



## **Циклы солнечной активности и особенности 23-го цикла**

В.Н. ОБРИДКО,  
доктор физико-математических наук  
ИЗМИРАН

*19–20 декабря 2009 г. в ГАИШ МГУ прошло организованное Астрономическим обществом совещание-дискуссия на тему “Циклы активности на Солнце и звездах”. Идея проведения этого мероприятия родилась во время заседаний Генеральной ассамблеи МАС в Рио-де-Жанейро, где многие доклады касались этой тематики (Земля и Вселенная, 2010, № 4). Ученые многих стран согласны в оценке чрезвычайной необычности 23-го цикла солнечной активности, но при этом смотрят на поведение цикла по-разному. Очевидно, что некоторые из наших представлений о типичных формах развития цикличности и моделях их генерации на Солнце и звездах нуждаются в уточнении или даже*



*пересмотре. Неожиданно оказалось, что эти особенности переключаются также с весьма актуальной проблемой глобального потепления климата Земли и природы этого потепления. В самом деле, до настоящего времени антропогенные факторы и солнечная активность действовали в одном направлении, увеличивая температуру Земли. Однако раз-*

*делить эти два фактора не удавалось. Для этого существовали только сильно отличающиеся друг от друга теоретические оценки. Сейчас появляется возможность экспериментально разделить степень влияния антропогенных и космических факторов.*

*Необычно затянувшийся минимум в конце 23-го цикла поставил перед исследователями ряд проблем. Более того, ход этого цикла по многим параметрам был аномальным. Являются ли эти аномалии чем-то исключительным или они вписываются в общий диапазон вариаций циклов активности на Солнце и звездах? На совещании в ГАИШ МГУ обсуждались следующие вопросы:*

*– в каких характеристиках солнечной активности проявляется*





**аномальное поведение 23-го цикла;**

– можно ли ожидать, что мы находимся накануне сильного спада солнечной активности; – в чем общность и различие циклов активности на Солнце и звездах;

– могут ли современные теории объяснить

**сильные вариации высоты циклов (до одного порядка величины) для одной и той же звезды;**

– как зависят характеристики активности от возраста и скорости вращения звезды;

– какова была активность молодого Солнца, и имела ли она космогоническое и био-

**логическое значение;**

– можно ли использовать периоды низкой солнечной активности для уточнения степени вклада космических факторов в вариации климата Земли.

**Расскажем о некоторых результатах обсуждения этих вопросов.**

#### СОЛНЕЧНАЯ ЦИКЛИЧНОСТЬ

Вообще говоря, трудно найти человека (хотя недавно я такого встретил), который не слышал о солнечной цикличности и 11-летнем цикле. Если к туманным представлениям о солнечной цикличности добавить еще несколько терминов (солнечное пятно, вспышка и магнитная буря), то часто этим, к сожалению, и ограничивается “джентльменский” набор знаний о Солнце и его активности. На самом деле солнечный цикл – довольно сложное явление, в котором много загадочного.

Солнечная цикличность представляет собой основной календарь деятельности Солнца. Практически все явления на Солнце в той или иной мере связаны с основным циклом. Иногда между частотой появления этих процессов есть значительные сдвиги по времени, иногда они даже происходят в противофазе, но практически нет явлений солнечной

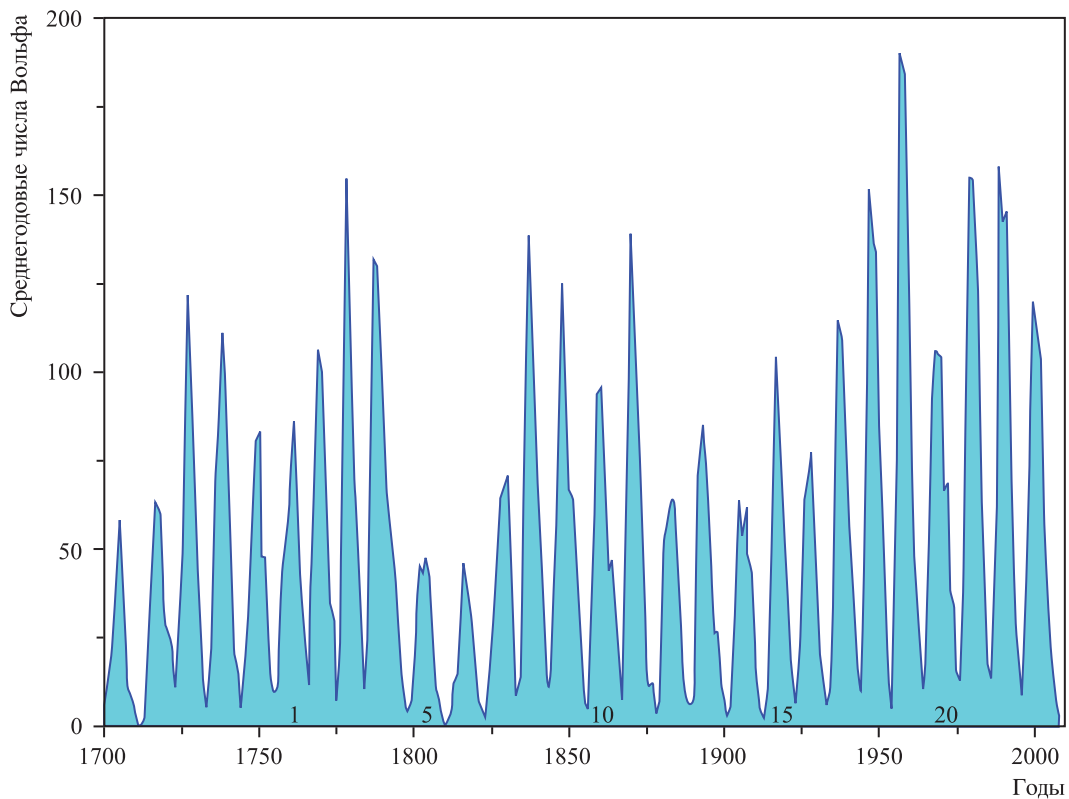
активности, в которых отсутствовала бы 11-летняя цикличность. В среднем продолжительность цикла близка к **11,2 года**, но существуют циклы длительностью от 8 до 17 лет. Началом цикла считается период минимума. Всем циклам присвоены номера, причем по традиции первым (циклом № 1 по цюрихской нумерации) считается цикл, начавшийся в 1755 г., а в 1979 г., 1990 г. и 2000 г. наблюдались максимумы 21-го, 22-го и 23-го циклов соответственно. Следует отметить, что надежные наблюдения начались только в 1848 г., то есть во второй половине 9-го цикла. Более ранние значения чисел Вольфа (*W*) восстановлены по отрывочным наблюдениям и косвенным данным, их надежность (по крайней мере, до начала регистрации Г. Швабе в 1826 г.) иногда подвергается сомнению. В частности, вызывает удивление очень большой интервал (17 лет) между максимумами 4-го и 5-го циклов. Предполагается, что в этом

промежутке был пропущен слабый солнечный цикл.

