфера Земли. Это изменило взаимодействие верхней атмосферы с потоком солнечной радиации. Вообще говоря, магнитосфера — один из важнейших радиационных экранов Земли. Но при нахождении Луны в пределах магнитосферы или достаточно близко к ней этот экран должен был периодически очень сильно деформироваться и, быть может, даже частично разрушаться. Поэтому имела место резкая нестабильность взаимодействия верхней атмосферы с солнечной радиацией.

Многие из этих явлений тесно связаны с диссипацией и замедлением вращения Земли, т.е. с изменением ее момента количества движения. В процессе диссипации момент рассеивается и частично переносится на молекулярный уровень. Это значит, что через посредство магнитного поля и всевозможные процессы диссипации в биосфере должны были активизироваться вихревые образования, отвечающие вращению против хода часовой стрелки соответственно вращению Земли.

Итак, имели место значительные и многосторонние воздействия на первичную биосферу, причем многие из них были дестабилизирующими и активизирующими. Вероятным результатом этого могло быть разрушение одних образований, недостаточно устойчивых и динамичных, и значительное преобразование других. Интересно поэтому обратить внимание на то, что первые одноклеточные организмы обнаружены в отложениях возраста 3—3,2 млрд. лет, т.е. примерно периода наиболее значительного сближения Земли и Луны.

В дальнейшем, по мере удаления Луны, ее влияние в общем ослабевало, но этот процесс был совсем не простым и не монотонным. Дело в том, что Луна проходила через ряд резонансных положений, когда период вызванных ею приливных колебаний находился в резонансном отношении к периоду вращения Солнца. Роль этих резонансов не ясна. Наиболее сильный из них приходится ориентировочно на вторую половину венда (см. гл. 1), т.е. на период крупнейшего изменения живых организмов (появилась скелетная фауна). Несколько подробнее это будет рассмотрено в гл. 5.

Возможно, что на эти явления, вызванные эволюцией системы Луна — Земля, накладывался сверхцикл — около 1000 млн. лет. Такой цикл мог быть связан с крупномасштабными процессами в Солнечной системе — значительными вариациями светимости Солнца, перераспределением момента количества движения между Солнцем и планетами и пр. Это до некоторой степени подкрепляется современными планетологическими исследованиями. По Каттерфельду, существует межпланетная корреляция хронологии и отчасти стадий развития Земли, Луны и, возможно, Меркурия и Марса. На этом основании он выделил крупные общие для всех планет земной группы периоды развития [Проблемы..., 1977]. Существование такой закономерности правдоподобно, хотя

здесь еще предстоит отделить явления, обусловленные эволюцией системы Луна — Земля. В наиболее активные фазы этих циклов могли происходить серьезные изменения в развитии биосферы. Но фактический материал по таким циклам пока слишком мал и не всегда достаточно обоснован, из-за чего особенности циклов трудно анализировать.

Теперь необходимо остановиться на проблеме больших тектонических циклов, сравнимых по длительности с галактическим годом. Эмпирически существование таких циклов может считаться вполне доказанным. Особенно четко они выделяются в фанерозое по целому ряду параметров. Циклы докембрия выявляются пока менее определенно, и здесь мнения исследователей сильно расходятся. Если Сорохтин [1974] считает, что последние 2 млрд. лет эти циклы имели длительность не более 200 млн. лет, в среднем же около 150 млн. лет, то другие авторы [Балуховский, 1966; Войлошников, 1979; и др.] называют цифру вдвое или втрое большую, т. е. примерно 300—500 млн. лет. Важно отметить, что, по мнению всех этих и некоторых других исследователей, за последние 2—3 млрд. лет длительность циклов или оставалась примерно постоянной, или даже сокращалась по мере приближения к настоящему времени, т. е., по сути дела, утверждается, что имеет место ускорение соответствующих геологических процессов. Последнюю точку зрения особенно резко сформулировал Бубнов [1960], который был склонен объяснять это ускорение космическими факторами. Отсутствие отчетливого замедления, а тем более ускорение, если оно действительно имеет место, — одна из самых труднообъяснимых особенностей указанных циклов, если вспомнить о больших изменениях количества радиоактивных элементов и многих других параметров. Из простейших термодинамических моделей эволюции обычно следует замедление всех процессов во времени и уменьшение амплитуды колебаний.

Одна из интересных гипотез, объясняющих природу этих циклов, предложена в работе Тихонова с соавторами [1969]. Суть ее в том, что из-за радиоактивного распада на глубине 150—600 км образуется зона расплава (астеносфера), которая со временем растет и может подняться до глубины ~30 км. С развитием астеносферы в ней появляются конвективные течения, вызывающие значительное увеличение теплоотдачи к поверхности Земли. В результате теплоотдача начинает преобладать над тепловыделением, начинается остывание, зона расплава сокращается, тепловыделение снова преобладает над теплоотдачей, астеносфера вновь увеличивается и т. д. В фазе максимального развития астеносферы создаются предпосылки для интенсификации вулканизма и других тектонических процессов. В зависимости от величины коэффициента теплопроводности, которая известна весьма приблизительно, образуются тепловые циклы длительностью от 100 до 500 млн. лет, в среднем же, как считают авторы этой гипотезы, около 100—170 млн. лет. Развитие астеносферы создает также предпосылки для движения больших плит. Недостаток гипотезы

состоит в том, что она оставляет в стороне такой существенный энергетический фактор, как плотностная дифференциация вещества Земли. Остается также открытым вопрос о стабильности этих тепловых циклов и тем более о возможном ускорении тектонических процессов.

По мнению Сорохтина [1974], тектонические циклы связаны с перестройкой структуры конвективных течений в мантии. Основным источником энергии здесь считается гравитационная дифференциация вещества Земли. Наибольшее значение Сорохтин придает процессам в области ядра. По предварительной оценке он получил цикл длительностью $\sim 150-200$ млн. лет.

Таким образом, можно констатировать, что независимые соображения, хотя пока не очень строгие, позволяют выявить циклы порядка $100-500$ млн. лет, которые определяют характерный временной масштаб процессов в геосфере. Можно согласиться с тем, что радиоактивный распад, с одной стороны, и гравитационная дифференциация вещества, связанная с формированием внутренней структуры Земли, с другой,— основные энергетические факторы, определяющие динамику тектогенеза, в частности многие особенности внутренних конвективных течений. Но остается неясным, почему при большом изменении количества радиоактивных элементов за $2-3$ млрд. лет и существенном изменении внутренней структуры Земли длительность тектонических циклов сохранялась примерно постоянной или даже уменьшалась. Все эти процессы кажутся достаточно пластичными и допускающими широкую вариацию их длительности. Если же какая-то тенденция здесь может существовать, то на первый взгляд кажется, что это может быть только тенденция к затуханию активности и к монотонному увеличению длительности цикла. Время порядка $2-3$ млрд. лет представляется достаточным для выявления подобной тенденции.

Если рассматривать Землю как изолированное образование, могущее только отдавать вовне энергию, то не видно ни одного существенного фактора, способного привести к ускорению динамики в геосфере, существование которого утверждается рядом исследователей. Единственное явление в Солнечной системе, о котором на современном уровне знаний можно утверждать, что его интенсификация определяется в первую очередь внутренними причинами,— это светимость Солнца. Можно полагать, что с увеличением светимости может усиливаться значение относительно малых циклов, которые затем возбуждают колебания в геосфере. Особенно значительно влияние тех циклов, которые оказываются соизмеримыми с характерными циклами геофизических процессов.

Прежде чем далее обсуждать эту проблему, следует коснуться сложного вопроса о возможных причинах движения больших плит Земли (континентов).

В настоящее время уже нельзя сомневаться, что в фанерозое такое движение действительно имело место, хотя некоторые важ-

ные его особенности все еще не ясны. Многие видят причину движения плит в конвекции в мантии. Возможной причиной конвекции называется термическая и плотностная конвективная неустойчивость при больших тепловых потоках, изученная в свое время Релеем (см., например, [Сорохтин, 1974; Мониц, 1977; Уэда, 1980]).

Эта гипотеза очень интересна, и само утверждение о связи движения континентов с глубинными процессами, в частности с конвекцией в мантии, возражения не вызывает. Но называемые причины движения нельзя признать достаточными. Поскольку эти причины (распределение источников тепла, особенности плотностной дифференциации) в первом приближении сферически симметричны (из-за исходной симметрии основных геосфер), то и явления, вызванные ими, должны быть или сферически симметричными, или же характеризоваться случайными отклонениями от симметрии, если процесс сильно неустойчив. Но если это верно для конвекции в мантии, то это же должно быть верно и для конвекции во внешнем ядре. По современным представлениям, последняя служит причиной образования геомагнитного поля, следовательно, геомагнитное поле должно быть или сферически симметричным, или же, при дипольном его характере, иметь случайно ориентированную ось. Но дело обстоит совсем не так. Хотя выявлены значительные изменения геомагнитного поля за последние 500 млн. лет, в том числе даже инверсии, это поле, за исключением геологически очень малых промежутков времени, в течение которых происходила инверсия, всегда имело полюса, расположенные очень близко к географическим полюсам, т. е. имело ось симметрии, примерно совпадающую с осью вращения Земли. Согласно принципу Кюри, это значит, что именно вращение Земли является основным фактором, прямо или косвенно определяющим структуру симметрии соответствующих динамических процессов, что не исключает допущения, будто энергия этих процессов имеет своим источником главным образом радиоактивный распад и гравитационную дифференциацию вещества Земли [Стейси, 1972].

Этот вывод также согласуется с наблюдениями тектонистов, которые отмечают неслучайность ориентации важнейших глубинных разломов и крупнейших горных цепей относительно оси Земли. Так, в первом приближении явно преобладает «ортогональная» система — примерно меридиональная или широтная ориентация крупнейших разломов [Хаин, 1973].

Вероятно, картина динамических процессов может быть таковой. Из-за неравномерности расположения континентов и различия плотности континентальной и океанической коры центробежные силы и силы Корнолиса, действующие на литосферу, оказываются в целом для Земли неуравновешенными и возникает момент сил, поворачивающий всю литосферу в положение равновесия [Манк, Макдональд, 1964]. Но, вообще говоря, движение литосферы относительно более глубоких сфер возможно только при достаточном развитии астеносферы, играющей роль слоя смазки.

Если тепловые волны типа тех, которые были рассмотрены Тихоновым и соавторами [1969], действительно существуют, то это движение активизируется в определенной фазе этих циклов, тогда как в другой — «замораживается». Однако тектонические процессы — поднятия и опускания, осадконакопление и другие — происходят постоянно, что приводит к регулярному сдвигу равновесия. Особенно сильно равновесие нарушается горообразованием. Можно думать, что такое движение земной коры началось сразу после ее выделения и образования астеносферы. Для фанерозоя это может считаться твердо установленным. Известно, например, что 400 млн. лет назад Северный полюс Земли находился значительно «южнее», в районе Тихого океана. Движение земной коры, таким образом, тесно связано с динамикой астеносферы. В свою очередь, оно воздействует на нее, способствуя развитию или перестройке в ней конвективных явлений.

При достаточном контрасте плотностных свойств континентальной и океанической кор движение их может быть несогласованным, т. е. проходящим с разными скоростями, в результате чего возникают разрывы и надвиги. Такая ситуация, возможно, возникла в фанерозое, когда был достигнут высокий уровень этого контраста.

Вероятно, аналогичные явления имеют место и в мантии. Если конвекция в мантии существует, что весьма вероятно, то возникают конвективные ячейки с восходящими и нисходящими потоками различной температуры и плотности. При случайном распределении этих ячеек опять появляется неуравновешенный момент сил, поворачивающий эти ячейки определенным образом относительно оси Земли и придающий течению вихревой характер. Через эти вихри момент количества движения может передаваться от одной геосферы к другой. В результате активизация одной геосферы может возбуждать активность другой. Особенно существенно то, что такой источник энергии, как плотностная дифференциация, зависит от особенностей конвекции. Активизация конвекции в общем благоприятствует плотностной дифференциации, хотя это, видимо, справедливо лишь для медленной конвекции, т. е. при определенном соотношении скорости конвекции и коэффициента диффузии. Поэтому в принципе и здесь возможно усиление воздействия.

Таким образом возникают движения геосфер относительно оси Земли, носящие циклический характер, соответственно циклам тепловых и других внутренних процессов. Так как все эти явления сильно зависят друг от друга, происходит их взаимная синхронизация, основанная на передаче энергии и момента от одной сферы к другой. Поскольку особенности распределения и трансформации момента определяются вращением Земли, то во всех геосферах оказывается так или иначе выделенной ось симметрии во всех важнейших динамических структурах.

Можно думать, что связь тектонической динамики с большими циклами активности Солнца обусловлена именно процессами пере-

дачи момента от одной геосферы к другой. Влияние же вариаций энергии солнечного излучения скорее косвенное, т. е. воздействует на условия переноса и трансформации момента. Один из возможных каналов воздействия космической динамики на тектоническую может быть таким.

Рассмотрим, например, крупную ледниковую эпоху. Причинами формирования оледенения могут быть снижение светимости Солнца, предшествовавший высокий уровень активности живого вещества (что могло привести к интенсивному поглощению углекислоты из атмосферы и связыванию ее в карбонатных и других образованиях), а также и другие причины, примерно совпадающие по времени с этими факторами. Ледники образуются прежде всего на полюсах и в высокогорьях, откуда затем начинают постепенно распространяться. Появление ледников усиливает зональный контраст температур. Последнее, при прочих равных условиях, влечет за собой увеличение эффективности «тепловой машины» атмосферы и гидросферы, т. е. усиление планетной системы циркуляции. Собственные колебания в этой системе, сезонные изменения климата, которые также возникают или усиливаются в это время, всевозможные биения, которые образуются в результате наложения всех этих и иных колебательных процессов в верхних геосферах, формируют многообразие циклов, причем по мере развития контрастов, характерных для ледниковой эпохи, многие из них усиливаются. Это создает предпосылки для синхронизации различных совместно протекающих процессов. Мощным усилителем ряда таких процессов выступает криосфера, поскольку изменение площади льдов сильно меняет альбедо Земли. В итоге резко повышается чувствительность земных процессов к синхронизирующим их космическим факторам. Один из таких факторов особенно выделяется последователями Миланковича — вариации элементов орбиты Земли и положения ее оси с характерными периодами около 20, 40 и 100 тыс. лет (для последнего четвертичного оледенения; аналогичные циклы для прошлых ледниковых эпох не определены, хотя само их существование сомнения не вызывает). Подчеркнем, что чувствительность к подобным факторам свойственна именно ледниковой эпохе; она исчезает вместе с исчезновением криосферы. Действительно, как принято в теории Миланковича, основными причинами, обусловившими резкое усиление влияния этих астрономических факторов, служат:

существование ярко выраженного сезонного контраста климата; поэтому небольшие перераспределения солнечной радиации по сезонам могут приводить к направленному изменению криосферы (например, теплая, но снежная зима и холодное лето, замедляющее таяние снега и льда, благоприятствуют развитию ледников);

сосредоточение льда и снега преимущественно в высоких широтах, где относительные вариации получаемой солнечной радиации более велики, чем в области экватора, и подвержены наиболее сильным изменениям под влиянием изменения положения оси

Земли и элементов ее орбиты (наиболее велики здесь и геомагнитные пульсации);

большой вклад криосферы в суммарное альbedo Земли; поэтому динамика криосферы существенно влияет на изменения альbedo, что обуславливает в итоге возможность усиления роли астрономических факторов.

Наряду с этими каналами влияния космических факторов имеются еще и другие.

Во-первых, как постепенно выясняется, динамика климата в ледниковую эпоху тесно связана с динамикой геомагнитного поля (см. рис. 6). Поскольку, с другой стороны, для того же периода эмпирически выявлена связь ледниковых и межледниковых периодов с изменениями положения оси Земли и элементов ее орбиты, то приходится признать существование связи средних по длительности циклов изменений геомагнитного поля (в интервале от 10 тыс. до 1 млн. лет) с космическими факторами. Однако механизмы, на которых построена эта связь, неизвестны (возможно, здесь наиболее существенны изменения ионосферных и других токов, которые зависят от особенностей циркуляции в верхней атмосфере, очень чувствительной к проявлениям солнечной и геомагнитной активности (см. рис. 7). Геомагнитное поле также может сыграть роль усилителя космических влияний. Особенно важно то, что динамика геомагнитного поля в итоге примерно синхронизирована с динамикой криосферы, что обуславливает дополнительное усиление климатического эффекта.

