

УДК 523.9

Х. И. Абдусаматов

Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН
65, Пулковское шоссе, Санкт-Петербург 196140
abduss@gao.spb.ru

О новом критерии определения времени минимума солнечного цикла

В качестве нового дополнительного критерия определения времени минимума между циклами предлагается использовать минимальный уровень сглаженных значений солнечной постоянной в период минимума пятенной активности. Индикатором определения времени минимума между циклами служит время достижения минимального уровня среднемесячных значений интегрального потока излучения Солнца, сглаженных за тринадцать месяцев, когда четыре последних его значения становятся больше предшествующей точки минимума. Новый критерий успешно опробован для определения времени предыдущих минимумов между циклами 21 и 22, 22 и 23, 23 и 24.

ПРО НОВИЙ КРИТЕРІЙ ВИЗНАЧЕННЯ ЧАСУ МІНІМУМУ СОНЯЧНОГО ЦИКЛУ, Абдусаматов Х. І. — За новий додатковий критерій визначення часу мінімуму між циклами пропонується використовувати мінімальний рівень згладжених значень сонячної постійної у період мінімуму плямової активності. Індикатором визначення часу мінімуму між циклами служить момент досягнення мінімального рівня середньомісячних значень інтегрального потоку випромінювання Сонця, згладжених за тринадцять місяців, коли чотири останні його значення стають більшими за попередню точку мінімуму. Новий критерій успішно випробувано для визначення часу попередніх мінімумів між циклами 21 і 22, 22 і 23, 23 і 24.

ON A NEW CRITERION FOR THE DETERMINATION OF THE TIME OF THE MINIMUM OF A SOLAR CYCLE, by Abdussamatov H. I. — The smoothed minimal level of the total solar irradiance is proposed as a new physically justified criterion for the determination of the time of minimum between solar cycles during the sunspot activity minimum. The minimal level of the total solar irradiance values averaged through a month and smoothed for 13 months when the last four of the values exceed the preceding value at the point of minimum shows the time of minimum between the cycles. The new criterion was successfully used for the determination of the

time of the preceding minima between the cycles 21 and 22, 22 and 23, as well as 23 and 24.

Продолжительность 11-летнего цикла в целом зависит от фазы двухвекового цикла Солнца и последовательно увеличивается от фазы роста к фазам максимума и спада двухвекового цикла [2, 4]. Максимальная продолжительность (12.6 лет), зафиксированная для 23-го солнечного цикла за более чем 150-летний период их надежных наблюдений, дополнительно подтверждает наступление фазы активного спада двухвекового цикла. В длительном глубоком минимуме между циклами 23 и 24 появление пятен стало редким событием, а подсчет относительного числа W солнечных пятен из-за низкой их флуктуации стал недостаточно уверенным количественным физическим параметром для определения времени минимума солнечного цикла (рис. 1 и таблица). Ситуация с определением времени минимумов между предстоящими циклами, особенно в эпоху грядущего глубокого долговременного минимума двухвековой пятенной активности, еще более усугубится в связи с еще большим прогнозируемым падением относительного числа солнечных пятен и из-за его околонулевой флуктуации в течение длительного времени в этих циклах [1, 3, 6—10]. Кроме того, относительное число солнечных пятен количественно не отражает физику процесса циклических вариаций Солнца и практически является условным качественным «зашумленным» параметром. Поэтому определение точного времени минимума между последующими

