

УДК 523.98

ПРОГНОЗ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ 24-го СОЛНЕЧНОГО ЦИКЛА ПО КОЛИЧЕСТВУ БЕСПЯТЕННЫХ ДНЕЙ В ПРЕДШЕСТВУЮЩЕМ МИНИМУМЕ

© 2011 г. А.И. Хлыстов, Б.В. Сомов

Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга,
Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,
г. Москва, Россия

Предпринята попытка связать количество беспятенных дней в предшествующих минимумах солнечных циклов с основными характеристиками следующих циклов: высотой, общей продолжительностью и длительностью ветви роста. По значению суммы беспятенных дней в минимуме 23-го цикла $\sum DT0 = 800$ (июль 2010 г.) получены следующие характеристики 24-го цикла: начало – 2009.0 (январь 2009 г.); длительность ветви роста – $RW = 4.8$ года; дата максимума – 2013.8 (октябрь 2013 г.); значение числа Вольфа в максимуме – $WM = 63$; длительность ветви спада – $DW = 7.8$ года; полная длительность – $DTmm = 12.6$ года; конец – 2021.6 (июль 2021 г.).

Ключевые слова: солнечная активность; цикл, прогноз, беспятенные дни.

Введение

Когда говорят о солнечной активности, то обычно имеют в виду различные процессы, связанные с рождением, развитием и исчезновением пятен на диске Солнце. По-видимому, самые ранние упоминания о наблюдениях пятен на Солнце невооруженным глазом встречаются в китайских хрониках уже в 165 г. до н.э. [Schove, 1950]. Первое телескопическое наблюдение пятен сделал Галилей в 1610 г. с помощью изобретенного и построенного им телескопа, однако только в 1843 г. была обнаружена цикличность в изменении числа пятен на Солнце. Это фундаментальное открытие было сделано Г. Швабе [Schwabe, 1843] случайно при обработке материалов его поисков гипотетической планеты Вулкан внутри орбиты Меркурия по ожидаемым транзитам Вулкана по диску Солнца. И хотя новую планету найти не удалось, по систематическим зарисовкам пятен в течение 17 лет наблюдений Г. Швабе впервые обнаружил, что их число на поверхности Солнца не остается постоянным, а меняется с периодом около 10 лет. Р. Вольф [Wolf, 1859] на основании архивных материалов телескопических наблюдений проследил наблюдения пятен за 250 предшествующих лет вплоть до 1749 г. и дал более точное значение среднего периода пятнообразовательной деятельности Солнца $T=11.1$ года. Этот один из основ-

ных законов циклической деятельности Солнца был впоследствии назван по фамилиям его первооткрывателей законом Швабе – Вольфа.

Экзогенные гипотезы солнечной цикличности

Близость периода орбитального движения Юпитера (11.86 года) к периоду солнечной цикличности (11.1 года) наводила на мысль о планетной обусловленности этого феномена. Р. Вольф [Wolf, 1859] попытался связать 11-летнюю цикличность с приливным влиянием Юпитера, Венеры и Земли на Солнце. Позднее эта идея развивалась в работах Ф.Б. Эдмондса [Edmonds, 1882], Е.В. Брауна [Brown, 1900], А. Шустера [Schuster, 1911], Н.И. Кожевникова и А.И. Хлыстова [1977] и ряда других авторов. Несмотря на то, что иногда получались некоторые обнадеживающие результаты, прогнозы солнечной цикличности часто оказывались неудовлетворительными. Причина неудач была вскрыта в работе Е. Окала и Д.Л. Андерсона [Okal, Anderson, 1975], где на основе сравнения спектров мощности чисел Вольфа и суммарного приливного потенциала от всех планет на Солнце было установлено, что эти спектры не имеют общих доминантных пиков. Однако близость периода солнечной цикличности к орбитальному периоду Юпитера (дающего основной вклад в приливной потенциал вблизи этой гармонике) приводит иногда к довольно хорошей корреляции двух кривых на протяжении нескольких 11-летних циклов. Примерно через 50 лет наступает антикорреляция, что хорошо видно на графиках в работе [Долгинов и др., 1972].

Физическое обоснование несостоятельности приливной гипотезы солнечной цикличности для случая статических приливов было дано в работе [Власов и др., 1974], в которой показано, что при высоте статического прилива на Солнце от всех планет, равной, как известно, 0.1 см, энергия приливных воздействий за цикл составляет всего лишь $6 \cdot 10^{27}$ эрг. Имеющиеся оценки энергетических потерь в цикле активности дают величину порядка 10^{37} эрг. Если даже предположить, что планетные воздействия служат только «спусковым крючком» для солнечной активности, то и тогда потребовалось бы в 10^8 больше той энергии, которую способны дать статические приливы от планет.