Вообще говоря, солнечный цикл имеет не столько энергетическое, сколько календарное значение. Первый вопрос, который задается при анализе того или иного события: какова была фаза солнечного цикла? Цикл проявляется в локальных и глобальных масштабах, хотя при этом часто наблюдаются значительные сдвиги по фазе. Поэтому можно говорить о едином цикле активности, в котором физически взаимодействуют разные процессы, несколько сдвинутые по времени, но имеющие единый характерный временной масштаб периодичности.

Первооткрывателем цикла солнечных пятен был немецкий астроном-любитель аптекарь Генрих Швабе из Дессау. Надеясь открыть планету, более близкую к Солнцу, чем Меркурий, он с 1826 г. в течение 25 лет упорно регистрировал все пятна. Через 17 лет,





в 1843 г., он объявил, что число пятен меняется с периодом около 10 лет. На его открытие, как это часто бывает, никто не обратил внимания. Только в 1851 г., когда убедительные таблицы Г. Швабе были опубликованы А. Гумбольдтом, открытие признали. Регулярные научные наблюдения начал Рудольф Вольф в 1848 г. в Берне, а затем в Цюрихе. В качестве меры пятнообразовательной деятельности он ввел *относительное число солнечных пятен (индекс Вольфа)*. В настоящее время употребляются также названия “число Вольфа”, “цюрихское число солнечных пятен”, “международное число

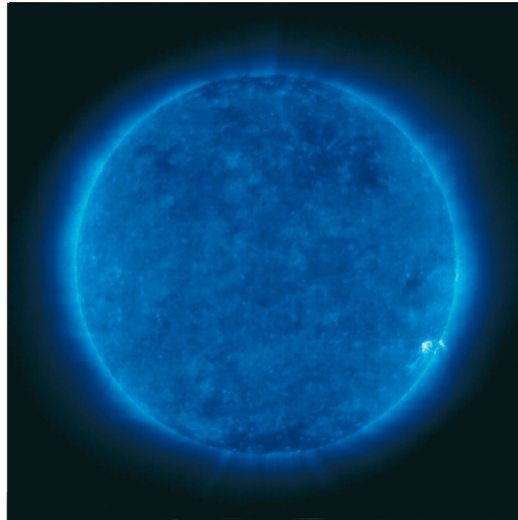
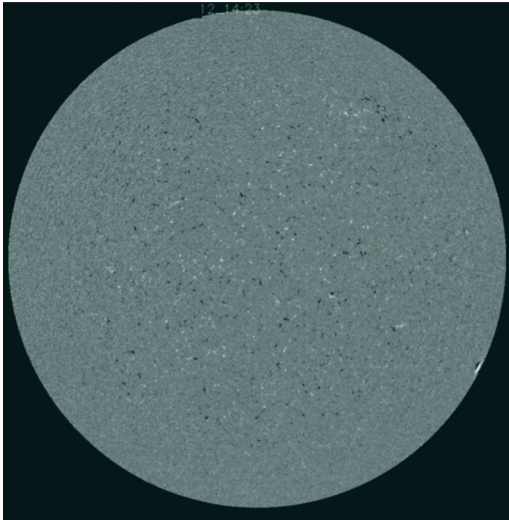
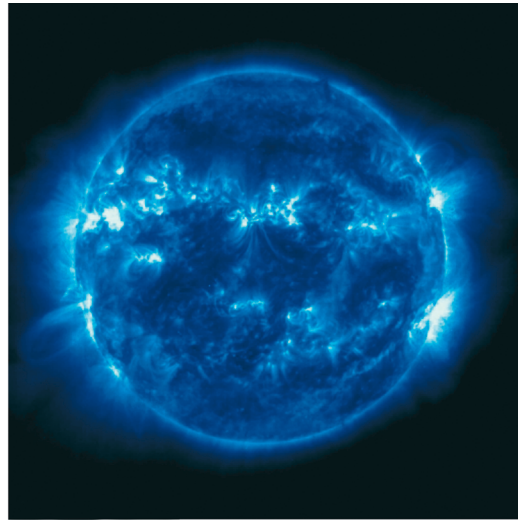
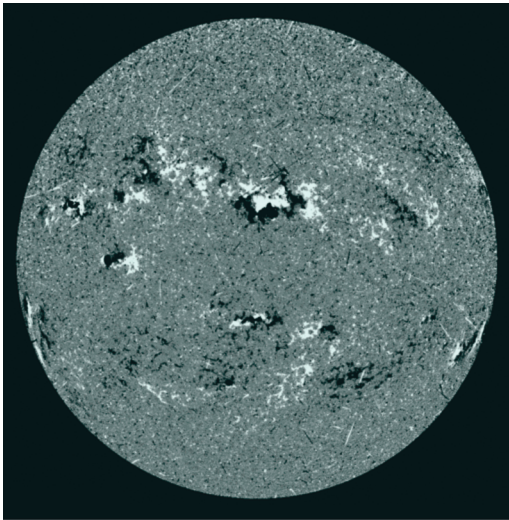
солнечных пятен”. Благодаря тому что пятна можно наблюдать с помощью простейших телескопов, **индекс W** стал наиболее распространенным, а периодическое увеличение числа пятен стало естественной и известной мерой циклической деятельности Солнца.

В 1990-х гг. Д. Хойт и К. Шаттен проделали гигантскую архивную работу по созданию нового временного ряда другого индекса пятнообразовательной деятельности – относительного числа групп солнечных пятен (*GSN*). В частности, этот ряд включает в себя беспрецедентные по регулярности для XVII в. наблюдения Солнца во

*Среднегодовые числа Вольфа. Обозначены циклы 1, 5, 10, 15, 20.*

Франции (главным образом Жана Пикара и Филиппа де ла Гира) во время Маундеровского минимума. Эти данные не были использованы Вольфом при конструировании ряда *W(t)*. **Индекс GSN** не нов: число групп *G* приводилось в Гринвичских каталогах, выходящих с 1874 г. Хойт и Шаттен только снабдили его множителем 12,08, относящим *GSN* к шкале Вольфа.





Кроме упомянутых трех индексов, опирающихся на наблюдения пятен, для описания солнечной активности гелиофизики используют многие другие индексы: поток излучения на различных длинах волн: радиоизлучение на волнах 10,7 см и 3 см (в единицах солнечного радиопотока), в рентгеновском и ультрафиолетовом диапазонах, интегральный поток, ве-

личину магнитного поля при измерении Солнца как звезды (напряженность магнитного поля в пятнах, проинтегрированный по поверхности Солнца поток магнитного поля). Учитываются также индекс вычисленного потока в открытых конфигурациях, число вспышек и корональных выбросов массы, излучение короны в зеленой, желтой и красной линиях.