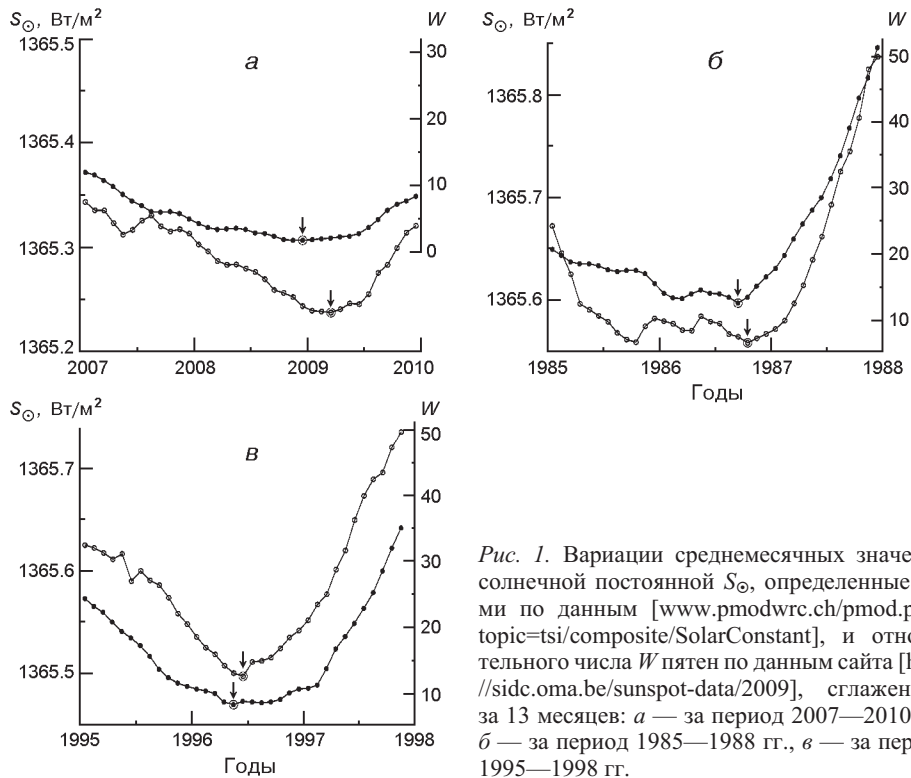


Рис. 1. Вариации среднемесячных значений солнечной постоянной S_{\odot} , определенные нами по данным [www.pmodwrc.ch/pmod.php?topic=tsi/composite/SolarConstant], и относительного числа W пятен по данным сайта [http://sidc.oma.be/sunspot-data/2009], сглаженные за 13 месяцев: а — за период 2007—2010 гг., б — за период 1985—1988 гг., в — за период 1995—1998 гг.

Сглаженные за 13 месяцев значения солнечной постоянной S^{\min} и относительного числа пятен W^{\min} в минимумах циклов 21/22, 22/23 и 23/24 и даты достижения минимумов

Циклы	Дата минимума (по ряду W)	Дата минимума (по ряду S_{\odot})	W^{\min}	S^{\min}_{\odot} , Вт/м ²	S_{\odot} $S_{\odot}(1986)$, Вт/м ²
21/22	сентябрь 1986 г.	октябрь 1986 г.	12.3	1365.57±0.02	0
22/23	май 1996 г.	июнь 1996 г.	8.0	1365.50±0.02	0.07
23/24	декабрь 2008 г.	март 2009 г.	1.7	1365.24±0.02	0.33

циклами, которые будут происходить в период фаз спада и в эпоху глубокого минимума двухвекового цикла, может потребовать ввода нового дополнительного критерия определения времени минимума между циклами, основанного на количественном измерении глобального физического параметра Солнца.

В работе [5] нами ранее был предложен оптимальный метод определения времени наступления минимума между солнечными циклами по времени достижения минимального уровня среднемесячных значений солнечной постоянной S_{\odot} , количественно представляющей глобальный физический параметр и отражающей физику процесса циклических вариаций жизнедеятельности Солнца. Используя ежедневные значения S_{\odot} , приведенные на сайте [www.pmodwrc.ch/pmod.php?topic=tsi/composite/SolarConstant] до 29 ноября 2008 г., мы определили, что минимум 23-го цикла наступит в июле 2008 г. Однако позже авторы обнаружили ошибки в данных за 2008 г. Ошибки были исправлены авторами и приведены уже с существенными коррекциями. Кроме того, на период выполнения данной работы появились более точные и полные данные о значениях солнечной постоянной по 20 сентября 2010 г. (рис. 1, 2). В результате новых расчетов ход среднемесячных значений солнечной постоянной в фазе минимума между циклами 23 и 24 существенно изменился. Поэтому, учитывая недостаточно высокую точность и надежность измерений солнечной постоянной в настоящее время, мы несколько усовершенствовали предложенный нами ранее метод определения времени наступления минимума солнечного цикла, сглаживающего недостатки измерений солнечной постоянной в настоящее время [11]. Кроме того, теперь мы можем также использовать более точные и более полные данные по S_{\odot} за последние 2009 и 2010 гг.

Индикатором определения времени наступления минимума между циклами мы предлагаем считать время достижения минимального уровня среднемесячных значений интегрального потока излучения Солнца, сглаженных за тринадцать месяцев, когда четыре последних его значения становятся больше предшествующей точки минимума вблизи абсолютного минимума по относительным числам пятен. 13-месячное сглаживание S_{\odot} позволяет практически избавиться от влияния случайных среднемесячных флуктуаций значений солнечной постоянной, связанных с прохождением по диску Солнца редких мелких пятен и незначительных факельных полей в период фазы миниму-

