



УДК 523.982

## Прогноз максимуму сонячної активності у 24-му циклі

В.Г. Лозицький, В.М. Єфіменко

Київський національний університет імені Тараса Шевченка

Для уточнення прогнозу поточного циклу № 24 вивчені особливості наростання сонячної активності у попередніх 23 циклах. Основна увага зверталась на фазу швидкого росту активності, починаючи з 20-го місяця циклу. Виявлена досить тісна кореляція між згладженими числами Вольфа в максимумі циклів  $W_{\max}$  та збільшенням кількості плям на фазі росту активності. З такого аналізу випливає, що максимальне згладжене число Вольфа в 24-му циклі очікується на рівні  $W_{\max} = 105 \pm 11$ , а момент максимуму — в середині 2013 р.

*ПРОГНОЗ МАКСИМУМА СОЛНЕЧНОЇ АКТИВНОСТІ В 24-М ЦИКЛІ, Лозицький В.Г., Єфіменко В.М. — Для уточнення прогнозу текущего цикла № 24 изучены особенности нарастания солнечной активности в предыдущих 23 циклах. Основное внимание уделено фазе быстрого роста активности, начиная с 20-го месяца цикла. Виявлена довольно тесная корреляция между сглаженными числами Вольфа в максимуме циклов  $W_{\max}$  и приращением количества пятен на фазе роста активности. Из этого анализа следует, что максимальное сглаженное число Вольфа в 24-му цикле ожидается на уровне  $W_{\max} = 105 \pm 11$ , а момент максимума — в середине 2013 г.*

*FORECAST OF SOLAR ACTIVITY IN 24<sup>th</sup> CYCLE, by Lozitsky V.G., Efimenko V.M. — For more precise definition of prognosis of 24<sup>th</sup> cycle, the peculiarities of growth of solar activity was studied in previous 23 cycles. The interest was focused on a phase of sharp increasing of activity, beginning from 20<sup>th</sup> month of cycles. The sufficiently close correlation was found between smoothed Wolf's number in the cycle maximum  $W_{\max}$  and increment of sunspot's number on phase of activity increasing. From this analysis follows that for 24<sup>th</sup> cycle the following parameters are expected:  $W_{\max} = 105 \pm 11$ , and time of maximum — mean 2013.*

**Ключевые слова:** циклы солнечной активности; физика Солнца.

**Key words:** solar activity cycles; solar physics.

### 1. ВСТУП

На сьогодні запропоновано декілька десятків прогнозів сонячної активності у поточному циклі № 24. Згадаємо лише деякі з них. Згідно Бадалян та ін. [3], цей цикл буде досить слабким — з максимальним числом Вольфа  $W_{\max}$  близько 50. Близький по значенню прогноз запропонований Свальгаардом та ін. [6] —  $W_{\max} = 75 \pm 8$ . Кане [5] і Пішкало [1] оцінюють параметр  $W_{\max}$  значеннями  $142 \pm 24$  та  $110.2 \pm 33.4$ , відповідно. Дікпаті з співавторами [4] роблять висновок, що цей цикл буде досить потужним — на 30–50% вищим, ніж попередній цикл № 23. Роки максимумів також істотно відрізняються у різних авторів — від 2010 до 2014 рр.

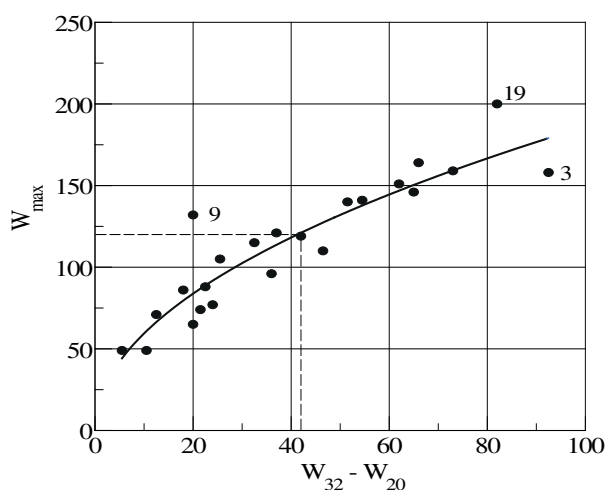
Важливо відзначити, що ця відмінність оцінок навряд чи свідчить про якісь недоліки методів, які були використані різними авторами. Скоріш за все, вона свідчить про досить складну природу сонячної активності. З спостережної точки зору, сонячна активність виступає частково як детерміноване, а частково як стохастичне явище. Внаслідок стохастичної компоненти запропоновані прогнози, в цілому, тим гірші, чим більшим є часовий проміжок між останніми спостережними даними і самим прогнозом. Внаслідок цього саме останні спостережні дані є найбільш цінними для найбільш надійних прогнозів.

