

УДК 523  
ББК 22.65  
В57

*Владимирский Б. М.* — д. ф.-м. н., ведущий сотрудник ФГБУН «Крымская астрофизическая обсерватория РАН»; область научных интересов — астрофизика, космическая физика, геобиофизика.

*Темурьянц Н. А.* — д. б. н., проф. кафедры физиологии человека и животных и биофизики ФГАУО ВО «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского»; область научных интересов — биологическое действие низкоинтенсивных электромагнитных излучений, биоритмология.

*Мартынюк В. С.* — д. б. н., профессор; область научных интересов — биоритмология, биохимия и биофизика неионизирующих излучений.

**Владимирский, Борис Михайлович.**

**В57** Космическая погода и наша жизнь / Б. М. Владимирский, Н. А. Темурьянц, В. С. Мартынюк ; под общей ред. Е. Н. Чуян. — 224 с. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва : ДМК Пресс, 2022. — Текст : непосредственный. ISBN 978-5-89818-103-1

Научно-популярное издание рассказывает о связи солнечной активности с широким кругом биологических явлений. Приведены необходимые сведения о солнечной активности, межпланетной среде и важнейших оболочках нашей планеты, защищающих среду обитания от воздействия капризов "космической погоды". Много внимания уделено влиянию космической погоды на бактерии, растения, а также на человека — его здоровье, психику и поведение.

Подробно рассказано о связи солнечной активности с явлениями общественной жизни. Изложена точка зрения авторов о происхождении астрологии и рациональном «ядре» древней вавилонской астрологии.

УДК 523  
ББК 22.65

На обложке: Джованни Батиста «Проповедь Иоанна Крестителя».

ISBN 978-5-89818-103-1

© Переиздание. ДМК Пресс, 2022  
© Оформление. Век 2, 2004

## **ПРЕДИСЛОВИЕ РЕДАКТОРА ВТОРОГО ИЗДАНИЯ**

С тех пор, как были обнаружены пятна на Солнце, а также тот факт что они периодически появляются и исчезают, не утихали споры о том, влияет ли это каким-либо образом на Землю. Уже в конце 19-го – начале 20-го века стало окончательно ясно, что на Солнце постоянно протекают сложные динамические процессы, одним из проявлением которых является комплекс явлений, который получил название «солнечной активности». Что это же за комплекс явлений? Оказывает ли солнечная активность влияние на ход процессов на нашей планете? Оказывают ли влияние процессы, протекающие в ближнем космосе, на живые организмы, на человека, на социум и его эволюцию?

На все эти вопросы в очень доступной форме, как принято в научно-популярной литературе, даются ответы на страницах данного издания. Круг вопросов, который тут рассматривают авторы, поражает своей широтой: от физики Солнца и ближнего космоса, через биологию, биоритмологию и этологию, до истории и археологии. Всё это интегрируется системным видением взаимосвязи земных и космических процессов.

Читатель держит в руках второе издание книги. Первое издание вышло в свет почти два десятилетия назад. Однако проблемы, обсуждаемые на страницах первого издания, по-прежнему остаются актуальными и по сей день, а интерес к ним периодически растет, особенно сейчас, когда начался новый 25-й солнечный цикл активности. В новом издании

книги авторами внесены некоторые уточнения, которые касаются нынешнего состояния дел. Учитывая тот факт, что в научно-популярном издании читателя, как правило, интересуют не столько мелкие подробности, сколько главные идеи и мысли, авторы по-прежнему не обсуждают многие детали экспериментов и наблюдений, а сосредотачивают внимание на установленных фактах и гипотезах, объясняющих наблюдаемые феномены. В то же время авторы оставили в книге разделы, которые вызвали дискуссию в среде профессионалов, но содержат ряд смелых идей, которые из-за установившихся идеологических шаблонов все еще не получили широкой поддержки. В частности, речь идет о происхождении астрологии, о спорных до недавнего времени идеях А. Л. Чижевского о влиянии солнечной активности на социальные процессы.

Несомненно, книга посвящена междисциплинарным вопросам современного естествознания и гуманитарных наук. Она будет интересна широкому кругу читателей и может быть рекомендована всем, кто интересуется вопросами связи биологических и социальных процессов с гео- и космофизическими явлениями.

Доктор биологических наук, профессор  
Е. Н. Чуян

## ПРЕДИСЛОВИЕ РЕДАКТОРА ПЕРВОГО ИЗДАНИЯ

Оказывает ли солнечная активность влияние на ход биологических процессов на нашей планете? Можно ли себе представить, чтобы сложный комплекс явлений, протекающий в замагниченной горячей водородной плазме на удалении 150 млн. км от нас, мог воздействовать на организм человека? Надо сказать, что весь недавно прошедший 20-й век по этим вопросам не стихала полемика. В нее оказались вовлечены врачи и химики, экономисты и энтомологи, метеорологи и физики. Только в самые последние десятилетия ситуация отчасти прояснилась. Было осознано, что продуктивно работать в этой сложной области исследований следует междисциплинарными «бригадами». Именно таким образом было установлено, вне всяких сомнений, что большие магнитные бури и в самом деле влияют неблагоприятным образом на наше здоровье, воздействуя на функциональную активность нашей нервной системы, на систему крови, на устойчивость биологических ритмов. Очень важно, чтобы научные изыскания в этом направлении планомерно развивались. Думается, предлагаемая читателям книга будет содействовать привлечению в новую область исследований молодых талантливых ученых.

Я бы затруднился определить однозначно жанр книги. С одной стороны, она написана серьезно. Не применяя каких-либо литературных приемов, читателю рассказывается о результатах исследований, проведенных в экологии, астрофизике, социологии, различных биологических дисциплинах. С другой стороны,

опущены многие детали экспериментов и наблюдений, все основные понятия разъясняются, нет подробной библиографии, налицо стремление излагать материал доступно и просто, как в научно-популярных книгах.

Думается, предлагаемый читателю иллюстрированный текст обладает, по меньшей мере, двумя достоинствами. Во-первых, авторы книги хорошо известны и как авторы публикаций по рассматриваемым вопросам в специальных научных журналах. Каждый из них — профессионал в своей области: астрофизике-биофизике (Б. М. Владимирский, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник Крымской обсерватории), физиологии (Н. А. Темурьянц, профессор Крымского федерального университета им. В. И. Вернадского); биофизики и биоритмологии (В. С. Мартынюк, доктор биологических наук, професор). Именно по их инициативе в Крыму регулярно проводятся семинары по теме «Космос и биосфера». Многие работы авторы знают во всех деталях, со многими исследователями они общались лично. В общем, материал, предлагаемый читателю, — это сведения «из первых рук».

Во-вторых, книга написана смело, без оглядки на установившиеся взгляды и идеологические шаблоны. Поэтому, когда речь идет о происхождении астрологии, о спорной до недавнего времени брошюре А. Л. Чижевского (посвященной влиянию солнечной активности на социальные процессы), читать книгу интересно, необязательно во всем соглашаясь с ее авторами.

Нет сомнений, научно-популярное издание о космических влияниях на Землю найдет своего читателя. Любители астрономии и врачи, студенты, гуманитарии и естественники, учителя всех специальностей, любознательные школьники старших классов, все, интересующиеся современной наукой, отыщут здесь богатую пищу для размышлений.

Академик НАН Украины,  
член-корреспондент РАН  
Н. В. Стешенко

*Связь космической реальности с  
нами гораздо глубже и обыденнее,  
чем мы думаем.*

В. И. Вернадский

## ПРЕДИСЛОВИЕ

В новостях уже который раз слышим сообщение о гигантской вспышке на Солнце... В кадре — туманная, не очень понятная картина: фрагмент солнечного диска, небольшое светлое пятно, которое стремительно увеличивает яркость, возрастая по площади. Одновременно нас информируют, что магнитная буря началась в 11 часов ноль шесть минут по мировому времени. Что это за явления? Правда ли, что они оказывают какое-то влияние на нашу жизнь, воздействуют на наше здоровье? Что это за воздействие, представляет ли оно какую-либо опасность? Почему в некоторые годы сообщения о солнечных вспышках следуют одно за другим, а в иные годы их нет совсем? Обнаруживается ли в последовательности этих событий какой-либо период? Можно ли их предсказать заранее?

Дать ясный и четкий ответ на эти и другие подобные вопросы — основная цель этой книги. Современное естествознание накопило в данной области колоссальный материал. И этот совокупный массив разных сведений все время возрастает: десятки обсерваторий исследуют процессы на Солнце, сотни наземных пунктов измерений записывают и анализируют последствия таких процессов в среде обитания.

Люди, работающие в этой хорошо налаженной индустрии добычи знаний, между прочим, ничего не слышали о «кризисе» современной науки, о чем нередко можно прочесть в нашей прессе. Вот почему самое трудное, с чем столкнулись авторы при составлении данной книги, составляет отбор материала.

Конечно, необходимо взять самое основное, опустив несущественные детали. Конечно, желательно добиться в изложении полной ясности, оперируя понятиями школьного курса физики и используя «нематематический» стиль повествования. Однако полностью выдержать такую экономную стратегию изложения, увы, невозможно. В школьном курсе физики отсутствуют некоторые очень важные понятия, без знакомства с которыми здесь обойтись невозможно.

Принятый стиль изложения обладает одним недостатком, с которым авторы заранее должны были примириться. Рассказывая читателям об устройстве Солнца, о структуре космического пространства в окрестностях нашей планеты, о ее защитных оболочках, о биологических часах и других вопросах, мы почти ничего не говорим о том, как были получены все эти сведения. Современные исследовательские технологии довольно сложны. Решительно невозможно доступно и в пределах небольшого объема книги рассказать о способах, которые были использованы исследователями для добычи этих данных. Здесь сообщается только окончательный результат. Но необходимо помнить, что все здесь изложенное появилось в результате длительных измерений с помощью сложной аппаратуры, что такие измерения после их проверки и сопоставления с другими наблюдениями тщательно анализировались с применением изощренных математических методов, чтобы сделаться основой для проверки теоретических гипотез, и что далее эти гипотезы проверялись лабораторным моделированием и дополнительными экспериментами. Указанная технологическая цепочка, включающая в себя труд множества людей в разных лабораториях многих стран, и является тем, что называют научным подходом. Никаких других сведений в этой книге нет.

И последнее. Среди вопросов, которые рассматриваются в тексте книги, многие исследованы глубоко и обстоятельно. Как правило, в таких случаях среди исследователей выработано общее мнение, соответствующие модельные представления надежно обоснованы, в обозримом будущем здесь возможны лишь небольшие изменения, которые будут носить характер уточнений. Имеются, однако, и такие разделы, где пока не удастся полностью разобраться, несмотря на длительные усилия

многих исследователей. По таким вопросам не прекращаются споры, что-то остается неясным, необходимы дополнительные исследования. Авторы в подобных случаях излагают свою точку зрения и, разумеется, обязаны предупредить об этом читателя. В дальнейшем изложении все подобные ситуации специально оговариваются.