Во-вторых, некоторое значение может иметь непосредственная связь ротационного режима Земли с циркуляцией в атмосфере и гидросфере. В атмосфере существует интенсивный перенос момента количества движения к полюсам [Лоренц, 1970]. При установившейся циркуляции процессы переноса момента в северном и южном полушариях в среднем уравновешены. Однако при крупной перестройке режима циркуляции, особенно при наличии значительной диссимметрии северного и южного полушарий, вытекающей из асимметрии расположения континентов и динамики крупных оледенений, точное уравновешивание становится маловероятным и могут возбуждаться колебания вращения Земли вокруг своей оси, а также колебания положения самой оси с периодами, зависящими от длительности циклов изменений климата. Из-за резкой неоднородности Земли по глубине в разных геосферах интенсивность этих колебаний может быть чрезвычайно различной, что может служить источником возбуждения тектонической активности в литосфере и астеносфере. Через активизацию вулканической деятельности эти процессы могут оказывать обратное влияние на динамику климата и криосферы.

Таким образом, в результате суммарного воздействия многих факторов, в том числе космических, возникает сложная динамика движения льдов циклического типа. При максимальном распространении льда толщина его в центрах льдообразования может достигать нескольких километров, при этом уровень Мирового

океана понижается примерно на 100 м. Вся работа по перераспределению больших масс совершается главным образом за счет солнечной энергии. По мере накопления льда несущие его части континентов опускаются, что компенсируется поднятием каких-либо других областей. Значительное перераспределение масс вызывает изменение момента инерции земной коры и поля центробежных сил, т. е. изменение момента сил, действующих на земную кору. В результате в литосфере и астеносфере возбуждаются циклические вертикальные и горизонтальные движения с периодами примерно от 500 лет до 100 тыс. лет.

Такое воздействие на астеносферу и другие геосферы продолжается миллионы лет — время существования ледниковой эпохи с развитой криосферой. Ясно, что это должно возбуждать или усиливать внутреннюю конвекцию, прежде всего в астеносфере. Это, в свою очередь, может приводить к перераспределению внутренних потоков энергии; кроме того, усиление конвекции в мантии, вообще говоря, усиливает процесс гравитационной дифференциации вещества, т. е. несколько интенсифицирует данный источник внутренней энергии. Активизация астеносферы возбуждает различные формы тектонической активности, что может выражаться, например, в усилении вулканизма. В долгосрочном плане воздействие последнего на климат определяется увеличением поступления углекислого газа в атмосферу, что усиливает парниковый эффект. Это — один из многих примеров отрицательной обратной связи, препятствующей дальнейшему развитию оледенения, т. е. способствующей сохранению устойчивости климата.

Итак, ледниковой эпохе свойственны своеобразная внутренняя динамичность и, пожалуй, неустойчивость, которые, с одной стороны, делают невозможным формирование глобального оледенения («белой Земли»), с другой стороны, обуславливают повышенную чувствительность системы геосфер к динамике космических факторов, способных синхронизировать многие процессы — изменения магнитного поля, атмосферных и океанических циркуляций, климата, криосферы и тектонических процессов. Насколько эффективны подобные механизмы возбуждения тектонической активности, априори сказать трудно. Интересно, однако, отметить, что в фанерозое эпохи геократии оказываются неслучайным образом связанными с ледниковыми (см. гл. 5).

Несомненно, имеются и другие каналы воздействия космической динамики на процессы во внутренних геосферах, например через перераспределение момента количества движения по геосферам магнитным полем и теллурическими токами. Хотя многие из таких связей сами по себе слабы, интегральный эффект может быть заметным благодаря взаимному усилению.

Отвлекаясь от деталей взаимных связей геосфер, приходим в итоге к следующей картине.

Наиболее мощный источник энергии глубинных процессов, по современным оценкам, — гравитационная дифференциация вещества Земли, причем самое непосредственное влияние этот источник,

по-видимому, оказывает на явления в области внешнего ядра и нижней мантии. По схеме Сорохтина [1974] или как-то иначе этот источник энергии определяет конвекцию в мантии с одной или несколькими циркуляционными (вихревыми) ячейками. В примерном соответствии с представлениями Сорохтина структура конвекции регулярно перестраивается, что ведет к тектоническим циклам с длительностью, по его оценкам, порядка 150—200 млн. лет. Одновременно в верхней мантии, преимущественно в области астеносферы, развиваются тепловые волны типа тех, которые были рассмотрены Тихоновым и соавторами [1969]. Основным источником энергии здесь — радиоактивный распад, а длительность цикла примерно того же порядка. Наконец, во внешних геосферах — атмосфере и гидросфере — и частично в земной коре происходят многочисленные активные процессы, основной источник которых — солнечная энергия. Видимо, эти процессы наиболее активны и имеют сложную циклическую структуру с периодами, определяемыми, с одной стороны, циклическими вариациями астрономических факторов, в первую очередь изменениями светимости Солнца и положения оси Земли, с другой стороны, воздействиями глубинных тектонических процессов. Связь явлений в разных геосферах и их примерная взаимная синхронизация осуществляются благодаря особенностям ротационного режима Земли (благодаря вариациям угловой скорости вращения и изменениям относительного положения оси вращения в разных геосферах), т. е. через изменения ее ротационной энергии и передачу момента количества движения от одной геосферы к другой. Поскольку все эти источники энергии соизмеримы, то вклад каждого из них в общую картину достаточно существен. В итоге формируется единый цикл, связывающий основные процессы во всех геосферах.

Таким образом, здесь, как и в малых циклах, вероятно, образуется резонансная система, благодаря которой внутренний активный процесс может синхронизироваться (затягиваться) внешним регулярным процессом в Солнечной системе. Но, по-видимому, полной синхронизации нет. Тектонический цикл есть интегральное единство многих колебательных процессов, в том числе очень инерционных, причины которых в значительной степени независимы и характерные временные периоды различны. Внешний (космический) синхронизатор выделяет среди них те, периоды которых наиболее ему близки, и частично затягивает другие, достаточно пластичные.

В связи со сказанным выше особый интерес представляет проблема соотношения крупных тектонических циклов и палеонтологических периодов. То, что те и другие примерно близки, кажется самоочевидным, поскольку живое вещество должно приспособляться к динамике геосферы. Но в действительности явление более сложно, чем это кажется на первый взгляд, так как временные классификации тектонистов и палеонтологов не совпадают. Создается даже впечатление, что крупные палеонтологические периоды несколько более регулярны; во всяком случае, в фанерозое может

быть выделен цикл продолжительностью ~ 170 млн. лет, характерный для динамики живого вещества, отклонения от которого лежат в пределах точности, с которой определяются рубежи периодов. Каждый из этих циклов имеет кульминацию, когда за короткий срок совершаются принципиальные перестройки живого вещества, происходят массовое вымирание и вспышка видообразования.

Такие кульминации имели место в конце венда — начале кембрия (около 570 млн. лет назад) — широкое образование многочисленных скелетных форм; в конце силура — начале девона (около 400 млн. лет назад) — завоевание суши растениями и затем позвоночными; в конце перми — начале триаса (около 235 млн. лет назад) — массовое вымирание рептилий и других организмов, обновление морской и наземной фауны; несколько позже происходит раскол Гондваны; в конце мела — начале палеогена (около 70 млн. лет назад) — катастрофическое вымирание динозавров и затем быстрый расцвет млекопитающих.

Несомненно, что в каждой из этих кульминаций важную роль сыграли вполне конкретные условия, сложившиеся к тому времени в биосфере, без учета которых невозможно правильно понять важнейшие особенности происходивших изменений. Но регулярность кульминаций свидетельствует о наличии регулярного и глобального фактора, инициирующего эти изменения. Невозможно также поверить, что сравнимость величин периода в 170 млн. лет и галактического года случайна.

Согласно нашим представлениям, таким глобальным фактором было Солнце, а точнее, вся Солнечная система в целом, в которой происходили колебательные процессы с периодом порядка галактического года. Вероятно, в них нашли отражение какие-то, пока неизвестные, явления галактического масштаба. Наиболее чутким детектором космических воздействий мог быть мир живых организмов, благодаря особому значению для него солнечной радиации*.

Сделаем в заключение важное для последующего анализа замечание. Несомненно, что планетная система вулканов и, более общо, планетная система глубинных разломов должна считаться необходимым элементом глобальной организации биосферы. В результате процессов в живом веществе углекислота и некоторые другие важные для нормальной жизнедеятельности вещества переводятся в связанное состояние и затем частично фоссилизируются, т. е. выключаются из кругооборота веществ в биосфере, т. е.

* Гипотеза о существовании отражения галактического года в геофизических и других явлениях в развернутой форме была впервые сформулирована в работах Лунгерсгаузена [1957, 1964] и Тамразяна [1959], хотя отдельные соображения о возможном влиянии галактических факторов высказывались и ранее. В дальнейшем гипотеза была поддержана многими исследователями [Балуховский, 1966; Хаин, 1973; Малиновский, 1973; Космос..., 1974; Спичины, 1980; Изменения климата, 1980]. Однако до сих пор она вызывает возражения со стороны некоторых исследователей [Монин, 1977].

непрерывно происходит обеднение биосферы этими веществами. Равновесие восстанавливается благодаря обмену веществом поверхности Земли с недрами, в первую очередь благодаря вулканизму. Быть может, особенности геомагнитного поля и теллурических токов, связанные с разломами, также значимы для биосферы. Как подчеркнул Ронов [1976], жизнь на Земле возможна лишь до тех пор, пока планета активна и происходит обмен энергией и веществом между недрами и поверхностью [Лапо, 1979]. Поэтому имеются два основных источника активизации живого вещества — земной, связанный с вулканизмом, и космический, связанный с солнечной радиацией.

Этот общий вывод о роли вулканизма согласуется с наблюдениями. Например, Лапо [1979] отмечает, что в районе Тихоокеанского вулканического кольца повсеместно наблюдается высокая продуктивность фитопланктона, а для растительности областей о временного вулканизма характерен гигантизм.

Глава 5

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ДИНАМИКИ ГЕО- И БИОСФЕРЫ В ФАНЕРОЗОЕ

Конкретно анализировать особенности больших временных циклов докембрия трудно из-за отсутствия многих важных данных. Значительно больше материала имеется для фанерозоя, но и здесь данных часто недостаточно, и поэтому не всегда удается сформулировать выводы с желательной степенью определенности и достоверности.

Прежде всего выделим основные космические эпохи — «галактические годы»:

Галактический год	Начало	Конец
	млн. лет назад	
0 Альпийский	65	Не закончен
I Киммерийский	235	65
II Герцинский	405	235
III Каледонский	575	405
IV Верхнебайкальский	745 (?)	575

В отличие от имеющихся классификаций [Балуховский, 1966], предлагаемая исходит в первую очередь из изменений организации живого вещества. Тектонические циклы, приближаясь по длительности к галактическому году, не вполне, однако, с ним совпадают. Галактические годы определены здесь таким образом, что длительность каждого из них в точности равна 170 млн. лет. Ве-

роятно, этот момент является спорным и нуждается в корректировке. Но во всяком случае рубежи, отделяющие один галактический год от другого, совпадают с границами между геохронологическими системами в пределах точности их датировки.

Каждый галактический год включает ряд подциклов («сезонов»). Наиболее активен в космическом плане, видимо, период, приходящийся на конец одного — начало следующего галактического года, когда происходят наиболее принципиальные и активные изменения организации живого вещества. Весьма вероятно, этому периоду соответствует пик активности Солнца, во время которого совершается значительная перестройка его режима. Максимум светимости, т. е. максимум посылаемой Солнцем энергии, по-видимому, наступает несколько позже, а минимум — несколько раньше этого периода. Эпоха повышенной тектонической активности обычно приходится примерно на эту границу, но из-за неполного совпадения тектонического цикла с галактическим годом в разных случаях этот период может совмещаться с различными фазами тектонической динамики. Меньшие всплески активности в течение галактического года соответствуют циклам меньшего масштаба.

Далее будут рассмотрены только особенности этого наиболее активного периода с использованием некоторых важных характеристик динамики геосферы, представленных на рис. 9 и 10.

Конец верхнебайкальского — начало каледонского галактического года. Этот рубеж совпадает с концом венда — началом кембрия и является одной из самых ярких эпох в истории биосферы. Это не только эпоха интенсивнейшего видообразования, но и время, когда формировались многие принципиальные особенности морфологии многоклеточных организмов. В короткий срок происходит фундаментальное обновление фауны: в начале кембрия появляются и быстро завоевывают доминирующие позиции скелетные формы, представленные сразу в большом многообразии. Примерно одновременно совершается крупная перестройка флоры — водоросли со стелющимся стеблем вытесняются возникшими в это время или несколько раньше водорослями с прямым стеблем, что стало возможным только в результате его укрепления. Значительные изменения имели место также несколько раньше, в венде. Сине-зеленые водоросли, которые прежде преобладали, быстро вы-

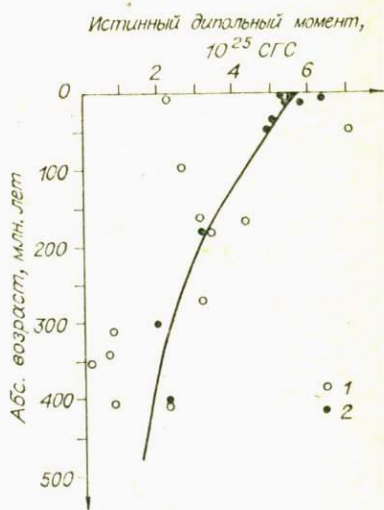


Рис. 9. Среднее изменение магнитного момента Земли [Стейси, 1972].

1, 2 — по данным разных исследователей,

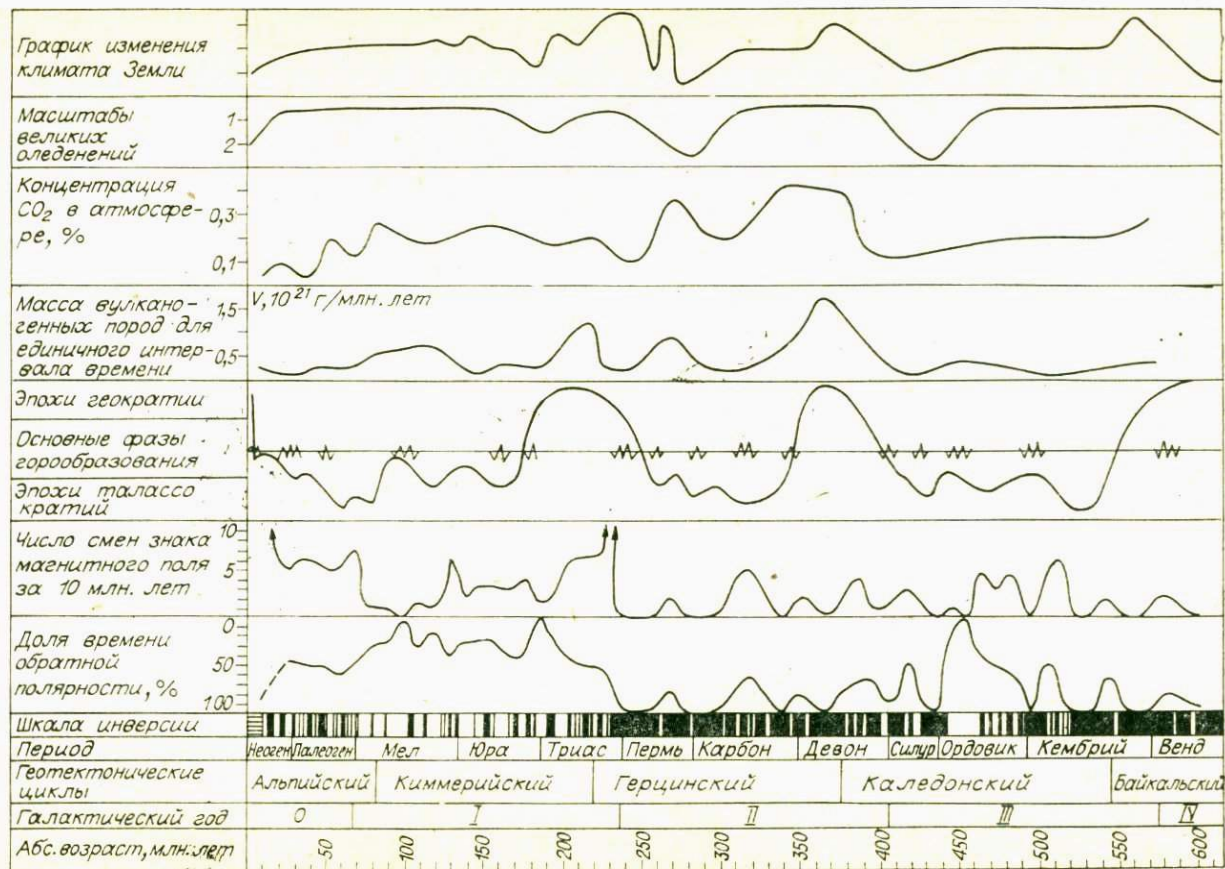


Рис. 10. Динамика геосферы в фанерозое [по Будыко, 1977, 1980; Войлошникову, 1979; Кушину, Сардонникову, 1974].