В серии работ [Хлыстов 1977а–в, 1978а–г] было показано, что в конвективной зоне Солнца под влиянием сил Кориолиса могут возбуждаться собственные колебания с периодами около одного, трех и шести месяцев. Одно из этих колебаний с периодом 1 месяц в результате резонансной раскачки приливной силой от Юпитера за время около трех лет может усилиться от начального значения 1 мм до высоты около 5 км. С учетом неизбежных неточностей в энергетических оценках, такой амплитуды динамических приливов при наличии резонанса вполне достаточно, чтобы планеты могли запускать механизм солнечной активности по типу «спускового крючка» [Власов и др., 1974].

Новое направление в исследовании возможного влияния планет на солнечную активность открыла работа П. Жозе [Jose, 1965]. В этой работе впервые были вычислены различные функции, характеризующие сложное движение Солнца вокруг центра масс Солнечной системы (барицентрическое движение Солнца) и найдено, что все они имеют период около 180 лет. Такой же период замечен и в спектре мощности чисел Вольфа [Cohen, Lintz, 1974]. Этот результат инициировал целую серию работ по анализу барицентрического движения Солнца и возможной его связи с солнечной активностью [Wood R.M., Wood K.D., 1965; Blizard, 1981; Хлыстов, 1982; Fairbridge, Shirley, 1987; Charvatova, 1990; Прокудина, 1995].

Позднее в работах [Khlystov et al., 1992; Хлыстов и др., 1992, 1994, 1995] были повторены расчеты П. Жозе основных барицентрических функций (расстояние центра Солнца от барицентра, скорость и ускорение, орбитальный момент Солнца и его первая производная). Применяя метод Блэкмана и Тьюки [Blackman, Tukey, 1958] для получе-

ния спектров мощности этих функций и используя данные о спектре чисел Вольфа из работы [Okal, Anderson, 1975], было показано, что в спектрах барицентрического движения отсутствуют самый мощный 11-летний и средний по величине 90-летний пик спектра чисел Вольфа, однако в некоторых барицентрических функциях проявляется период около 9.9 года – второй по мощности в спектре чисел Вольфа. Период 9.9 года связан с повторением одинаковых конфигураций Юпитера и Сатурна [Хлыстов, 1978г] и проявляется в числах Вольфа как чередование высот четных и нечетных циклов. На основании этого можно сделать следующий вывод: хотя барицентрическое движение Солнца в линейном приближении не объясняет 11-летнюю солнечную цикличность, оно, по-видимому, вызывает хорошо известное чередование высот максимумов четных и нечетных циклов.

Эндогенные гипотезы солнечной цикличности: гидромагнитное динамо

Первые серьезные работы, описывающие солнечную цикличность динамо-эффектом, появились только спустя более чем полвека после открытия Г. Швабе, когда Г.Е. Хейлом [Hale, 1908, 1913] была установлена магнитная природа пятен и самого цикла. Как известно, пятна часто возникают парами, что наводит на мысль о существовании в глубоких слоях Солнца тороидальных жгутов магнитного поля, которые на определенном этапе их формирования начинают всплывать в виде петель, образуя две области противоположной магнитной полярности на поверхности фотосферы в месте всплытия петли. Несмотря на то, что появление пятен носит спорадический характер, а распределение групп пятен на поверхности Солнца в каждый отдельный момент времени довольно хаотично, долгопериодические закономерности солнечной цикличности, представленные впервые Е.В. Маундером [Maunder, 1922] в виде диаграмм временной эволюции широтного распределения пятен с указанием соответствующей полярности магнитных полей («бабочки» Маундера), приводят к выводу о существенно регулярной картине магнитных полей, связанных с солнечной цикличностью.

Наиболее вероятно, что крупномасштабная солнечная магнитная активность – результат действия динамо. Идея гидромагнитного динамо основана на концепции, что движение электрически проводящей жидкости поперек магнитного поля будет индуцировать электрический ток, который, в свою очередь, генерирует новое магнитное поле. Этот процесс регенерации работает в условиях непрерывного затухания магнитного поля вследствие джоулевых потерь в сопротивляющейся жидкости. Механизм динамо будет работать только в том случае, если эффективность процесса индукции будет выше, чем скорость затухания поля.

Проблемы динамо становятся более понятными в случае разложения магнитного поля на две компоненты – полоидальную и тороидальную. Для осесимметричного магнитного поля его полоидальная компонента лежит в меридиональной плоскости, в то время как тороидальная компонента чисто азимутальная. В этом приближении механизм динамо будет работать, если удастся найти такое поле скоростей, которое способно регенерировать как полоидальную, так и тороидальную компоненты магнитного поля. Исторически первой найденной ключевой составляющей такого поля скоростей стало наблюдаемое дифференциальное вращение на солнечной поверхности. Предполагая, что силовые линии магнитного поля «вморожены» в плазму вследствие ее высокой проводимости, приходим к возможности вытягивания первоначально полоидального поля в азимутальном направлении за счет дифференциальности вращения. Этот процесс, обеспечивающий генерацию тороидальной компоненты из полоидальной, получил название « ω -эффект».

Следующим шагом стал поиск физического процесса, способного замкнуть цикл путем регенерации полоидального поля из тороидального.