### 2. СПОСТЕРЕЖНІ ДАНІ ТА ЇХ АНАЛІЗ

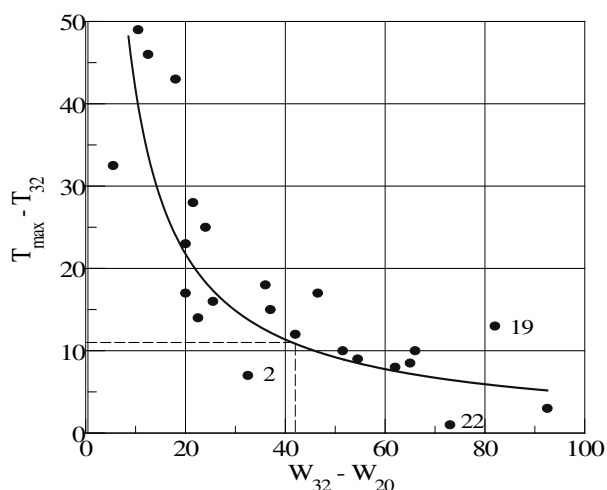
Цикл № 24 почався у грудні 2008 р. На середину 2012 р. пройшло вже більше трьох років від початку циклу і тому його основні особливості встигли розкритись у достатній мірі. Як відомо, цей цикл почався «з низького старту» — при згладженому числі Вольфа у мінімумі біля 2 одиниць. За перші 20 місяців розвитку циклу активність не перевищувала 20 одиниць, що обіцяло досить слабкий цикл. Однак починаючи з 24-го місяця циклу, загальна картина розвитку активності помітно змінилась: кількість плям почала швидко наростати. Згідно даних сайту <http://www.solen.info/solar/>, у даний час крива росту активності у циклі № 24 є досить близькою до аналогічної кривої циклу № 10 (1856–1868 рр.).

Мета даної роботи — спрогнозувати подальший розвиток активності у поточному циклі, виходячи саме з швидкості росту його активності. Як відмічалось вище, найбільш обґрунтованою видається гіпотеза, що найбільш вдалий прогноз може бути зроблений саме на основі останніх спостережних даних про фактичні зміни сонячної активності.