*Так меняется Солнце от максимума 11-летнего цикла к минимуму. Вверху: магнитное поле на Солнце и снимок Солнца в линии 171 Å (максимум 23-го цикла) 14 июля 2000 г. На магнитограмме белым цветом показана положительная (северная) полярность, черным – отрицательная (южная). Видно много активных областей. Цвета условные. Внизу то же самое, но в минимуме цикла (11 декабря 2008 г.). Активные области полностью исчезли.*





Общим недостатком всех этих индексов является краткость ряда данных, в большинстве случаев данные имеются только за последние два-три цикла, наиболее длинный – ряд чисел Вольфа. Для специальных сопоставлений эти индексы могут быть очень полезны.

Перечислим наиболее известные закономерности цикла солнечных пятен.

1. Пятна нового цикла возникают за несколько лет до минимума на относительно высоких широтах (35–40°). С течением времени зона пятнообразования перемещается на все более низкие широты, приближаясь к экватору. Но в непосредственной близости к экватору в пределах  $\pm 5^\circ$  пятна появляются редко. Этот закон часто называют **законом Шпепера**, а график зависимости положения пятен от времени и широты – **диаграммой бабочек Маундера**.

2. В каждом следующем цикле по отношению к предыдущему картина полярности пятен изменяется на обратную. Это указывает на то, что в физическом смысле основным является не 11-летний, а 22-летний цикл. Тогда возникает вопрос: что считать началом 22-летнего цикла? Если бы все 11-летние циклы были одинаковы, этот вопрос был бы бессмысленным. Оказалось, что обычно четный цикл является менее мощным,

чем следующий за ним нечетный, более того, наблюдается высокая корреляция между четным и следующим нечетным циклами и низкая – между нечетным и следующим четным циклами. Это правило, объединяющее соседние 11-летние циклы в пары, называется **правилом Гневышева – Оля**. Первоначально в качестве характеристики мощности цикла была использована сумма среднегодовых значений чисел Вольфа за весь цикл. Позднее М. Копецкий изменил формулировку этого правила, используя в качестве характеристики мощности цикла значения числа Вольфа в максимуме цикла. Это правило оказалось нарушенным в 4–5-м и 22–23-м циклах.

3. Первые пятна нового цикла появляются задолго до минимума, то есть раньше, чем исчезают пятна предыдущего цикла. Циклы как бы существуют одновременно, но на разных широтах. Это дало основание предположить, что истинная длина цикла не 11, а 15–17 лет. В этом случае говорят о расширенном цикле.

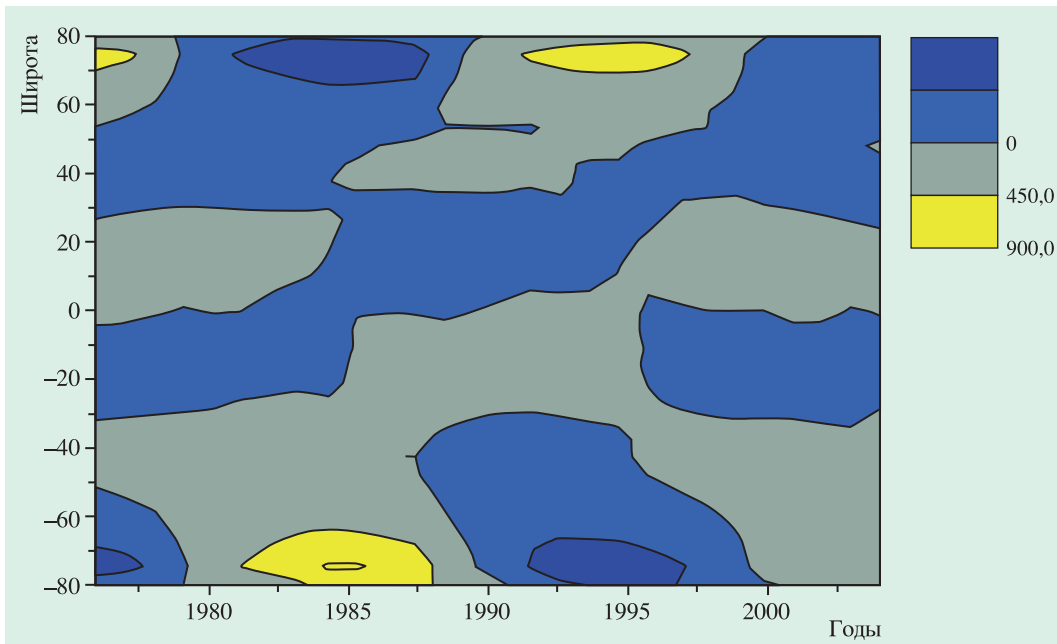
МАГНИТНЫЕ ПОЛЯ  
НА СОЛНЦЕ

**Крупномасштабное магнитное поле** также изменяется с 11-летним циклом. Строго говоря, под крупномасштабным магнитным полем сле-

дует понимать все поля за пределами активных областей. В этом смысле они распространены по всей поверхности Солнца и не ограничиваются каким-либо поясом широт. Если мы выделяем среди них масштаб, сравнимый с радиусом Солнца, такое поле принято называть **глобальным**. Можно измерять поле вблизи полюсов Солнца, такое поле следует называть **полярным**. Можно просто анализировать характеристики **поля на поверхности источника**, которое полностью определяется только полями с самым большим масштабом. Можно выделить отдельно **дипольную** или **квадрупольную составляющие**. Существует термин **“общее магнитное поле Солнца”**, которое не имеет четкого физического определения и часто отождествляется с крупномасштабным полем. И, наконец, еще можно говорить о **магнитном поле Солнца как звезды**. Все эти поля тесно связаны друг с другом, сходным образом зависят от времени, но различие между ними часто игнорируется. Необходимо учитывать, что эти поля с физической точки зрения совершенно разные объекты и, вообще говоря, в различных приложениях могут выступать по-разному.

Крупномасштабные поля простираются по всей поверхности Солнца. В отличие от локальных полей с течением време-





ни они дрейфуют к полюсам. Часто утверждают, что крупномасштабное поле изменяет свой знак в максимуме цикла локальных полей. Это утверждение не совсем корректно. Оно относится только к полярному полю, либо к дипольной составляющей крупномасштабного поля (**переполусовка**). На разных широтах смена знака крупномасштабного поля происходит на различных фазах цикла.

**Дипольное поле** изменяется в противофазе с локальными полями. Однако неверно представление об исчезновении дипольной составляющей в период максимума циклов. Можно вообразить себе следующую картину. Солнечный диполь подвижен в теле Солнца. В течение минимума цикла полюс дипо-

ля располагается вблизи оси вращения Солнца, совершая при этом перемещения по долготе, напоминающие прецессию с характерным временем порядка двух лет. Затем он перемещается в экваториальную зону, где располагается в максимуме цикла. Эта ситуация соответствует тому, что называют переполусовкой полярного поля. Затем диполь перемещается в другую полусферу Солнца.