Размеры книги не позволяют рассказать о становлении и развитии важнейших идей, которые лежат в основе рассматриваемой проблемы влияния солнечной активности на биологические процессы. Нет возможности упомянуть имена многих исследователей, внесших вклад в ее развитие. Но одно имя должно быть названо обязательно: Александр Леонидович Чижевский. Именно этот щедро одаренный человек выполнил важнейшие работы в этой области, высказал многие важные идеи и дал собирательное название данному направлению исследований: гелиобиология.

А. Л. Чижевский (1897-1964).

Сын кадрового военного, он родился 26 января 1897 г. в Гродненской губернии. Принадлежал к дворянскому роду, ведущему свое начало из Польши. Юные годы Чижевский провел в Калуге, где познакомился (1914) с Циолковским. Получил блестящее образование, печатался как поэт, профессионально рисовал. Принял участие в первой мировой войне (1916). Исследовательскую работу начал как историк, в последующие годы занимался различными вопросами биофизики. Как и многие представители отечественной интеллигенции не миновал ГУЛАГ (1942-1950), находился длительное время в ссылке (Караганда, 1950-1958). Скончался 20 декабря 1964 г. в Москве. В Калуге открыт мемориальный музей Чижевского. В книгах А. Л. Чижевского (см. список литературы) и сейчас можно почерпнуть много интересного.



## ГЛАВА 1

# МЫ ЖИВЕМ В АТМОСФЕРЕ СОЛНЦА

Солнце — самая близкая к нам звезда: квант света — фотон, покинув Солнце, достигает орбиты Земли за 8 минут. Свет от другой ближайшей к нам звезды затрачивает на подобное путешествие более 4 лет. На поверхности этой другой ближайшей звезды не удастся что-либо разглядеть даже в самые мощные телескопы. Вот почему изучение Солнца важно и интересно не только само по себе: наблюдая Солнце, мы многое узнаем о звездах вообще. Но и исследованные миры звезд очень помогают разобраться в солнечной физике: ведь другие звезды мы наблюдаем на разных стадиях эволюции, в юном и преклонном возрасте, при несколько ином химическом составе, массе, радиусе.

### 1.1. Как устроено Солнце — «стандартная солнечная модель»

Все, что сейчас известно о строении Солнца, его химическом составе, процессах, протекающих в его недрах, суммировано в так называемой «стандартной солнечной модели». В ней сконцентрирован колоссальный, тщательно проанализированный материал наблюдений Солнца и большого числа звезд. Многие величины, характеризующие солнечные явления, могут быть вычислены с большой точностью. Вот что такое Солнце согласно этой модели — газовый шар, состоящий из водорода с небольшой примесью гелия (и совсем малой примесью более тяжелых элементов); температура от поверхности

(6000° С) возрастает с глубиной, достигая близ центра 14 млн. град.; соответственно возрастает и плотность; электроны оторваны от ядер водорода, так что вещество находится в плазменном состоянии; при температуре и плотности, которые достигаются близ центра, ядра водорода достаточно часто сближаются на малые расстояния, так что оказываются возможны ядерные реакции. При этом в итоге из четырех ядер водорода получается ядро гелия. Выделяемая в этом процессе энергия как раз и обеспечивает светимость Солнца; одновременно с возникновением ядра гелия образуется еще нейтрино — частица, очень слабо взаимодействующая с веществом; нейтрино свободно покидает зону протекания ядерных реакций и может быть зарегистрировано специальной установкой на поверхности Земли. Солнце принадлежит к типу медленно эволюционирующих устойчивых звезд. Оно не может взорваться, солнечные термоядерные реакции идут уже около 5 миллиардов лет и будут продолжаться с той же скоростью еще миллиарды лет.

Зона ядерных реакций, где выделяется энергия, занимает небольшую часть объема Солнца. Это сфера в 0,1 его радиуса. Дальше происходит распространение энергии наружу. В основной массе Солнца этот перенос осуществляется фотонами. Но на глубине 0,3 радиуса, считая от поверхности, включается еще один механизм переноса — конвекция: нагретый газ поднимается к поверхности, охлаждается и опускается вниз за новой порцией тепла. Соответственно в строении Солнца различают зону лучистого равновесия и конвективную зону. Из-за того, что конвекция реализуется на вращающемся шаре, общая картина циркуляции вещества в конвективной зоне очень сложная (в ней полностью до сих пор не удалось разобраться). Очень важно, что циркуляция имеет место для плазмы — любое её движение есть одновременно и электрический ток. Но протекание тока неизбежно сопровождается появлением магнитного поля. Магнитные поля играют очень важную роль в процессах, происходящих на поверхности Солнца. Но они оказывают влияние и на динамику конвективной зоны. Отсюда понятно, почему специалисты по физике Солнца уделяют изучению солнечного магнетизма так много внимания.

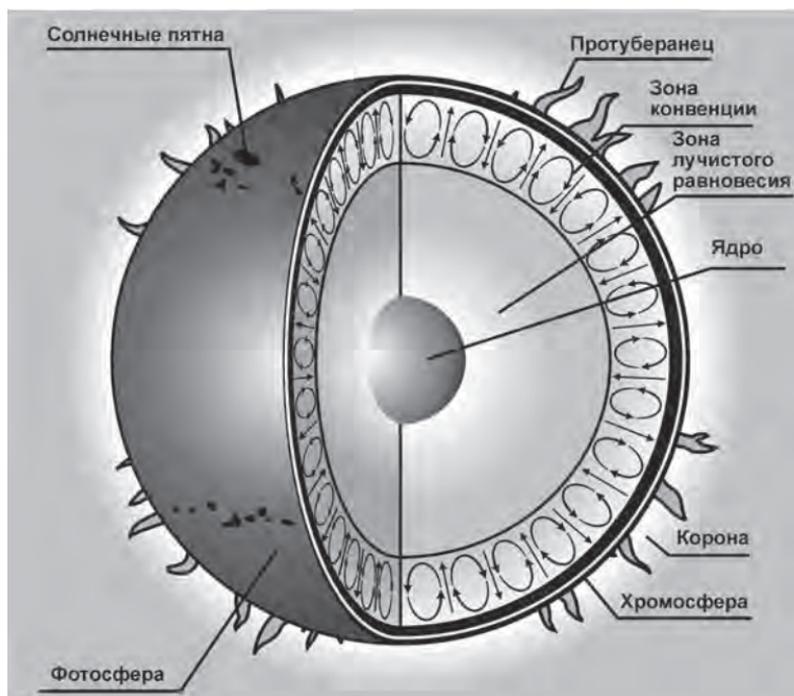


Рис. 1.1. Строение Солнца согласно стандартной солнечной модели. Обозначены ядро, зона лучистого равновесия, конвективная зона. Поверхность называют фотосферой.

Циркуляция солнечного вещества в конвективной зоне, когда часть кинетической энергии превращается в энергию магнитных полей, а эти поля влияют на картину течений, порождает самовозбуждающиеся колебания. Такой тип колебаний называют автоколебаниями. Они возникают спонтанно в системах самой разной природы, и нам придется встречаться с ними на страницах этой книги неоднократно. Основной период колебаний конвективной зоны, как показывают наблюдения, составляет 22 года. Имеются косвенные данные, свидетельствующие о наличии этих колебаний многие десятки миллионов лет назад. Вполне вероятно, что они возникали много раньше, может быть, в эпоху формирования солнечной

системы. Рассматриваемые колебания носят, вообще говоря, сложный характер. Здесь имеются другие периоды, накладывающиеся друг на друга и взаимодействующие друг с другом (более подробно об этом будет рассказано дальше). Наконец, следует упомянуть и о том, что на Солнце существуют колебания, охватывающие глобально все Солнце, не только конвективную зону. О них также пойдет речь ниже.

Самое главное, о чем здесь было рассказано, отражено на схеме строения Солнца (рис. 1.1).

## **1.2. Процессы на поверхности Солнца — солнечная активность.**

Процессы и явления на солнечной поверхности доступны прямым наблюдениям и обстоятельно изучены. Именно они определяют космическую погоду и потому заслуживают здесь более подробного рассмотрения.

Вид солнечного диска в телескопе сильно зависит от того, какой световой фильтр применяется при наблюдениях. Самые первые наблюдатели Солнца в телескоп использовали просто ослабители света. Они сразу же открыли солнечные пятна (и потом долго спорили о приоритете, среди них был Г. Галилей). Сейчас установлено, что пятна — это жгуты силовых линий магнитного поля, мы наблюдаем их сечение, когда они всплывают на поверхность из конвективной зоны. Температура внутри такого жгута силовых линий ниже, чем окружающего по контрасту они кажутся газа, черными (рис. 1.2).

Пятна обычно наблюдаются группами, они, как правило, окружены областями повышенной яркости причудливой формы — факелами. Группы пятен с факелами — активные области (это название будет использоваться в дальнейшем) — образования короткоживущие. Появляются в виде едва различимых пятнышек, затем развиваются в течение нескольких дней (иногда — недель), достигая подчас больших размеров (видны на закате невооруженным взглядом), потом постепенно дробятся, исчезают.

Солнце наблюдается международной сетью обсерваторий почти непрерывно, можно каждый день отмечать, сколько активных областей одновременно присутствует на диске,

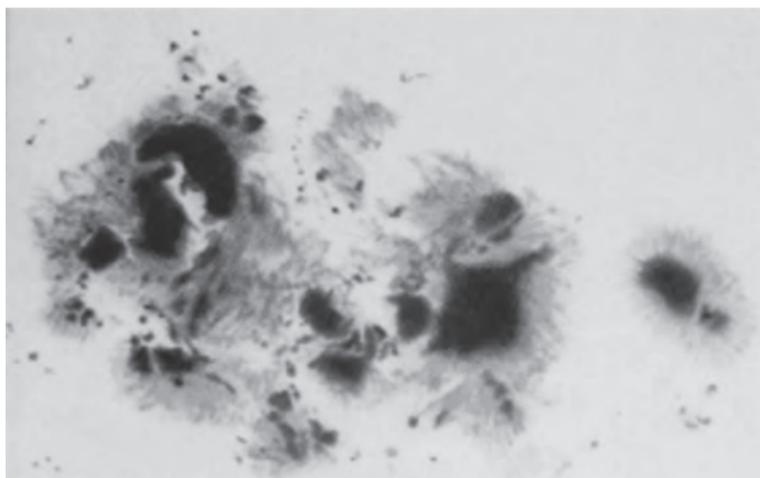


Рис. 1.2. Солнечные пятна. Это просто жгуты силовых линий магнитного поля, в телескоп видны сечения этих жгутов фотосферой.