В своей основополагающей работе Е.Н. Паркер [*Parker, 1955*] предположил, что мелкомасштабные спиральные движения (как результат преобразования конвекции во вращающемся теле) могут закручивать отдельные участки тороидального поля в петли, ориентированные в меридиональной плоскости. Результирующим эффектом многих из этих неосесимметричных мелкомасштабных движений может быть формирование крупномасштабного меридионального поля, тем самым замыкая цикл. Десятилетием позже математическая формулировка этого сценария, известная как электродинамика среднего поля, была развита М. Штейнбеком и Ф. Краузе [*Steenbeck, Krause, 1969*], а сам механизм получил название « α -эффект».

Учитывая, что α -эффект Паркера обязан конвективным движениям и что Солнце вращается на поверхности дифференциально, конвективная зона Солнца, казалось бы, – самое подходящее место для динамо. Действительно, многие ранние теоретические модели, в которых действие динамо распределялось по всей конвективной зоне, успешно воспроизводили некоторые из главных качественных характеристик крупномасштабного солнечного магнитного поля (см., например, [*Stix, 1976*]). Однако позже Е.Н. Паркер [*Parker, 1979*] показал, что за счет положительной плавучести замагниченная плазма будет подниматься вверх до фотосферы за время, значительно меньшее периода солнечного цикла. За столь короткое время нахождения в пределах конвективной зоны магнитные поля пятен не успеют усилиться до наблюдаемых значений. Этот результат требовал качественного пересмотра существовавших на тот момент теорий динамо.

Эндогенные гипотезы солнечной цикличности: интерфейс динамо

Д.Дж. Галловей и Н.О. Вайс [*Galloway, Weiss, 1981*] предложили альтернативную идею для солнечного динамо, а именно: динамо может быть расположено в тонкой устойчиво стратифицированной переходной области между зоной конвекции и лучистой зоной. В этой области магнитный поток оказывается менее чувствительным к неустойчивостям, связанным с магнитной плавучестью, поэтому здесь возможна генерация более сильных тороидальных полей. Предположение, что солнечное динамо может работать вокруг основания конвективной зоны, было подтверждено данными гелиосейсмологии о распределении дифференциального вращения в недрах Солнца [*Thompson, 2004*]. Слой заметного радиального шира около основания конвективной зоны, обычно называемый тахоклином [*Spiegel, Zahn, 1992*], является переходной областью между зоной конвекции с относительно слабым дифференциальным вращением и почти твердотельно вращающейся лучистой зоной. Используя это открытие, Е.Н. Паркер [*Parker, 1993*] сформулировал новую модель, известную как интерфейс динамо. В этой модели принимается, что тороидальное поле генерируется посредством вытягивания полоидального поля в тахоклине. Новое сгенерированное тороидальное поле становится со временем неустойчивым из-за магнитной плавучести и поднимается в зону конвекции, которая действует как фильтр, позволяя только самому сильному полю продолжать подниматься к поверхности и появляться там в виде активных областей. Более слабые поля захватываются конвекцией и преобразуются через α -эффект в полоидальное поле, которое в результате турбулентной накачки опускается вниз в область тахоклина, где цикл повторяется. В этой модели удается устранить ряд принципиальных трудностей прежних теорий за счет того, что два механизма генерации пространственно разделены: α -эффект работает в турбулентном конвективном слое, а ω -эффект – в шировом слое внизу.

Новый метод прогноза циклов

Несмотря на значительные успехи в теоретическом осмыслении механизмов динамо [Bushby, Mason, 2004; Thompson, 2004], пока удается получить из вычислений только 11-летние циклы с постоянной амплитудой и длительностью, а также качественно описать диаграмму «бабочек» Маундера. Варьируя параметры подгонки, содержащиеся в различных модификациях теории солнечного динамо (скорости дифференциального вращения и меридиональных течений, характеристики крутильных колебаний, коэффициенты турбулентной вязкости и т.д.), можно также описать наблюдаемые вариации величин максимумов циклов от $WM=50$ до $WM=200$ и длительности циклов от 9 лет до 15 лет, а также получить длительные минимумы типа минимума Маундера [Brandenburg, Spiegel, 2008]. Однако никакой прогностической ценности такие расчеты не имеют, поскольку временной ход этих вариаций неизвестен. Если окажется, что эти вариации носят чисто стохастический характер, проблема прогноза солнечной цикличности перейдет в разряд неразрешимых.

Полагаем, что в случае детерминированных вариаций высот и длительностей циклов можно попытаться эмпирически найти управляющие этими вариациями механизмы по их проявлениям в тех или иных характеристиках циклов, а затем «встроить» эти механизмы в современные количественные теории прогноза.

В качестве одной из таких попыток в настоящей статье исследуется взаимосвязь между количеством беспятенных дней (дни, когда Солнце полностью свободно от пятен) на фазе минимума цикла с основными характеристиками последующего цикла: его высотой, общей длительностью и длительностью ветви роста цикла. Необходимые для исследования данные были взяты на сайтах [ftp://ftp.ngdc.noaa.gov/STP/SOLAR_DATA/SUNSPOT_NUMBERS/INTERNATIONAL/yearly/YEARLY; http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_solar_cycles] и приведены ниже в таблице. Заметим, что таблица начинается с 10-го цикла, поскольку для более ранних циклов суммы беспятенных дней не определены.