Особое значение имеют области “открытых” магнитных полей. Условно под **открытым** принято понимать поле, силовые линии которого достигают зоны, где преобладает солнечный ветер. Силовые линии открытого поля свободно уходят в космическое пространство и образуют магнитную структуру ге-

*Зависимость средних значений солнечного радиального магнитного поля от времени и широты. Справа – шкала калибровки средних значений поля в микротеслах.*

лиосферы. Хотя силовые линии заполняют всю ге-лиосферу (в рамках традиционной модели – всю поверхность источника), на уровне фотосферы или в нижней короне они обычно обрисовывают собой довольно ограниченные детали. Открытые поля – тот агент, который приводит к возникновению корональных дыр. В минимуме цикла открытые поля образуют нечто вроде полярной шапки. С приближением максимума они становятся многосвязными и сдвигаются к средним





и экваториальным широтам. В минимуме они могут существовать без значительных изменений несколько лет, в максимуме их характерное время жизни – несколько оборотов Солнца.

#### КАК ВОЗНИКАЮТ МАГНИТНЫЕ ПОЛЯ НА СОЛНЦЕ И ЗВЕЗДАХ

До сих пор мы говорили о циклах локальных и крупномасштабных полей как о вариации двух независимых объектов. На самом деле они, конечно, теснейшим образом связаны. Крупномасштабные поля, по-видимому, поставляют тот материал, из которого и формируются локальные поля. Обратная ветвь (то есть восстановление крупномасштабного поля) пока не ясна. **Механизм Бэбкока – Лейтона**, в котором крупномасштабное поле формируется из остатков активных областей, встречает ряд трудностей. Более того, в многочисленных работах коллег из ГАО РАН показано, что развитие цикла локальных полей повторяет цикл полярного поля со сдвигом на полцикла. Организующая роль крупномасштабных полей видна в концентрации мощных активных областей у границ секторной структуры.

Вопрос о соотношении локальных и фоновых полей имеет большое значение для понимания природы и механизмов

возникновения магнитного поля на Солнце. До настоящего времени конкурируют два основных направления. В **первом** фоновые глобальные поля – часть крупномасштабных, глубоко укорененных магнитных полей, возникающих на глубине  $0.72 R_{\odot}$ . Мощные локальные поля являются следствием действия того же механизма, но с возможным дополнительным усилением в приповерхностных слоях Солнца, поэтому изменения сильных локальных полей с некоторым временным сдвигом повторяют изменения фоновых полей. У этого направления есть ответвление, в котором первичное крупномасштабное поле не является глубинным, но все равно должен существовать сдвиг во времени между фоновыми и локальными полями, и их общая структура должна различаться. Во **втором** направлении фоновые поля являются продуктом распада локальных полей и строительным материалом для последующего цикла. В этом случае можно было бы ожидать сдвига по времени в другую сторону и близкого сходства общего распределения полей разной мощности на поверхности Солнца.

Эта ситуация наталкивается на не всегда однозначное определение основных терминов. Традиционно под локальными полями понимают магнитные поля солнечных

пятен. Их напряженность превышает 2 тыс. Гс. Однако более логично их называть **полями активных областей** (факелы, флоккулы, поры и микропоры), которые имеют напряженности от сотен до 1–2 тыс. Гс. Вопрос о том, какова минимальная напряженность локальных полей, имеет большое значение для теории динамо. Иногда граница кальциевого флоккула проходит по линии, где напряженность магнитного поля равна 25 Гс.

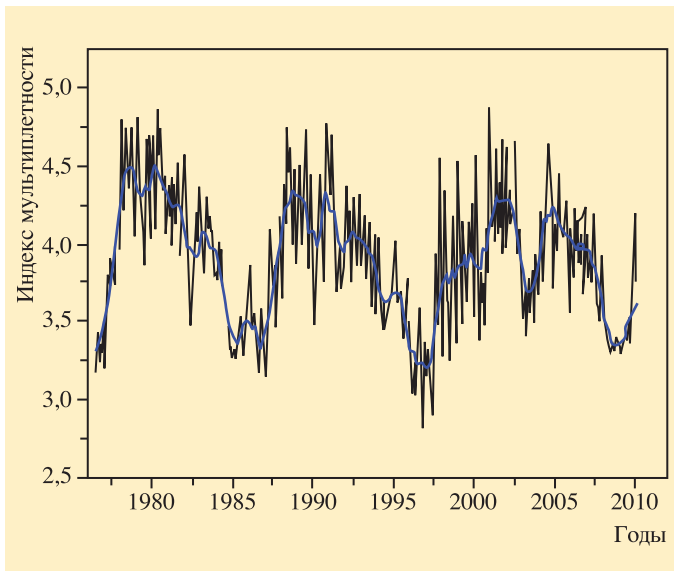
Упомянем о еще одной не решенной до конца задаче – это пространственная локализация локальных и фоновых полей. В основном локальные поля располагаются в центральной (“королевской”) зоне на широтах  $\pm 30^\circ$ . Имеются на этих широтах и фоновые поля или они наблюдаются только на высоких широтах, до сих пор не ясно.

#### НЕКОТОРЫЕ АНОМАЛИИ 23-го ЦИКЛА

Приведенный нами ниже отбор аномалий, конечно, субъективен и не претендует на полноту.

1. В 2008 г. в течение 265 суток на Солнце пятен отсутствовали. За последние 160 лет только в 1878 г., 1901 г. и 1913 г. беспятенных дней было больше, чем в 2008 г. По числу солнечных пятен минимум, наблюдавшийся в декабре 2008 г., был самым глубоким за последние 75 лет.





Индекс эффективной мультиплетности в 1976–2010 гг. Индекс мультиплетности вычисляется как логарифм отношения энергии магнитного поля на большой высоте (около 2,5 радиуса Солнца от центра Солнца) к энергии поля на уровне фотосферы. Поскольку скорость падения поля с высотой зависит от пространственного масштаба, его изменение со временем характеризует изменение со временем структуры поля. При калибровке наименьшее значение, соответствующее глобальному диполю, равно 3 и обычно достигается только в глубоком минимуме цикла. Черным цветом показаны среднемесячные значения, синим – сглаженная по 12 месяцам кривая.

2. Значения магнитного поля на полюсах Солнца на 40% ниже, чем в предыдущем цикле, а в целом за 30 лет оно уменьшилось более чем в два раза.