насколько велика площадь пятен и т. п. Более удобно фиксировать динамику активных областей путем построения специальных индексов. Самый распространенный из них — «относительное число солнечных пятен» (синоним — «числа Вольфа»). Международная служба вычисляет числа Вольфа ежедневно, публикуются также среднемесячные и среднегодовые значения. На рис. 1.3 показано как изменялись среднемесячные значения чисел Вольфа за последнее столетие. Бросается в глаза ярко выраженная цикличность: есть годы, когда индекс составляет всего несколько единиц, в другие годы его значения могут превышать 200.

Ряд чисел Вольфа за большой интервал времени тщательно анализировался. Важнейшие закономерности обнаруженных при этом вариаций таковы:

- основной период, хорошо заметный на рис. 1.3, равен примерно 11 годам; в разные эпохи он может заметно отличаться от этой величины;
- имеются другие (незаметные на глаз) периоды и циклы, например, около двух лет, около 60 лет;
- иногда в колебательной системе происходят странные

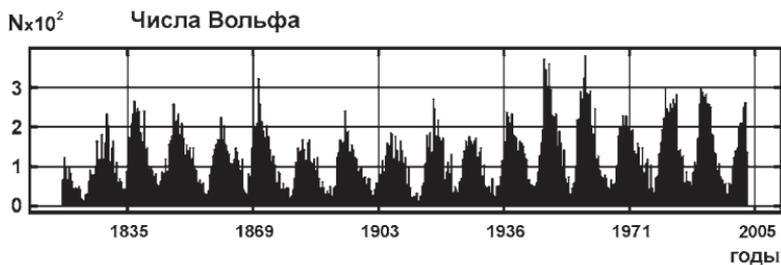


Рис. 1.3. Ход наиболее известного индекса солнечной активности — чисел Вольфа в 19-20 вв.

«сбои»: числа Вольфа резко уменьшаются (или возрастают) на несколько 11-летних циклов; такой эпизод, когда пятна почти не были видны пять 11-летних циклов подряд, случился в 1650-1700 гг. (минимум Маундера).

Много больше всевозможных деталей видно на солнечном диске, когда в наблюдениях используются фильтры, пропускающие какую-нибудь одну спектральную линию. Например, в красной линии водорода с длиной волны 656 нанометров в активной области кроме пятен и областей повышенной яркости видны еще темные вытянутые образования — волокна. Упомянутая спектральная линия образуется на высоте в несколько тысяч километров над видимой в «обычном» свете поверхностью Солнца (фотосферой). Поэтому с таким светофильтром можно изучать явления, происходящие в нижних слоях солнечной атмосферы. Эту область называют хромосферой. В хромосферных наблюдениях с различными фильтрами обнаруживается, что в активных областях происходят не только постепенные изменения, связанные с их эволюцией, но и всевозможные быстротекущие явления. За время порядка десяти минут может «исчезнуть» волокно. В этой же шкале времени происходят непрерывные изменения в пространственной структуре в районах повышенной яркости. Время от времени в таких районах возникают участки интенсивного свечения, которые могут за несколько минут охватить значительную долю активной области. Так выглядит в оптических наблюдениях хромосферная вспышка — явление, которое играет весьма важную роль в изменениях «космической погоды» (рис. 1.4).

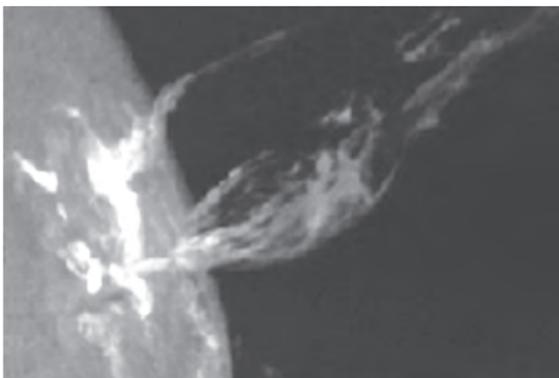


Рис. 1.4. Изображение Солнца в красной линии водорода (длина волны 656 нм). Яркие участки — свечение хромосферной вспышки.

Самый верхний слой солнечной атмосферы называют короной. Ее также можно наблюдать в некоторых спектральных линиях, но в непрерывном свете она лучше всего видна во время полных солнечных затмений (рис. 1.5). Ее вид сильно меняется в зависимости от того, на какую фазу солнечного цикла прихо-

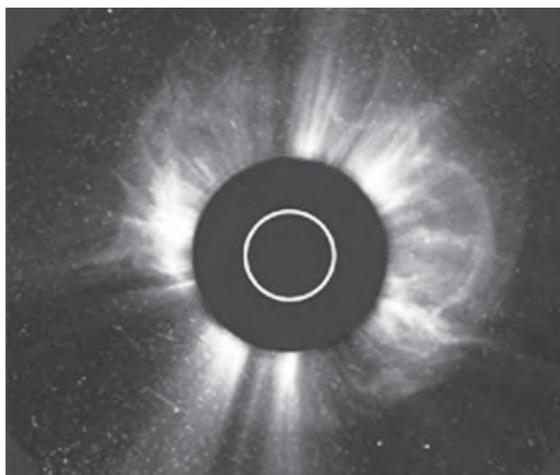


Рис. 1.5. Самые внешние слои атмосферы — корона — хорошо видны, когда солнечный диск закрыт в телескопе специальной маской.

дится затмение. В эпоху максимума чисел Вольфа корона имеет вид чуть асимметричного овала, для эпох минимума характерно наличие структур в виде лучей, простирающихся в космическое пространство на несколько солнечных радиусов. Активные области в короне выглядят как участки интенсивного свечения. Они особенно хорошо выделяются в наблюдениях, проводимых на экстремально коротких длинах волн, в рентгеновском диапазоне спектра (рис. 1.6). В этих наблюдениях не видно фотосферных солнечных пятен: корона нагрета до очень

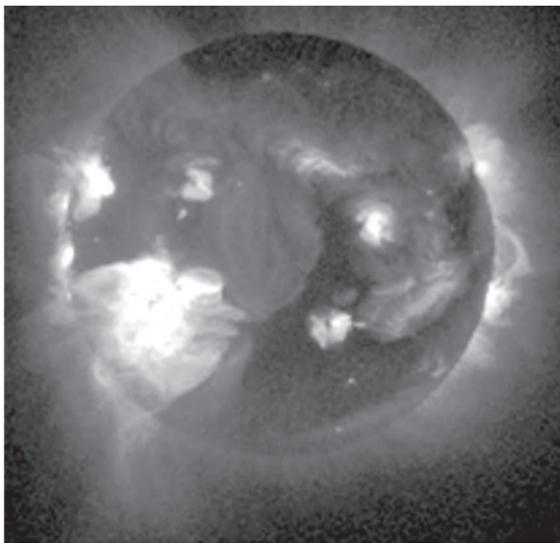


Рис. 1.6. Изображение Солнца в рентгеновском излучении; светятся активные области, пятен не видно.

высокой температуры (много выше  $6000^{\circ}\text{C}$ ) и вклад фотосферы в рентгеновское излучение ничтожно мал. Темные области на рентгеновских изображениях солнца называют корональными дырами. Они оказывают заметное влияние на космическую погоду, о чем будет рассказано дальше.

Из хромосферных и корональных наблюдений уже давно было установлено, что фундаментальную роль во всех процессах солнечной активности играют магнитные поля. Относительно большую напряженность солнечные магнитные поля

имеют в пятнах: в большом пятне магнитное поле в тысячи раз больше, чем магнитное поле в нашей среде обитания (геомагнитное поле). Современная наблюдательная технология позволяет получить карты солнечных магнитных полей по всему диску. Анализ огромного массива наблюдений по солнечному магнетизму позволил установить следующие основные закономерности:

— в простейшем варианте пятна можно представить себе как погруженный в фотосферу подковообразный магнит: мы всегда видим два магнитных полюса;

— магнит располагается вдоль параллелей, так что с учетом направления солнечного осевого вращения одно пятно будет ведущим, а второе — последующим. Оказывается, что в разных полушариях полярности ведущих пятен противоположны, и каждый 11-летний цикл эти полярности меняют знак. Рис. 1.7 поясняет схему этих изменений.

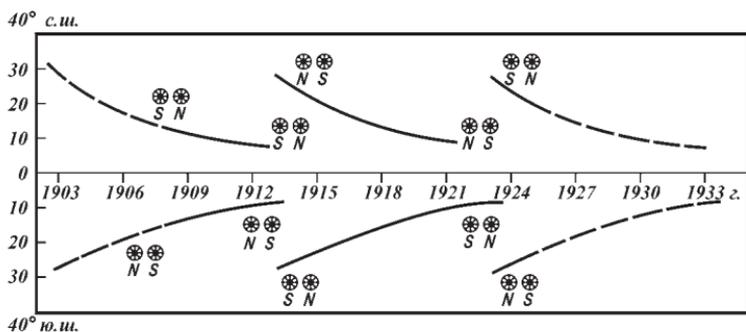


Рис. 1.7. Смена полярности магнитных полей солнечных пятен в циклах солнечной активности. S — южная полярность, N — северная полярность. В начале 11-летнего цикла пятна появляются на относительно высоких широтах, к концу — смещаются к солнечному экватору.

Латинские буквы S и N в соответствии с общепринятыми обозначениями относятся к южной и северной полярностям магнитного поля. В первом случае силовые линии поля направлены к Солнечной поверхности, во втором — от поверхности в межпланетное пространство. По вертикали на рис. 1.7 отложена гелиоширота, так что можно еще видеть собственные пере-

мещения пятен — активных областей в течение цикла: в самом начале цикла пятна, как правило, располагаются в поясе около  $30^\circ$  по обе стороны экватора. С приближением к максимуму и на спаде активности этот пояс смещается к экватору (гелиоширота  $\pm 10^\circ$ ). Таким образом, с учетом смены полярности ведущих (западных) пятен полный цикл солнечной активности составляет 11 лет + 11 лет = 22 года. Это уже упомянутый фундаментальный цикл автоколебаний конвективной зоны. 11-летние циклы солнечной активности для удобства нумеруются. Цикл №1 соответствует подъему активности после минимума активности 1755 г.

Сейчас, когда пишутся эти строки, имеет место эпоха 25-го солнечного цикла, фаза, быстрого подъема активности. Таким образом, полный цикл солнечной активности года и включает в себя составляет 22 два 11-летних цикла: четный и нечетный (по некоторым своим характеристикам четные и нечетные циклы заметно различаются).