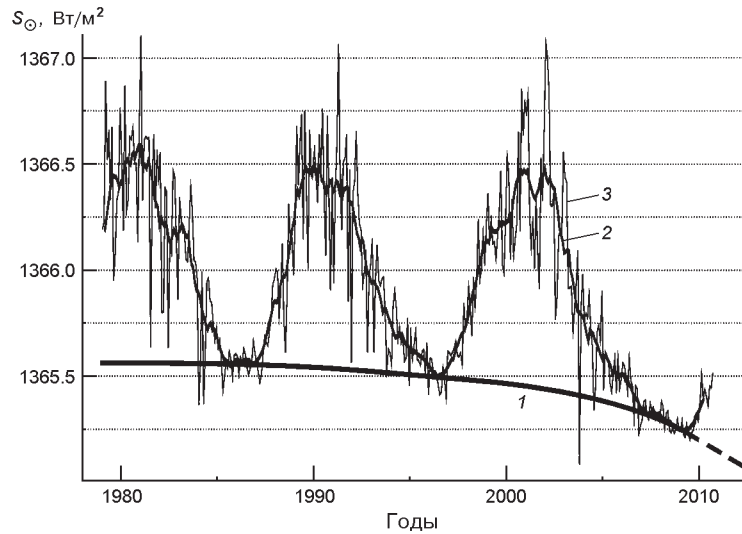


Рис. 2. Двухвековые (линия 1), среднегодовые (линия 2) и среднемесячные (линия 3) вариации значений солнечной постоянной за период с 16 ноября 1978 г. по 20 сентября 2010 г.

ма цикла. Предложенный метод определения по четырем точкам роста S_{\odot} после ее минимума в целом надежно может установить точное время достижения минимума между солнечными циклами, поскольку минимум в сглаженных среднемесячных значениях солнечной постоянной проявляется более отчетливо, нежели в относительных числах пятен. С повышением надежности и точности прямых измерений величины солнечной постоянной в дальнейшем может появиться возможность постепенного перехода от 13-месячных сглаживаний к 11-месячным, а затем, возможно, и к 9-месячным сглаживаниям.

Ввод такого нового дополнительного критерия определения времени минимума между циклами стал особенно актуален также и в связи с предстоящим дальнейшим общим спадом уровня двухвекового цикла, когда последовательно будет снижаться и амплитуда вариации пятенной активности Солнца в последующих циклах 24—27 [1, 3, 4, 6—8]. Неуверенность определения времени минимума между предстоящими циклами в эпоху долговременного спада, и особенно в период глубокого минимума двухвекового цикла, когда появление пятен станет очень редким событием, может затянуться на больший промежуток времени после достижения минимума [3, 6, 8, 9]. Предложенный нами новый дополнительный критерий определения времени достижения минимума цикла по сглаженному за 13 месяцев минимальному уровню значений солнечной постоянной позволит более надежно определять время этих событий, особенно в предстоящих циклах 24—27, которые будут протекать в фазах спада и глубокого минимума двухвекового цикла. Значения градиентов вариаций сглаженных среднемесячных значений солнечной постоянной в предстоящих минимумах между циклами будут непременно значительно больше, чем соответствующие значения градиентов изменения относительного числа

солнечных пятен. При этом сглаженный минимальный уровень значений солнечной постоянной целиком и количественно отражает физику процесса глобальных циклических вариаций жизнедеятельности Солнца и не является качественным параметром, как практически условный и зашумленный параметр относительного числа пятен.

С целью проверки надежности и жизнеспособности предложенного метода на основе использования данного дополнительного критерия нами проведена его апробация для определения времени наступления минимума между циклами 21 и 22, 22 и 23, 23 и 24 и их соответствия ранее определенным датам минимума по минимальным значениям сглаженного относительного числа пятен. Для проведения этих сопоставлений были построены соответствующие графики хода вариаций среднемесячных значений S_{\odot} , определенные нами из ее ежедневных значений, и относительного числа пятен W по данным сайта [<http://sidc.oma.be/sunspot-data/2009>], сглаженным за 13 месяцев вблизи минимума пятенной активности между циклами 21 и 22, 22 и 23, 23 и 24 (рис. 1). В результате подтверждено, что по сглаженным относительным числам пятен минимумы 21/22, 22/23 и 23/24 наблюдались в сентябре 1986 г., в мае 1996 г. и в декабре 2008 г. Согласно новому дополнительному критерию по уровню минимума сглаженных за 13 месяцев значений солнечной постоянной минимумы между циклами 21 и 22, 22 и 23, 23 и 24 наблюдались в октябре 1986 г., в июне 1996 г. и в марте 2009 г. соответственно (см. таблицу). Величины коэффициента корреляции между сглаженными за 13 месяцев значениями W и S_{\odot} вблизи минимума 21/22, 22/23 и 23/24 равны 0.95, 0.97 и 0.97 соответственно.