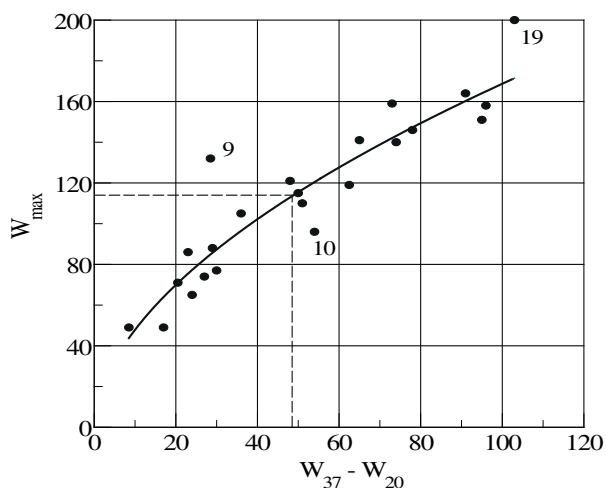
Для наведеного нижче аналізу було використано дані про згладжені числа Вольфа, вміщені на вказаному вище сайті. Розглядалися три варіанти базового проміжку часу, на якому оцінювалась швидкість росту активності: у півроку, один рік та 17 місяців (тобто майже півтора року). Однак виявилось, що часовий проміжок у півроку є надто коротким, придатним лише для циклів з гладенькою монотонною кривою росту (наприклад, таких, як у циклах №№ 3, 4, 10, 18, 21 та 22). Оскільки у циклі № 24 почала формуватись немонотонна крива росту, з періодом сповільнення і навіть зупинки росту активності (між 31-м та 36-м місяцями від початку циклу), було доцільно розширити базовий інтервал часу, щоб усереднити короткочасні коливання активності. Тому нижче подані результати аналізу лише для довших проміжків часу — тривалістю у 12 та 17 місяців, а саме з 20-го до 32-й місяці циклу, та з 20-го по 37-й місяці. Різницю відповідних чисел Вольфа позначимо через  $W_{32} - W_{20}$  та  $W_{37} - W_{20}$  і розглянемо статистичний зв'язок з цими параметрами таких величин: а) згладженого числа плям  $W_{\max}$  в максимумі циклу і б) інтервалу між моментом максимуму циклу  $T_{\max}$  і 32-м або 37-м місяцями після початку циклу, які позначені далі через  $T_{32}$  та  $T_{37}$ . На рис. 1–3 вказані параметри співставлені для 23 попередніх циклів.



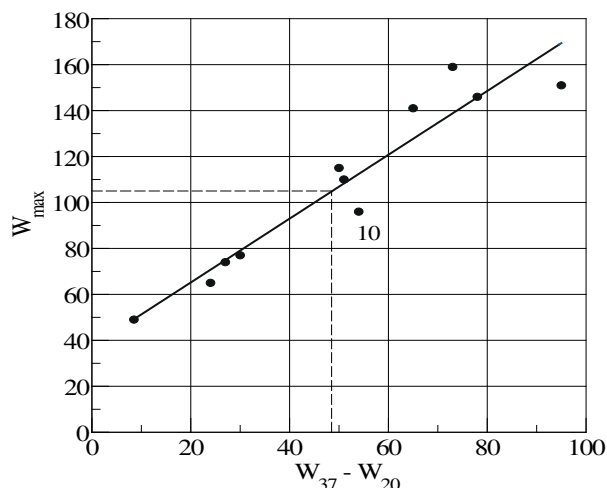
**Рис. 1.** Статистичний зв'язок між числом плям у максимумі циклу,  $W_{\max}$ , і величиною росту активності між 20-м і 32-м місяцями циклу, позначеною через  $W_{32} - W_{20}$ . Плавна крива, проведена методом найменших квадратів по експериментальних точках, відповідає формулі (1). Числа 3, 9 і 19 показують спостережні дані для відповідних циклів, які мають найбільші відхилення від цієї плавної лінії.



**Рис. 2.** Інтервал (у місяцях) між максимумом циклу  $T_{\max}$  і 32-м місяцем на залежності від різниці  $W_{32} - W_{20}$ . Плавна лінія відповідає формулі (2). Як і на рис. 1, цифрами 2, 19 і 22 відмічені спостережні дані для відповідних циклів, які виявляють найбільше відхилення від плавної лінії.



**Рис. 3.** Статистичний зв'язок між числом плям у максимумі циклу,  $W_{\max}$ , і величиною росту активності між 20-м і 37-м місяцями циклу, позначеною через  $W_{37} - W_{20}$ . Числа 9, 10 і 19 показують спостережні дані для відповідних циклів, які мають найбільші відхилення від усереднюючої плавної лінії.



**Рис. 4.** Те ж, що й на рис. 3, але лише для парних циклів. Цифрою 10 помічено дані для циклу № 10.

З рис. 1–3 видно, що між названими параметрами існують досить тісні нелінійні залежності, які дозволяють прогнозувати подальший розвиток циклу № 24. Коефіцієнт кореляції між  $W_{\max}$  і величиною  $W_{32} - W_{20}$  дорівнює  $r = 0.91 \pm 0.03$ , а між  $T_{\max} - T_{32}$  і  $W_{32} - W_{20} - r = -(0.74 \pm 0.06)$ . Таким чином, число плям у максимумі  $W_{\max}$  можна прогнозувати більш впевнено, ніж момент  $T_{\max}$  самого максимуму.