3. Наблюдается постепенное падение напряженности магнитных полей солнечных пятен. Этот совершенно неожиданный результат, полученный В. Ливингстоном и М. Пенном, если подтвердится, может привести к совершенно новому пониманию циклической вариации солнечной активности. Дело в том, что фактически все наши представления о циклической деятельности Солнца опираются на вариацию числа солнечных пятен при их наблюдении в оптическом диапазоне. Однако по расчетам Ливингстона и Пенна, если продлить прямую на их графике, через 10–15 лет напряженности упа-

дут до тех значений, при которых магнитное поле уже не может останавливать конвекцию в приповерхностных слоях. Это может привести к парадоксальной ситуации, когда на Солнце не будет оптически наблюдаемых пятен.

4. В конце каждого цикла структура магнитного поля на Солнце сильно упрощается. Исчезают магнитные поля на небольших участках поверхности, и на Солнце остается только глобальное магнитное поле, напоминающее магнитное поле Земли. Именно оно становится строительным материалом для возникновения пятенного цикла. В 23-м цикле этот процесс был аномальным. С одной стороны, магнитное поле на полюсах Солнца оказалось значительно меньшим, чем ожидалось. С другой стороны, исчез-

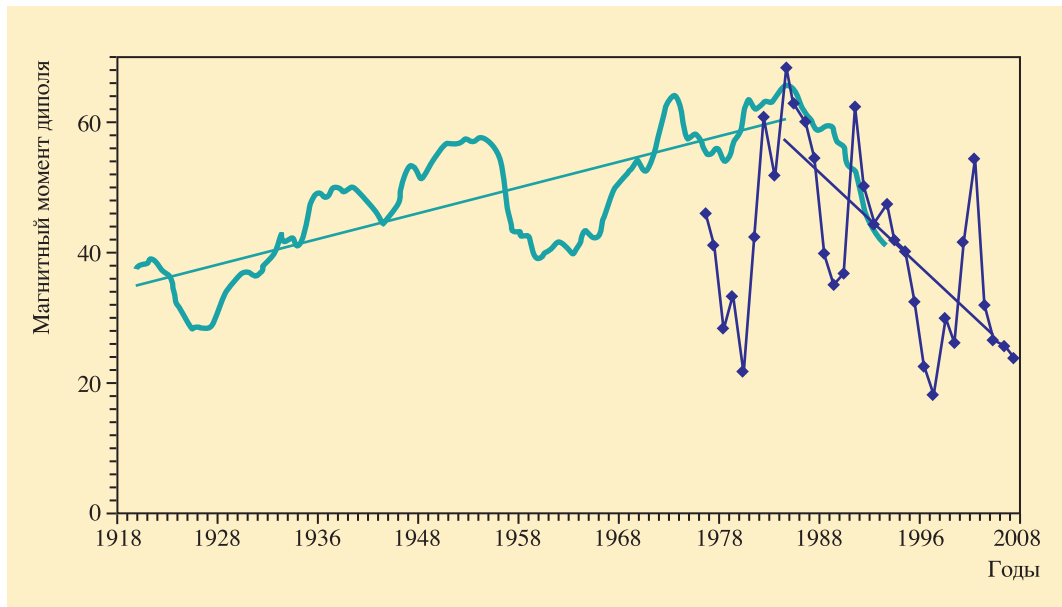
новение приэкваториальных структур среднего масштаба было выражено гораздо слабее, чем обычно, что отсрочило наступление фазы минимума.

5. Для характеристики вклада полей разных масштабов применяется **индекс эффективной мультиплетности**. В минимуме цикла он всегда приближается к своему дипольному значению – трем, а в максимуме с учетом вклада полей меньших пространственных значений приблизительно равен пяти. В 23-м цикле после спада в 2003 г. почти до своего дипольного значения индекс мультиплетности снова вырос и опустился только к началу 2009 г.

6. В 2003 г. наблюдался резкий всплеск скорости солнечного ветра в плоскости эклиптики. Скорость солнечного ветра вблизи Земли в этом ми-







нимуме в 2008 г. выросла на 13% по сравнению с предыдущим циклом. В тот же период плотность солнечного ветра уменьшилась по сравнению с 22-м циклом на 45%, а магнитное поле – на 15%. По данным АМС “Улисс”, пролетавшей над полюсами Солнца, то же самое произошло и с полярным солнечным ветром: магнитное поле стало ниже на 35%, а плотность – на 20%. Анализ данных о мерцаниях при радиопросвечивании внегалактических источников показал, что 2003 г. отличался и аномалией характеристик солнечного ветра. Учитывая перечисленные факты, трудно отказаться от впечатления, что 23-й цикл состоял как бы из двух частей – до 2003 г. и после него.

7. В соответствии с теорией динамо, наблю-

даемые нами тороидальные локальные магнитные поля, с которыми и связаны солнечные пятна, формируются из полоидальных магнитных полей. Главным компонентом тороидального поля считают глобальный солнечный диполь, поэтому с ростом магнитного момента солнечного диполя повышается активность локальных полей, и, наоборот, его уменьшение должно приводить к понижению активности. Так и происходило на протяжении почти 70 лет (1915–1982). Магнитный момент диполя постепенно возрастал, и вместе с ним постепенно увеличивалась солнечная активность. Однако затем подъем сменился резким спадом. Сейчас можно уверенно говорить о спаде магнитного момента в течение последних трех

*Изменение магнитного момента глобального солнечного диполя в 1918–2008 гг. Магнитный момент растет до 1984–1985 гг., а потом резко падает. Толстая зеленая кривая была получена нами по данным до 1985 г. Более поздние данные показаны тонкой синей линией. Видно, что в 1982 г. рост момента сменился резким спадом. Прямые линии показывают линейную аппроксимацию данных отдельно для 1918–1980 гг. и 1980–2008 гг.*

циклов после 1981 г. (см. стр. 1 обложки).

Вместе с упомянутым выше фактом уменьшения полярного поля полученные данные приводят к выводу о том, что мы стоим накануне ряда невысоких циклов активности или протяженного минимума. Можно ожидать, что солнечная активность в ближайших двух циклах будет иметь





среднюю величину и относительное число солнечных пятен в максимуме 24-го цикла, который ожидается в 2012 г., и не будет превышать 80–100 единиц.

#### КАК СОЛНЦЕ ВЛИЯЕТ НА ЗЕМЛЮ

1 сентября 1859 г. английский астроном-любитель Р. Кэррингтон вел обычные зарисовки солнечных пятен, и в какой-то момент его внимание привлекли четыре небольших ярких пятнышка в большой группе пятен. Это было первое наблюдение очень мощной солнечной вспышки. Через 17 ч 40 мин в Америке и Европе были зарегистрированы серьезные нарушения проводной телеграфной связи (подводная и подземная кабельная сеть), которые продолжались несколько часов. Той же ночью полярные сияния появились в небе Рима, Гаваны и Гавайских островов – единственный случай их наблюдения вблизи экватора. Поскольку в данном случае нам точно известен момент максимума вспышки (узлы вспышки в “белом” свете видны в моменты максимального выделения энергии), можно вычислить время распространения возмущения от данной вспышки до Земли. Оно оказалось рекордно малым. Это была самая мощная за всю историю наблюдений солнечная вспышка, которая к тому же

произошла в наиболее геоэффективном месте солнечного диска.

