

УДК 523.982

## Развитие солнечной активности в 24-м цикле: сценарий среднего цикла?

*В.Г. Лоцицкий, В.М. Ефименко*

Астрономическая обсерватория Киевского национального университета им. Тараса Шевченко,  
Киев, Украина  
*lozitsky@observ.univ.kiev.ua, efim@observ.univ.kiev.ua*

Поступила в редакцию 29 марта 2012 г.

**Аннотация.** Для уточнения прогноза текущего цикла № 24 изучены особенности нарастания активности в предыдущих 23 циклах. Основное внимание уделено фазе быстрого роста активности, между 20-м и 32-м месяцами циклов. Обнаружена довольно тесная нелинейная зависимость между сглаженным числом Вольфа в максимуме циклов  $W_{\max}$  и приращением числа пятен между указанными месяцами, обозначенное ниже как  $W_{32} - W_{20}$ . Оказалось, что от последней величины зависит также промежуток времени между моментом максимума  $T_{\max}$  и 32-м месяцем цикла  $T_{32}$ . Из этого анализа следует, что максимальное сглаженное число Вольфа в 24-м цикле ожидается на уровне  $W_{\max} = 120 \pm 17$ , а момент максимума –  $2012.7 \pm 0.6$  г. Вероятность именно такого сценария оценивается величиной 80–85 %. Если этот прогноз оправдается, цикл № 24 будет весьма похож на предыдущий цикл № 23.

DEVELOPMENT OF SOLAR ACTIVITY IN CYCLE 24: SCENARIO OF THE MIDDLE CYCLE? by *V.G. Lozitsky and V.M. Efimenko*. For a more precise definition of the prediction of cycle 24, peculiarities of the growth of solar activity were studied in the previous 23 cycles. The interest was focused on the phase of a sharp increasing of activity, between the 20<sup>th</sup> and 32<sup>nd</sup> months of cycles. The sufficiently close non-linear dependence was found between the smoothed Wolf number in the cycle maximum  $W_{\max}$  and increment of sunspot numbers between the months indicated above; it is marked below as  $W_{32} - W_{20}$ . The interval between the time of maximum  $T_{\max}$  and time of the 32<sup>nd</sup> month  $T_{32}$  turned out to depend from  $W_{32} - W_{20}$ . From this analysis it follows that for cycle 24 the following parameters are expected to be:  $W_{\max} = 120 \pm 17$ , and time of maximum –  $2012.7 \pm 0.6$ . The probability of such a scenario is estimated as 80–85 %. If this prediction proves correct, cycle 24 will be quite similar to the previous cycle 23.

**Ключевые слова:** Солнце, солнечная активность, прогноз 24-го цикла

---

### 1 Введение

В настоящее время предложено несколько десятков прогнозов солнечной активности в текущем 24-м цикле. Упомянем лишь некоторые из них. Согласно Бадалян и др. (2001) текущий цикл будет весьма слабым – с максимальным сглаженным числом Вольфа  $W_{\max}$  около 50. Близкий по значению прогноз предложен также Свальгардом и др. (2005) –  $W_{\max} = 75 \pm 8$ .

Канэ (2007) и Пишкало (2008) оценивают параметр  $W_{\max}$  значениями  $142 \pm 24$  и  $110.2 \pm 33.4$  соответственно. Дикпати и др. (2006) заключают, что этот цикл будет достаточно мощным – на 30–50 % выше, чем предыдущий цикл № 23. Годы максимумов также существенно различаются у разных авторов – от 2010 до 2014 гг.

Важно отметить, что это различие оценок едва ли отражает какие-нибудь погрешности методов, которые были использованы различными авторами, – скорее оно отражает весьма сложную природу солнечной активности. С наблюдательной точки зрения солнечная активность выступает не как частично детерминированное, а частично стохастическое явление. Из-за стохастической компоненты предложенные прогнозы, в общем, являются тем хуже, чем больше временной промежуток между последними наблюдательными данными и самим прогнозом. В связи с этим, именно последние наблюдательные данные являются наиболее ценными для наиболее надежных прогнозов.