тесняются красными. На венд приходится бурная эволюция кишечнополостных (медузы и др.).

Видимо, не случайно все эти преобразования оказались примерно одновременными с резонансом в системе Луна — Земля — Солнце (см. гл. 1), когда длительность характерного цикла приливов совпала с периодом вращения Солнца на широте его активных образований (~ 27 сут). Этот резонанс резко усилил воздействие солнечной активности. Не ясно, существовал ли уже в это время озоновый экран. Вероятно, существовал, но был значительно более тонким, чем сейчас, поскольку обогащение атмосферы кислородом связано с широким развитием флоры, которое ускоренно происходит в последующее время.

Всем этим явлениям предшествовало крупнейшее вендское оледенение (~ 640 млн. лет назад), которое приходится на начало байкальской эпохи геократии и отчасти, вероятно, предшествовало ей. Едва ли в ледниковые эпохи совершаются крупные качественные изменения организации живого вещества. Но косвенное влияние оледенения на последующий взлет его активности несомненно. Общее ухудшение условий существования в высоких и частично средних широтах сокращает численность популяций, т. е. вызывает обеднение экосистем. В дальнейшем, по мере потепления, возникают потенциально свободные экологические ниши, которые могут захватываться новообразованиями. В плотно заселенной экосистеме, где каждая популяция подчинена сложной системе экологических связей, видообразование в большом масштабе едва ли возможно — здесь более вероятна локальная адаптивная радиация на основе специализации (идиоадаптация, по Северцеву).

Анализируя геофизические аспекты крупной ледниковой эпохи (см. гл. 4), мы отметили свойственную ей динамичность, вытекающую из усиления широтного климатического контраста, увеличения сезонного контраста и пр. Наиболее резко эти контрасты проявляются в средних и высоких широтах (в зависимости от масштаба оледенения). В современную эпоху для высоких широт характерен также высокий уровень геомагнитной активности. В венде влияние вариаций солнечной радиации, обусловленное солнечной активностью, и некоторые формы геомагнитных пульсаций были резко усилены резонансом в системе Луна — Земля — Солнце. Все это должно было усилить «волны жизни». Заметим, что в современную эпоху колебания численности популяций наиболее сильно выражены в высоких широтах, а также в таких областях, как пустыни и т. п. Вообще чем проще экосистема, т. е. чем меньше разнообразие видов, которые в нее входят, и чем больше действует в ней лимитирующих факторов, тем больше вероятность развития в ней временной неустойчивости. Одновременно накапливается все больше фактов, говорящих в пользу того, что значительные колебания плотности популяций сопровождаются физиологическими и генетическими изменениями составляющих их особей [Одум, 1975].

Все это подготавливает принципиальную перестройку живого вещества, которая, по-видимому, в основном совершается все же не в ледниковую, а в последующую более теплую эпоху, хотя начинается, возможно, именно в периоды межледниковья.

На верхний венд приходится байкальская эпоха геократии. Она, очевидно, сопровождалась усилением вулканизма, обогатившим атмосферу углекислотой и другими веществами. Это способствовало общему потеплению, что в итоге улучшило условия существования организмов. Но вместе с тем влияние вулканизма на климат и биосферу неоднозначно — большие выбросы вулканической пыли могли вызывать похолодание и создавать кратковременную катастрофическую ситуацию в биосфере [Будыко, 1971, 1977].

След за Беркнером и Маршаллом [1966] некоторые исследователи утверждают, что в конце венда, около 600 млн. лет назад, в атмосфере была достигнута точка Пастера, т. е. содержание свободного кислорода составило 1/100 от его современного количества, что позволило организмам перейти от ферментативного брожения к окислению. Этим объясняют биологический взрыв конца венда — начала кембрия [Монин, 1977]. Более поздний расчет динамики кислорода в фанерозое, проведенный Будыко [1977, 1980], дал значительно большие величины. Согласно этому расчету, точка Пастера была достигнута значительно раньше. Видимо, здесь необходимы дальнейшие исследования. Но в принципе результат Будыко более правдоподобен, так как на венд приходится расцвет кишечнополостных, жизненный цикл которых, безусловно, был основан на дыхании. Скорее всего, точка Пастера была достигнута не позже начала венда.

Итак, примерно за 50—70 млн. лет произошел переход от климатического минимума к относительному климатическому максимуму. В этот сложный переходный период живое вещество активизируется факторами тектоническими (процессами геократии, создававшими контрасты рельефа, климата и пр., а также вулканизмом) и космическими, причем значение последних было усилено резонансом. Однако по сравнению с последующими аналогичными периодами общий уровень тектонической активности в венде был, кажется, значительно меньшим. Поэтому в активации живого вещества основную роль сыграли, по-видимому, космические факторы.

Конец каледонского — начало герцинского галактического года. Этот рубеж совпадает с границей между силуром и девоном. Опять-таки с ним связано значительное обновление биосферы. Особенно важно то, что происходит не просто обновление видового состава, но принципиальные изменения захватывают уровень организации биосферы гораздо более высокий, чем уровень отдельных организмов или популяций. Живое вещество в короткий срок завоевывает сушу. Видимо, вначале на суше широко распространяются бактерии и другие микроорганизмы, подготовившие почву для многоклеточных. В конце силура на суше укрепляются первые выс-

шие растения — псилофиты. В начале девона происходит вспышка видообразования растений — появляются хвощевые, папоротникообразные и др. В основном складывается современная морфологическая структура растения, включающая ризоиды, корень, стебель, лист. Появляются целые леса, т. е. возникает новый тип биогеоценоза. В итоге общая биомасса резко увеличивается. Вероятно, в среднем девоне на сушу выходят первые позвоночные — стегоцефалы, а раньше, видимо в конце силура, — первые членистоногие. В конце силура развивается гигантизм у эвриптерид. Важно подчеркнуть, что вспышка активности живого вещества носит планетарный характер; обновление захватывает также и морскую фауну. В позднем силуре появляются хрящевые рыбы. В девоне в основном формируется морфологическая организация рыб, они представлены множеством разнообразных видов. В конце силура — раннем девоне прокатывается волна вымираний — исчезает большая часть граптолитов, трилобитов, цистонидей, наутилоидей и др.

Последовательность изменений в геосфере напоминает характер изменений в предшествовавший аналогичный период. В силуре (~430 млн. лет назад) имело место значительное оледенение [Кунин, Сардонников, 1974]. Затем происходит активизация тектонических процессов. Начинается эпоха геократии, сопровождающаяся крупной вспышкой вулканизма. Концентрация CO_2 в атмосфере сильно увеличивается, что ведет к потеплению.

Характер изменения магнитного поля в это время не вполне ясен. Судя по данным, приводимым Стейси [1972] и другими авторами, примерно на границе силура и девона мог значительно уменьшиться магнитный момент Земли. Если это верно, то, значит, резко менялась радиационная защита, на время усилилось влияние солнечной радиации.

Согласно Беркнеру и Маршаллу [1966], около 400 млн. лет назад появился озоновый экран, что требует, как они полагают, содержания кислорода ~10% от современного уровня. Именно этим часто объясняют быстрое распространение растений на суше [Монин, 1977]. Более поздние расчеты Будыко [1977, 1980] и здесь дают значительно большие величины. Вероятно, в силуре озоновый экран уже существовал. Вместе с тем несомненно, что вспышка активности живого вещества в девоне должна была привести к резкому увеличению кислорода и росту озонового экрана. Это сказалось затем на особенностях динамики биосферы в позднем девоне и в карбоне.

Итак, опять имеет место переход от климатического минимума к относительному климатическому максимуму, во время которого совершаются интенсивные тектонические процессы. Именно на этот период приходится максимум вулканизма в фанерозое и, вероятно, также максимум содержания CO_2 в атмосфере. Поэтому опять соединились обе основные формы активации живого вещества — космическая и тектоническая, что и предопределило глобальность и интенсивность совершившихся преобразований.

Конец герцинского — начало киммерийского галактического года. Этот рубеж совпадает с рубежом между пермью и триасом. Он знаменуется значительными изменениями в био- и геосфере, хотя и несколько иного характера, чем рассмотренные выше.

В конце перми происходит обновление флоры суши — начинают преобладать голосеменные, возникшие несколько раньше; бурно эволюционируют рептилии, среди которых появляются гигантские формы. На рубеже перми и триаса многие рептилии вымирают, резко сокращается палеозойская флора плаунов, хвощей и семенных папоротников, окончательно вымирают трилобиты и некоторые другие палеозойские формы. В триасе опять происходит вспышка видообразования. Некоторые из возникших в это время звероподобных форм (*theromorpha*) несут на себе отпечаток более высокой организации, чем рептилии юры и мела; они близки к первым млекопитающим и поэтому обычно рассматриваются как их предки.

В конце перми — начале триаса отчетливо констатируются значительные изменения геомагнитного поля. На этот рубеж приходится вспышка инверсий, с которой, по мнению Кунина и Сардоникова [1974], может быть связана волна вымираний. Эта вспышка инверсий свидетельствует о какой-то перестройке электромагнитной структуры Земли. Такой же вывод позволяет сделать еще и следующее наблюдение: если в палеозое большая часть времени падает на поле обратной полярности, то в мезозое — на поле прямой полярности.

Поздняя пермь и триас — периоды геократии, самой крупной в истории Земли, за исключением четвертичной [Войлошиков, 1979]. Как и в прежних аналогичных случаях, примерно на начало этой эпохи приходится значительное оледенение, охватившее преимущественно материк Гондваны. Затем последовали вспышка вулканизма, увеличение количества CO_2 в атмосфере и потепление. Но интенсивность вулканизма оказалась гораздо меньше, чем в девоне, и в этом, вероятно, одна из причин некоторой неустойчивости потепления. В конце триаса отмечается даже небольшое оледенение, которое, впрочем, развития не получило. Далее климат становится более теплым. В целом мезозой — наиболее теплый период фанерозоя. Это единственная крупная эра фанерозоя, в которой не было значительного оледенения.

В начале мезозоя происходит раскол Гондваны (ориентировочно 200—220 млн. лет назад). Отметим, что крупные изменения геомагнитного поля, на которые обращалось внимание выше, предшествовали этому событию или же пришлись на раннюю его стадию. Примерно одновременно и, вероятно, в связи с расколом Гондваны происходит вторая вспышка вулканизма (около 210—220 млн. лет назад). Отметим также, что значительные изменения в жизни организмов, описанные выше, также преимущественно совершаются раньше раскола Гондваны.

Конец киммерийского — начало альпийского галактического года. Этот рубеж совпадает с рубежом мела и палеогена. В позд-

нем мелу вымирает большое число видов рептилий — ранее процветавшие динозавры (орнитишии и зауришии). После их вымирания происходит вспышка видообразования и широкое распространение млекопитающих; бурно эволюционируют птицы. Значительные изменения совершаются в мире растений. Примерно в середине мела отмечается появление покрытосеменных, вначале двудольных, затем однодольных. В конце мела они быстро распространяются, вытесняя голосеменные, многие из которых вымирают. В течение мела изменения происходят также и у рептилий. Широко развивается гигантизм. Интересно заметить, что гигантизм развивается и у форм, очень далеких от рептилий, например у аммонитов, которые к концу мела также полностью вымирают.

В отличие от предшествующих периодов здесь не было оледенения, за которым последовали бы значительные изменения климата. Не было и ярко выраженной эпохи геократии. Некоторое увеличение вулканизма имело место, но, судя по рис. 10, оно не было слишком велико. В этом одна из причин отсутствия резких колебаний климата. Вместе с тем обогащение атмосферы CO_2 оказалось значительно меньшим, чем в прежние аналогичные периоды. Поэтому начиная примерно с этого времени намечаются две взаимосвязанные тенденции. Во-первых, уменьшается в атмосфере количество CO_2 , который постепенно перерабатывается живым веществом. К концу кайнозоя количество углекислоты достигло беспрецедентно малых величин: примерно на порядок меньше девонского максимума. Во-вторых, постепенно развивается похолодание, которое вместе с альпийским горообразованием привело к четвертичному оледенению. Ледники начинают формироваться вначале в южном полушарии, в Антарктиде (ориентировочно 25 млн. лет назад) и затем, значительно позже, в северном. На антропоген приходится крупнейшая эпоха геократии, которая еще не завершилась. Однако и в этом случае начальная стадия оледенения предшествует геократии.

В середине мела и затем в позднем мелу происходят крупнейшие трансгрессии — самые крупные в фанерозое, за исключением лландоверийской трансгрессии в силуре. Затопляется более трети всей суши [Клиге, 1980]. Трансгрессии прерываются двумя регрессиями, одна из которых связана с австрийской фазой складчатости (примерно середина мела), другая — с ларамийской (конец мела — начало палеогена).

В мелу интенсивно формируются современные океаны, в первую очередь Атлантический. Очевидно, именно этим были вызваны трансгрессии и регрессии эпохи. Эти изменения тесно связаны с динамическими процессами, происходившими в системе глубоководных океанических разломов, активация которых, возможно, как раз и приходится на мел. Роль этих образований по существу только начинает выясняться, хотя уже очевидно, что они относятся к числу самых важных динамических структур Земли. Это не только место повышенной тектонической активности, но и средоточие многих важных физико-химических процессов. В частности,

эти процессы приводят к непрерывному обновлению вещества верхних геосфер Земли. Вероятно, с общепланетной системой глубинных разломов тесно связана общепланетная система теллурических токов, т. е. возможна связь электромагнитных и физико-химических процессов. Поэтому фазы активации системы разломов могут быть очень важны для динамики гео- и биосферы. В конце мела увеличивается число инверсий геомагнитного поля. В общем постепенно оно становится менее стабильным. Таким образом, несмотря на отсутствие ярко выраженной геократии, общая активность геосферы была достаточно высокой.

Напомним, что примерно на начало и на конец мела приходятся резонансы в системе Луна — Земля — Солнце (см. гл. 1). В общем эти резонансы кажутся более слабыми, чем аналогичный резонанс венда, поскольку связаны с гармониками приливных явлений меньшей амплитуды. Но, с другой стороны, в некоторых отношениях их воздействие может быть более сильным, поскольку к этому времени динамика геомагнитного поля усилилась. Обратим в этой связи внимание на то, что, судя по рис. 10, примерно в начале и в конце мела повышается число инверсий.

Морские регрессии в самом конце мела, по-видимому, дали толчок катастрофическому вымиранию динозавров. Они обитали преимущественно в прибрежной полосе эпиконтинентальных морей и пресноводных водоемов и адаптировались к такой своеобразной экологической обстановке. Горообразовательные процессы и морские регрессии резко изменили эту обстановку, что усугубилось особенностями динамики геомагнитного поля и космическими факторами. Динозавры оказались слишком специализированными животными и не смогли адаптироваться к изменяющейся среде. Образно говоря, они не успевали следовать за отступающим морем, оставлявшим за собой засушливые области с недостаточными для них пищевыми ресурсами. Именно во время последней, поздне меловой, регрессии, резко сократившей ареал распространения эпиконтинентальных морей, динозавры окончательно вымерли. Это хорошо видно на примере развития Ферганского морского бассейна в поздне меловое время.

Теперь следует сформулировать и обсудить некоторые общие закономерности динамики гео- и биосферы в фанерозое.

Цикличность происходящих изменений, существование и более, и менее активных фаз динамики уже подчеркивались. И все же еще раз следует обратить внимание на то, что те тенденции развития, которые далее будут обсуждаться, не проявляются в форме монотонных процессов, но накладываются на сложную систему колебаний. В определенных фазах циклов возможны отклонения от общей тенденции, величина и направленность которых определяются особенностями цикла.

Чтобы правильно оценить возможную роль космических факторов в формировании этих тенденций, напомним общие особенности динамики солнечной радиации.

Если считать, что за время существования Земли светимость

Солнца увеличилась на $\sim 30\%$, то на фанерозой приходится увеличение светимости на $\sim 4\%$. Согласно гипотезам, положенным в основу нашей работы, на направленное развитие Солнца накладывались различные по длительности циклы изменения его светимости. Можно ожидать, что колебание светимости в этих циклах достигало величины $\sim 3\%$. В итоге максимальное изменение светимости Солнца за фанерозой могло быть $\sim 7\%$. Вместе с увеличением светимости, вероятно, интенсифицировались другие формы активности Солнца.