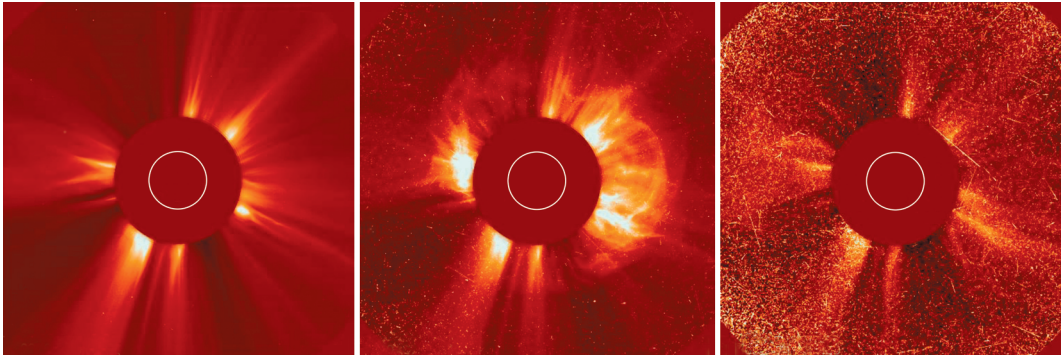
По существу, мы и сегодня не знаем всех форм воздействия Солнца на Землю. Процедура установления какого-либо эффекта состоит в том, что сначала заподозренную связь мы проверяем статистически. Очень часто первые результаты бывают на пределе статистической достоверности и вызывают возражения. Можно, в частности, упомянуть опровержения такого очевидного явления, как солнечное происхождение геомагнитных бурь. Например, даже великий лорд Кельвин отрицал эту связь. Еще несколько десятков лет назад находились сторонники эндогенного происхождения бурь. Тем не менее, если эффект действительно существует, последовательные исследования приводят к установлению **статистически достоверного результата**. Далее наступает период осмысливания и физической интерпретации. Если удается построить непротиворечивую теорию процесса и понять основной механизм, явление можно назвать **физически достоверным**.

К уже точно установленным явлениям связи процессов на Земле и на Солнце можно отнести возникновение магнитных бурь. Они начинаются внезапно после солнечных вспышек и корональных выбросов

массы, а также рекуррентных магнитных бурь с прохождением по Солнцу активных областей и корональных дыр. Часто магнитные бури сопровождаются возмущениями в земной ионосфере, что приводит к нарушениям радиосвязи на коротких волнах и многочисленным помехам. Ранее, при использовании магнитного компаса, такое возмущение сильно затрудняло навигацию морских и воздушных судов, определение координат в экспедициях. Сейчас навигация использует в основном спутниковые системы типа GPS и ГЛОНАСС. Точность определения координат при этом от метров до 10 м. Однако в периоды магнитно-ионосферных возмущений эта точность падает в несколько раз. Такая погрешность может иметь самые серьезные последствия, скажем при слепой посадке самолетов или при поиске трубопроводов, зарытых в земле.

Функционирование приборов на космических аппаратах подвержено воздействию солнечной активности. Например, пришлось перенести на сутки запуск двух научных ИСЗ “Кластер-2” из-за внезапно начавшейся 15 июля 2000 г. магнитной бури. Кроме того, в это время был необычно высокий уровень интенсивности солнечных космических лучей, представлявших серьезную радиацион-





ную опасность. Через сутки уровень радиации снизился, активная фаза магнитной бури закончилась. Успешный старт состоялся в значительно более благоприятных условиях. В такой же ситуации оказался российский спутник “Океан-О”, выведенный на орбиту 17 июля 1999 г. В ночь на 16 июля 2000 г. резко возросла плотность атмосферы, и были приняты меры для сохранения его ориентации.

Магнитная буря приводит к нарушениям функционирования длинных проводных линий связи. Наведенные теллурические токи вызывают аварии на линиях передачи энергии, усиливают ржавление трубопроводов. При высокой солнечной активности учащаются аварии на всех сложных технических системах, включая атомные электростанции.

Многочисленные случаи отказов без видимых причин системы Сигнализации, Централизации и Блокировки (СЦБ) на высокоширотных участках российских железных

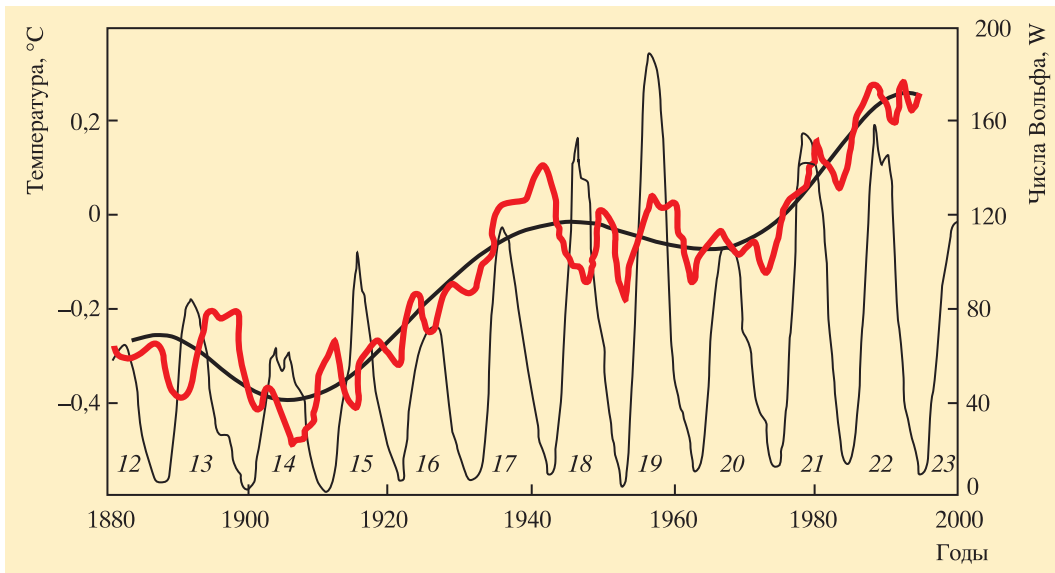
дорог были проанализированы вместе с данными о поведении геомагнитной активности в эти периоды. Оказалось, что сигналы о ложной занятости путей на Горьковской железной дороге и Няндомской дистанции Северной дороги появлялись именно в периоды главной фазы сильнейших геомагнитных бурь.