## 2 Данные и их анализ

Цикл № 24 начался в декабре 2008 г. На начало 2012 г. прошло более чем три года с начала цикла, и поэтому его основные особенности уже раскрылись в достаточной мере.

Хорошо известно, что этот цикл начался «с низкого старта» – при сглаженных относительных числах солнечных пятен (сглаженных числах Вольфа) в минимуме около 2 единиц. За первые 20 месяцев развития цикла активность не превышала 20 единиц, что обещало весьма слабый цикл. Однако в последний год, начиная с 24-го месяца цикла, общая картина развития активности заметно изменилась и число пятен начало быстро расти. В настоящее время кривая фазы роста активности весьма напоминает 10-й цикл (1856–1868 гг.).

В настоящей работе мы попытались предсказать дальнейшее развитие текущего цикла, основываясь именно на скорости роста его активности. Как было объяснено выше, наиболее обоснованной представляется гипотеза, что максимально удачный прогноз может быть сделан только по последним данным о фактических изменениях солнечной активности.

Данные о сглаженных числах Вольфа были взяты с сайта <http://www.solen.info/solar/>. Первоначально рассматривались два варианта построения диагностических зависимостей – для базового промежутка времени в полгода и один год. Однако оказалось, что временной промежуток в полгода является слишком коротким по сравнению с промежутком времени в один год: в первом случае коэффициенты корреляции между данными наблюдений и прогнозируемыми параметрами ниже, чем во втором. По-видимому, это связано с тем, что при более коротком интервале усреднения данных возрастает влияние кратковременных флуктуаций активности, которые и приводят к рассеиванию экспериментальных значений на диагностических зависимостях. Поэтому ниже представлены результаты анализа лишь для более длинного временного промежутка – длительностью в год, с 20-го по 32-й месяцы цикла. Разность соответствующих чисел Вольфа обозначим как  $W_{32} - W_{20}$  и рассмотрим статистическую связь с указанным параметром таких величин: а) сглаженного числа Вольфа  $W_{\max}$  в максимуме цикла и б) интервала между моментом максимума цикла  $T_{\max}$  и 32-м месяцем после начала цикла, который ниже обозначен через  $T_{32}$  (рис. 1 и 2).

Из рисунков 1 и 2 следует, что достаточно тесные нелинейные зависимости существуют между рассмотренными параметрами, что позволяет прогнозировать развитие текущего цикла. Коэффициент корреляции между параметром  $W_{\max}$  и величиной  $W_{32} - W_{20}$  равен  $r = 0.91 \pm 0.03$ , а между  $T_{\max} - T_{32}$  и  $W_{32} - W_{20}$  равен  $r = -(0.74 \pm 0.06)$ . Таким образом, число пятен в максимуме  $W_{\max}$  можно прогнозировать более уверенно, чем момент  $T_{\max}$  самого максимума.

Плавная линия на рис. 1 соответствует степенной зависимости

$$W_{\max} = 19.0 \times (W_{32} - W_{20})^{0.496} . \quad (1)$$

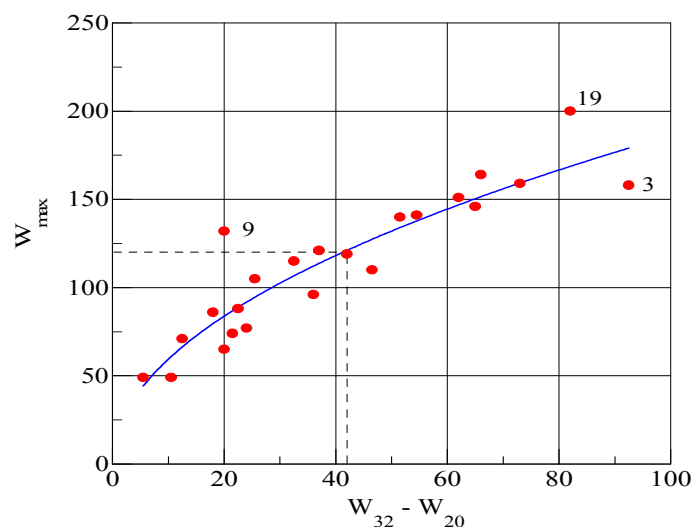
Соответствующая формула для разности  $T_{\max} - T_{32}$  найдена такой:

$$T_{\max} - T_{32} = 360.8 \times (W_{32} - W_{20})^{-0.938} . \quad (2)$$

Кратко (но в то же время достаточно точно) представленные зависимости можно охарактеризовать так: число Вольфа в максимуме  $W_{\max}$  пропорционально корню квадратному от разности  $W_{32} - W_{20}$ , а разность  $T_{\max} - T_{32}$  обратно пропорциональна разности  $W_{32} - W_{20}$ . Возможно, такие простые соотношения окажутся полезными в будущем при теоретических исследованиях физических механизмов солнечной активности.

По последним данным, число Вольфа с 20-го по 32-й месяцы цикла возросло на 42 единицы. Если со значением  $W_{32} - W_{20} = 42$  войти на представленные выше зависимости (см. штриховые линии на рисунках), то получаем  $W_{\max} \approx 120$  и  $T_{\max} - T_{32} \approx 11$  (последнее значение соответствует августу 2012 г.). С учетом среднеквадратичных отклонений этот результат записывается так:  $W_{\max} = 120 \pm 17$  и  $T_{\max} - T_{32} \approx 11 \pm 7.5$  (месяцев).

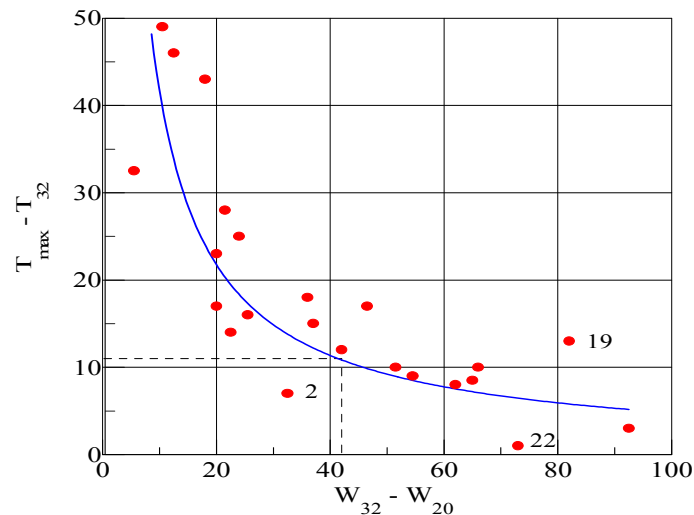
Таким образом, с позиций представленной выше интерпретации текущий цикл по мощности будет практически таким же, как и прошедший цикл № 23. Его максимум, скорее всего, будет во второй половине 2012 г. Хотя здесь не исключено и другое время, вплоть до марта 2013 г.



**Рис. 1.** Статистическая зависимость между числом Вольфа в максимуме цикла  $W_{\max}$  и величиной возрастания активности между 20-м и 32-м месяцами цикла, обозначенной как  $W_{32} - W_{20}$ . Плавная кривая, проведенная методом наименьших квадратов по экспериментальным точкам, соответствует формуле (1). Числа 3, 9 и 19 показывают наблюдательные данные для соответствующих циклов, которые имеют наибольшие отклонения от этой плавной линии

### 3 Заключение и дискуссия

Основной вывод из вышеназванных результатов состоит в том, что текущий цикл, по всей вероятности, будет весьма похож (по максимальному числу Вольфа) на предыдущий цикл № 23. Если это будет действительно так, то возникнет весьма интересная (и еще не наблюдавшаяся за последние 400 лет ситуация), когда будут иметь место две пары соседних «циклов-близнецов»: № 21 и 22 (с  $W_{\max} \approx 160$ ) и № 23 и 24 (с  $W_{\max} \approx 120$ ). Одновременно это будет означать, что широко ожидаемое снижение активности в вековом цикле пока откладывается. Действительно, если до значения  $W_{\max} \approx 120$  в цикле № 24 (как четном) добавить еще правило Гневешева-Оля, согласно которому последующий нечетный цикл № 25 должен быть мощнее цикла № 24, то на ближайшие  $\approx 10$  лет можно ожидать не снижения, а даже некоторого повышения солнечной активности.