I. Рассмотрим прежде всего некоторые тенденции развития геосферы.

1. *В фанерозое происходит активизация геомагнитного поля — усиливается его нестабильность, выражающаяся в увеличении среднего числа инверсий (обращений магнитных полюсов) за 10 млн. лет.*

Судя по имеющимся данным, наибольшее число инверсий поля за фанерозой приходится на самый конец неогена и на антропоген. Данные об изменении напряженности геомагнитного поля пока недостаточно полные. Возможно, что в конце венда и начале кембрия средняя напряженность геомагнитного поля была высокой, после чего сильно упала (в несколько раз); примерно с середины палеозоя геомагнитное поле усиливается, однако процесс этот носит сложный циклический характер.

Достаточно полно история электромагнитных структур Земли еще не выявлена. Не ясно также соотношение крупных вариаций геомагнитного поля с важнейшими в тектоническом и палеонтологическом отношениях периодами. Можно только констатировать, да и то не всегда уверенно, что примерно одновременно с активными фазами динамики геосферы и биосферы возможно значительное изменение магнитного момента и увеличение числа инверсий. Быть может, характерные изменения геомагнитного поля начинаются иногда даже несколько раньше активных тектонических процессов. Общие соображения, возникающие при рассмотрении динамики кислорода, подсказывают, что в фанерозое должен был в основном формироваться современный озоновый экран. Но временные фазы этого процесса остаются неясными. В тесной связи с образованием озонового экрана и динамикой геомагнитного поля должны были формироваться или перестраиваться важнейшие структуры верхней атмосферы и магнитосферы. Ничего конкретного сказать об этом в настоящее время нельзя.

Согласно оценкам, приведенным Логиновым и соавторами [1980], если бы озона в атмосфере не было, то температура у земной поверхности была бы выше нормы на 4°C в теплое полугодие и на $2,2^{\circ}\text{C}$ в холодное. Согласно данным Будыко [1980], изменение солнечной постоянной на 1% вызывает изменение средней температуры воздуха приблизительно на $1,4^{\circ}\text{C}$. Эта оценка относится к современным условиям и сделана с учетом наличия криосферы. При отсутствии ледников, т. е. в теплые периоды, связь более слабая и изменение солнечной постоянной на 1% приводит к изменению температуры воздуха, видимо, на $\sim 1^{\circ}\text{C}$. Таким образом, сред-

нее изменение светимости Солнца за фанерозой на 4% (без учета циклов) должно было привести к повышению средней температуры воздуха на 4°C или несколько больше. Но это изменение светимости оказалось в основном скомпенсированным образованием озонового экрана, и примерная стабильность климата в общем сохранилась. Кроме того, озоновый экран, вероятно, смягчал изменения солнечной радиации в больших временных циклах (в коротких циклах влияние озонового экрана в этом отношении более противоречиво, так как при определенных условиях он может усиливать воздействие солнечной радиации). Однако при отсутствии магнитной защиты, т. е. без сильного геомагнитного поля, озоновый экран не мог бы эффективно функционировать, да и едва ли мог бы достичь его современных размеров.

Потоки высокоэнергетических частиц, особенно после сильных солнечных вспышек, дестабилизируют озоновый экран (см. гл. 2). В современных условиях в низких геомагнитных широтах это не имеет большого значения, так как заряженные частицы отклоняются геомагнитным полем к магнитным полюсам, где вызываемый ими эффект для климата Земли в целом менее существен. Поэтому для образования современного озонового экрана были необходимы по меньшей мере два условия: во-первых, достаточное увеличение количества кислорода в атмосфере (это произошло в основном благодаря деятельности зеленых растений); во-вторых, усиление геомагнитного поля, которое, согласно данным рис. 9, также имело место. Непосредственные причины этих изменений геомагнитного поля неизвестны, но удивительная согласованность разных по типу изменений делает вероятной гипотезу, согласно которой существенной причиной должны считаться изменения солнечной радиации. Таким образом, формирование озонового экрана, примерно согласованное с вариациями геомагнитного поля, может рассматриваться как один из примеров сложной приспособительной деятельности Земли и ее биосферы к изменению солнечных излучений.

Однако произошло не только усиление геомагнитного поля, но и увеличение числа инверсий. Полностью оценить эффект этого явления пока трудно. Видимо, усиление неустойчивости магнитного поля Земли увеличило изменчивость климата в средних и коротких временных циклах (см. рис. 6, где показана связь изменений геомагнитного поля и климата). Быть может, несколько усилилась неустойчивость системы циркуляций в атмосфере и гидросфере, т. е. изменчивость потоков энергии, момента и вещества, что могло стать дополнительным источником активации биосферы.

После обнаружения инверсий геомагнитного поля было высказано мнение, что во время инверсий может разрушаться радиационный экран и космические излучения могут достигать поверхности Земли, вызывая генетические мутации и даже гибель организмов. Позднейшие оценки показали, что это не так. Атмосфера хорошо защищает организмы от прямого воздействия жесткой космической радиации. Кроме того, морские организмы покрыты

слоем воды, что также является надежной защитой. Тем не менее исследования показали, что в ряде случаев приблизительно одновременно с инверсиями происходят вымирание и обновление видового состава организмов (фораминиферы и др.) [Стейси, 1972; Космос..., 1974]. Фактически сейчас мы очень плохо представляем реальный процесс инверсии. На это время могут приходиться крупные перестройки планетной системы теллурических токов и круговых токов в верхней атмосфере, в результате чего происходит перераспределение момента по геосферам. Возможны также кратковременные резкие климатические изменения и изменения атмосферных и других циркуляций. Все эти соображения пока весьма умозрительны. Во всяком случае, ясно, что воздействие космической радиации и геомагнитного поля на живое вещество не обязательно должно быть только прямым.

2. *В фанерозое увеличивается контрастность поверхности Земли.* Клинге [1980] сделал попытку дать математическое выражение этой закономерности для более значительного промежутка времени через изменение специально подобранных функций распределения.

При интерпретации этого явления особенно важно иметь в виду, что общая тенденция накладывается на колебательные процессы, поскольку были и эпохи геократии, когда этот контраст увеличивался, и эпохи талассократии, когда он уменьшался.

За этой закономерностью стоит процесс увеличения контраста (диссимметризации) континентальной и океанической коры. По-видимому, происходит также диссимметризация и других структур Земли. В общей форме тезис об увеличении диссимметрии высказал Хаин [1973], причем он имел в виду также диссимметризацию северного и южного полушарий, а также меридиональную диссимметризацию океанического и континентального полушарий. Современная фигура Земли с характерными для нее резким преобладанием континентов в северном полушарии и изолированным материком на южном полюсе сформировалась, вероятно, именно в фанерозое в результате длительного и сложного движения больших плит и других процессов.

Диссимметрия геосферы, будучи отклонением от состояния устойчивого равновесия, создает в ней своеобразную внутреннюю напряженность, которая способствует усилению разнообразных процессов прежде всего в верхних геосферах — вихреобразованию и другим явлениям в атмосфере и гидросфере, денудации и образованию осадков и пр. Поскольку основной источник энергии всех подобных процессов — солнечная радиация, то, видимо, диссимметризация геосфер одновременно означает некоторое увеличение их к. п. д., т. е. их способности переводить энергию солнечной радиации в кинетическую энергию разнообразных процессов. По мере увеличения диссимметрии континентальной и океанической коры, а также и всех других диссимметрий земной коры увеличивается также вероятность нарушения равновесия системы сил, действующих на литосферу (в основном центробежных сил

и сил Кориолиса), т. е. можно ожидать увеличения момента сил, стремящегося повернуть всю литосферу в новое положение равновесия. Возможно, что результатам этого стали ускорение движения больших плит и распад Гондваны, а также активизация соответствующих систем глубинных разломов.

Для биосферы основное значение всех подобных явлений состоит в возможности ускорения потоков энергии и вещества, т. е. основных геобиохимических круговоротов вещества, хотя в действительности эта общая тенденция сильно осложнена временными циклами. Быть может, одновременно активизируется или перестраивается система глубинных вихревых образований. Дестабилизация магнитного поля Земли косвенно подтверждает справедливость такой гипотезы.

II. Рассмотрим теперь некоторые тенденции динамики живого вещества.

При общем взгляде на ход биологической эволюции в фанерозое создается впечатление, что характер ее в целом прогрессивный, т. е. кажется, что более поздние формы живых организмов в чем-то совершеннее, чем ранние. Однако точно сформулировать это утверждение не так просто. Например, без дополнительных уточнений нельзя утверждать, что более поздние высокоорганизованные формы оказываются лучше приспособленными. Черви, медузы, кораллы и многие другие группы организмов приспособлены к условиям своего существования ничуть не хуже, чем значительно позже возникшие млекопитающие — к своей среде обитания. Некоторые из подобных форм появились в кембрии и даже в венде. Еще более очевидно это с точки зрения эколога. Например, можно представить себе вполне стабильную экосистему, включающую только «простейшие» формы — бактерии, одноклеточных животных и водоросли, но в естественных условиях в принципе невозможна экосистема, состоящая только из высших многоклеточных организмов, так как цепи трансформации вещества оказываются не замкнутыми в геохимические круговороты. Таким образом, в известном смысле именно «простейшие» должны рассматриваться как наиболее приспособленные из живых организмов, как своеобразный «фундамент» биосферы [Одум, 1975]: Дело в том, что нормальное функционирование биосферы предполагает большой комплекс биогеохимических и биогеофизических функций. Появление новой прогрессивной формы совсем не обязательно должно приводит к тому, что она заменит старые в одной из существующих экологических функций, но может быть связано с появлением новой функции, т. е. с изменением (усложнением) организации биосферы, с формированием в ней нового структурного уровня. Образования же разных структурных уровней функционально несопоставимы, практически не конкурируют между собой (дополняют друг друга) и не могут сравниваться по степени приспособленности. В частности, оказалось, что некоторые фундаментальные экологические функции в ходе эволюции сохранились за «простейшими», которые выполняют их наиболее эффективно.

Но все же утверждение о прогрессивном в целом характере эволюции правильно, если принять соответствующие критерии.

По данным Коржуева [1974], обеспеченность организма гемоглобином у представителей разных групп животных в среднем такова:

Животные (число видов)	Гемоглобин, г на кг живого веса
Наземные	
Млекопитающие (18)	12,1
Птицы (20)	10,2
Рептилии (5)	3,8
Амфибии (4)	3,6
Водные	
Костистые рыбы (20)	1,8
Хрящевые (3)	1,1

Таким образом, у более поздних и высокоорганизованных форм животных в среднем количество гемоглобина выше. Это указывает на существование тенденции к интенсификации дыхательных и окислительных процессов, т. е. в конечном счете на общую активность жизненных процессов в организме. Заметим, что именно длительное увеличение количества и структурная перестройка гемоглобина сделали возможным выход позвоночных на сушу, так как эта среда обитания требует больших затрат энергии [Коржуев, 1974].

Бернштейн обнаружил, что скорость прохождения нервных импульсов у млекопитающих выше, чем у рептилий. Например, согласно данным монографии «Биологическая кибернетика» [1972], имеем:

Объект	Скорость, м/с	Объект	Скорость, м/с
Нителла	0,02	Сколонендра, то же	2,50
Венерина мухоловка	0,20	Краб, нерв клешни	2,0—4,0
Актиния, нервная сеть круговой мышцы	0,04	Осьминог, мажиганый нерв	3,0—6,0
Анодонта, нерв комиссуры	0,05	Лягушка, седалищный нерв	15,0—30,0
Улитка, нерв ноги	0,4	Кошка, то же	60,0—100,0
Дождевой червь, ганглий	0,60	Человек, лучевой нерв	70,0—120,0

Это также, хотя совсем в ином плане, свидетельствует об общем повышении активности у более поздних и более высокоорганизованных форм.

Эти материалы было бы интересно сопоставить с данными о количестве зеленой массы и хлорофилла у различных групп растений и вообще с данными об относительном количестве различных биологически активных веществ для форм с разным уровнем организации. Здесь, несомненно, необходимы дальнейшие исследования и уточнения. Но, кажется, должно быть справедливо следующее утверждение: *из классов многоклеточных организмов, сфор-*

мировавшихся в фанерозое, более поздние и высокоорганизованные в целом характеризуются большей активностью основных жизненных процессов.

Аналогичное утверждение о прогрессивной активации, по-видимому, должно быть справедливо и для экосистем. Однако его труднее сформулировать в точной, поддающейся проверке форме. Здесь речь может идти об изменении количества зеленой массы на единицу поверхности и о степени насыщенности экосистем биологически активными веществами при одновременном усложнении организации, обеспечивающей достаточную стабильность экосистемы в условиях повышенной общей активности. Особый интерес вызывают разнообразные рассеянные биологически активные вещества, выделяющиеся во внешнюю среду при разложении и иных процессах и способные влиять на рост других организмов в экосистеме, — «наружные гормоны», или, иначе, «экзокрины», как их иногда называют. Эти вещества могут быть или ингибиторами, как антибиотик пенициллин, который продуцируется плесневым грибом, или стимуляторами, например витамин В₁₂ и др. Как выясняется, подобные вещества являются биохимическими регуляторами, которые играют важную роль в метаболизме сообщества и обуславливают согласованность различных функциональных элементов экосистемы, т. е. создают механизм положительных и отрицательных обратных связей. В частности, от них зависит как устойчивость равновесия системы, так и скорость сукцессии, т. е. смена одного видового состава сообщества другим [Одум, 1975]. В интересующем нас сейчас аспекте увеличение насыщенности подобными веществами в естественных условиях означает большую согласованность и возможность активации (ускорения) важнейших биогеохимических круговоротов вещества — кислорода, углерода, азота, фосфора и др. Поскольку все эти процессы, с другой стороны, определяются наличием биогеохимической энергии, основным источником которой служит солнечная радиация, то в дополнение к приведенному выше можно сформулировать следующее утверждение: *в фанерозое увеличивается «к. п. д.» основных типов геобиоценозов по отношению к солнечной радиации, т. е. степень эффективности превращения солнечной энергии в геобиохимическую энергию живого вещества; увеличивается также эффективность прямого и косвенного ее использования для регулирования и ускорения геобиохимических круговоротов вещества благодаря появлению в биосфере новых, в целом более сложных форм организации.*

Еще раз напомним, что здесь имеется в виду общая тенденция, которая в действительности усложнена временными циклами.

Основным итогом всех этих рассуждений является следующее утверждение: *в фанерозое общая активность живого вещества биосферы увеличилась.* Увеличение активности живого вещества может быть результатом троякого рода процессов:

образования форм, более активных в данных условиях обитания, чем предшествовавшие им;

увеличения видового многообразия и плотности экологических ниш в экосистемах;

освоения новых областей, ранее не заселенных, т. е. расширения жизненного пространства.

В фанерозое совершались все эти процессы, но в разных фазах циклов относительное значение их было различно. Появление принципиально новых типов организации (новых архетипов), видимо, возможно только в дестабилизированной и не слишком плотной экосистеме, а также при наличии некоторого активирующего фактора. Не случайно крупнейшие ароморфозы оказываются так или иначе связанными с явлениями более или менее катастрофическими. После появления новых архетиповых форм совсем в иных, более стабильных условиях начинается усиленная дивергенция на основе адаптации к самым разным условиям, что приводит к плотно построенной экосистеме. Уровень видового многообразия здесь может достигнуть своего максимума, однако многие из существующих в это время организмов являются различными вариантами исходного архетипа, не выходящими за определенные рамки (см. также [Северцев, 1967]).

В общем виде все это можно сформулировать так: *трансформация видов и естественный отбор являются функциями биосферы. Иначе говоря, направленность видообразования и естественного отбора определяется глобальной организацией биосферы.* Факторы, могущие воздействовать на эту организацию, — важнейшие тектонические процессы, динамика геомагнитного поля, а также различные космические факторы, прежде всего солнечная активность. Из-за особой важности этих положений их следует обсудить более подробно.

Экологи делят основные связи между популяциями в экосистеме на положительные и отрицательные (не следует эти термины смешивать с положительными и отрицательными обратными связями). Влияние одной популяции на другую считается положительным, если первая оказывает благотворное воздействие на рост, выживание и тому подобные характеристики другой популяции; двустороннюю положительную связь можно назвать симбиотической. Влияние одной популяции на другую отрицательно, если первая оказывает ингибирующее действие на рост или другие жизненно важные характеристики второй. По наблюдениям экологов, относительное значение положительных и отрицательных связей в разных фазах эволюции экосистем различно. Одум [1975] резюмирует эти наблюдения в следующих принципах:

в ходе эволюции и развития экосистем существует тенденция к уменьшению роли отрицательных взаимодействий за счет положительных, благодаря чему увеличивается выживание взаимодействующих видов;

в недавно сформировавшихся ассоциациях вероятность возникновения сильных отрицательных взаимодействий больше, чем в старых.