Исходные данные для построения прогностических графиков

N next	$\Sigma DT0$	WM	RW	DW	DTmm
10	654	95.8	4.1	7.1	11.2
11	406	139.0	3.4	8.3	11.7
12	1028	63.7	5.0	5.7	10.7
13	736	85.1	4.5	7.6	12.1
14	938	63.5	5.3	6.6	11.9
15	1019	103.9	4.0	6.0	10.0
16	534	77.8	4.8	5.4	10.2
17	568	114.4	3.6	6.8	10.4
18	269	151.6	3.3	6.8	10.1
18	446	190.2	3.6	7.0	10.6
20	227	105.9	4.0	7.6	11.6
21	272	155.4	3.4	6.9	10.3
22	273	157.6	2.8	6.8	9.7
23	309	119.6	3.5	8.7	12.2

Примечание. Nnext – номер следующего цикла; $\Sigma DT0$ – сумма беспятенных дней перед следующим циклом; WM – среднегодовое число Вольфа в максимуме следующего цикла; RW – длина ветви роста (в годах) следующего цикла; DW – длина ветви спада (в годах) следующего цикла; DTmm – общая длительность следующего цикла.

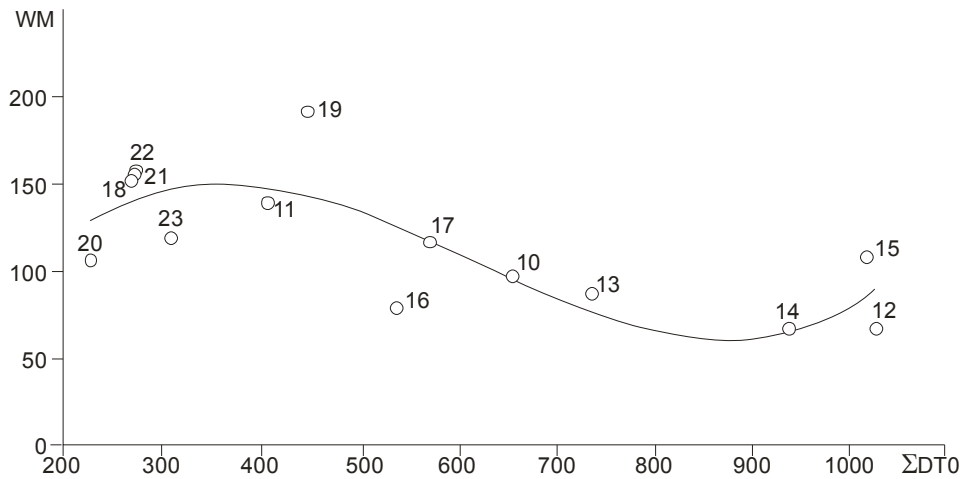


Рис. 1. Зависимость максимального среднегодового значения числа Вольфа WM от суммы беспятенных дней $\Sigma DT0$ в предшествующем минимуме. Кружки на рис. 1–5 – экспериментальные данные (числа – номера циклов), кривая – аппроксимирующий полином 3-й степени. Среднеквадратичное отклонение точек от кривой около 6 единиц числа WM.

На основании данных приведенной выше таблицы были построены прогностические графики, приведенные на рис. 1–3. Входным параметром на всех этих графиках является величина $\Sigma DT0$ – сумма беспятенных дней перед следующим циклом.

По данным сайта [<http://www.spaceweather.com/>], на июль 2010 г. сумма беспятенных дней в предшествующем 24-му циклу минимуме составляла значение $\Sigma DT0 = 800$. Согласно графику, представленному на рис. 1, этому значению $\Sigma DT0$ соответствует число Вольфа в максимуме 24-го цикла $WM = 63$.

Исходя из значения $\Sigma DT0 = 800$, по графику, приведенному на рис. 2, получаем для длительности ветви роста 24-го цикла величину $RW = 4.8$ года.

Прогноз полной длительности 24-го цикла DT_{mm} (в годах) по числу беспятенных дней $\Sigma DT0 = 800$ в предшествующем 24-му циклу минимуме был сделан нами на основании рис. 3. Оказалось, что $DT_{mm}(24) = 12.6$ года.