У Солнца, как целого, имеется глобальное общее магнитное поле, похожее на магнитное поле Земли (эквивалентно стержневому магниту, располагающемуся вдоль оси вращения; геомагнитное поле в несколько раз слабее). Оказывается:

— в каждый максимум активности этот воображаемый стержневой магнит «опрокидывается»: поле меняет знак каждые 11 лет, на северном гелиополюсе наблюдается то южная магнитная полярность, то северная. Таким образом, и для случая общего поля Солнца полный цикл составляет 22 года (инверсии магнитного поля Земли происходят, между прочим, очень редко и нерегулярно);

— одно из самых замечательных взрывоподобных проявлений солнечной активности — хромосферная вспышка — с наибольшей вероятностью происходит в активных областях со сложной конфигурацией магнитных полей. Она обычно и располагается в зоне, где соприкасаются области магнитных полей с противоположной полярностью. Многие исследователи полагают, что само возникновение вспышки обусловлено «быстрым» преобразованием энергии магнитных полей в другие виды энергии: в нагрев и упорядоченное движение плазмы, в ускорение частиц до очень больших скоростей (солнечные космические лучи).

Пятна, факелы, магнитные поля и другие детали, наблюдаемые в фотосфере или хромосфере, перемещаются по солнечному диску с востока на запад из-за солнечного вращения. Картина этого вращения подробно изучена. Оказывается только солнечное ядро (зона ядерных реакций) и область лучистого переноса энергии вращается как твердое тело. На поверхности наблюдается одновременно и вращение и сложный рисунок течений конвективной зоны. В итоге для земного наблюдателя получается так, что экваториальная зона вращается с периодом около 25 суток, полярные зоны — с периодом около 29 суток.

Более столетия тому назад был определен средний период вращения солнечных пятен 27,275 суток. Этот период считается условно периодом вращения Солнца (Керрингтоновое вращение). Обороты для удобства также нумеруются (с ноября 1853 г.). Например, оборот №1636 начался 15 декабря 1975 г.

Определяемое таким образом вращение позволяет ввести систему солнечных долгот, что необходимо для изучения пространственного распределения активных областей. Оказывается, что активные области распределены по Солнцу упорядоченным образом. Чаще всего они возникают в «королевских зонах» — поясах от 5° до 45° по обе стороны экватора. Кроме того, имеется тенденция для более частого появления активных областей в некоторых устойчивых долготных интервалах — на «активных долготах». Некоторые такие активные долготы не изменяют своего расположения на протяжении двух-трех 11-летних циклов солнечной активности.

Наконец, установлено, что северное и южное полушария Солнца могут заметно различаться по числу активных областей. Эта северно-южная асимметрия солнечной активности также подвержена циклическим изменениям — иногда длительное время (годы) активно только одно полушарие.

### **1.3. Межпланетная среда — область, где формируется космическая погода**

Самые внешние горячие слои солнечной короны находятся в состоянии непрерывного расширения. Постепенно, по мере удаления от Солнца, скорость расширения увеличивается, достигая своего «обычного» среднего значения 400 км/сек на рас-

стоянии около нескольких десятков солнечных радиусов. Это грандиозное явление получило название солнечного ветра.

Солнечный ветер «дует» постоянно, во все стороны. Вся межпланетная среда им заполнена, все планеты солнечной системы им «обдуваются». Получается так, что в межзвездной среде образуется гигантская полость — каверна, простирающаяся на несколько десятков астрономических единиц (т. е. расстояний Солнце—Земля, радиус земной орбиты составляет, напомним, чуть меньше 150 млн. км). Химически солнечный ветер — водород с примесью гелия. Атомы ионизированы, так что этот сильно нагретый газ находится в плазменном состоянии. Физически — это движущаяся сплошная среда, в которой могут распространяться акустические волны, возможны газодинамические разрывы (ударные волны). Важная составляющая межпланетной плазмы — магнитное поле, «вытягиваемое» солнечным ветром из короны. Если некоторый объем водородной плазмы покидает Солнце, то, двигаясь по радиусу со скоростью 400 км/сек, он преодолеет расстояние до Земли (150 млн. км, астрономическая единица) за 4.5 суток. Солнце за это время успевает повернуться на 60 град. В итоге, если смотреть со стороны северного полюса Солнца на плоскость земной орбиты, получается спиральный узор, показанный на рис. 1.8 (следует учесть, что силовая линия магнитного поля не теряет связь с Солнцем!). Важная особенность этого межпланетного магнитного поля — наличие в нем секторной структуры. В определенных интервалах гелиодолгот силовые линии поля направлены либо от Солнца (северная полярность, «+»), либо — к Солнцу (южная полярность, знак «-»). Секторная структура межпланетного магнитного поля (ММП) — отражение соответствующей структуры общего магнитного поля Солнца (измеряемого оптическими методами). Секторная структура ММП довольно устойчива, может оставаться без изменений месяцами (концентрированные магнитные поля активных областей и пятен ветер «вытянуть» в межпланетную среду не может!).

Всякого рода изменения солнечного ветра, обусловленные солнечной активностью, являются одной из важнейших составляющих космической погоды. Эти изменения весьма значительны. Можно привести следующие примеры:

- межпланетное магнитное поле (полный вектор) имеет в среднем индукцию около 7 нанотесла, но иногда может превышать 50 или падать до 0,7 (те же единицы);
- скорость составляет, как уже говорилось, для низких геоширот около 400 км/сек, но были зафиксированы значения 156 км/сек и 1020 км/сек (рис. 1.9);
- плотность плазмы в среднем около 9 частиц в  $\text{см}^3$ , но бывает и 0,1 и 140 (те же единицы, рис. 1.9);
- температура плазмы может различаться в 200 раз!

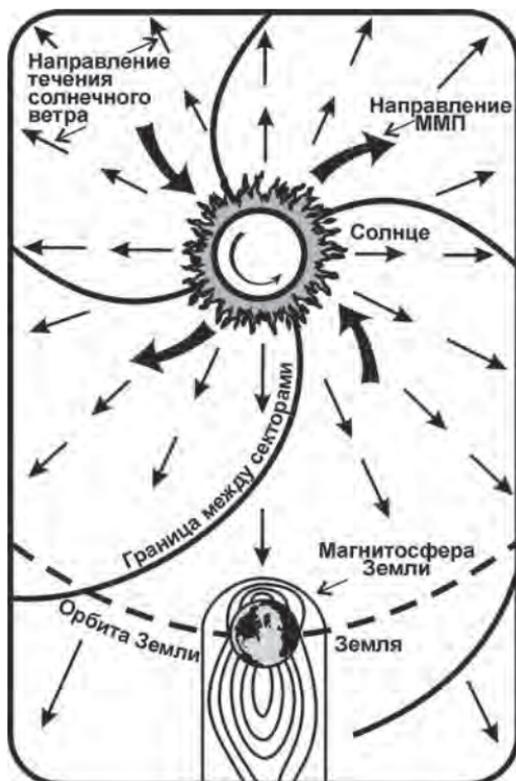


Рис. 1.8. Вид со стороны полюса Солнца на плоскость земной орбиты. Спирали — силовые линии межпланетного магнитного поля, они изображены близ границы смены знака. Большие стрелки — полярность поля в пределах сектора (от Солнца — северная полярность, к Солнцу — южная).

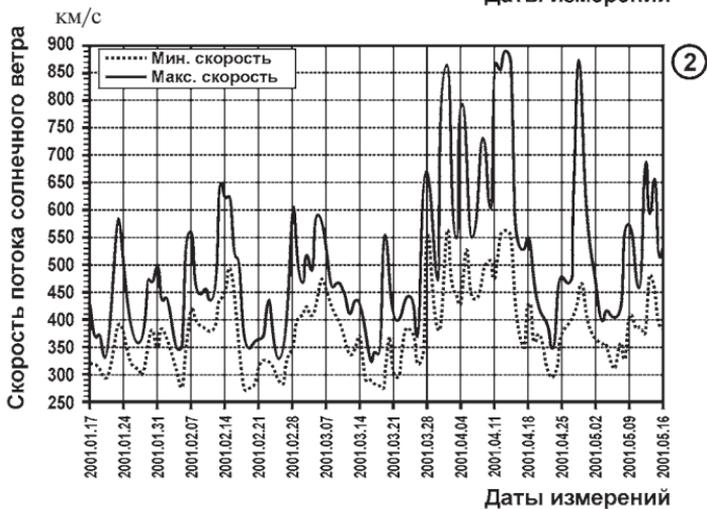
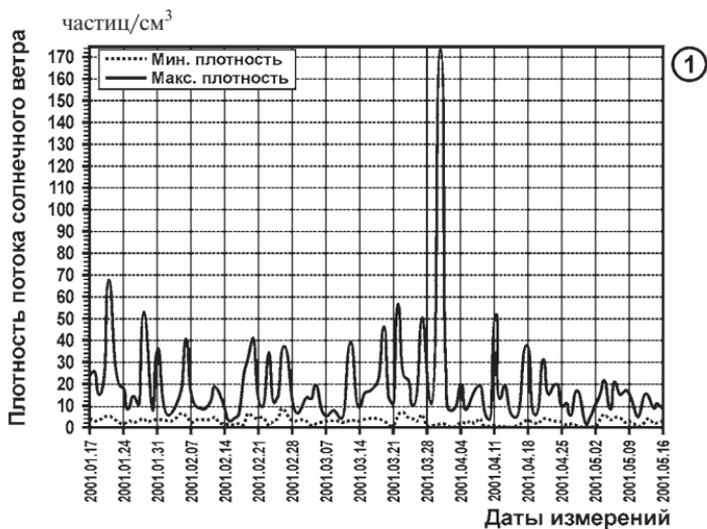


Рис. 1.9. Вариации плотности (1) и скорости (2) солнечного ветра (прямые космические измерения, вертикальные линии проведены через 7 суток).

Все эти вариации, так или иначе, связаны с отдельными проявлениями солнечной активности. В некоторых случаях эта связь легко устанавливается при прямом сравнении оптических

(или радио — см. ниже) наблюдений и одновременных изменений в ветре. Таковы эффекты хромосферных вспышек. Быстрое энерговыделение в процессе развития вспышки происходит в нижней короне — хромосфере в области, где тесно сближаются силовые линии магнитного поля противоположного направления. Физическую картину этого явления можно уяснить из рис. 1.10. Здесь изображена схема протекающих во вспышке процессов на этапе, когда основная часть энергии магнитного поля уже выделилась. Произошло нагревание плазмы в хромосфере (область, ограниченная силовыми линиями поля пятен противоположной полярности). Именно эта область светится в красной спектральной линии водорода, она же является источником ультрафиолетового и рентгеновского излучения. Некоторый сгусток плазмы оказывается в ситуации, показанной в правом верхнем углу рис. 1.10. «Растянутые» силовые линии коронального магнитного поля действуют на этот плазменный сгусток как тетива лука: он выбрасывается в межпланетное пространство со скоростью значительно большей, чем скорость «спокойного» солнечного ветра. Далее, двигаясь по невозмущенному ветру, это облако постепенно расширяется, перед ним формируется ударная волна. Все это делается очень похожем на картину движения сверхзвукового самолета в разреженной земной атмосфере. Очевидно, во всей области, занятой движущимся облаком, параметры спокойного ветра — плотность, межпланетное поле с его секторами, температура плазмы — сильно меняются. Менее двух суток требуется плазменному облаку, чтобы преодолеть расстояние до земной орбиты.