Таким образом, в молодой экосистеме, которая может возникнуть после разрушения старой или освоения новой области пространства, удельный вес отрицательных связей повышен. Например, микроорганизмы могут выделять в большом количестве продукты метаболизма, угнетающие другие формы; возможно также постепенное самоотравление организмов этими продуктами. Одна из основных причин здесь — неполная замкнутость важных биохимических круговоротов вещества. У высших животных стресс может вызывать повышенную агрессивную реакцию, что также есть пример усиления отрицательного взаимодействия (см. гл. 3). Все подобные явления можно интерпретировать в широком смысле как разные проявления стресса независимо от обуславливающих их механизмов, т. е. распространить понятие «стресс» на экосистемы (в литературе такое употребление термина «стресс» встречается, хотя без четкого определения [Одум, 1975]). Таким образом, внешний фактор, способный серьезно нарушить экосистему, может вызвать у нее стрессовую реакцию, выражающуюся в относительном увеличении отрицательных взаимодействий различных типов. С точки зрения эколога, изучающего общую организацию экосистемы, такая стрессовая реакция выступает как биологическая обратная связь, которая может усиливать в некоторых отношениях биологические последствия внешнего разрушительного воздействия; результатом этого оказывается развитие внутренней нестабильности и ускоренная смена экосистемы какого-то одного типа экосистемой другого, в частности направленное изменение ее видового состава — сукцессия. Выше мы выделили два основных (для рассматриваемых сейчас больших циклов) фактора, способных активизировать биосферу: тектоническую (горообразование, вулканизм и т. п.) и солнечную активность. Оба они по своей природе двойственны: с одной стороны, оказывают разрушительное влияние на экосистемы и потому способны вызвать сильную стрессовую реакцию, с другой — оба, по-видимому, могут стимулировать жизнедеятельность. Именно поэтому в подобных стрессовых ситуациях появляются какие-то принципиально новые формы, достаточно пластичные и способные к усилению активности.

В ходе дальнейшей эволюции экосистем роль отрицательных взаимодействий уменьшается, а положительных увеличивается. Одновременно увеличивается степень замкнутости биотических круговоротов вещества. Итоговым состоянием экосистемы является климакс, отличающийся максимальной насыщенностью положительными связями, большим видовым разнообразием, высоким уровнем специализации, максимальной замкнутостью важнейших биогеохимических круговоротов и наиболее экономным и полным использованием доступных источников энергии, в частности максимальной биомассой на единицу доступного потока энергии. В этом состоянии экосистема чрезвычайно устойчива к меняющимся внешним факторам, конечно до определенного предела [Одум, 1975]. Насыщенность экосистемы положительными, в частности симбио-

тическими, связями, увеличивающими общую устойчивость, опять-таки выступает как биологическая обратная связь, дополнительно стабилизирующая экосистему в устойчивых в целом внешних условиях.

Таким образом, в итоге оказывается, что изменение соотношения положительных и отрицательных взаимодействий есть проявление организации экосистемы, согласующей ее динамику с особенностями разных по типу фаз временных циклов космической и тектонической динамики (фазы повышенной активности и фазы стабильности) и в общем направленной на усиление отражения этих фаз в динамике.

В чисто теоретическом плане ход дальнейшей эволюции климатической экосистемы неясен. Высокая насыщенность положительными связями, с одной стороны, обуславливает ее устойчивость и большую степень использования доступных ресурсов, но, с другой стороны, препятствует принципиальным внутренним изменениям, т. е. внутренний импульс к развитию как бы утрачивается или, по меньшей мере, сильно ослабевает. Но вопрос этот, скорее всего, чисто теоретический, так как реально экосистема вовлечена в сложную систему временных циклов разных масштабов, регулярно создающих новые стрессовые воздействия, благодаря чему импульс к дальнейшему развитию постоянно возобновляется. Как мы уже отмечали в гл. 3, источником таких стрессов может быть солнечная активность, причем с увеличением светимости Солнца активность его в среднем, по-видимому, возрастает, т. е. Солнце является фактором, ускоряющим эволюцию биосферы.

Итак, в фанерозое произошло увеличение «к. п. д.» совокупного живого вещества биосферы по отношению к солнечным излучениям. Абсолютное увеличение «к. п. д.», вероятно, может быть 0,1% или несколько больше (от полного потока солнечного излучения). Особенно значительным было относительное увеличение, и утверждение о росте «к. п. д.» за фанерозой по меньшей мере в 2—3 раза (если не в 10 раз) выглядит достаточно реалистическим, если принять во внимание большое увеличение общей зеленой массы в результате освоения живым веществом континентов и пр. Это, в свою очередь, сделало возможным резкое ускорение некоторых геобиохимических круговоротов, в первую очередь круговорота кислорода, одним из следствий чего было появление в биосфере новых форм адаптации, среди которых одна из наиболее важных — озоновый экран.

Таким образом, в фанерозое действительно имело место ускорение развития биосферы, обусловленное отчасти космическими факторами, а отчасти особенностями предшествовавшего развития (формирование кислородной атмосферы, появление многоклеточных растений и животных и пр.).

Ускорение динамики верхних геосфер и живого вещества пока трудно сравнивать между собой из-за отсутствия данных для обоснованного вывода. Но правдоподобно, что развитие биосферы в целом происходило с большей скоростью, благодаря чему в ней

стало возможным появление новых форм организации и, в частности, новых форм защиты от потенциально разрушительных влияний активных внешних факторов.

Вернадский [1965] сформулировал два биогеохимических принципа:

биогенная миграция атомов химических элементов в биосфере всегда стремится к максимальному своему проявлению;

эволюция видов в ходе геологического времени, приводящая к созданию форм жизни, устойчивых в биосфере, идет в направлении, увеличивающем биогенную миграцию атомов биосферы.

Похожее по смыслу утверждение сформулировал Бауэр [1935] (принцип увеличения внешней работы): *в ходе возникновения разнообразия форм живых существ роль внешней работы становится все более важной, вследствие чего последняя должна увеличиваться.*

В несколько неявном виде идея увеличения активности живых существ как ведущей формы прогрессивной эволюции содержится также в концепции ароморфоза Северцева.

Во избежание недоразумений, вслед за Северцевым [1967] следует только заметить, что некоторые виды могут становиться на путь общей дегенерации, т. е. упрощения основных органических структур и снижения собственной жизнедеятельности, что характерно, например, для животных, ведущих паразитический образ жизни. Такого рода приспособления должны расцениваться с позиции интересов данной группы животных как прогрессивная эволюция, если они обеспечивают увеличение численности представителей этой группы, их распространение и освоение ими новых экологических ниш.

Увеличение активности — это общая закономерность эволюции всего живого вещества биосферы. Она не исключает, а иногда даже предполагает (для повышения организованности биосферы) упрощение отдельных ее структурных элементов, уменьшение или даже подавление каких-то проявлений их активности. Например, паразиты являются в экосистеме фактором, способствующим стабилизации плотности популяций. При быстром увеличении численности и плотности популяции животных растет степень их зараженности, что увеличивает далее процент заболеваемости и смертности. Напротив, при сильном уменьшении плотности популяции обычно затрудняется распространение паразитов, что уменьшает степень зараженности, и т. д.

Обсуждая тенденции развития геосферы, мы отметили увеличение контраста земной коры и некоторые другие явления, свидетельствующие о развитии диссимметрии, т. е. о разрушении существовавших ранее элементов симметрии или же прогрессивно растущем отклонении от состояния максимальной симметрии. Аналог этому явлению обнаруживается и у живого вещества.

2. *В фанерозое диссимметрия многоклеточных животных в целом увеличилась; более высокоорганизованные организмы в общем характеризуются более высоким уровнем диссимметрии.* Для ранних форм многоклеточных типичен высокий уровень симметрии

(радиальная симметрия медуз и т. д.). Далее в процессе эволюции происходит утрата каких-то элементов симметрии, причем отклонения от симметрии, первоначально малые и как бы случайные, со временем увеличиваются и даже подчеркиваются, поскольку симметричные ранее части наделяются дополнительными функциями, т. е. функционально противопоставляются. Особенно важно, что в процесс диссимметризации вовлекаются основные внутренние органы. Осевая и тому подобные формы симметрии постепенно сменяются билатеральной симметрией с примерно функционально эквивалентными правой и левой половинами. Например, у коралловых полипов в расположении щупалец вокруг ротового отверстия — радиальная симметрия, но в форме ротового отверстия, глотки и у мезентриальных перегородок — уже хорошо выраженная двусторонняя симметрия. Для рыб в общем характерна высокая степень симметрии «левое — правое», за исключением отдельных специализированных форм (камбала и др.). Далее, по-видимому, происходит распад даже этой симметрии, который, вероятно, еще не завершился. Такой важнейший орган, как сердце, сдвигается в левую половину тела, зато правая половина может стать внешне несколько более развитой (особенно сильно праворуконость выражена у современного человека). Резко различаются по своим функциям такие симметричные (по расположению) органы, как печень и селезенка. У человека отмечается также отчетливая функциональная диссимметрия левой и правой половин головного мозга [Лурия, 1973; Брагина, Доброхотова, 1981].

Вслед за Дана Вернадский [1965, 1967, 1980] отмечает важную тенденцию в развитии животных — цефализацию. Она действительно существует, хотя все же хотелось бы несколько уточнить ее формулировку, более четко очертив те группы организмов, для которых этот феномен имеет место. Обсуждая эту закономерность, обычно подчеркивают, что она означает прогрессивное развитие нервной системы и ее основного управляющего центра — головного мозга. Это действительно очень важно. Но следует обратить внимание и на другой аспект этого процесса — на прогрессивную диссимметризацию нервной системы по принципу «переднее — заднее», причем в данном случае все больше развивается передняя часть — головной мозг. Существуют отдельные отклонения от этой тенденции, например задний мозг у гигантского динозавра диплодока, который по объему значительно превышал головной мозг. Но это тот случай, когда исключение только подчеркивает правило. При медленном прохождении нервных импульсов у рептилий такой мозг был, видимо, необходим для управления мощными задними конечностями и длинным хвостом. Существование диплодока свидетельствует также о том, что в принципе возможна организация нервной системы с противоположным вариантом расположения основной части мозга; но все же основной тенденцией стало все большее развитие мозга именно в передней части тела позвоночных животных. Это же отчетливо прослеживается и у насекомых [Беклемишев, 1964].

По принципу Кюри, диссимметрия структуры является следствием диссимметрии причины. Возможно также самопроизвольное возникновение диссимметрии, если процесс чрезвычайно неустойчив; но при этом отклонения от симметрии случайны и при многократном повторении подчиняются законам теории вероятности, так что в итоге устанавливается симметрия вероятностных распределений. Однако диссимметрия живого вещества не есть продукт единичного акта творения, но тенденция длительного динамического процесса, причем такая, которая коррелирует, по крайней мере в первом приближении, с некоторыми другими важными тенденциями, например с тенденцией к увеличению общей активности. Поэтому нельзя считать ее чем-то случайным, но следует искать для нее достаточно общую причину. В настоящее время можно указать достоверно только один фактор, способный воздействовать на биосферу в целом, диссимметризуя ее: это асимметрия Солнечной системы в целом и Земли в частности. Асимметрия здесь возникает из-за выделенного направления вращения. Именно эту асимметрию следует поэтому считать основным источником диссимметрии живого вещества на всех его структурных уровнях, хотя конкретно проследить связь между двумя столь разными феноменами в настоящее время практически невозможно. Пока можно только сказать, что эта асимметрия переносится через посредство солнечной радиации на Землю, активизируя различные вихревые структуры геосферы и биосферы, так что при этом происходит сдвиг равновесия в пользу структур, характеризующихся определенным направлением некоторого аксиального вектора. Наша Галактика тоже асимметрична, так как в ней существует определенное направление вращения. Возможно, некоторые особенности динамики биосферы отражают какие-то неизвестные сейчас явления галактического масштаба.

Выше анализировалась морфологическая диссимметрия фауны. Некоторые формы диссимметрии морфологии существуют также и у растений, и можно надеяться, что сходные тенденции будут обнаружены и здесь. Для 11-летнего солнечного цикла изменение диссимметрии у растений отмечается, во всяком случае некоторыми исследователями (см. гл. 3). Но, как кажется на первый взгляд, диссимметрия играет для флоры значительно меньшую роль, чем для фауны, исключая, конечно, очевидную диссимметрию «верх — низ». Такое различие флоры и фауны удивительно и должно иметь какую-то фундаментальную причину. Ясно указать ее пока не представляется возможным. Быть может, она как-то связана с разной ориентацией флоры и фауны по отношению к двум важным диапазонам солнечного спектра, определяемым основными окнами прозрачности атмосферы: оптическим и радиоокном. Первое окно наиболее важно для растений, а второе, возможно, относительно более важно для многоклеточных животных. В настоящее время круговая поляризация солнечных излучений, которая в принципе может быть одним из источников диссимметрии, отмечается в основном для радиоизлучений с длинами волны порядка 1—10 см

(см. гл. 1). Выше (см. гл. 3) была высказана гипотеза, что своеобразная организация животных, включающая систему активных точек, каналов и основных органов, является чем-то вроде радиоприемного устройства, т. е. своеобразным рецепторным устройством для восприятия каких-то электромагнитных сигналов радиодиапазона. Если подобное объяснение в принципе правильно, то флора и фауна образуют по отношению к солнечным излучениям своеобразную диссимметричную пару.

Термин «диссимметрия» буквально значит «разрушенная симметрия» (приставка «дис» от лат. *dis* и греч. *dys* означает отделение или отрицание и сообщает понятию, к которому прилагается, отрицательный или противоположный смысл; ср. дисгармония, дисфункция, диссоциация и т. п.). В этом наиболее прямом смысле диссимметризация в биосфере может рассматриваться как процесс разрушения простых форм симметрии, свойственных высокоустойчивым равновесным состояниям неживой материи и характеризующихся минимумом свободной энергии [Гаузе, 1940], или как процесс формирования «устойчивого неравновесия» — процесс, который Бауэр [1935] считал термодинамически основным свойством живой материи. Но, может быть, более содержательной будет интерпретация явления диссимметризации с позиций теории информации и теории групп (общей теории симметрии) как процесса перехода от одного типа симметрии, основанного на функциональном отождествлении симметричных частей и характеризующегося минимальным разнообразием, к другому, информационно более богатому и предполагающему какое-то функциональное противопоставление частей. Этот присущий живому типу симметрии (или «антисимметрии») также может быть высокоустойчивым в особых состояниях с высокой свободной энергией, типичных именно для живого вещества. И элементы как раз такой новой симметрии усиливаются в ходе биологической эволюции.

Отметим теперь некоторые закономерности более частного порядка, область применимости которых требует дополнительного уточнения.

В ряде случаев перестройка живого вещества предваряет крупные геологические события или же приходится на очень раннюю их фазу [Крамаренко, Чепалыга, 1974; Соловьева, 1974]. Подтверждение и тем более универсализация этой закономерности имели бы принципиальное значение для теории биосферы. Выше уже отмечалась несинхронность тектонических и палеонтологических рубежей. Существует также несинхронность развития крупных флористических и фаунистических комплексов, причем неслучайного характера.

В ряде случаев крупные перестройки флоры совершаются раньше крупных перестроек фауны. Примером может служить мел. Покритосеменные появились в середине мела и к концу его заняли доминирующее положение. Вымирание динозавров и других форм приходится в основном на верхний мел, и с этого времени начинается бурная эволюция млекопитающих. Суша в девоне

вначале была освоена растениями и лишь затем позвоночными.

В ряде случаев в активных фазах циклов, перед крупными перестройками экосистем, широко развивается гигантизм. Один из самых ярких примеров дает опять-таки мел, когда гигантизм развивался у таких далеких друг от друга групп, как аммониты и динозавры. Развитие гигантизма отмечается также у пермских рептилий.

Гигантизм представляет интерес как своеобразная альтернатива истинному ароморфозу, основанному на глубоких внутренних изменениях. Чаще всего сверхразвитые гиганты оказываются тупиковыми формами и вымирают. Глубокие ароморфозные изменения, видимо, захватывают в основном мелкие формы. Поэтому фаза ретардации (измельчения, недоразвитости), вероятно, необходимо предшествует крупному ароморфозу. Первые млекопитающие конца мела были очень маленькими зверьками (примерно с крысу).