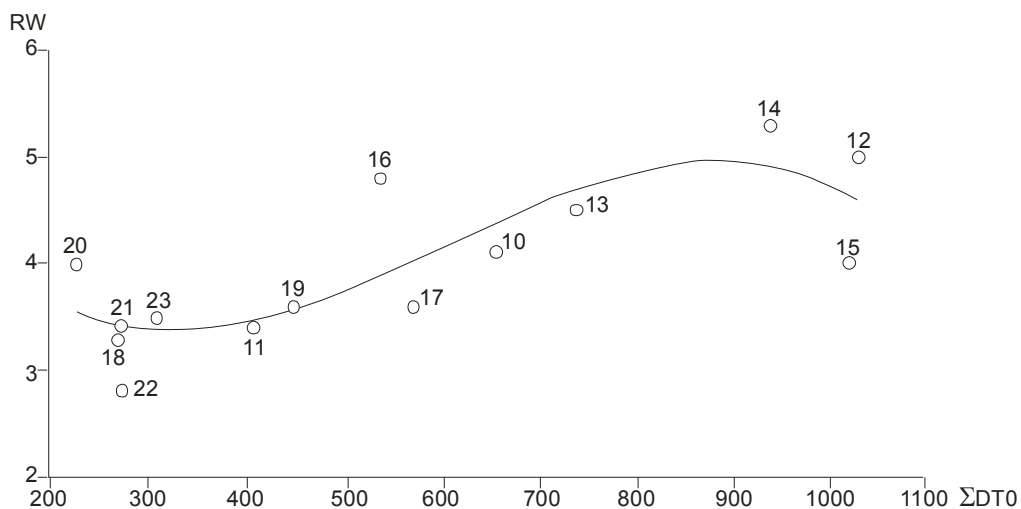


Рис. 2. Длительность ветви роста цикла RW (в годах) как функция суммы беспятенных дней $\Sigma DT0$ в предшествующем минимуме. Среднеквадратичное отклонение точек от аппроксимирующего полинома 3-й степени около 0.5 года

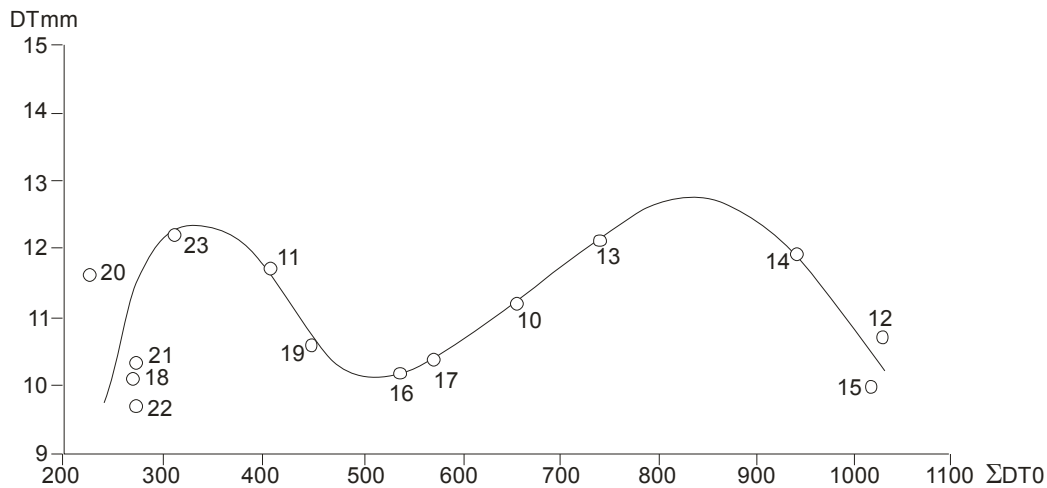


Рис. 3. Взаимосвязь полной длительности цикла DT_{mm} (в годах) и числа беспятенных дней ΣDT_0 в предшествующем минимуме. Среднеквадратичное отклонение точек от кривой, проведенной по методу наименьших квадратов, составляет 0.5 года

Как показали наши исследования, временные характеристики 24-го цикла (общая длина цикла, а также длины ветвей роста и спада) оказались близкими к соответствующим параметрам 9-го цикла [<http://www.izmiran.ru/services/saf/?LANG=ru>]. Другими словами, формы 24-го и 9-го циклов оказались подобными. Нормируя числа Вольфа 9-го цикла на максимум $WM(24) = 63$ и приняв для начала 24-го цикла январь 2009 г. [<http://www.izmiran.ru/services/saf/?LANG=ru>], получили прогноз среднегодовых величин чисел Вольфа для 24-го цикла, представленный на рис. 4. Здесь же для сравнения приведены наблюдаемые данные для 23-го цикла.