Плавна лінія на рис. 1 відповідає степеневій залежності

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

Відповідна формула для різниць  $T_{\max} - T_{32}$  знайдена такою:

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

Коротко (але водночас і достатньо точно) подані залежності можна охарактеризувати так: число плям у максимумі  $W_{\max}$  пропорційне кореню квадратному від різниці  $W_{32} - W_{20}$ , тоді як величина  $T_{\max} - T_{32}$  обернено пропорційна різниці  $W_{32} - W_{20}$ . Можливо, такі прості співвідношення виявляться корисними у майбутньому при теоретичних дослідженнях фізичних механізмів сонячної активності.

Згідно з опублікованими даними, число плям з 20-го по 32-й місяці циклу № 24 зросло на 42 одиниці. Якщо зі значенням  $W_{32} - W_{20} = 42$  увійти у подані на рис. 1 і 2 залежності (див. штрихові лінії на цих рисунках), то маємо  $W_{\max} \approx 120$  і  $T_{\max} - T_{32} \approx 11$ .

З врахуванням середньоквадратичних відхилень цей результат запишеться так:  $W_{\max} = 120 \pm 17$  і  $T_{\max} - T_{32} = 11 \pm 7.5$  (місяців). Останнє значення відповідає другій половині 2012 р., хоча тут не виключений і інший час, аж до березня 2013 р.

Відповідна залежність  $W_{\max}$  від  $W_{37} - W_{20}$  також є досить тісною (рис. 3). На цій залежності спостережній величині  $W_{37} - W_{20} = 48.5$  відповідає  $W_{\max}(24) \approx 114$ .

На рис. 1 та 3 помітна цікава особливість — найбільше відхиляються від усереднюючих плавних кривих дані по непарних циклах №№ 9 та 19. Поскільки у даній роботі ставиться метою прогноз активності у парному циклі № 24, доцільно розглянути аналогічні залежності лише для парних циклів (рис. 4 і 5).

Видно (рис. 4), що залежність між  $W_{\max}$  та  $W_{37} - W_{20}$  для парних циклів є також досить тісною ( $r = 0.95$ ) і близькою до лінійної. Усереднююча пряма на цьому рисунку відповідає формулі

$$W_{\max} = 37.39 + 1.39(W_{37} - W_{20}). \quad (3)$$

З цієї залежності випливає, що спостережному значенню  $W_{37} - W_{20} = 48.5$  для поточного циклу відповідає  $W_{\max} \approx 105$ , точніше  $W_{\max} = 105 \pm 11$ .

Відповідна залежність між  $W_{37} - W_{20}$  та  $T_{\max} - T_{37}$  виявляється більш розсіяною ( $r = -0.84$ ), але в цілому придатною для наближеної оцінки моменту максимуму (рис. 5). Рівняння регресії, що виражає усереднену тенденцію зв'язку величин  $W_{37} - W_{20}$  та  $T_{\max} - T_{37}$ , є таким

$$T_{\max} - T_{37} = 26.56 - 0.317(W_{37} - W_{20}) \quad (4)$$

Спостереженому значенню  $W_{37} - W_{20} = 48.5$  відповідає  $T_{\max} - T_{37} + 5 = 16 \pm 5$  (місяців), звідки випливає  $T_{\max} = T_{37} + 11 \pm 5$ . Тут  $T_{\max}$  відповідає останньому місяцю (грудню) 2012 р., однак з врахуванням похибок визначення  $T_{\max}$ , можна зробити висновок, що ймовірний період максимуму 24-го циклу — з кінця 2012 р. по травень 2013 р.