Развитие гигантизма у независимых групп организмов можно трактовать как довод в пользу существования некоего общеактивирующего фактора, который, однако, еще не настолько интенсивен, чтобы вызывать патологии. Выше были выделены два основных активизирующих биосферу фактора: во-первых, тектонический (в первую очередь вулканизм), во-вторых, космический, связанный с особенностями динамики солнечной радиации и геомагнитного поля. Связь гигантизма растений с вулканизмом была уже отмечена выше (см. с. 86). Большой интерес представляют наблюдения Василика [1974], который обнаружил корреляцию процессов акселерации и ретардации с изменением геомагнитного поля. Для более полной интерпретации этих результатов, однако, следует привлечь еще данные по солнечной активности и динамике радиационного экрана, которая в большой мере обусловлена динамикой геомагнитного поля. Полезно также обратить внимание на то, что обитающие в более высоких широтах позвоночные крупнее живущих в южных районах. Большое число таких примеров приводит Берг [1977]. Часто этот феномен объясняют тем, что у более крупных индивидов относительная теплоотдача меньше, чем у более мелких. Поэтому естественный отбор в условиях высоких широт благоприятствует более крупным формам. Это так, если принимать во внимание только достаточно контрастные формы, например сравнивать наиболее южные разновидности с наиболее северными. Но в целом такое объяснение неполно: спектр изменений более или менее непрерывен и близкие варианты отличаются друг от друга не настолько сильно, чтобы это различие оказалось существенным для отбора. С другой стороны, известно, что в более высоких широтах роль геомагнитного поля и его различных вариаций увеличивается; растет также плотность потока корпускулярного излучения, которое отбрасывается радиационным экраном от экватора к полюсам. Быть может, здесь, как и в случаях, отмеченных Василиком [1974], проявляется прямое воздействие космической радиации и геомагнитного поля на жизнедеятельность.

В самом конце фанерозоя в биосфере возникает качественно новое образование — ноосфера, т. е. сфера разума [Вернадский, 1980]. Биологически это выразилось прежде всего в ускоренной и направленной эволюции семейства гоминид. В настоящее время это семейство представлено единственным видом — *Homo sapiens sapiens*.

Человек, с одной стороны, является частью биосферы и поэтому связан с ее общей организацией. С другой стороны, он представляет собой элемент ноосферы, и в этом отношении его деятельность обуславливается качественно новыми законами социальной, духовной и технической эволюции. Эта двойственность природы человека, устанавливающая качественно новый тип диссимметрии*, имеет принципиальное значение, так как посредством ее взаимодействуют и связываются в единое целое качественно очень разнородные космические, геофизические, биологические и социальные влияния.

В биологическом плане важнейшие изменения происходили, по-видимому, 3—5 млн. лет назад; несколько позже, примерно 2—3 млн. лет назад, начинается регулярное изготовление и употребление каменных орудий и, вероятно, использование огня. Именно с началом трудовой деятельности, выразившейся первоначально в систематическом изготовлении и многообразном применении каменных орудий, следует связывать возникновение ноосферы. Таким образом, можно считать, что история ноосферы охватывает конец неогена и антропоген.

Происходивший в это время альпийский тектогенез наиболее мощно проявился в Альпийско-Гималайской области. В конце неогена формируются Атлас, Альпы, Апеннины, Карпаты, Кавказ, Памир, Гималаи, Анды и др.; осушается Западная Сибирь. Наряду с поднятием материков углубляется Мировой океан. В итоге уровень контраста поверхности Земли оказался наибольшим за весь фанерозой и, вероятно, вообще за все время существования Земли. Активизируются рифтовые системы, в частности Восточно-Африканская. По Красноморскому и Аденскому рифтам происходит отделение Аравийского полуострова от Африки. Наиболее активно процессы рифтогенеза протекают последние 5 млн. лет. Напряженность геомагнитного поля достигает относительного максимума; одновременно увеличивается нестабильность геомагнитного поля, выразившаяся в увеличении числа инверсий, т. е. частоты обращения магнитных полюсов.

Значительно изменяется и климат. Развивается криосфера и в общем становится холоднее; в итоге усиливается климатическая зональность. Одновременно увеличивается изменчивость климата, особенно в средних и высоких широтах, где наблюдаются неоднократные наступления и отступления ледников. Вместе со всеми этими явлениями должны были активизироваться процессы пере-

* Ср. также диссимметрию «подсознания» и «надсознания», обсуждавшуюся в гл. 3.

носа и вихревые структуры в атмосфере и гидросфере и увеличить коэффициент превращения солнечной энергии в кинетическую энергию этих сфер. Возникли предпосылки для синхронизации климатических и других процессов с изменениями положения оси Земли и элементов ее орбиты, обусловленными совокупным воздействием всех планет Солнечной системы и самого Солнца (см. с. 19, 81, 82).

Судя по последним данным, процесс формирования человека начался в Восточной и Южной Африке. Как отмечал Матюшин [1974, 1982], эта область прародины человека отличается от других регионов Африки повышенной тектонической активностью, обязанной своим происхождением главным образом динамическим процессам в Восточно-Африканской рифтовой системе, а также обилием урановых руд (здесь находятся самые богатые в мире месторождения урана).

Интересно заметить, что окончательное становление современного человека (около 40 тыс. лет назад) произошло, вероятнее всего, на Ближнем Востоке и в Средиземноморском регионе, где опять-таки отчетливо выражены разломы, активизированные альпийским тектогенезом. В районе Ближнего Востока соединяются крупнейшие разломы — Альпийско-Гималайский, протянувшийся через Средиземное море к Гималаям и далее, и Восточно-Африканский [Гаврилов, 1978].

Активизация Восточно-Африканской рифтовой системы вела к увеличению частоты и силы землетрясений и деятельности вулканов (почти все действующие вулканы Африки находятся в этой зоне). Останки ископаемых предков человека и раннего человека и древнейшие орудия обычно залиты лавами, засыпаны вулканическим пеплом и другими отложениями, свидетельствующими о бурной вулканической деятельности в области прародины человека. Магматические породы почти всех типов содержат радиоактивные элементы. Обнажения радиоактивных руд могли происходить и при землетрясениях. Таким образом, радиационный фон здесь был повышен; особенно сильно он мог увеличиваться в периоды возрастания тектонической активности. Высокий уровень радиации способствует увеличению аэроионов, что также влияет на жизнедеятельность человека. Можно ожидать здесь также и какой-то электромагнитной аномалии. Таким образом, формирование человека совершалось в высокоактивной среде. Г. Н. Матюшин считает, что имеется примерное совпадение эпох инверсий геомагнитного поля с эпохами быстрого изменения физического строения предков человека и раннего человека. Возможно, подобная корреляция действительно существует, хотя все же следует сказать, что история формирования человека пока выявлена не настолько полно, чтобы можно было уверенно это утверждать. Поэтому заметим только, что около 40—42 тыс. лет назад была кратковременная инверсия [Куликова, Поспелова, 1979; Матюшин, 1982] и примерно в это время быстро исчезают неандертальцы, уступая место первым современным людям. Как уже было

отмечено выше, значительные вариации и тем более инверсии геомагнитного поля увеличивают роль космических факторов и сами с ними связаны.

Фундаментальные тенденции процесса становления человека и развития ноосферы прежде всего продолжают важнейшие тенденции эволюции живого вещества Земли, хотя вместе с тем наблюдаются качественные переломы в их проявлении.

Как продолжение явления цефализации и вообще усиления диссимметрии живого вещества ускоренно развивается головной мозг человека. Объем черепа у первых австралопитеков $\sim 500 \text{ см}^3$, а у современного человека уже $\sim 1500 \text{ см}^3$, т. е. произошло увеличение объема головного мозга приблизительно в 3 раза. Одновременно усиливается функциональное различие передних и задних конечностей, что сделало возможной трудовую деятельность; в итоге, если можно так выразиться, руки становятся значительно более «разумными», чем ноги (кстати, и в головном мозге современного человека руки «представлены» в гораздо большей степени, чем ноги). Таким образом, диссимметрия «верх — низ» усиливается. Разнообразные диссимметрии человека только начинают изучаться, но на основании того, что уже известно, складывается впечатление, что человеку свойствен высокий уровень разнообразных диссимметрий, что уже само по себе выделяет его из животного мира.

В продолжение тенденции общей активизации живого вещества Земли в процессе эволюции гоминид увеличивается их активность, определяемая прежде всего способностью воздействовать на окружающую среду. Человек стал наиболее активным видом на Земле. Замечательно, что эти изменения носят, пожалуй, самый принципиальный характер. Если для других видов животных повышение их жизненной активности означает увеличение активности их собственных органов (ароморфоз), то в ноосфере процесс активизации стал совершаться качественно иным образом. Человек стал создавать и совершенствовать орудия, используемые во все более разнообразной трудовой деятельности. Принципиальным является также и все более широкое использование внешних источников энергии: от энергии огня до энергии термоядерного синтеза; последний источник оказался возможным на Земле только в особых условиях ноосферы. В итоге возникла техносфера — новое явление, не имеющее аналога в истории биосферы.

Особенно быстро протекает процесс активизации человека и одновременно эволюции техносферы в голоцене (последние 12 тыс. лет). В раннем голоцене начинается «неолитическая революция» — появляются качественно новые формы трудовой деятельности (скотоводство и земледелие, гончарное дело). Примерно за 4—2 тыс. лет до н. э. человек осваивает металлы, сперва медь и бронзу, позже железо. Начало обеих этих эпох всплеска творческой активности человека приблизительно совпадает с эпохами минимальной напряженности геомагнитного поля; около 12 500 лет

назад была последняя инверсия поля или, быть может, крупный экскурс, т. е. незавершенная инверсия [Василик, 1974]. В наше время происходит третий крупнейший всплеск активности — научно-техническая революция. Таким образом, творческая активность человека проявлялась неравномерно, вспышками, приводящими к переломам в эволюции техносферы.

Ноосфера становится ведущей геологической силой на Земле. В настоящее время используемая человеком мощность потока энергии имеет порядок 0,01% от мощности полного потока солнечной энергии, получаемой Землей. Если оправдаются прогнозы развития энергетики, то уже в следующем веке эта энергия увеличится на порядок и сравняется с геобиохимической энергией живого вещества Земли, создаваемой за единицу времени фотосинтезом. Одновременно резко ускоряются геохимические потоки вещества, определяемые прямо или косвенно антропогенными факторами. Для некоторых веществ мощность этих потоков уже превосходит естественные [Шишунов, 1980]. В следующем веке ожидается антропогенное изменение климата планеты.

Быть может, в перспективе самым важным итогом современной научно-технической революции окажется сознательный выход человека за пределы планеты, в космическое пространство Солнечной системы. Из пассивного объекта воздействия космических сил человек превращается в активный фактор, сознательно регулирующий свое взаимодействие с ними. Ноосфера распространяется в Космос. Открывается новая, быть может важнейшая, глава ее истории.

Все это создает принципиально новые возможности для научно-технического, социального и духовного творчества человека, которые сейчас нельзя даже представить, для глубокого преобразования жизни на началах Разума. Но все это одновременно накладывает на него и огромную ответственность за дальнейшую судьбу биосферы, без которой современный человек существовать не может.

Подводя итог нашему обсуждению, выделим важнейшие его моменты (некоторые из формулировок дискуссионны и, видимо, нуждаются в дальнейшем уточнении).

1. Космические влияния на Землю и, в частности, на живое вещество должны рассматриваться не только в энергетическом плане, но и в плане информационном. Характер информационных воздействий Космоса на Землю определяется такими особенностями динамики космической среды, как структура космических временных циклов, перенос момента количества движения, изменение свойств симметрии и пр. Основным непосредственным источником космической информации для Земли является Солнце. В свою очередь, в динамике солнечной активности отражены общие структурные особенности Солнечной системы. Солнечная система обладает резонансной структурой. Поэтому в ней возможны существование системы коллективных колебаний и резонансная настройка (синхронизация) на определенные внешние влияния. Возможно, в больших временных циклах отражены какие-то явления галактического масштаба, способные воздействовать на Солнечную систему как на единое целое и, благодаря наличию резонансных отношений, на солнечную активность. Влияние солнечной активности на Землю может усиливаться в определенные фазы эволюции системы Луна — Земля, когда в ней возникает резонансная настройка на соответствующие космические факторы.

2. Восприятие космических влияний Землей обусловлено прежде всего особенностями строения основных геосфер, составляющих единое целое благодаря взаимообмену энергией, моментом и веществом, а также системе положительных и отрицательных обратных связей. В первом приближении можно указать следующие основные геосферы:

магнитосфера	} «внешние» геосферы
термосфера — ионосфера	
стратосфера — мезосфера	
тропосфера	
гидросфера	

земная кора	} «внутренние» геосферы
верхняя мантия с астеносферой	
нижняя мантия	
внешнее ядро	
внутреннее ядро	

Иногда бывает полезно выделять также и некоторые другие образования, например криосферу (область льда и снега), озоновый экран и пр.

Особым интегративным элементом разнообразных процессов в геосферах служит электромагнитная система Земли, включающая геомагнитное поле, а также поносферные и другие токовые системы и пр. Через электромагнитные структуры физико-химические явления в наиболее верхних геосферах — магнито- и поносфере — связываются с конвективными и другими физическими и химическими процессами в ядре Земли.

Каждая из геосфер обладает своей спецификой, которая обуславливает основные особенности ее динамики, а также характерную только для нее систему положительных и отрицательных обратных связей. Формы проявления (относительной активности) обратных связей могут зависеть от изменения свойств симметрии геосфер, от особенностей переноса момента количества движения и от распределения и интенсивности завихренности.

Информационные взаимодействия геосфер способны менять условия прохождения и трансформации основных потоков энергии, а также обмена веществом между геосферами (геохимические круговороты).

3. Геосферы распадаются на две резко отличные группы — «внешние», которые располагаются примерно выше уровня геоида (за исключением гидросферы), и «внутренние», которые находятся в основном ниже уровня геоида.

Внешние геосферы в наибольшей степени пронизаны солнечными и другими космическими излучениями, для них это основной источник энергии. Внутренние геосферы в значительно большей степени зависят от собственных источников энергии — от энергии радиоактивного распада, оказывающей наибольшее влияние на процессы в области астеносферы и земной коры, и от энергии гравитационной дифференциации вещества Земли, наиболее значимой для процессов в области внешнего ядра и нижней мантии. Связь внешних и внутренних геосфер определяется в большей степени особенностями ротационного режима Земли (обменом моментом между геосферами), а также особенностями колебательных процессов.

Живое вещество располагается в наиболее активной части планеты — примерно на границе между внешними и внутренними геосферами (за исключением гидросферы), частично проникая и в те, и в другие. Поэтому оно подвержено двойственной системе влияний. Во внешних геосферах протекают разнообразные активные процессы, создающие для живого вещества общий фон изменчивости; они являются для него главным источником энергии.

Внутренние геосферы в наибольшей степени определяют основные особенности глобальных геохимических круговоротов вещества, от которых во многом зависят длительные стабильные тенденции развития биосферы.

Живое вещество не только пассивно воспринимает эти влияния, но и активно воздействует на геосферы, образуя планетарную систему организации, в которой интегрированы космические, геофизические, геохимические и биологические факторы, — биосферу.

4. Особенности восприятия биосферой космических и других влияний определяются ее организацией. В отличие от геосфер для нее более естествен принцип классификации, основанный на выделении последовательных структурных уровней (планов организации):

- геобиоценозов (экосистем)
- популяций
- организмов
- клеточных структур
- субклеточных структур
- органических молекулярных соединений.

По-видимому, и здесь важным интегративным фактором процессов на разных уровнях (разных масштабов) является слабое электромагнитное поле в каком-то его биологически активном состоянии.

Организация более высокого структурного уровня определяет рамки существования («среду») для образований более низкого уровня и, в частности, условия проявления естественного отбора — его направленность и интенсивность. Процессы жизнедеятельности многих индивидов, в свою очередь, могут изменять эту «среду», т. е. в конечном счете вызывать какие-то изменения на более высоком уровне организации. Таким образом, возникают скоординированные изменения на разных уровнях организации живого вещества.

5. Космические влияния воспринимаются живым веществом как непосредственно (главным образом через электромагнитное излучение), так и через посредство климатических и других изменений в геосферах. В итоге живое вещество подвергается многообразным воздействиям на всех уровнях, причем все эти воздействия до некоторой степени синхронизированы в силу особенностей вызвавшего их космического фактора. Одна из важнейших форм такого воздействия — воздействие на геобиоценозы, где наиболее тесно переплетаются геофизические, геохимические и биологические элементы организации (замыкаются важнейшие цепи геобиохимических круговоротов вещества, через обратные связи регулируются скорости движения различных химических элементов и пр.). Изменение параметров геобиоценозов инициирует соответствующие изменения на других уровнях организации живого вещества, что затем, в свою очередь, отражается на общей организации экосистемы.