Существуют и другие статистически достоверные явления, однако механизм их процесса нам неизвестен. В таком случае возникает недоверие к результатам исследований. К этой группе явлений относятся солнечно-обусловленные биологические процессы, в том числе воздействие на здоровье людей, и солнечно-обусловленные атмосферные процессы, в том числе воздействие на погоду и климат. Установлено определенное воздействие геомагнитных событий на здоровье людей (Земля и Вселенная, 2009, № 4). Механизм влияния солнечной активности на погоду состоит в следующем. При увеличении солнечной

Солнце 14 июля 2000 г. Показана корона Солнца (цвета условные). Фото получено с помощью космической обсерватории “SOHO” телескопом-коронаграфом LASCO C2. Слева: 10 ч 30 мин, ситуация еще относительно спокойная, на Солнце много активных областей, корона имеет типичный для максимума цикла вид, но никаких нестационарных процессов пока нет. В центре: 10 ч 54 мин, после мощной вспышки появился и распространяется выброс коронального вещества, который на следующий день привел к мощной геомагнитной буре. Справа: 11 ч 30 мин, все приемники излучения на космическом аппарате обсерватории “SOHO” забиты пришедшими за десятки минут от Солнца к окрестностям Земли высокоэнергичными частицами.

активности повышаются напряженность магнитного поля в гелиосфере, плотность солнечного ветра и количество корональных выбросов массы. Все эти факторы, воздействуя на магнитосферу Земли, препятствуют доступу галактических космических лучей к Земле. Галактические космические лучи обычно ответственны за





возникновение ядер конденсации в земной атмосфере. Рост их потока приводит к увеличению облачности и влияет на глобальную электрическую цепь в атмосфере. Увеличение облачности уменьшает температуру Земли и наоборот. Здесь работают два эффекта: сокращение доступа солнечного излучения к Земле и парниковый эффект. В результате действия всех трех звеньев этой цепи возникает положительная корреляция характеристик солнечной активности и температуры Земли.

Конечно, ситуация не так проста и изложена намеренно упрощенно. Наблюдаемые эффекты сильно меняются от одной области на Земле к другой вплоть до изменения знака корреляции. Кроме того, вариация солнечной активности приводит к увеличению

потоков коротковолнового излучения Солнца и солнечных космических лучей. Тем не менее установлено, что солнечная активность может влиять на погоду и климат.

“ПРОБЛЕМА” 2012 г.

15 апреля 2009 г. телеканал “Вести” сообщил: “Ученые из американской Академии наук (NAS) считают, что 22 сентября 2012 г. наступит конец света. В этот день на Солнце произойдет несколько вспышек. Звезда выбросит в космос огромное количество раскаленных газов, и на нашей планете произойдут небывалые геомагнитные бури... В результате солнечной атаки ее последствия будут катастрофическими, и в следующие месяцы счет жертв пойдет на миллионы...” По существу, все это сообщение основано

Числа Вольфа (W) и ход температуры на Земле в 1880–2000 гг. (красным цветом показаны среднегодовые значения, толстая кривая – сглаженные значения). Цифры на графике – номера циклов солнечной активности.

на сплошных натяжках и недоразумениях. Ни одна солнечная вспышка не может привести к глобальным последствиям и, тем более, к миллионным жертвам. Мы знаем, что солнечные вспышки, воздействуя на околоземное космическое пространство, могут приводить к разного рода нарушениям в работе радиосвязи, транспортных систем, линий электропередач, к ухудшению здоровья людей. Но масштаб этих нарушений много меньше и уже найдены способы борьбы

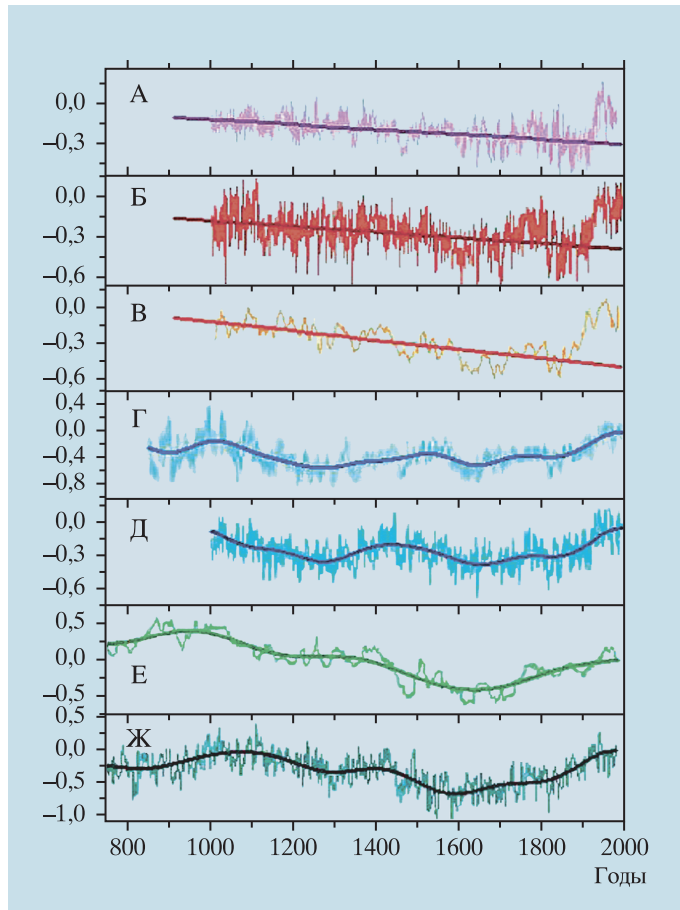




Палеореконструкции температуры в Северном полушарии Земли в 800–2000 гг. по исследованиям разных авторов: А – Манн и др., США, 1999; Б – Джонс и др., Великобритания, 1998; В – Кроули и Лавери, США, 2000; Г – Эспер и др., Швейцария, 2002; Д – Брифф, Великобритания, 2000; Е – Лоеле, США, 2007; Ж – Моберг и др., Россия, 2005. По оси ординат – средняя приземная температура.

с этими последствиями. Следующая натяжка состоит в указании точной даты этого события. Ни один специалист в мире не сможет предсказать солнечную вспышку более чем за три дня, да и этот прогноз пока не точен. Дело в том, что вспышка – принципиально стохастический процесс и возникает как следствие определенных неустойчивостей в сложных системах магнитного поля на Солнце. Поэтому в 2012 г. вероятность появления больших солнечных вспышек будет выше, чем сегодня, но указать даты конкретных вспышек невозможно. Авторы корреспонденции также намеренно переоценили возможную мощность этой вспышки: никогда в истории Земли за миллиарды лет таких событий не наблюдалось.