**Рис. 2.** Интервал (в месяцах) между максимумом цикла  $T_{\max}$  и 32-м месяцем на зависимости от разности  $W_{32} - W_{20}$ . Плавная линия соответствует формуле (2). Как и на рис. 1, цифрами 2, 19 и 22 отмечены наблюдательные данные для соответствующих циклов, которые показывают максимальное отклонение от плавной линии

Конечно, столь важное заключение нуждается в тщательной проверке. В этой связи, следует критически рассмотреть рис. 1, который и является основанием для указанного прогноза.

Из этого рисунка можно видеть, что среднее отклонение наблюдаемых значений от усредняющей плавной кривой (1) близко к 20 единицам, однако для нечетных циклов № 3, 9 и 19 это отклонение значительно больше, а именно 46, 50 и 30 соответственно. Поскольку эти три цикла представляют лишь 13 % из всех 23 циклов, это может означать, что вероятность столь больших ошибок в представленном прогнозе около 10–15 %. По-видимому, эта вероятность еще ниже, поскольку 24-й цикл является четным – в противоположность нечетным циклам № 3, 9 и 19. Пока что неизвестно, почему данные для всех четных циклов тесно группируются вокруг зависимости (1), тогда как некоторые нечетные циклы показывают большие отклонения.

Второй источник вероятных ошибок – возможный локальный рост активности между 20-м и 32-м месяцами в 24-м цикле. Возможно, наблюдаемое значение  $W_{32} - W_{20} = 42$  в текущем цикле соответствует какому-нибудь локальному максимуму, а не усредненному ходу кривой фазы

Развитие солнечной активности в 24-м цикле

роста. В таком случае действительная разность может быть, например, 30 единиц, а соответствующее значение  $W_{\max} \approx 100$  (см. рис. 1).

Можно указать несколько циклов с такой «иррегулярной» кривой фазы роста, а именно циклы № 1, 6, 15, 16. Для всех этих циклов кривые роста активности были предварительно сглажены, с тем чтобы получить монотонный рост активности, и лишь затем находилось соответствующее значение  $W_{32} - W_{20}$ . Именно такие средние значения были добавлены к остальным при построении рис. 1 и 2. В результате, данные для циклов № 1, 6, 15 и 16 хорошо согласуются с другими данными, исключая лишь циклы № 3, 9 и 19, как указано выше. Это указывает на то, что выполненная процедура дополнительного сглаживания кривых роста не обусловила какие-нибудь специфические эффекты на рис. 1. С этой точки зрения, отклонение циклов № 3, 9 и 19 от общей зависимости имеет какую-то солнечную (не инструментальную) причину.

Таким образом, если текущий цикл № 24 не попадает в «компанию» циклов № 1, 6, 15 и 16 (примерно 17 % вероятности), то предложенный прогноз должен оправдаться.

## Литература

- Бадалян и др. (Badalyan O.G., Obridko V.N., Sýkora J.) // Solar Phys. 2001. V. 199. P. 421.  
Дикпати и др. (Dikpati M., de Toma G., Gilman P.A.) // Geophys. Res. Lett. 2006. V. 33. L05102.  
Канэ (Kane R.P.) // Solar Phys. 2007. V. 243. P. 205.  
Пишкало Н.И. // Кинем. и физ. небесн. тел. 2008. Т. 24. С. 370.  
Свальгаард и др. (Svalgaard L., Cliver E.W., Kamide Y.) // Geophys. Res. Lett. 2005. V. 32. L01104.