Понятно, что выброс вещества при развитии вспышки достигает заметных масштабов только тогда, когда вспышка оказывается достаточно мощной. Мощность вспышки измеряется площадью, охваченной свечением в упомянутой спектральной линии водорода, и интенсивностью всплеска рентгеновского излучения (см. ниже). Соответственно, такой вспышке присваивается балл 2 и выше. Мощные вспышки в данной активной области происходят относительно редко. Слабые вспышки происходят часто, но их развитие обычно не сопровождается заметными возмущениями солнечного ветра. Появление на диске вспышки балла 3 и выше обычно сопровождается генерацией

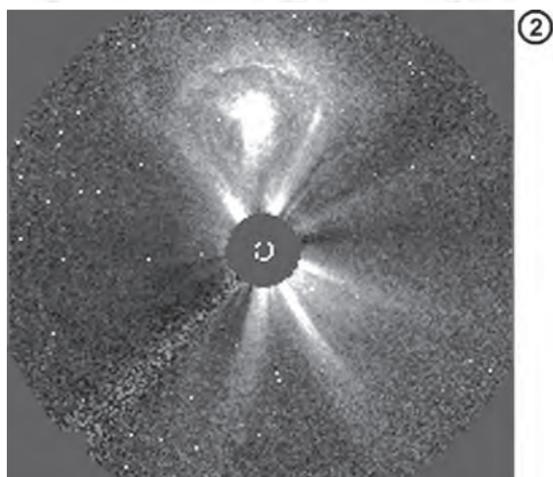
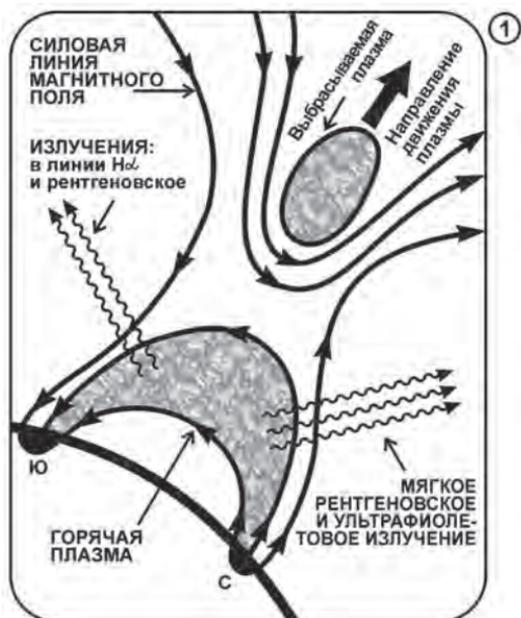


Рис. 1.10. Схема (1) и фотография (2) выброса солнечной плазмы в межпланетное пространство во время развития мощной хромосферной вспышки (на внеатмосферной фотографии солнечный диск закрыт специальной маской в телескопе).

солнечных космических лучей. Как и обычно существующий фон галактических космических лучей, этот вид излучения представляет собой протоны (ионизованные ядра атомов водорода), обладающие скоростями, близкими к скорости света. Такие частицы обладают кинетическими энергиями, большими на много порядков, чем тепловые энергии протонов солнечного ветра. Появление солнечных космических лучей означает, что при развитии вспышек в активной области короткое время работает естественный аналог ускорителя элементарных частиц. Для частиц космических лучей межпланетная среда, заполненная «замагниченным» солнечным ветром, является средой «мутной» (т. е. рассеивающей). Поэтому солнечные космические лучи приходят на орбиту Земли с запаздыванием в часы (а не через 8 минут как волновое электромагнитное излучение).

Самый распространенный, самый «обычный» вид вариаций в солнечном ветре связан с солнечным вращением. С циклом близким к кэррингтоновскому 27-дневному периоду в ветре изменяются плотность и скорость. Такие вариации происходят «в такт» с секторной структурой межпланетного магнитного поля (в первые двое-трое суток после смены секторной границы скорость ветра выше, далее она снижается и т. д.).

#### **1.4. Волновое излучение Солнца и его изменения. Что попадает в среду обитания?**

Замагниченный солнечный ветер, солнечные космические лучи — важная, но не единственная составляющая космической погоды. Как будет ясно из дальнейшего изложения, некоторые экологические показатели среды обитания существенно зависят от вариаций волнового солнечного излучения. Зависимость потока излучения от его длины волны — спектр — показана на рис. 1.11. Так она выглядит за пределами земной атмосферы. Основная доля излучаемой Солнцем энергии приходится на видимую часть спектра. Это «обычный» свет (на рис. 1.11 заштриховано). Именно эта часть света вносит основной вклад в нашу земную энергетику. «Энергоснабжение» нашей планеты ( $1368 \text{ Вт/м}^2$ ) характеризуется высокой стабильностью. Внеатмосферные измерения, выполненные за последние два десятилетия, показали, что вариации солнечной

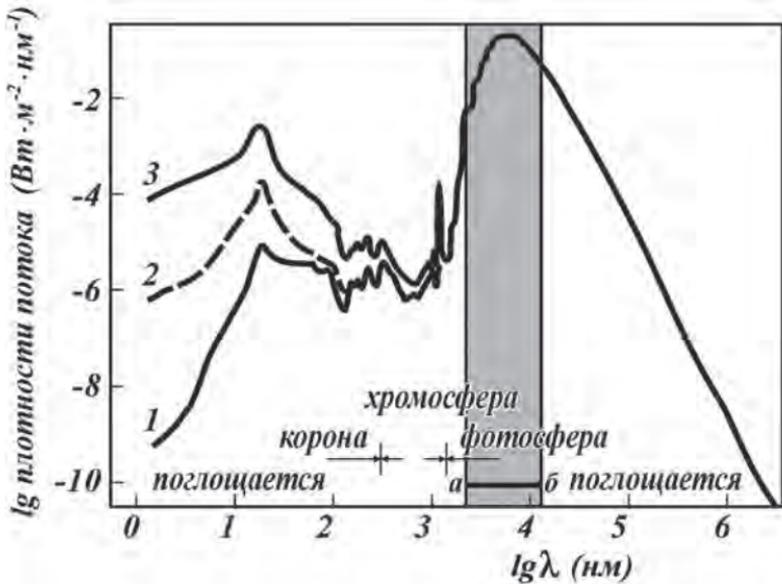


Рис. 1.11. Спектр солнечного излучения за пределами земной атмосферы. 1, 2 — максимум и минимум солнечной активности, 3 — вспышка балла 3п. Заштриховано — область спектра, воспринимаемая глазом.

активности за 11-летний цикл изменяют приведенную величину («солнечную постоянную») не более чем на 0,2%. Свет проникает на поверхность Земли в ясную погоду практически без поглощения (этот диапазон длин волн иногда называют «оптическим окном» прозрачности атмосферы). Если двигаться теперь по горизонтальной оси рис. 1.11 в сторону коротких длин волн, то дальше идут ультрафиолетовое излучение, рентгеновские лучи и гамма-излучение. В этом участке спектра поток излучения сильно изменяется при переходе от максимума солнечной активности к минимуму, причем с уменьшением длины волны масштабы изменений сильно возрастают. Если имеет место развитие большой хромосферной вспышки, коротковолновое излучение усиливается дополнительно во многие десятки раз, в это время Солнце делается источником и гамма-излучения. Эти громадные изменения интенсивности в среде обитания непосредственно не регистрируются, так как в

коротковолновом диапазоне атмосфера непрозрачна, все излучение поглощается. В наземные телескопы невозможно наблюдать динамические процессы в горячей короне: все детали там видны в основном в рентгеновском излучении. Грандиозные коронарные выбросы вещества в межпланетное пространство были обнаружены только после того, как рентгеновские телескопы были вынесены за пределы атмосферы.

Если двигаться вдоль горизонтальной оси рис. 1.11 в сторону увеличения длины волны, то мы сначала попадаем в диапазон теплового (инфракрасного) излучения, дальше идут сначала миллиметровые, затем — сантиметровые, метровые и т. д. радиоволны. Интенсивность при этом быстро падает. Излучение радиодиапазона показано отдельно на рис. 1.12. Он является продолжением рис. 1.11 со стороны волн большой длины, самое большое значение потока на рис. 1.12 примерно в миллион раз меньше потока видимого излучения. Для спокойного Солнца интенсивность сантиметрового излучения определяется хромосферой, метрового — короной.

Известны два основных типа возмущений в радиодиапазоне, связанные с солнечной активностью: во-первых, это уже не раз упоминавшаяся хромосферная вспышка; всплески радиоизлучения в данном случае могут длиться многие часы, поток может возрасти в тысячу раз (кривая 3 на рис. 1.12); во-вторых, это так называемые шумовые бури; их источником являются некоторые активные области с пятнами большой площади (спектр показан кривой 2 на рис. 1.12). В сантиметровом-метровом диапазонах солнечное радиоизлучение свободно проникает в среду обитания (радиоастрономическое «окно прозрачности»).