Время наступления минимума между циклами, определенное по новому дополнительному критерию, отстает от времени, определенного по сглаженному минимуму относительного числа солнечных пятен, на месяц между циклами 21 и 22, 22 и 23 и на три месяца между циклами 23 и 24. Причина такого отставания связана прежде всего с погрешностью среднемесячных исходных данных (1 мес), а также возможным влиянием наблюдаемого спада двухвековой составляющей солнечной постоянной [1, 3, 4]. Если наблюдаемые значения солнечной постоянной представляют собой сумму 11-летней и двухвековой составляющих, то нижняя огибающая линия на рис. 2, соединяющая сглаженные минимальные значения уровня солнечной постоянной в нескольких последовательных 11-летних циклах, представляет собой, по-видимому, составляющую её двухвековой циклической вариации.

Уменьшение двухвекового компонента солнечной постоянной в течение определенного промежутка времени (который зависит от градиента спада двухвековой составляющей и роста компонента нового 11-летнего цикла) после минимума между циклами (см. рис. 2) компенсирует увеличение 11-летней составляющей солнечной постоянной нового цикла в наблюдаемом общем ходе солнечной постоянной. Это уменьшение двухвековой составляющей и приводит, по-видимому, к некоторому запаздыванию времени начала 11-летней составляющей нового цикла, определяемого по минимуму солнечной постоянной

между циклами. Этот вопрос заслуживает дальнейшего специального исследования, в частности для более точного определения длительности отставания в фазе спада двухвекового цикла. Нам представляется, что время наступления минимума между циклами, определяемое по новому дополнительному критерию, опирающемуся на сглаженный количественный глобальный физический параметр, более соответствует истине в период фаз спада, и особенно в эпоху глубокого минимума двухвекового цикла, когда появление пятен станет очень редким событием в течение длительного времени. В глубоком минимуме между циклами 23 и 24, в марте 2009 г., величина солнечной постоянной, сглаженная за 13 месяцев, достигла рекордно низкого уровня 1365.24 ± 0.02 Вт/м², что на 0.33 Вт/м² и на 0.26 Вт/м² ниже, чем в минимуме между циклами 21 и 22 (октябрь 1986 г.) и 22 и 23 (июнь 1996 г.) соответственно (рис. 2). А сглаженное относительное число солнечных пятен в декабре 2008 г. также достигло самого низкого уровня и равнялось 1.7 (см. таблицу).

1. Абдусаматов Х. И. О долговременных вариациях потока интегральной радиации и возможных изменениях температуры в ядре Солнца // Кинематика и физика небес. тел.—2005.—**21**, № 6.—С. 471—477.
2. Абдусаматов Х. И. О времени завершения текущего солнечного цикла и зависимости продолжительности 11-летних циклов от фазы векового цикла // Кинематика и физика небес. тел.—2006.—**22**, № 3.—С. 183—186.
3. Абдусаматов Х. И. Об оптимальном прогнозировании высоты следующего 11-летнего цикла активности и нескольких последующих циклов на основе долговременных вариаций радиуса Солнца или солнечной постоянной // Кинематика и физика небес. тел.—2007.—**23**, № 3.—С. 141—147.
4. Абдусаматов Х. И. Самый продолжительный 23 цикл излучения и активности Солнца — свидетельство наступления глубокого минимума двухвекового цикла в 2042 году // Солнечная и солнечно-земная физика-2008: Тез. докл. Всерос. конф. по физике Солнца. — Санкт-Петербург, 2008.—С. 3—4.
5. Абдусаматов Х. И. Об оптимальном методе определения времени наступления минимума солнечного цикла 23 — июль 2008 года // Кинематика и физика небес. тел.—2009.—**25**, № 3.—С. 207—210.
6. Callebaut D. K., Makarov V. I. The advent of a grand minimum and climate effects // Солнечная активность, как фактор космической погоды: Тр. IX Пулковской междунар. конф. по физике Солнца. — Санкт-Петербург, 2005.—С. 161—168.
7. Clilverd M. A., Clarke E., Ulich T., et al. Predicting solar cycle 24 and beyond // Space Weather.—2006.—**4**.—S09005.
8. Eddy J. A. The Maunder minimum // Science.—1976.—**192**.—P. 1189—1202.
9. Eddy J. A. The Maunder minimum: A reappraisal // Solar Physics.—1983.—**89**.—P. 195—207.
10. Foukal P. A., Lean J. L. Magnetic modulation of solar luminosity by photospheric activity // Astrophys. J.—1988.—**328**.—P. 347—357.
11. Krivova N. A., Solanki S. K., Wenzler T. ACRIM-gap and total solar irradiance revisited: Is there a secular trend between 1986 and 1996? // Geophys. Res. Lett.—2009.—**36**.—P. L20101.

Поступила в редакцию 08.11.10