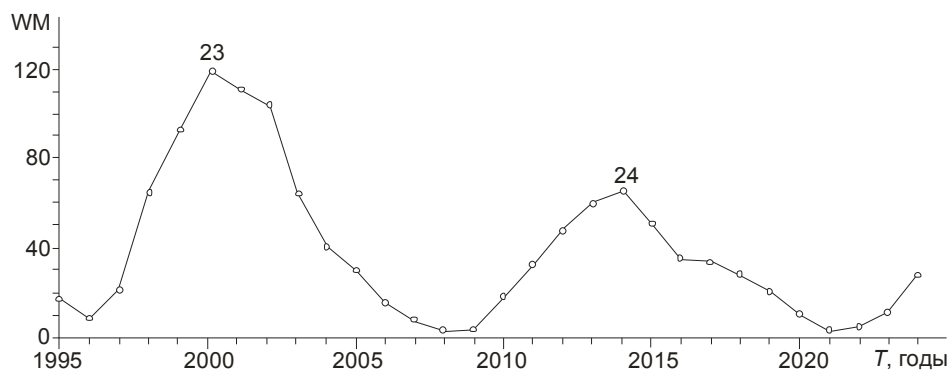


Рис. 4. Среднегодовые числа Вольфа в 23-м и 24-м циклах

Чтобы продемонстрировать необычность 24-го цикла, на рис. 5 приведены все циклы с 1700 г. по настоящее время [ftp://ftp.ngdc.noaa.gov/STP/SOLAR_DATA/SUNSPOT_NUMBERS/INTERNATIONAL/yearly/YEARLY]. К этим 28 циклам добавлен наш прогноз 24-го цикла. Прямая линия, параллельная оси времени, проведена на уровне $WM = 63$, что соответствует максимальной высоте 24-го цикла. Хорошо видно, что за последние три столетия наблюдалось всего 6 таких низких циклов, причем они имели тенденцию группироваться парами: около 1710, 1810 и 1900 гг., т.е. с интервалом примерно 100 лет между парами. Поскольку очередной низкий цикл № 24 также отстоит от последней пары примерно на 110 лет, можно предполагать, что за ним по-

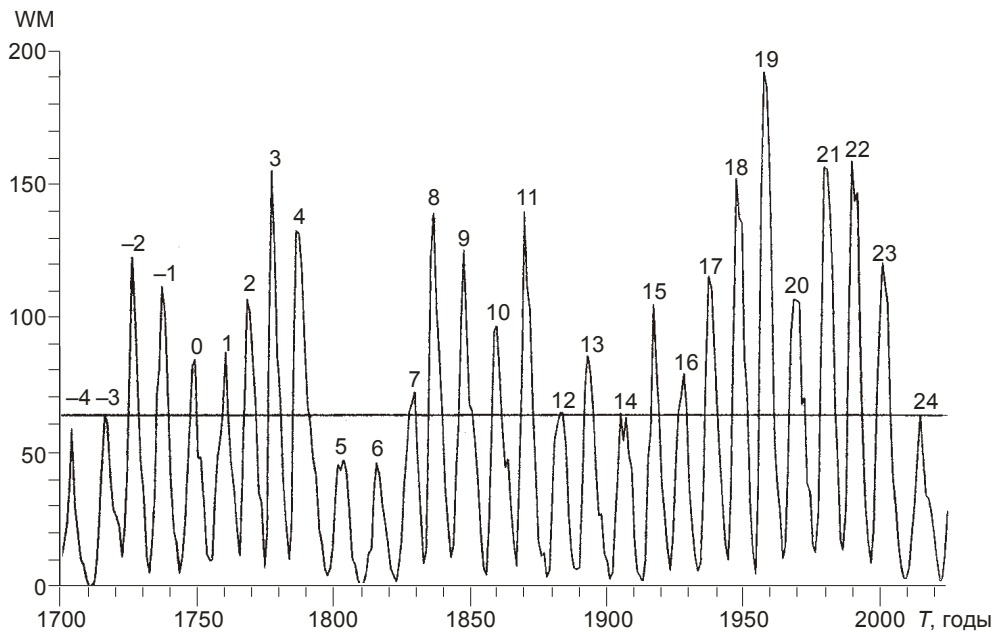


Рис. 5. Солнечная цикличность с 1700 по 2020 г.

следует еще один низкий цикл (сразу, как в 1810 г., или через один более высокий цикл, как в 1900 г.), а затем начнется рост солнечной активности, что имело место для всех низких пар циклов в прошлом.

На основании приведенных выше аргументов можно сделать вывод, что в ближайшие несколько десятков лет не ожидается наступления нового минимума Маундера и связанного с ним значительного похолодания.

Заключение

Для 24-го цикла солнечной активности, с учетом величины $\sum DT0 = 800$ для суммы беспятенных дней в предшествующем минимуме (данные на июль 2010 г. [<http://www.spaceweather.com/>]) как входного параметра для прогностических графиков, представленных на рис. 1–3, и приняв за дату начала цикла январь 2009 г. [<http://www.izmiran.ru/services/saf/?LANG=ru>], получены следующие основные характеристики 24-го цикла: начало – 2009.0 (январь 2009 г.); длительность ветви роста – $RW = 4.8$ года; дата максимума – 2013.8 (октябрь 2013 г.); значение числа Вольфа в максимуме – $WM = 63$; длина ветви спада – $DW = 7.8$ года; полная длительность цикла – $DTmm = 12.6$ года; конец цикла – 2021.6 (июль 2021 г.).

Заметим, что графики на рис. 1–3 имеют существенно нелинейный вид. Полагаем, что это – следствие нелинейности физических процессов, определяющих функционирование механизмов динамо. Необходимы дальнейшие исследования, чтобы выявить, какие именно нелинейные процессы отражаются в графиках, представленных на рис. 1–3, и в дальнейшем включить их в современные теории динамо.

С учетом параметров 24-го цикла и с использованием факта подобия форм 24-го и 9-го циклов [http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_solar_cycles] были вычислены среднегодовые значения чисел Вольфа. Они даны в виде графика (рис. 4), который может быть полезен для прогноза космической погоды и солнечно-земных связей.