Следует заметить, что авторы американского доклада справедливо



обращают внимание на то, что современная техническая цивилизация стала гораздо более чувствительной к последствиям мощной вспышки на Солнце. Возможные отказы технических систем при мощном событии не исключены, и следует заблаговременно предусматривать возможные пути их устранения. Однако нарисованная апокалипсическая картина абсолютно исключена и может только дискредитировать реальную проблему. Можно предположить, что наибо-

лее мощные солнечные вспышки в текущем 24-м цикле, который, по мнению большинства специалистов, будет циклом средней величины, ожидаются в середине 2012 г. и, наиболее вероятно, в 2014–2016 гг.

“ГЛОБАЛЬНОЕ ПОТЕПЛЕНИЕ” И СОЛНЕЧНАЯ АКТИВНОСТЬ

Казалось бы, чисто научный вопрос о глобальном потеплении приобрел в последнее время особое значение, поскольку используется в неблагоприятных целях.





По существу, фигурируют два утверждения:

– имеет место потепление такого масштаба, который не наблюдался никогда на Земле;

– потепление определяется антропогенным фактором, и, если не будут приняты срочные меры к прекращению загрязнения атмосферы, человечество ждет катастрофа.

Можно ли считать факт глобального потепления доказанным? Лишь одна из палеорекострукций Северного полушария Земли (Манн и др., США, 1999) указывает на значительный рост температуры во второй половине XX в., что дает основание приписать его антропогенному влиянию. Другие реконструкции относят начало потепления до наступления техногенной эры. Если же это потепление действительно существует, можно ли его объяснять только воздействием антропогенного фактора? Механизм действия солнечной активности через космические лучи и изменение альbedo вполне может объяснить наблюдаемые вариации температуры. Если это так, то, с учетом осторожных прогнозов солнечной активности в начале XXI в., скорее можно ожидать некоторого похолодания или, по крайней мере, уменьшения темпов потепления. Кроме того, повышение средней температуры на несколько градусов наблюдалось в истории

человечества неоднократно, так что не надо пугать людей грозящими катастрофами.

#### АКТИВНОСТЬ РАННЕГО СОЛНЦА

Электромагнитное излучение Солнца на ранних этапах эволюции в оптическом диапазоне менялось незначительно, однако в мягком рентгеновском диапазоне 0,15–4 кэВ (короче 90 Å) максимальное различие составляет четыре порядка величины. Иначе говоря, отношение рентгеновской светимости молодого Солнца к его полной (болометрической) светимости было в тысячу раз больше, чем в обычный максимум солнечной активности в современную эпоху. Рентгеновское излучение молодого Солнца должно было быть на 3–4 порядка больше. К такому же выводу приводит сопоставление рентгеновского излучения звезд разных возрастов.

Поскольку жизнь на Земле связана со сложными молекулами на основе углерода, то наиболее важными являются оценки изменения излучения в диапазоне короче 350 Å. В этом диапазоне находятся мощная резонансная линия ионизованного He II ( $\lambda = 304 \text{ \AA}$ ) и многочисленные слабые линии высокоионизованных атомов, формирующиеся в солнечной короне. Общее излучение в этом диапа-

зоне меняется в течение 11-летнего цикла активности в 5–7 раз. Излучение Солнца возрастом 1 млрд лет в области 250–300 Å было выше, чем сегодня, на 2–3 порядка. Столь же существенным, как и в рентгеновском диапазоне, оказывается различие корпускулярного излучения Солнца в раннюю эпоху и в настоящее время. Молодое Солнце теряло вещество, уносимое солнечным ветром массой, близкой к  $10^{-9} M_{\odot}$  в год. Тогда поток вещества был в 3 тыс. раз больше, чем сейчас. Эти оценки не учитывают вклада вспышек. Их влияние могло увеличить оцениваемый общий поток корпускулярного излучения и электромагнитного излучения в данном диапазоне в несколько раз.

Отдельной проблемой является низкая болометрическая светимость молодого Солнца, которая должна была быть меньше современной на 30%. Это привело бы к вымерзанию воды на Земле, что не подтверждается геологическими данными (парадокс слабого молодого Солнца). У быстро вращающегося молодого Солнца, как считают, происходил большой отток массы. В таком случае для достижения современных параметров раннее Солнце могло обладать большей массой ( $1,07 M_{\odot}$ ), чтобы сохранить воду на Земле с помощью усиленного парникового эффекта.





Кроме того, в этот момент его более сильная активность привела бы к более сильному парниковому эффекту. С другой стороны, большой отток массы приводил к увеличению мощности солнечного ветра на три порядка, чем сегодня, поэтому значительными становились корональные выбросы массы. Это привело бы к сжатию земной магнитосферы и эрозии атмосферы. Соответственно, усилится проникновение к Земле как галактических, так и увеличенного потока солнечных космических лучей. Такой эффект привел бы к катастрофическим последствиям – магнитосфера сжалась бы до 1000 км, а она существует. Таким образом, на ранней стадии эволюции Солнца все его эффекты активности значительно (на три-четыре порядка) превышали современные, поэтому большее воздействие испытывали атмосфера и биологические виды.

#### СОЛНЕЧНАЯ ЦИКЛИЧНОСТЬ И БУДУЩЕЕ ЦИВИЛИЗАЦИИ

Очевидно, что Солнце в своем роде тоже переменная звезда и цикличность солнечной актив-

ности является частью переменности, общей для многих звезд. Исследования солнечной цикличности выводят нас на проблемы далекого прошлого нашей планетной системы и заставляют задуматься о ближайшем будущем.

С каждым годом мы все более остро ощущаем зависимость жизни нашей цивилизации от разнообразных космических факторов, в первую очередь от солнечной активности. Этому способствует то, что наша цивилизация становится все более и более сложной, многосвязной системой. Как в любой сложной системе, здесь существует огромное число связей, нарушение которых может привести к катастрофическим последствиям. Мы уже упоминали разнообразные эффекты магнитных бурь. Однако большинство проявлений этих бурь связано с нарушениями в работе современных систем. Случись такая буря 400 лет назад, ее никто бы не заметил. А системы все более усложняются. Кроме того, все более и более развиваются возможности создания искусственных органов человека. Уже сейчас су-

ществуют кардиостимуляторы, искусственные почки и т.п. Работа всех этих устройств может нарушаться при высокой солнечной активности.

Таким образом, понимание природы солнечной цикличности и создание современных методов прогнозирования солнечной активности выходит за пределы чисто фундаментальной науки. В какой-то мере решение этих вопросов определяет собой судьбу цивилизации. К сожалению, если в области краткосрочного прогноза солнечных вспышек успехи налицо (мы с вполне приличной оправдываемостью можем предсказать вспышку или магнитную бурю за несколько дней), то проблемы долгосрочного прогноза пока еще очень далеки от решения. В начале каждого цикла появляются десятки прогнозов, указывающих высоту цикла от 50 до 200 единиц. Тем более мы сегодня не можем ничего уверенно сказать о нескольких следующих циклах. Каждый цикл дает нам новую информацию, и аномальность 23-го цикла позволяет проверить часть наших теорий.