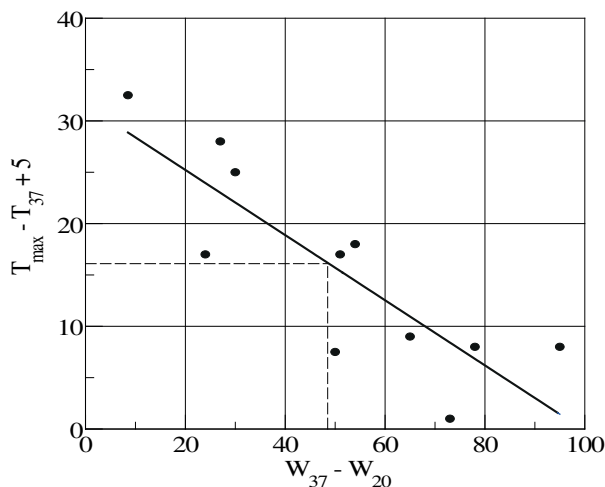


Рис. 5. Те ж, що й на рис. 2, але лише для парних циклів (див. текст).

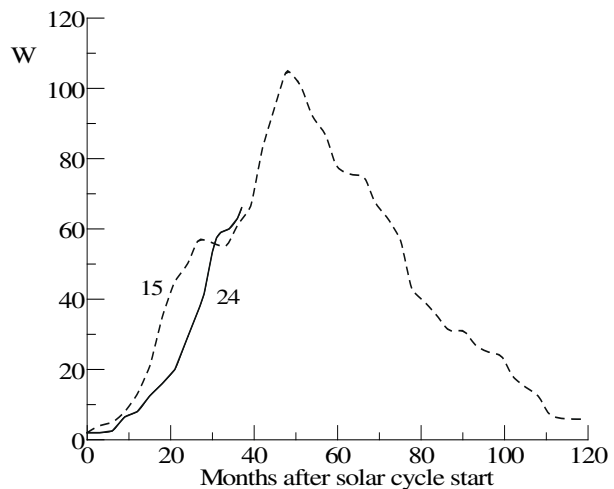


Рис. 6. Порівняння еволюційних змін сонячної активності у циклах №№ 15 та 24 (див. текст).

### 3. ВИСНОВКИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Основний висновок з наведеного вище аналізу полягає в тому, що поточний цикл № 24, скоріш за все, перевершить цикл № 10 по максимальній потужності (величині  $W_{\max}$ ) і буде дуже схожим на цикл № 15 ( $W_{\max} = 105$ ), який мав максимум у серпні 1917 р. Подібність обох циклів підсилює і той факт, що і в циклі № 15 також був період затримки росту активності, причому він припадав приблизно на ті ж місяці, що й у поточному циклі № 24 (рис. 6).

Зокрема, у циклі № 15 затримка росту активності розпочалась на 27-му місяці циклу і тривала приблизно до 33-го місяця від початку циклу. У поточному циклі точка зупинки росту активності відповідає 31-му місяцю, причому до 37-го місяця (по липень 2012 р.) число плям хоча й росте, але значно повільніше, ніж до 31-го місяця. З циклом № 15 добре узгоджуються й поточні значення кількості плям на 37-му місяці циклів: у циклі № 15 це 61, а у циклі № 24 — 66.

Правда, з врахуванням ймовірних похибок використаного методу (11–17 одиниць), не можна виключити й того, що цикл № 24 буде нагадувати попередній цикл № 23 ( $W_{\max} = 121$ ). Якщо це буде дійсно так, то виникне досить цікава (і ще не зафіксована за останні 400 років ситуація), коли виникнуть дві пари сусідніх «циклів-близнят»: №№ 21 і 22 (з  $W_{\max} \approx 160$ ) та №№ 23 і 24 (з  $W_{\max} \approx 120$ ). Одночасно це буде означати, що широкоочікуване зниження активності у віковому циклі поки що відкладається. Дійсно, якщо до значення  $W_{\max} \approx 120$  у циклі № 24 (як у парному) додати ще правило Гневишева–Оля, згідно з яким наступний непарний цикл № 25 має бути потужнішим за цикл № 24, то на найближчі  $\approx 10$  років можна очікувати не зниження, а навіть деякого підвищення сонячної активності.