В заключение отметим, что нами было рассмотрено только крупномасштабное динамо, описывающее регулярные упорядоченные крупномасштабные магнитные поля на Солнце. Мелкомасштабные магнитные поля, регистрируемые на поверхности Солнца, могут быть также следствием механизма динамо. Однако это фотосферное динамо, имеющее большое значение для объяснения процессов энерговыделения во вспышках и источников нагрева короны, вследствие сильной локализации значительно отличается от крупномасштабного динамо и поэтому обычно рассматривается отдельно [Henoux, Somov, 1987; Somov, 1992; Cattaneo, Hughes, 2001]).

Литература

- Власов В.А., Гудзенко Л.И., Чертопруд В.Е. Движение планет и циклическая активность Солнца: энергетические оценки // Краткие сообщения по физике. М.: ФИАН, 1974. № 12. С. 9–11.
- Долгинов А.З., Каминкер А.Д., Шибанов Ю.А. О корреляции активности Солнца с приливными силами // Астрон. вестн. 1972. Т. VI, № 3. С. 195–199.
- Кожевников Н.И., Хлыстов А.И. К проблеме влияния планет на солнечную активность // Солнечные данные. 1977. № 3. С. 64–67.
- Прокудина В.С. Изучение возможной взаимосвязи 22-летнего и 80-летнего циклов солнечной активности и движения барицентра Солнечной системы // Тр. ГАИШ. 1995. Т. LXIV, ч. 1. С. 145–157.
- Хлыстов А.И. К вопросу о приливах на Солнце // Астрон. циркуляр. 1977а. № 951. С. 1.
- Хлыстов А.И. О возможности резонансного усиления приливов в конвективной зоне Солнца // Солнечные данные. 1977б. № 10. С. 78.
- Хлыстов А.И. Амплитуды резонансных колебаний на Солнце // Астрон. циркуляр. 1977в. № 951. С. 2.
- Хлыстов А.И. Резонансные колебания на Солнце с учетом трения // Астрон. циркуляр. 1978а. № 978. С. 1.
- Хлыстов А.И. Оценка вклада различных планет в амплитуду резонансных колебаний на Солнце // Астрон. циркуляр. 1978б. № 978. С. 3.
- Хлыстов А.И. Амплитуды резонансных колебаний на Солнце в стационарном режиме // Астрон. циркуляр. 1978в. № 981. С. 2.
- Хлыстов А.И. Нестационарный режим колебаний конвективной зоны Солнца // Астрон. циркуляр. 1978г. № 985. С. 3.
- Хлыстов А.И. Движения Солнца вокруг барицентра Солнечной системы и солнечная активность // Вестн. Киев. ун-та. 1982. Вып. 24. С. 61–65.
- Хлыстов А.И., Долгачев В.П., Доможилова Л.М. Барицентрическое движение Солнца и солнечно-земные связи // Биофизика. 1992. Т. 37. Вып. 3. С. 547–553.
- Хлыстов А.И., Долгачев В.П., Доможилова Л.М. Исследование периодичностей в барицентрическом движении Солнца на протяжении 2045 лет // Кинематика и физика небесных тел. 1994. Т. 10, № 1. С. 84–87.
- Хлыстов А.И., Долгачев В.П., Доможилова Л.М. О влиянии барицентрического движения Солнца на солнечную активность // Тр. ГАИШ. 1995. Т. LXIV, ч. 1. С. 91–102.
- Blackman R.B., Tukey J.W. The measurement of power spectra from the point of view of communication engineering. New York: Dover Publ. Inc., 1958. 128 p.
- Blizard J.B. Solar Motion and Solar Activity // BAAS. 1981. V. 13. P. 876.