Можно сразу же заметить, что это излучение и его вариации имеют относительно низкую экологическую значимость, так как фон радиоволн в среде обитания определяется сейчас радиоизлучением технического происхождения — излучением многочисленных теле- и радиостанций, радиолокационных установок, различных промышленных и бытовых приборов, а также современных телекоммуникационных систем. Высокий уровень помех, впрочем, не мешает наблюдать Солнце на различных длинах волн всего этого диапазона. Современная

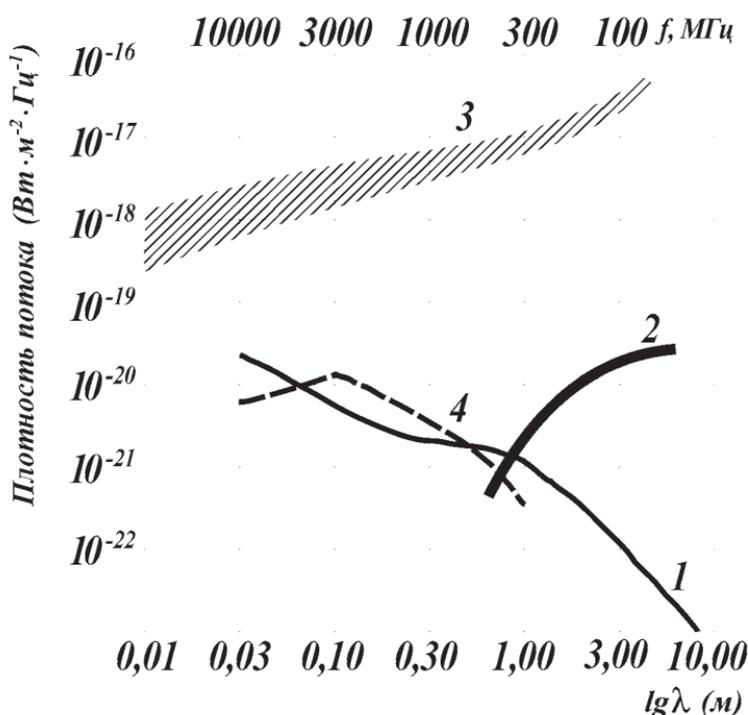


Рис. 1.12. Спектр солнечного радиоизлучения (продолжение предыдущего рисунка вправо).

- 1 — минимальная солнечная активность;
- 2 — шумовая буря;
- 3 — радиовсплеск, сопровождающий мощную хромосферную вспышку;
- 4 — максимальная солнечная активность.

радиоприемная аппаратура позволяет строить радиоизображения Солнца, на которых видно множество деталей. Очень большие изменения солнечного радиоизлучения происходят на сверхдлинных волнах (в радиоастрономии более употребительны обратные величины — частоты; речь идет о частотах ниже 1 мегагерца, т. е. меньше одного миллиона колебаний в секунду). Однако радиоволны такой большой длины поглощаются в самых верхних слоях атмосферы. Об этих излучениях вообще не было известно до начала радиоастрономических измерений в космосе (выше земной атмосферы).

## 1.5. Защитные оболочки Земли: магнитосфера, ионосфера, озоносфера

Громадные изменения в солнечном ветре, в коротковолновом излучении солнечного диска, обусловленные солнечной активностью, не обнаруживаются в среде обитания. Поверхность Земли защищена от капризов космической погоды защитными оболочками. В экологической значимости космических факторов невозможно разобраться, не располагая сведениями об устройстве этих оболочек.

Самая внешняя из них — магнитосфера. Магнитное поле Земли (геомагнитное поле) является препятствием для замагниченного солнечного ветра. Поэтому плазма солнечного ветра обтекает Землю, создавая вокруг Земли особую полость, в которой и заключено геомагнитное поле. Общая картина обтекания показана на рис. 1.13. На обращенной к Солнцу стороне граница этой полости — магнитосфера располагается на расстоянии около 10 радиусов Земли. Это некоторое среднее значение. Когда динамический напор солнечного ветра возрастает, граница

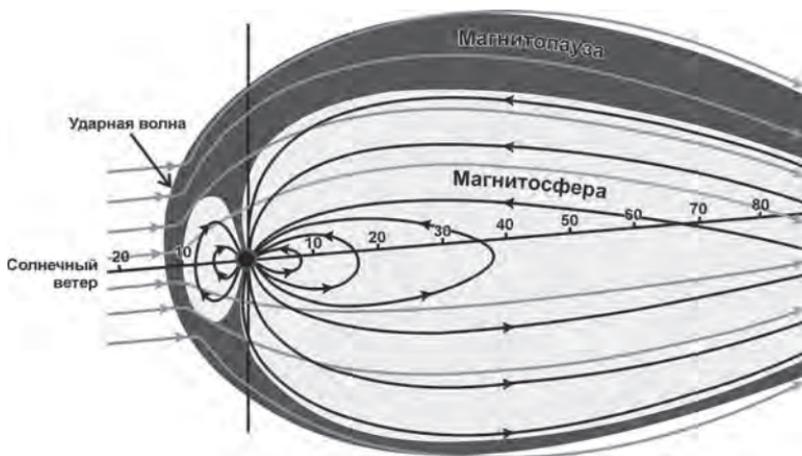


Рис. 1.13. Обтекание солнечным ветром геомагнитного поля порождает особую полость — магнитосферу. Горизонтальная шкала на рисунке — радиусы Земли. Направление движения солнечного ветра показано стрелками.

приближается к Земле, в противоположной ситуации — отдаляется. Сама граница обнаруживает некоторую структуру, а непосредственно перед ней в солнечном ветре всегда присутствует газодинамический разрыв — ударная волна. Здесь вновь уместна аналогия с движением сверхзвукового самолета в разреженной атмосфере. С ночной стороны магнитосфера вытянута подобно хвосту кометы. Он простирается далеко за орбиту Луны — почти на миллион километров.

Магнитосфера имеет весьма сложное устройство, в котором здесь нет необходимости подробно разбираться на страницах этой книги. Для понимания дальнейшего важно только знать, что все ее области являются средой протекания многообразных плазменных процессов, среди которых важную роль играют различные механизмы ускорения частиц. В магнитосфере есть обширные области, заполненные такими «местными» космическими лучами («пояса радиации»). Кроме того, магнитосфера является системой, склонной к возбуждению большого числа всевозможных колебаний и, следовательно, радиоволн. Если наблюдать магнитосферу «снаружи» из космоса, то она оказывается сильно переменным источником радиоизлучения на низких и крайне низких частотах. Определенная доля этого радиоизлучения «просачивается» к поверхности Земли, в среду обитания. Режим генерации этих радиоволн, работа естественных магнитосферных «радиостанций» сильно зависит от солнечной активности.

Как именно изменения в солнечном ветре превращаются в экологические изменения на поверхности планеты не может быть здесь подробно рассмотрено. Это — сложный многоступенчатый процесс. Очень важную роль в нем играют вариации скорости ветра и его плотность. Каждый «порыв» солнечного ветра может быть зафиксирован в среде обитания по изменению магнитосферных показателей. Установлено также, что в передаче изменений космической погоды на поверхности Земли большое значение имеют изменения в межпланетном магнитном поле.

Особенно велика роль вертикальной составляющей этого поля (по отношению к плоскости земной орбиты — эклиптике). Магнитосферные возмущения неизбежно развиваются,

когда эта вертикальная составляющая направлена к югу. Физический смысл этого предпочтения понятен: на дневной стороне магнитосферы силовые линии геомагнитного поля по отношению к межпланетному магнитному полю направлены в противоположную сторону. Как уже отмечалось, сближение силовых линий магнитного поля, направленных в противоположную сторону (антипараллельно), в плазменных процессах всегда чревато неустойчивостью и активизацией динамических явлений. В значительной мере по этим же причинам в среде обитания хорошо заметны прохождения близ Земли границ секторов межпланетного магнитного поля: магнитосфера испытывает некоторую «перестройку» при переходе из сектора одной полярности в сектор с силовыми линиями магнитного поля противоположной направленности.

Наиболее сильные магнитосферные возмущения связаны с приходом к Земле плазменного облака, выброшенного в межпланетное пространство при развитии достаточно сильной хромосферной вспышки. Комплекс явлений, которые при этом развиваются, называют «магнитной бурей». Такое название закрепилось за подобным возмущением по той причине, что в наземных измерениях оно было впервые обнаружено по вариациям напряженности геомагнитного поля.

В магнитосфере, а также в другой защитной оболочке — ионосфере (о ней речь пойдет ниже) — все время текут электрические токи. Они подробно изучены. В плоскости экватора на расстоянии примерно в 4 земных радиуса существует кольцевой ток, который течет в западном направлении. В полярных областях располагаются петли полярных электроструй. Когда Земля оказывается во вспышечном облаке, режим обтекания, изображенный на рис. 1.13 сильно меняется. Ток во всех таковых системах усиливается, магнитное поле этих токов также усиливается. В итоге, регистрируемое на магнитных станциях суммарное магнитное поле — статическое геомагнитное поле плюс переменное магнитное поле токов — заметно меняется.

О характере этих изменений можно судить по рис. 1.14 и 1.15. На первом из них представлены изменения потоков ионов и электронов в магнитосфере на протяжении трех суток согласно спутниковым измерениям (следует обратить внимание на то,

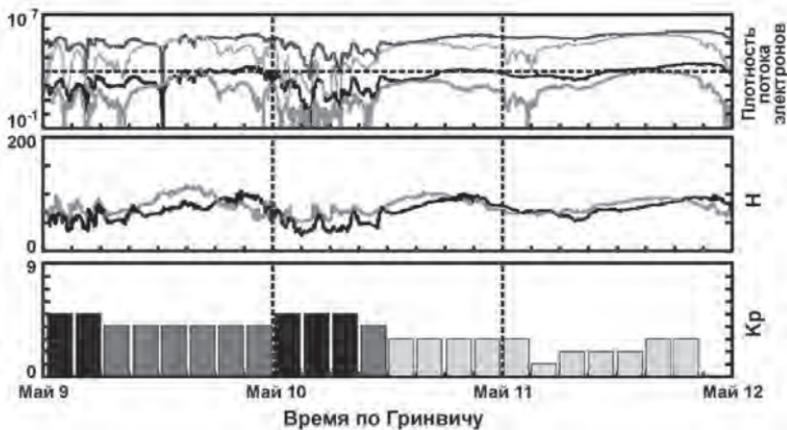


Рис.1.14. Изменение магнитосферных токов и полей в магнитосфере во время магнитной бури 10 мая 2002 г. Прямые измерения. Верхний график — изменения потоков электронов разных энергий (шкала логарифмическая). Средний график — изменение магнитной индукции. Нижний график — изменения индекса Кр.

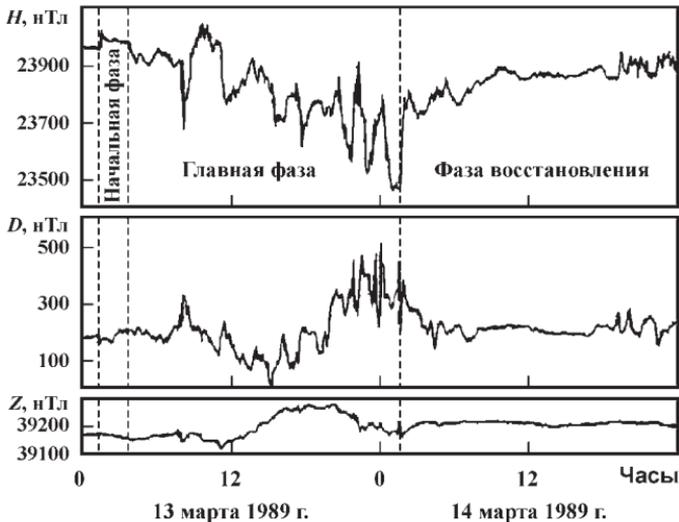


Рис. 1.15. Запись геомагнитной бури на ст. Ла Аквила 13 марта 1989 г.  $H, Z$  — горизонтальная и вертикальная компоненты поля;  $D$  — склонение.