При низкой интенсивности всей совокупности этих влияний могут возникнуть колебания численности популяций и некоторые другие вариации без существенных изменений общей организации биосистем. Для экосистем характерно состояние, близкое к климаксу, в котором преобладают положительные (симбиотические) связи, увеличивающие их устойчивость и создающие наиболее благоприятные условия для сохранения основных форм организмов. При отклонении от состояния климакса в экосистеме возникают направленные изменения (сукцессия), возвращающие ее по возможности к этому состоянию.

При высокой интенсивности всей совокупности воздействий на экосистему в ней, по-видимому, возможно возникновение особого состояния, в котором повышена роль отрицательных взаимодействий, дестабилизирующих экосистему и увеличивающих вероятность развития в ней различных собственных колебаний. Некоторые из этих колебаний могут затем синхронизироваться космическими и другими циклическими воздействиями. Для высших животных при этом возможно формирование общей внутренней напряженности типа стресса. Какой-то аналог этого состояния, видимо, возможен и для других организмов. Общая дестабилизация экосистем при наличии стимулирующих активность организмов факторов создает предпосылки для принципиальных изменений организации биосистем, обусловленных подавлением или даже разрушением одних функциональных элементов и ароморфозными преобразованиями других. В подобных условиях процесс видообразования протекает наиболее интенсивно и может привести к возникновению принципиально новых архетипов.

6. Важнейшие элементы временной организации процессов в гео- и биосфере — временные циклы. В основе этой организации лежат собственные колебания (автоколебания) соответствующих динамических систем. Каждой из геосфер, как и каждому уровню организации живого вещества, свойственны свои характерные частоты собственных колебаний, т. е. свои характерные временные масштабы. В итоге складывается иерархия временных масштабов, отражающая особенности расслоения Земли на геосферы, а также разные уровни организации живого вещества.

Образования с большим характерным масштабом времени (относительно более инерционные) в общем выступают по отношению к образованиям с меньшим характерным масштабом времени (относительно более подвижным) как стабилизирующий фактор и частично фильтруют (сглаживают) протекающие в последних вариации параметров. С другой стороны, достаточно длительные активные возмущения, возникшие первоначально в более подвижных образованиях, могут возбуждать затем динамические явления в более инерционных. В итоге оказывается, что на внешнее циклическое возмущение наиболее интенсивно реагируют те образования, для которых собственный временной масштаб соизмерим с временным масштабом возмущенного внешнего фактора; именно здесь наиболее вероятны важнейшие процессы синхронизации.

зации (все это возможно только для внешних возмущений, превосходящих некоторый порог чувствительности системы, так как малые возмущения могут полностью демпфироваться).

Процессы синхронизации обеспечивают согласованность различных явлений, усиление их взаимодействия и в принципе создают предпосылки для формирования организации, основанной на отношениях резонансного типа. Такая организация может обладать повышенной устойчивостью в структурном плане и одновременно повышенной чувствительностью к информационно значимым для нее внешним воздействиям, в частности к соответствующим космическим факторам.

7. Важнейшие явления, определенные во временных циклах разной длительности, качественно различны; соответственно качественно различны также основные движущие силы эволюции биосферы.

В первом приближении можно принять следующую классификацию:

- короткие временные циклы — до 1 тыс. лет;
- средние временные циклы — от 1 тыс. до 1 млн. лет;
- длинные временные циклы — от 1 млн. до 1,5 млрд. лет.

В коротких циклах во внешних геосферах протекают многообразные активные процессы, создающие для живого вещества основной фон кратковременной изменчивости. Внутренние геосферы, благодаря их высокой инерционности, напротив, создают фон стабильности, поддерживая постоянство основных геобиохимических круговоротов вещества. В живом веществе в основном инициируются колебания численности популяций («волны жизни»), которые могут сопровождаться генетическими и морфологическими изменениями организмов непринципиального характера. Главнейшие космические динамические факторы — солнечная активность в коротких ее циклах, а также изменения приливных сил в системе Луна — Земля — Солнце.

В средних циклах возможны значительные изменения климата — смена ледниковых и межледниковых периодов и пр. Динамические процессы могут захватывать также внутренние геосферы. Сильно меняется геомагнитное поле, в динамике которого сопряжены влияния внешних и внутренних геосфер. Быть может, именно геомагнитное поле служит ведущим синхронизатором различных геофизических явлений этого временного масштаба. В живом веществе возможны качественные преобразования — трансформация видов; происходят существенные изменения экосистем. Космические факторы, с которыми могут синхронизироваться процессы этого временного масштаба, пока не ясны. По одной из возможных гипотез, здесь могут проявиться долговременные коллективные биения в Солнечной системе, приводящие к согласованным изменениям элементов орбит и положения осей вращения планет и, вероятно, оси Солнца. Эти явления тесно связаны с особенностями перераспределения момента количества движения между разными объектами Солнечной системы. Некоторые из них

(вариации элементов орбит и положения оси Земли) рассматриваются сторонниками теории Миланковича как вероятные причины смены ледниковых и межледниковых периодов за последний миллион лет.

В длинных временных циклах происходят крупномасштабные тектонические явления — горообразование, трансгрессии, регрессии и другие, сильно меняющие глобальные геохимические круговороты вещества. В живом веществе совершаются принципиальные ароморфозные изменения, захватывающие высшие таксоны, одновременно и в связи с этими изменениями может меняться структура экосистем. Меняется также планетарная система организации биосферы, в первую очередь система регулирования геохимических круговоротов. При этом, с одной стороны, деятельность биосферы носит адаптивный и частично регулирующий (через обратные связи) характер, ориентированный на стабилизацию ее среды (в первую очередь климата); с другой стороны, тут уже обнаруживаются длительные фундаментальные тенденции ее эволюции, позволяющие говорить о ее направленности в целом. Основным космическим динамическим фактором здесь выступает, вероятно, изменение светимости Солнца, обусловленное в первую очередь особенностями его собственной эволюции. Кроме того, в длительных временных циклах, по-видимому, отразились какие-то явления галактического масштаба, но какие именно — неизвестно. Существенное значение для биосферы имела также эволюция системы Луна — Земля, приводившая в некоторые эпохи к резкому увеличению влияния космических факторов благодаря переходу через резонансные состояния и пр.

8. Во многих случаях важна внутренняя структура временных циклов. Здесь могут быть фазы повышенной общей активности, усиливающейся благодаря соединению (кумуляции) разнообразных активных событий и формированию резонансных отношений между ними (синхронизация параллельно протекающих процессов), а также фаза относительной пассивности, когда возможен распад некоторых резонансных структур и пр. Одной из вероятных причин такого различия фаз цикла может быть существование порога возбуждения некоторых положительных обратных связей, способных усилить роль внешнего фактора. В активные фазы циклов в биосфере совершаются наиболее принципиальные изменения, часто связанные с подъемом общей активности (ароморфозы и т. п.). В сравнительно пассивные фазы изменения носят более специализированный и адаптированный характер и направлены на сохранение основного архетипа при возможном увеличении многообразия его вариаций (процессы типа идиоадаптаций, по Северцеву). Величина и значимость совершающихся изменений зависят от временного масштаба циклов и других причин.

9. Важнейший элемент информационных структур геосфер и живого вещества на всех основных уровнях его организации — диссимметрия. В геосферах с нею связаны особенности переноса

и трансформации момента количества движения и различные диссимметричные вихревые структуры (система циклонов — антициклонов и пр.). В диссимметричных структурах живого вещества, возможно, отразились особенности переноса и трансформации информационного поля в биологически активном состоянии. Основным носителем его, вероятно, служит электромагнитное поле. Оно характеризуется мерой заключенной в нем биологически значимой информации. В отличие от скалярной информации Винера — Шеннона этот биологический тип информации, видимо, является векторным и предполагает использование векторов, подобных по типу вихрю и моменту. Поэтому, в частности, полярность (двойственность) возможных состояний выступает одним из его свойств.

Весьма вероятно, что в диссимметричных свойствах геосферы и биосферы отразилась асимметрия Земли и Солнечной системы в целом, существующая благодаря наличию выделенного направления вращения, а также, быть может, аналогичная асимметрия нашей Галактики.

Диссимметрия живого вещества предопределила его чувствительность к соответствующим космическим явлениям.

10. Имеет место длительный процесс совместной направленной эволюции Солнца и Земли, в частности биосферы. В некоторых отношениях он может рассматриваться как процесс совместной активизации, хотя основная тенденция сильно осложнена временными циклами разных масштабов. Меняются также свойства симметрии живого вещества, свидетельствующие о его направленной диссимметризации (разрушении элементов симметрии). По мере развития биосфера во все возрастающей степени оказывается способной включить земное окружение в свою внутреннюю систему организации, видоизменяет и регулирует многие земные процессы. Более того, биосфера не только пассивно воспринимает многообразные космические влияния, но и по мере развития и активации распространяет свою организацию все далее в Космос и регулирует его воздействие на живое вещество, создавая согласованную систему защитных экранов и пр. По своим фундаментальным тенденциям жизнь устремлена к Космосу.

Во введении к книге авторы совершенно справедливо отмечают, что традиции геоцентризма, приводящие к недооценке роли многообразных космических воздействий на биосферу и невольному преувеличению роли факторов чисто земного происхождения, начинают постепенно преодолеваться. Действительно, геоцентрические стереотипы мышления, уходящие своими корнями еще во времена господства метафизических представлений, длительное время резко сужали сферу научного поиска и породили немало скороспелых, но, к сожалению, живучих феноменологических гипотез. Например, в геологии до недавнего времени господствовала идея уникальности четвертичных оледенений Земли и связанных с ними изменений биосферы. Она увлекала многих исследователей на ложный путь поисков исключительных, в общем-то случайных событий в истории Земли, способных объяснить этот «феномен». При этом не исключались и «космические» гипотезы, если они не противоречили общей идее эпизодичности и случайности таких событий.

Теперь остается все меньше скептиков, сомневающихся в том, что эпохи оледенения, как и вообще климатические изменения разного масштаба, были закономерными явлениями в истории Земли и имели периодический характер. Устанавливаются и некоторые корреляции с определенными космическими параметрами, хотя конкретные механизмы причинно-следственных связей недостаточно ясны. В такой же мере это справедливо и в отношении биосферы. Палеонтологи хорошо знают, что органический мир Земли в своем развитии многократно испытал глобальные перестройки, которые трудно объяснить с позиций плутонизма — пептунизма, даже оживленных новыми концепциями.

В настоящее время геология переживает, пожалуй, наиболее значительный за всю свою историю период идейной перестройки. Он проходит под знаком возрастающего понимания системной целостности и непрерывности геологических и биосферных процессов, связывающих в единое целое современный лик Земли и ее предысторию. Идеи В. И. Вернадского о глобальности и неразрывности «панбиосферы» во времени и пространстве, ее тесной взаимосвязи с Космосом, еще недавно воспринимавшиеся лишь

как философская абстракция, ныне обретают все более реальные очертания в конкретных геологических и палеонтологических реконструкциях. Одним из примечательных примеров этих новых веяний можно считать создание под эгидой Международного союза геологических наук при ЮНЕСКО комплексной научной программы «Глобальные биологические события в истории Земли». В рамках этой программы предусматривается, в частности, изучение наиболее крупных этапов перестроек биосферы в их взаимосвязи с общей эволюцией Земли и Солнечной системы в целом.

Руководитель Советского национального проекта этой программы академик Б. С. Соколов обосновал очень важный в методологическом отношении тезис о том, что стратисфера Земли является прямым продуктом биосферы и в ее слоях заключена наиболее полная информация о связях Земли и Космоса. Свою мысль он сформулировал следующим образом: «Самая уникальная и примечательная особенность Земли, как планеты Солнечной системы, — стратисфера — включает пока наиболее полную запись событий, касающихся как самой Земли, так и Вселенной на протяжении последних 4 млрд. лет», и далее: «Стратисфера Земли должна стать одним из важнейших объектов исследования специалистов, изучающих Солнечную систему. Должны быть найдены новые методы извлечения информации из этого удивительного ее «конденсатора», более совершенные, чем те, которыми пользуются теперь геологи, геохимики, геофизики и палеонтологи, естественно ограниченные в своих интересах прежде всего земными проблемами»*.

В приведенных словах определены не только новые задачи в области исследований системы Земля — Космос, но и четко обозначен объект изучения, который дает возможность скомплексировать усилия специалистов разных направлений.

Предлагаемая читателю книга как раз и представляет собой пример такого творческого сотрудничества. Известные ученые механик-теоретик С. М. Шугрин и геолог-палеонтолог А. М. Обут с позиций теоретической механики, астрофизики, биологии, палеонтологии и геологии предприняли попытку — как представляется, вполне удачную — систематизировать имеющиеся данные о влиянии периодических изменений активности Солнца и других космических факторов на физические, биохимические и биологические процессы, динамику геосферы, климат и биосферу. Приводятся многочисленные доказательства сопряженной эволюции Земли и Солнца, тесной связи изменений солнечной активности и этапов развития биосферы.

Следует отметить, что эта тема сейчас привлекает внимание многих исследователей, как это видно и из приведенного в книге списка литературы. Однако большинство публикаций носит частный характер и касается обычно каких-то отдельных аспектов

* Б. С. Соколов. Органический мир Земли на пути фанерозойской дифференциации // 250 лет Академии наук СССР. — М.: Наука, 1977. — С. 423—444.

проблемы. В этой же книге на основе комплексного анализа разнородных данных впервые обосновываются доминирующие системные характеристики, которые можно использовать как «опорные» для корреляции выделенных подсистем, а внутри каждой из них вычленив ведущие факторы. При этом постулируется ряд оригинальных положений, касающихся факторов информативности, кумулятивности, асимметрии и диссимметрии, а также временных циклов и направленности эволюции.

Обычно при рассмотрении связей системы биосфера — Космос учитываются два фактора: временная цикличность и направленность эволюции. Для специалистов-естественников эти понятия привычны и операционный смысл их вполне очевиден. Здесь следует только отметить, что в понимание иерархической системы временных циклов авторы вносят существенные уточнения, разбирая вопросы синхронизации и «резонансных» отношений земных и космических циклов и подчеркивая качественные различия разномасштабных циклов. Вопрос об общих эволюционных тенденциях развития биосферы и Космоса также ставится по-новому. Однако тезис о зависимости этих тенденций от форм асимметрии динамических структур Космоса пока вряд ли можно считать убедительно обоснованным, он должен рассматриваться как дискуссионный.

С общих позиций представляются вполне убедительными соображения авторов по поводу таких общесистемных факторов, как информационное взаимодействие Космоса и Земли в дополнение к энергетическому, определяемое динамикой космической среды, структурой космических временных циклов, переносом момента количества движения, изменениями свойств симметрии; кумулятивность, обусловленная несовпадением динамических фаз Земли и Космоса; асимметрии и диссимметрии Космоса, геосфер и живого вещества разных структурных уровней, выражающихся в вихревых образованиях, «биополярности» и т. п.

С этой точки зрения, вполне в духе кибернетики и современной теории систем, Земля представляется как саморегулирующаяся система, наделенная многообразием положительных и отрицательных обратных связей. Поэтому, подобно живому организму, она, с одной стороны, может поддерживать длительное время стабильность некоторых своих параметров, например сохранять примерное постоянство климата, а с другой стороны оказывается чувствительной к сравнительно тонким («информационным») воздействиям Космоса. Принцип актуализма — в том отношении, в каком его можно считать справедливым и в наши дни, — верен не потому, что Земля не эволюционировала. Скорее он верен благодаря высокой эффективности процесса саморегулирования. За миллиарды лет существования биосферы, несмотря на большое увеличение светимости Солнца, при больших изменениях лика Земли и внешних геосфер (изменения состава атмосферы, формирование озонового экрана и пр.) климат Земли оставался в определенных рамках, в которых возможно было существование и

эволюция жизни. С другой стороны, уже отмеченная выше корреляция динамики четвертичных оледенений с некоторыми космическими факторами указывает на чувствительность климата к соответствующим космическим влияниям, которая обусловлена той же системой регулирования. Действительно, как сейчас ясно, в этом явлении большое значение имеют специфические положительные обратные связи, способные усилить эффект воздействия, в частности связи, определяемые изменениями криосферы и вызванными этим вариациями альбедо Земли.

Вместе с тем этот круг вопросов, впервые рассматриваемый в широком аспекте пространственно-временных связей биосферы и Космоса, входит в сферу профессиональной компетенции астрофизиков, теоретиков-механиков, кибернетиков и других специалистов и, надо полагать, они включатся в обсуждение выдвинутых положений.

Сами авторы хорошо понимают дискуссионность ряда своих тезисов и выводов. Эта дискуссионность определяется как недостатком или противоречивостью исходных данных, так и сложностью, многообразием и даже проблематичностью многих рассматриваемых явлений и связей. К чести авторов необходимо заметить, что, формулируя ряд проблем совершенно по-новому и анализируя материалы из самых разных областей знания — от палеонтологии до астрофизики, они не дают поводов для сомнений в корректности обоснования своих основных посылок и приводимых в доказательство данных.