Звичайно, такий важливий висновок слід ретельно перевірити. У зв'язку з цим слід критично розглянути рис. 1, 3 й 4, які і є підставою для такого прогнозу.

Можна бачити з рис. 3, що хоча середнє відхилення спостережних значень від усереднюючої плавної кривої не перевищує 20 одиниць, однак для непарних циклів №№ 9 і 19 це відхилення значно більше, а саме 47 і 30, відповідно. На 25 одиниць відхиляється від кривої також цикл № 10. Поскільки ці три цикли представляють лише 13% від усіх 23 циклів, це може означати, що ймовірність настільки великих помилок у запропонованому прогнозі біля 10–15%. Напевно, ця ймовірність ще нижча, поскільки 24-й цикл є парним — на противагу непарним циклам №№ 9 і 19.

Розгляд залежності для парних циклів (рис. 4) приводить до висновку, що максимальна похибка прогнозу може складати 20 одиниць — саме таким є максимальне відхилення спостережних значень від апроксимуючої прямої на графіку. Цікаво, що дані для циклу № 10 відхиляються від цієї прямої на 16 одиниць вниз, в сторону менших значень. Тобто, в максимумі циклу № 10 сонячна активність проявилась дещо ослабленою у порівнянні з основною тенденцією по других циклах. Можна висловити припущення, що тоді вона була «законсервована» (не використана) для наступних фаз циклу. І дійсно, з рис. 7 видно, що саме в циклі № 10 проявилась цікава особливість на фазі спаду циклу — повторний максимум активності на 102-му місяці від початку циклу (у середині 1864 р.).

Цей максимум (на 102-му місяці циклу) вивисується над усередненим ходом кривої спаду активності приблизно на 16–18 одиниць. Але з рис. 4 видно, що саме на 16 одиниць цикл № 10 «не дотягнув» до апроксимуючої прямої, що узагальнює дані по всіх парних циклах!

Звідси напрошується висновок, що найімовірніше поточний цикл № 24 таки перевершить цикл № 10 по максимальній активності, досягши рівня  $W_{\max}$  близько 105 одиниць — як у циклі № 15 (1913–1923 рр.). Якщо аналогія з циклом № 15 пошириться і на момент максимуму, максимум активності поточного циклу № 24 наступить у червні 2013 р. Зауважимо, що дуже подібний прогноз ( $W_{\max} = 104 \pm 12$ , час настання максимуму — після 2013 р.) опублікований недавно Наговіциним і Кулешовою [2].

Автори щиро вдячні Ю.А.Наговіцину та М.І.Пішкалу за низку цінних зауважень.

1. Пішкало М.І. Попередній прогноз 24-го і 25-го циклів сонячної активності на основі кореляції між характеристиками циклів // Кинематика и физика небес. тел. — 2008. — **24**, № 5. — С. 370–378.
2. Наговицын Ю.А., Кулешова А.И. Соотношение Вальдмайера и ранняя диагностика максимума текущего цикла солнечной активности // Астрон. ж-л. — 2012. — **89**, № 10. — С. 883–887.
3. Badalyan O.G., Obridko V.N., Sjkora J. Brightness of the coronal green line and prediction for activity cycles 23 and 24 // Solar Phys. — 2001. — **199**, № 2. — P. 421–435.
4. Dikpati M., de Toma G., Gilman P.A. Predicting the strength of solar cycle 24 using a flux-transport dynamo-based tool // Geophys. Res. Lett. — 2006. — **33**. — L05102.
5. Kane R.P. A preliminary estimate of the size of the coming solar cycle 24, based on Ohl's precursor method // Solar Phys. — 2007. — **243**, № 1. — P. 205–217.
6. Svalgaard L., Cliver E.W., Kamide Y. Sunspot cycle 24: Smallest cycle in 100 years? // Geophys. Res. Lett. — 2005. — **32**. — L01104.

Надійшла до редакції 30.08.2012