что шкалы слева — это логарифмы интенсивности потока частиц). Нижние два графика, соответственно, изменения напряженности геомагнитного поля на орбитальной высоте спутника и значения индекса  $K_p$  магнитной активности (об этом индексе — см. ниже). Рис. 1.15 — кривые изменения горизонтальной составляющей геомагнитного поля на одной из наземных магнитометрических станций во время типичной магнитной бури. Видно, что на начальном этапе развития бури геомагнитное поле немного возрастает, но затем — значительно уменьшается (этот этап развития бури называют главной фазой).

На записи геомагнитного поля рис. 1.15 не отражена одна важная особенность вариаций — наличие большого числа быстрых изменений напряженности. Именно эти быстрые вариации заставляют беспорядочно колебаться во время бури стрелку компаса.

На фоне скромных геомагнитных вариаций во время главной фазы бури, когда напряженность геомагнитного поля уменьшается на доли процента, происходят и другие явления, куда более грандиозные. На географических широтах выше  $67^\circ$  развивается полярное сияние — одно из самых красивых явлений природы. Свечение атмосферы на высотах порядка 100 км вызывается ускоренными частицами, которые «сбрасываются» из магнитосферы вниз, к земной поверхности. Развитие полярного сияния сопровождается сильным инфразвуковым «грохотом», который мы не слышим, но который может оказывать на организм заметное воздействие.

Таким образом, каждая магнитная буря достаточной мощности — это еще и буря в неслышимом для человека диапазоне акустического спектра — инфразвуке, который распространяется в среде обитания в масштабах полушария, воздействуя на все живое в течение многих часов. Еще больших масштабов достигает в это время электромагнитная буря. На некоторых низких и сверхнизких частотах амплитуда колебаний магнитной составляющей может возрасти в несколько сотен раз! Большие бури сопровождаются изменениями в некоторых других экологических параметрах: в некоторых местностях увеличивается выход из грунта радиоактивного газа радона; при этом несколько возрастает радиоактивность атмосферы,

но при этом интенсивность галактических космических лучей уменьшается; увеличиваются колебания атмосферного давления с периодами в десятиминут и часы; изменяется напряженность электрического поля атмосферы.

Магнитные бури по многим своим показателям отличаются друг от друга. В этом их многообразии легко различить два типа: вспышечные магнитные бури (следуют спустя примерно двое суток после вспышки или внезапного исчезновения волчка) характеризуются «внезапным началом» — скачкообразным возрастанием напряженности поля на горизонтальной составляющей магнитограммы. Эта деталь отсутствует на записях магнитных бурь с «постоянным началом». Этот тип бурь соответствует попаданию планеты в высокоскоростную струю солнечного ветра. Такие струи могут существовать относительно долго, несколько солнечных оборотов. Поэтому бури с постепенным началом образуют нередко последовательности с характерным периодом повторяемости в 27 суток. Месторасположение начала струи на солнечном диске может быть найдено из оптических наблюдений короны: на этом месте располагается область пониженной температуры — «коронарная дыра».

Следующая важная защитная оболочка нашей планеты — ионосфера. Это часть верхней атмосферы планеты, в которой атмосферные газы ионизованы, т. е. внешние электроны «оторваны» от ядер атомов азота и кислорода. Ионизация осуществляется коротковолновым солнечным излучением — ультрафиолетовым и рентгеновским (на рис. 1.11 — слева от оптического «окна прозрачности»). Ионизованные слои атмосферы располагаются на высотах 50–250 км.

Важнейший показатель ионосферы — концентрация свободных электронов. Для данного пункта она зависит от высоты, зенитного расстояния Солнца и уровня солнечной активности (например, чисел Вольфа, относительного числа солнечных пятен). Наличие свободных электронов означает, что на указанных высотах имеется электрически высокопроводящий слой. Проводящей поверхностью является также и поверхность Земли. Таким образом, биосфера находится в некоторой сферической полости. Наружная стенка этой полости защищает все живое от электромагнитного излучения очень низкой частоты

солнечного и магнитосферного происхождения. Одновременно, в рассматриваемой полости оказывается «заперто» излучение, генерируемое в атмосфере грозowymi электрическими разрядами. Их на планете происходит ежесекундно около сотни. Импульсное радиоизлучение молний распространяется в полости «ионосфера — поверхность Земли» как в волноводе, с очень малым затуханием. Волновод одновременно является и резонатором. Его основной «тон» соответствует примерно частоте 8 колебаний в секунду (8 Герц). Такова частота радиоволны, укладываемой по экватору ровно один раз (40 тыс. км). Наконец, следует еще упомянуть и о том, что стенки полости этого волновода—резонатора электрически заряжены: они образуют сферический конденсатор. Нижняя «пластина» конденсатора (поверхность Земли) заряжена относительно верхней (ионосфера) отрицательно.

В ионосфере происходит множество динамических процессов, тесно связанных с солнечной активностью. Благодаря этому оказываются зависящими от проявлений солнечной активности показатели запертого в ионосферном волноводе радиоизлучения. Но изменения этого фона радиоволн, как выяснилось, имеют экологическое значение. О характере этих изменений можно судить по ионосферным эффектам все той же мощной хромосферной вспышки. Как читатель помнит, ее развитие сопровождается всплеском ультрафиолетового и рентгеновского излучения. Концентрация свободных электронов в ионосфере сразу же возрастает на всем освещенном полушарии. Как следствие, увеличивается электрическая проводимость, особенно заметно для регионов, где имеет место полдень. Увеличивается ток в ионосферных токовых системах, поэтому в геомагнитном поле фиксируется легко узнаваемое бухтообразное возмущение. С увеличением проводимости внешней стенки ионосферного волновода изменяется режим распространения радиоволн (о чем хорошо знают радиолюбители), резко возрастает интенсивность радиоволн атмосферного происхождения на частотах около 20 килогерц. На высоких и умеренных географических широтах возрастает электрическое поле атмосферы (такие усиления геоэлектрического поля можно заметить только в ясную погоду). Если бы организмы могли фиксировать все эти изменения как некоторый единый образ

(систему «электромагнитных примет»), они могли бы предвидеть наступление магнитной бури с внезапным началом: все описанные здесь эффекты сопровождают развитие самой вспышки с запаздыванием 8 минут, а вспышечное возмущение, передаваемое через солнечный ветер, придет на Землю спустя сутки — двое. Конечно, свои системы «электромагнитных примет» имеют и многие другие проявления солнечной активности — изменения космической погоды, включая магнитные бури, секторную структуру межпланетной среды и даже солнечное затмение.

Наконец, еще одна защитная оболочка нашей биосферы, о которой следует коротко рассказать, носит название озоносферы. Это слой, содержащий некоторую концентрацию трехатомного кислорода — озона. Он располагается на высотах стратосферы (выше 20 км) и предохраняет все живое от ультрафиолетовой радиации Солнца, крайне активной. Концентрация озона в данном пункте и в данный момент времени определяется балансом множества процессов: интенсивность солнечного ультрафиолетового излучения, перенос (ветры в стратосфере), температура, присутствие примесей некоторых веществ и т. д. В тропической зоне ( $\pm 30^\circ$  относительно экватора) озоносфера сравнительно «тонкая» (толщина, приведенная к нормальным давлению и температуре, всего 0,26 см) и устойчивая. На более высоких широтах она становится более мощной и сильно варьирует — может изменяться на протяжении нескольких суток на 20–30%.

Такие изменения имеют важные экологические последствия. Дело в том, что на краю основной полосы поглощения озоном ультрафиолетового излучения (260 нм) даже небольшие изменения толщины озоносферы приводят к изменениям потока УФ-радиации близ земной поверхности (конечно, в безоблачную погоду). Установлено, что изменения толщины «озонного экрана» на средних широтах на 1% приводит к примерно такому же изменению интенсивности ультрафиолетового излучения в полосе 290–320 нм. Но именно в этой области располагаются полосы поглощения биологических молекул, белков и ДНК. Поэтому увеличение радиации в указанном диапазоне длин волн имеет серьезные экологические последствия:

– возрастание риска заболеваемости раком кожи; для населения США подсчитано, что однопроцентное уменьшение толщины озоносферы приводит к появлению примерно 1000 случаев злокачественной меланомы.

– изменение интенсивности фотосинтеза, концентрации в растительных организмах активных биологических веществ (включая витамины);

– увеличение числа мутаций (необратимых изменений в наследственном веществе) у бактерий; восстановление активности «спящих» вирусов внутри клетки.

В динамике озоносферы присутствует один из основных циклов солнечной активности — 11-летний. Для некоторых озонометрических станций средних широт, где накоплены данные измерений за длительное время, амплитуда вариаций толщины озоносферы в этом цикле может достигать нескольких процентов.

## **1.6. Индексы космической погоды**

Громадное число всякого рода наблюдений и измерений, проводимое в физике Солнца и геофизике, соответственно — гигантские массивы накопленных данных — трудно обозримы и относятся, как правило, только к последним 5–8 циклам активности. При рассмотрении больших интервалов времени и для сравнения разнородных наблюдений удобно пользоваться некоторыми упрощенными оценками тех или иных процессов. Таковы различные гелиогеофизические индексы. Именно эти индексы и являются индексами космической погоды.

Среди индексов солнечной активности наиболее употребительны числа Вольфа, о которых уже говорилось. Очень часто в качестве обобщенной меры уровня солнечной активности используется поток солнечного радиоизлучения на определенной длине волны, например на длине волны 10 см (соответствующие данные, регулярно публикуются, они относятся к излучению всего диска). При использовании этих показателей важно помнить, что с увеличением длины волны их источник из хромосферы (длина волны 10 см) перемещается в корону.

Разработано много различных индексов магнитной активности. Наиболее употребительные — Кр и Ар вычисляются спе-

циальной международной службой каждые три часа (или для суточного интервала) для средних широт. Они являются мерой изменчивости геомагнитного поля (а не напряженности!). Индекс «р» означает «планетарный» т. е. измеряется глобальный размах вариаций геомагнитного поля. Для индекса К разработанная особая логарифмическая шкала. Индекс А измеряет диапазон изменчивости геомагнитного поля в единицах нанотесла (индукции). Значение  $A_p$  порядка нескольких единиц соответствует спокойным условиям, нуль — исключительно спокойным. Во время очень сильных магнитных бурь  $A_p$ -индекс может достигать значений порядка двух-трех сотен и более. Индекс Кр изменяется от нуля до 9. Индексы  $A_p$  и Кр связаны как число и логарифм.