Нет никаких сомнений в том, что эта первая обстоятельная, очень оригинальная по замыслу монография о геокосмических связях в их эволюционном развитии вызовет широкий интерес ученых разных отраслей знаний, в первую очередь палеонтологов, геологов, геофизиков, планетологов, а также, вероятно, астрофизиков и других специалистов, и послужит стимулом к обсуждению затронутых в книге проблем.

А. В. Каньгин

- Альвен Х., Арреншусе Г. Эволюция Солнечной системы.— М.: Мир, 1979.— 512 с.
- Андронов А. А., Витт А. А., Хайкин С. Э. Теория колебаний.— М.: Физматгиз, 1959.— 916 с.
- Балуховский Н. Ф. Геологические циклы.— Киев: Наукова думка, 1966.— 168 с.
- Бауэр Э. С. Теоретическая биология.— М.— Л.: изд. ВИЭМ, 1935.— 206 с.
- Беклемишев В. И. Основы сравнительной анатомии беспозвоночных. Т. 1.— М.: Наука, 1964.— 432 с.
- Белецкий В. В. Очерки о движении космических тел.— М.: Наука, 1977.— 430 с.
- Берг Л. С. Труды по теории эволюции.— Л.: Наука, 1977.— 388 с.
- Беркнер Л., Маршалл Л. Кислород и эволюция.— Земля и вселенная, 1966, № 4, с. 32—39.
- Биологическая кибернетика.— М.: Высшая школа, 1972.— 392 с.
- Биологические часы.— М.: Мир, 1964.— 694 с.
- Блехман И. И. Синхронизация в природе и технике.— М.: Наука, 1981.— 352 с.
- Брагина Н. П., Доброхотова Т. А. Функциональные асимметрии человека.— М.: Медицина, 1981.— 288 с.
- Бубнов С. И. Основные проблемы геологии.— М.: Изд-во Моск. ун-та, 1960.— 224 с.
- Будыко М. И. Климат и жизнь.— Л.: Гидрометеоиздат, 1971.— 470 с.
- Будыко М. И. Изменения климата.— Л.: Гидрометеоиздат, 1974.— 280 с.
- Будыко М. И. Глобальная экология.— М.: Мысль, 1977.— 328 с.
- Будыко М. И. Климат в прошлом и будущем.— Л.: Гидрометеоиздат, 1980.— 352 с.
- Бурлацкая С. П. Изменение напряженности геомагнитного поля за последние 8500 лет по мировым археомагнитным данным.— Геомагнетизм и аэронавигация, 1970, т. X, № 4, с. 694—699.
- Василик П. В. Геомагнитная гипотеза акселерации и некоторые эволюционные процессы.— В кн.: Космос и эволюция организмов. М., 1974, с. 115—132.
- Вернадский В. И. Химическое строение биосферы Земли и ее окружения.— М.: Наука, 1965.— 374 с.
- Вернадский В. И. Биосфера.— М.: Мысль, 1967.— 367 с.
- Вернадский В. И. Размышления натуралиста.— М.: Наука, 1975.— 176 с.
- Вернадский В. И. Проблемы биогеохимии.— М.: Наука, 1980.— 320 с.
- Витинский Ю. И. Цикличность и прогнозы солнечной активности.— Л.: Наука, 1973.— 258 с.
- Витинский Ю. И., Оль А. П., Сазонов Б. И. Солнце и атмосфера Земли.— Л.: Гидрометеоиздат, 1976.— 352 с.
- Владимирский Б. М. Активные процессы на Солнце и биосфера.— Изв. АН СССР. Сер. Физика Земли, 1977, т. 41, № 2, с. 403—410.

- Владимирский Б. М.** Солнечно-земные связи в биологии и явление «захвата» частоты.— В кн.: Проблемы космической биологии. Т. 43. М.: Наука, 1982, с. 166—174.
- Влияние солнечной активности на атмосферу и биосферу Земли.**— М.: Наука, 1971.— 260 с.
- Вогралик В. Г.** Основы китайского лечебного метода чжень-цзю.— Горький, 1961.— 323 с.
- Войлошников В. Д.** Геология.— М.: Просвещение, 1979.— 272 с.
- Гаврилов В. П.** Феноменальные структуры Земли.— М.: Наука, 1978.— 144 с.
- Гаркави Л. Х., Квакина Е. Б., Уколова М. А.** Адаптационные реакции и резистентность организма.— Ростов: изд. Ростов. ун-та, 1977.— 126 с.
- Гаузе Г. Ф.** Асимметрия протоплазмы.— М.—Л.: Изд-во АН СССР, 1940.— 128 с.
- Герман Дж. Р., Голдберг Р. А.** Солнце, погода и климат.— Л.: Гидрометеоздат, 1981.— 320 с.
- Гибсон Э.** Спокойное Солнце.— М.: Мир, 1977.— 408 с.
- Грант В.** Эволюция организмов.— М.: Мир, 1980.— 408 с.
- Гребенников Е. А., Рябов Ю. А.** Резонансы и малые знаменатели в небесной механике.— М.: Наука, 1978.— 126 с.
- Дружинин И. П., Сазонов Б. И., Ягодинский В. И.** Космос — Земля. Прогнозы.— М.: Мысль, 1974.— 288 с.
- Дружинин И. П., Хамьянова И. В.** Солнечная активность и переломы хода природных процессов на Земле.— М.: Наука, 1969.— 224 с.
- Дубров А. П.** Геоманнитное поле и жизнь.— Л.: Гидрометеоздат, 1974.— 176 с.
- Жвирблис В. Е.** Асимметрия против хаоса, или Что такое биополе.— Химия и жизнь, 1980, № 12, с. 81—87.
- Жвирблис В. Е.** О возможном механизме связей Солнце — биосфера.— В кн.: Проблемы космической биологии. Т. 43. М.: Наука, 1982, с. 197—211.
- Жирмунский А. В., Кузьмин В. И.** Третья система регуляции функций организма человека и животных.— Журн. общей биол., 1979, т. XL, № 2, с. 176—188.
- Изменения климата.**— Л.: Гидрометеоздат, 1980.— 360 с.
- Казанский Ю. П.** Развитие физико-химических условий седиментации и его влияние на эволюцию осадочного процесса.— В кн.: Проблемы эволюции геологических процессов. Новосибирск: Наука, 1981, с. 145—155.
- Казимировский Э. С., Кокоуров В. Д.** Движение в ионосфере.— Новосибирск: Наука, 1979.— 344 с.
- Киселев В. М.** Неравномерность суточного вращения Земли.— Новосибирск: Наука, 1980.— 160 с.
- Клиге Р. К.** Уровень океана в геологическом прошлом.— М.: Наука, 1980.— 112 с.
- Кондратьев К. Я., Никольский Г. А.** Стратосферный механизм солнечного и антропогенного влияния на климат.— В кн.: Солнечно-земные связи, погода и климат. М.: Мир, 1982, с. 354—360.
- Коржув П. А.** Гравитация как один из мощных факторов эволюции.— В кн.: Космос и эволюция организмов. М., 1974, с. 104—114.
- Космос и эволюция организмов.**— М., 1974.— 364 с.
- Крамаренко Н. П., Ченальга А. Л.** Проблема влияния космических факторов на эволюцию организмов и палеонтология.— В кн.: Космос и эволюция организмов. М.: 1974, с. 6—18.
- Краснов И. И.** Кривая солнечной радиации и изменения природных условий ландшафтной оболочки в антропогене.— В кн.: Космос и эволюция организмов. М., 1974, с. 83—97.
- Куликов К. А., Сидоренков Н. С.** Планета Земля.— М.: Наука, 1977.— 192 с.
- Куликова Л. С., Поспелова Г. А.** Кратковременная инверсия геомагнитного поля 40 тысяч лет тому назад.— Изв. АН СССР. Сер. Физика Земли, 1979, № 6, с. 52—64.

- Кунии Н. Я., Сардонников И. М.** Цикличность изменений магнитного поля и климата Земли в фанерозое.— В кн.: Космос и эволюция организмов. М., 1974, с. 61—82.
- Лапо А. В.** Следы былых биосфер.— М.: Знание, 1979.— 176 с.
- Логинов В. Ф., Ракинова Л. Р., Сухомазова Г. И.** Эффекты солнечной активности в стратосфере.— Л.: Гидрометеоздат, 1980.— 80 с.
- Лоренц Э. И.** Природа и теория общей циркуляции атмосферы.— Л.: Гидрометеоздат, 1970.— 260 с.
- Лувсан Г.** Очерки методов восточной рефлексотерапии.— Новосибирск: Наука, 1980.— 278 с.
- Лунгерсгаузен Г. Ф.** Периодические изменения климата и великие оледенения Земли (Некоторые проблемы исторической палеогеографии и абсолютной геохронологии).— Сов. геология, 1957, № 59, с. 88—115.
- Лунгерсгаузен Г. Ф.** О периодических изменениях климата в геологическом прошлом Земли.— В кн.: Земля во Вселенной. М.: Мысль, 1964, с. 260—277.
- Лурия А. Р.** Основы нейропсихологии.— М.: Изд-во Моск. ун-та, 1973.— 374 с.
- Любимова Е. А.** Термика Земли и Луны.— М.: Наука, 1968.— 208 с.
- Максимов Н. В., Сарухалин Э. И., Смирнов И. П.** Океан и Космос.— Л.: Гидрометеоздат, 1970.— 216 с.
- Малиновский Ю. М.** Зависимость продуктивности биосферы Земли от положения Солнечной системы в Галактике.— В кн.: Проблемы космической биологии. Т. XVIII. М.: Наука, 1973, с. 7—25.
- Мандельштам Л. И.** Лекции по теории колебаний.— М.: Наука, 1972.— 470 с.
- Манк У., Макдональд Г.** Вращение Земли.— М.: Мир, 1964.— 384 с.
- Матюшин Г. И.** О роли ионизирующей радиации в процессе антропогенеза.— В кн.: Космос и эволюция организмов. М., 1974, с. 276—292.
- Матюшин Г. И.** У истоков человечества.— М.: Мысль, 1982.— 144 с.
- Мирошниченко Л. И.** Солнечная активность и Земля.— М.: Наука, 1981.— 145 с.
- Молчанов А. М.** О резонансной структуре Солнечной системы.— В кн.: Современные проблемы небесной механики и астродинамики. М.: Наука, 1973, с. 32—42.
- Монни А. С.** История Земли.— Л.: Наука, 1977.— 228 с.
- Монни А. С.** Солнечный цикл.— Л.: Гидрометеоздат, 1980.— 68 с.
- Монни А. С., Шинков Ю. А.** История климата.— Л.: Гидрометеоздат, 1979.— 408 с.
- На переднем крае астрофизики.**— М.: Мир, 1979.— 576 с.
- Одум Ю.** Основы экологии.— М.: Мир, 1975.— 740 с.
- Покровская Т. В.** Синоптико-климатические и теллюгеофизические долгосрочные прогнозы.— Л.: Гидрометеоздат, 1969.— 254 с.
- Поток энергии Солнца и его изменения.**— М.: Мир, 1980.— 558 с.
- Пресман А. С.** Электромагнитные поля и живая природа.— М.: Наука, 1968.— 288 с.
- Приливы и резонансы в Солнечной системе.**— М.: Мир, 1975.— 288 с.
- Проблемы космической биологии. Т. XVIII.**— М.: Наука, 1973.— 208 с.
- Проблемы планетологии. Т. 2.**— Ереван: Изд-во АН АрмССР, 1977.— 262 с.
- Рания история Земли.**— М.: Мир, 1980.— 620 с.
- Реакция биологических систем на магнитные поля.**— М.: Наука, 1978.— 214 с.
- Резанов П. А.** Происхождение океанов.— М.: Наука, 1979.— 200 с.
- Рикитаци Т.** Электромагнетизм и внутреннее строение Земли.— Л.: Недра, 1968.— 332 с.
- Ритмичность природных явлений.**— Л.: Гидрометеоздат, 1971.— 92 с.
- Ронов А. Б.** Вулканизм, карбонатакопление, жизнь (закономерности глобальной геохимии углерода).— Геохимия, 1976, № 8, с. 1252—1277.
- Рубашев Б. М.** Проблемы солнечной активности.— М.— Л.: Наука, 1964.— 362 с.
- Рускол Е. Л.** Происхождение Луны.— М.: Наука, 1975.— 188 с.

- Северцев А. П. Главные направления эволюционного прогресса.— М.: Изд-во Моск. ун-та, 1967.— 202 с.
- Селье Г. На уровне целого организма.— М.: Наука, 1972.— 122 с.
- Симонов П. В. Эмоциональный мозг.— М.: Наука, 1981.— 216 с.
- Синицын В. М. Введение в палеоклиматологию.— Л.: Недра, 1980.— 248 с.
- Солнечно-земные связи, погода и климат.— М.: Мир, 1982.— 382 с.
- Соловьёва М. П. К проблеме связи цикличности развития Земли и эволюционного процесса (на примере фораминифер).— В кн.: Космос и эволюция организмов. М., 1974, с. 293—314.
- Сорохтин О. Г. Глобальная эволюция Земли.— М.: Недра, 1974.— 184 с.
- Справочник по геофизике.— М.: Наука, 1965.— 572 с.
- Стейси Ф. Физика Земли.— М.: Мир, 1972.— 342 с.
- Сытинский А. Д. Об одном солнечно-атмосферном эффекте во время сильных землетрясений.— Докл. АН СССР, 1979, т. 245, № 6, с. 1337—1339.
- Тамразян Г. П. О периодических изменениях климата и некоторых вопросах палеогеографии.— Сов. геология, 1959, № 7, с. 143—149.
- Тихонов А. Н., Любимова Е. А., Власов В. К. Об эволюции зон плавления в термической истории Земли.— Докл. АН СССР, 1969, т. 188, № 2, с. 342—344.
- Уманский К. Г. Презумпция невинности вирусов.— Химия и жизнь, 1979, № 5, с. 77—81.
- Уэда С. Новый взгляд на Землю.— М.: Мир, 1980.— 214 с.
- Физические основы прогнозирования магнитосферных возмущений.— Л.: Наука, 1977.— 312 с.
- Хани В. Е. Общая тектоника.— М.: Недра, 1973.— 510 с.
- Холодов Ю. А., Шиндо М. А. Электромагнитные поля в нейрофизиологии.— М.: Наука, 1979.— 168 с.
- Хоменко Т. А. Симметрия — асимметрия в становлении жизни.— В кн.: Космос и эволюция организмов. М., 1974, с. 249—257.
- Хромов С. П. Основы синоптической метеорологии.— Л.: Гидрометеоиздат, 1948.— 696 с.
- Чижевский А. Л. Аэроионизация в народном хозяйстве.— М.: Госпланиздат, 1960.— 758 с.
- Чижевский А. Л. Земное эхо солнечных бурь.— М.: Наука, 1973.— 348 с.
- Чижевский А. Л., Шиншина Ю. Г. В ритме Солнца.— М.: Наука, 1969.— 112 с.
- Шараф Ш. Г., Будникова П. А. Вековые изменения элементов орбиты Земли и астрономическая теория колебаний климата.— В кн.: Труды Института теоретической астрономии. Вып. XIV. Л., 1969, с. 48—85.
- Шининов Ф. Я. Организованность биосферы.— М.: Наука, 1980. 292 с.
- Эдди Дж. История об исчезнувших солнечных пятнах.— Успехи физ. наук, 1978, т. 125, вып. 2, с. 315—329.
- Энергия и климат.— Л.: Гидрометеоиздат, 1981.— 304 с.
- Eddy J. A. The Case of the Missing Sunspots.— Scientific american, 1977, v. 236, N 5, p. 80—88.
- Jose P. D. Sun's Motion and Sunspots.— The Astronomical Journal, 1965, v. 70, N 3, p. 193—199.
- Mann F. Acupuncture: the Ancient Chinese Art of Healing.— L., 1978.— 200 p.
- Wollin G., Ericson D. B., Ryan W. B. Variations in magnetic intensity and climatic changes.— Nature, 1971, v. 232, N 5312, p. 549—551.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
Глава 1. Солнечная активность и Солнечная система	6
Глава 2. Солнечная активность и геосфера	26
Глава 3. Солнечная активность и изменения живого вещества	50
Глава 4. Некоторые особенности эволюции Земли	64
Глава 5. Некоторые особенности динамики гео- и биосферы в фанерозое	86
Заключение	113
Послесловие редактора	120
Литература	124

4698

1 р. 30 к.



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