- Brandenburg A., Spiegel E.A.* Modeling a Maunder minimum // *Astron. Nachr.* 2008. V. 329. Iss. 4. P. 351–358.
- Brown E.W.* A possible explanation of the sun-spot period // *Mon. Not. R.A.S.* 1900. V. 60. P. 599–606.
- Bushby P., Mason J.* Understanding the solar dynamo // *Astron. Geophys.* 2004. V. 45. Iss. 4. P. 4.7–4.13.
- Cattaneo F., Hughes D.W.* Solar dynamo theory: Solar dynamo theory: a new look at the origin of small-scale magnetic fields // *Astron. Geoph.* 2001. V.42. Iss. 3. P. 3.18–3.22.
- Charvatova I.* On the relation between solar motion and the solar activity in the years 1730–80 and 1910–60 a.d. // *Bull. Astron. Inst. Chech.* 1990. V. 41, N 3. P. 200–204.
- Cohen T.J., Lintz P.R.* Long term periodicities in the sunspot cycle // *Nature.* 1974. V. 250, N 5465. P. 398–400.
- Edmonds F.B.* The Sun-spot Period // *Nature.* 1882. V. XXVI. P. 292.
- Fairbridge R.W., Shirley J.H.* Prolonged minima and the 179-year cycle of the solar inertial motion // *Sol. Phys.* 1987. V.110, N 1. P. 191–210.
- Galloway D.J., Weiss N.O.* Convection and magnetic fields in stars // *Astroph. J.* 1981. V. 243, pt. 1. P. 945–953.
- Hale G.E.* On the probable existence of a magnetic field in Sun-spots // *Astroph. J.* 1908. V. 28. P. 315–343.
- Hale G.E.* Preliminary results of an attempt to detect the general magnetic field of the Sun // *Astroph. J.* 1913. V. 38. P. 27–98.
- Henoux J.C., Somov B.V.* Generation and structure of the electric currents in a flaring activity complex // *Astron. Astrophys.* 1987. V. 185, N 1/2. P. 306–314.
- Jose P.D.* Sun's motion and sunspots // *Astron. J.* 1965. V. 70, N 3. P. 193–200.
- Khlystov A.I., Dolgachev V.P., Domozhilova L.M.* Barycentric movement of the Sun and Solar-Terrestrial relations // *Biophysics.* 1992. V. 37, N 3. P. 455–460.
- Maunder E.W.* The Sun and Sun-spots, 1820–1920 // *Month. Not. R.A.S.* 1922. V. 82. P. 534–543.
- Okal E., Anderson D.L.* On the planetary theory of sunspots // *Nature.* 1975. V. 253, N 5492. P. 511–513.
- Parker E.N.* Hydromagnetic dynamo models // *Astroph. J.* 1955. V. 122. P. 293–314.
- Parker E.N.* *Cosmical magnetic fields: Their origin and their activity.* 1979. Oxford, Clarendon Press; New York, Oxford University Press, 1979. 858 p.
- Parker E.N.* A solar dynamo surface wave at the interface between convection and nonuniform rotation // *Astroph. J.* 1993. V. 408, N 2. P. 707–719.
- Schove D.J.* The earliest dated Sunspot // *J. Brit. Astron. Assoc.* 1950. V. LXI. P. 22–25.
- Schuster A.* The influence of planets on the formation of Sun-spots // *Nature.* 1911. V. 86. P. 166.
- Schwabe H.* *Sonnen-Beobachtungen im Jahre 1843* // *Astron. Nachrichten.* 1843. N 21. P. 234–236.
- Somov B.V.* *Physical processes in Solar Flares.* Dordrecht: Kluwer Acad. Publ., 1992. 249 p.
- Spiegel E.A., Zahn J.-P.* The Solar tachocline // *Astron. Astrophys.* 1992. V. 265. P. 106–114.
- Steenbeck M., Krause F.* On the dynamo theory of stellar and planetary magnetic fields. I. AC dynamos of Solar type // *Astron. Nachr.* 1969. V. 291. P. 49–84.
- Stix M.* Differential rotation and the Solar dynamo // *Astron. Astrophys.* 1976. V. 47, N 2. P. 243–254.
- Thompson M.J.* Solar interior: Helioseismology and the Sun's interior // *Astron. Geophys.* 2004. V. 45, iss. 4. P. 4.21–4.25.
- Wolf R.* *Mittheilungen uber Sonnenflecken VIII* // *Vierteljahrsschrift der Naturforschenden Gesellschaft in Zurich.* 1859. IV. P. 183–205.
- Wood R.M., Wood K.D.* Solar motion and sunspot comparison // *Nature.* 1965. V. 208, N 5006. P. 129–131.

Сведения об авторах

ХЛЫСТОВ Анатолий Ильич – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник отдела физики Солнца ГАИШ МГУ. 119992, г. Москва, В-234, Университетский пр., д. 13. Тел.: (495) 939-19-73. E-mail: khlai@rambler.ru

СОМОВ Борис Всеволодович – доктор физико-математических наук, профессор, заведующий отделом физики Солнца ГАИШ МГУ. 119992, г. Москва, В-234, Университетский пр., д. 13. Тел.: (495) 939-16-44. E-mail: somov@sai.msu.ru

**THE FORECAST OF BASIC PARAMETERS OF 24th CYCLE
VIA THE AMOUNT OF SPOTLESS DAYS
IN A PREVIOUS MINIMUM**

A.I. Khlystov, B.V. Somov

Sternberg State Astronomical Institute, Lomonosov State University, Moscow, Russia

Abstract. In the present article we have undertaken attempt to connect amount of spotless days in a minimum of a cycle with the basic characteristics of the subsequent cycle: its height, full duration and the length of the branch of growth. Accepting for the sum of spotless days before the beginning of 24th cycle $\sum DT_0 = 800$ (July, 2010), we have received following characteristics of 24th cycle: the beginning of the cycle 2009.0 (January, 2009); duration of the branch of growth $RW = 4.8$ years; maximum date 2013.8 years (October, 2013); Wolf number in a maximum of the cycle $WM = 63$; length of the branch of recession $DW=7.8$ years; full duration of the cycle $DT_{mm} = 12.6$ years; the end of the cycle 2021.6 (July, 2021).

Keywords: solar activity, cycle, forecast, spotless days.