На рисунке 1.16 и 1.17 показаны изменения Кр-индекса каждые три часа в особом «календаре Бартельса» — по солнечным кэрингтоновским оборотам. Числа слева — номер оборота и календарная дата первого дня данной строки. Трехчасовые интервалы индексов отсчитываются по мировому (гринвичскому) времени от 00 часов 00 минут (начала каждого суток). Когда солнечные обороты последовательно располагаются друг за другом, становится хорошо заметной тенденция к повторяемости индексов. Эта тенденция, хорошо видная на рис. 1.17, имеет простой физический смысл. Дело в том, что величина

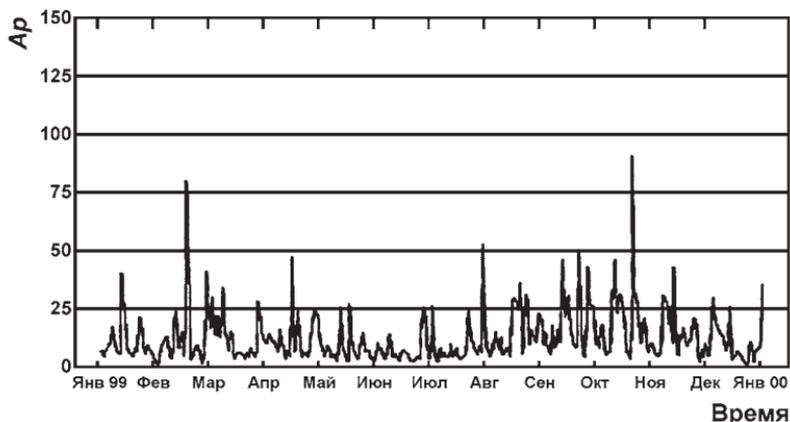


Рис. 1.16. Среднесуточные индексы  $A_p$  (январь-декабрь 1999 г.).

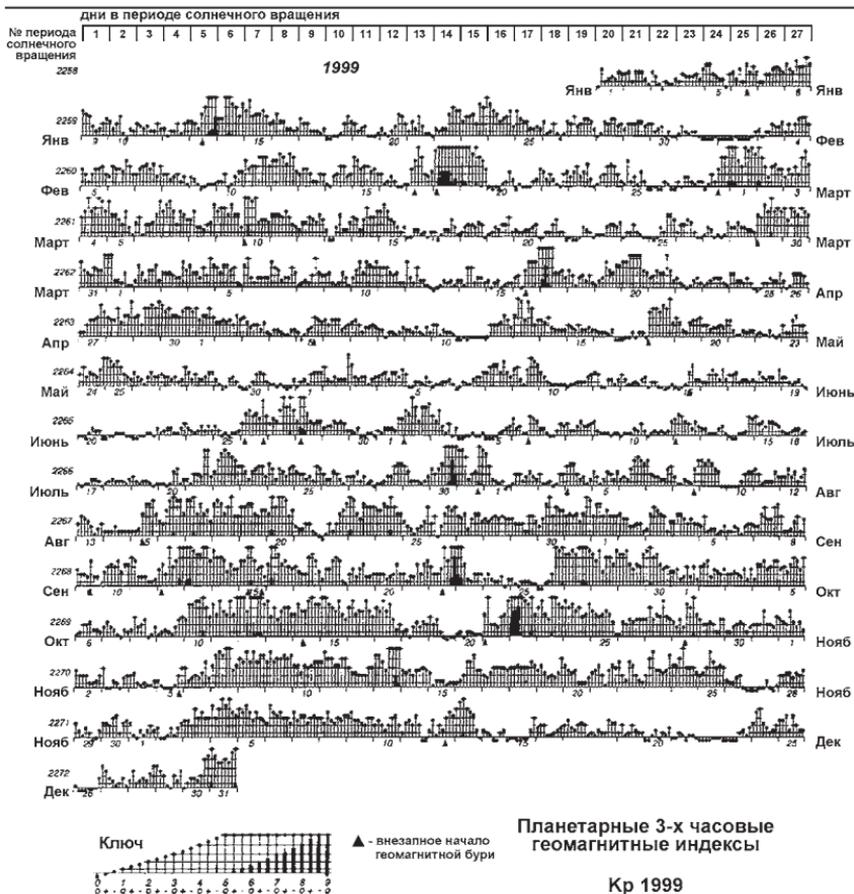


Рис. 1.17. Планетарные 3-х часовые индексы геомагнитной активности Кр в 27-дневном календаре Бартельса, 1999 год. Слева — номера солнечных оборотов — 2259, 2260... Линейка сверху — 27 дней кэрингтоновского периода. Календарные даты помещены под графиком Кр-индекса (8 чисел в сутки, шкала внизу слева). (Копия страницы Бюлетеня "Solar-Geophysical Data", февраль 2000 г.).

Кр-индекса, как оказалось, пропорциональна скорости солнечного ветра. Поэтому повторяющиеся широкие максимумы на рис. 1.17 — это высокоскоростные струи солнечного ветра.

Как уже говорилось, такие струи ответственны за последовательность магнитных бурь с постепенным началом. Бури с внезапным началом, связанные с хромосферными вспышками, не обнаруживают ясной 27-дневной периодичности.

Ar, Kp-индексы отражают флуктуации тока в токовых системах средних широт. Для изучения магнитной активности в других регионах вычисляют особые индексы. Таков, например, AE-индекс, который строится каждые пять минут по сети высокоширотных (полярных) магнитометрических станций. AE-индекс представляет собой тоже меру флуктуаций (разброса) геомагнитного поля, но для токовой системы полярной шапки.

Особым индексом является знак полярности межпланетного магнитного поля, определяемый каждые сутки. В невозможных условиях он может быть либо отрицательным (силовые линии вне магнитосферы направлены к Солнцу), либо положительным (силовые линии направлены от Солнца). В некоторые дни знак межпланетного магнитного поля может беспорядочно изменяться несколько раз (смешанная полярность, иногда считают, что полярность в такой день нулевая). Устойчивая смена знака, когда на протяжении нескольких суток знак остается неизменным, затем изменяется и таким остается следующие 4–7 суток, соответствует прохождению Земли через границу сектора межпланетного магнитного поля (об этих секторах см. выше). Знаки межпланетного магнитного поля известны за последние полвека.

Понятно, что различные индексы космической погоды связаны между собой. Однако эта связь для различных масштабов времени может оказаться довольно сложной. Сразу после прохождения границы сектора межпланетного магнитного поля индекс Ar (и, естественно, Kp) выше, нежели перед сменой знака. Магнитные бури с постепенным началом характерны для эпохи спада 11-летнего цикла активности по числам Вольфа. Магнитные бури с внезапным началом (т. е. резкое возрастание индексов Ar и Kp) следуют только после хромосферной вспышки достаточно большой мощности. Мера этой мощности — балл вспышки. Балл измеряется площадью свечения в красной линии водорода и яркостью этого свечения. Если площадь

свечения не превышает 250 миллионов долей полусферы, а яркость является умеренной, то вспышке приписывается балл In. Очень яркое свечение на площади 1200 миллионов долей полусферы соответствует баллу 3В. Кроме того, масштабы вспышки измеряются одновременно мощностью всплеска рентгеновского излучения в полосе 0,1–0,8 нм.

Индекс С соответствует слабому всплеску с потоком энергии  $>10^{-6}$  Вт/м<sup>2</sup>, индекс М — потоку  $10^{-5}$  Вт/м<sup>2</sup>, самым мощным эффектам соответствует индекс Х. Но даже вспышке Х53В (рентгеновское излучение  $5 \cdot 10^{-4}$  Вт/м<sup>2</sup>, оптический балл 3В) магнитная буря может не сопутствовать: соответствующее облако плазмы может не попасть на Землю из-за того, что мощная вспышка была расположена близко к краю солнечного диска и облако в этом случае пролетит мимо, не задев Землю с ее магнитосферой.

Сказанное позволяет отметить важное различие между индексами солнечной активности, которые строятся на основании наблюдений всего солнечного диска, и чисто геофизическими индексами магнитной активности и знака межпланетного магнитного поля: первые являются показателями состояния всего солнечного полушария, обращенного к Земле (радиоизлучение на длине волны 10 см — это суммарное излучение всех активных областей); вторые — отражают вариации состояния солнечного ветра и межпланетного магнитного поля в относительно узкой зональной области, соответствующей некоторой полоске гелиошироты на Солнце для определенного диапазона гелиодолгот, относящихся к малой части диска. Именно по этой причине между солнечными индексами и индексами магнитной активности нет полного соответствия: умеренная солнечная активность в данный интервал времени может сопровождаться повышенной магнитной активностью и наоборот. Ситуация меняется во времени одновременно и независимо по нескольким причинам. В частности, важно, что плоскость орбиты Земли (эклиптика) и плоскость гелиоэкватора не совпадают. Ежегодно в марте Земля оказывается ниже экватора на 7°, через полгода, в сентябре, земную магнитосферу обтекает солнечный ветер северного полушария (Земля проецируется на гелиошироту +7°). Можно напомнить, что в конце 11-летнего

цикла активные области смещаются к гелиоэкватору (рис. 1.17). Кроме того, как уже отмечалось, на Солнце часто возникает северо-южная асимметрия между полушариями, имеющая свои закономерности изменения во времени. В общем, получается, что есть два класса индексов космической погоды:

— индексы солнечной активности; они отражают глобальный уровень активности на всем наблюдаемом солнечном полушарии; солнечный сигнал в среду обитания переносится коротковолновым солнечным излучением очень быстро;

— индексы магнитной активности; они являются геофизическими измерениями; перенос вариаций в среду обитания осуществляется через солнечный ветер; такие вариации относятся не ко всему солнечному диску, а к некоторой узкой зоне гелиоширот, разной в разное время. Сигнал солнечной природы поступает к нашей планете с запаздыванием на несколько суток.

Эти два класса индексов соответствуют двум различным каналам воздействия солнечной активности на среду обитания и живые организмы. В первом случае «приемником» солнечных сигналов является главным образом ионосфера-озоносфера, отчасти, нижняя атмосфера. Во втором случае сигнал через солнечный ветер поступает сначала в магнитосферу.

Наконец, очень важно помнить, что на организмы в среде обитания действуют не сами по себе изменения индексов. Не солнечные пятна или солнечное радиоизлучение непосредственно влияют на процессы жизнедеятельности. Биологические явления контролируются экологическими условиями среды обитания. Эти экологические параметры зависят от рассмотренных здесь индексов космической погоды: изменяется фон радиоволн, варьируют интенсивность инфразвука, электрическое поле атмосферы, уровень радиоактивности и т.д. Но об этом подробно будет сказано в следующей главе.