

УДК 523.982

В. Лоцицький, д-р фіз.-мат. наук, проф.,
В. Єфіменко, канд. фіз.-мат. наук, ст. наук. співроб.

РОЗВИТОК СОНЯЧНОЇ АКТИВНОСТІ У 24-МУ ЦИКЛІ: СЦЕНАРІЙ 15-ГО ЦИКЛУ ?

Для уточнення прогнозу поточного циклу № 24 вивчені особливості наростання сонячної активності у попередніх 23 циклах. Основна увага зверталась на фазу швидкого росту активності, починаючи 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 – середина 2013 р. Якщо цей прогноз справдиться, цикл № 24 буде подібний до циклу № 15.

For more precise definition of prognosis of 24th 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 20th 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 24th cycle the following parameters are expected: $W_{\max} = 105 \pm 11$, and time of maximum – middle 2013. If this prognosis will be come true, the 24th cycle will be similar to cycle No. 15.

Вступ. На сьогодні запропоновано декілька десятків прогнозів сонячної активності у поточному циклі № 24. Згадаємо лише деякі з них. Згідно Бадалян та ін [2], цей цикл буде досить слабким – з максимальним числом Вольфа W_{\max} близько 50. Близький по значенню прогноз запропонований Свальгаардом та ін [5] – $W_{\max} = 75 \pm 8$. Кане [4] і Пішкало [1] оцінюють параметр W_{\max} значеннями 142 ± 24 та 110.2 ± 33.4 , відповідно. Дікпаті з співавторами [3] 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 відмітити, 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.

Спостережні дані та їх аналіз. Цикл № 24 почався у грудні 2008 р. На початок 2012 р. пройшло уже більше трьох років від початку циклу і тому його основні особливості встигли розкритись у достатній мірі. Добре відомо, що 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.).

Метою даної роботи є спроба спрогнозувати подальший розвиток активності у циклі, виходячи саме з швидкості росту його активності. Як було відмічено вище, найбільш обгрунтованою видається гіпотеза, що найбільш вдалий прогноз може бути зроблений саме по останніх фактичних змінах 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 (напр., 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 короточасні 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} .

З рисунка 1 видно, що між W_{\max} та $W_{32} - W_{20}$ існує досить тісна нелінійна залежність, яка дозволяє 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

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

© Лоцицький В., Єфіменко В., 2012

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

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

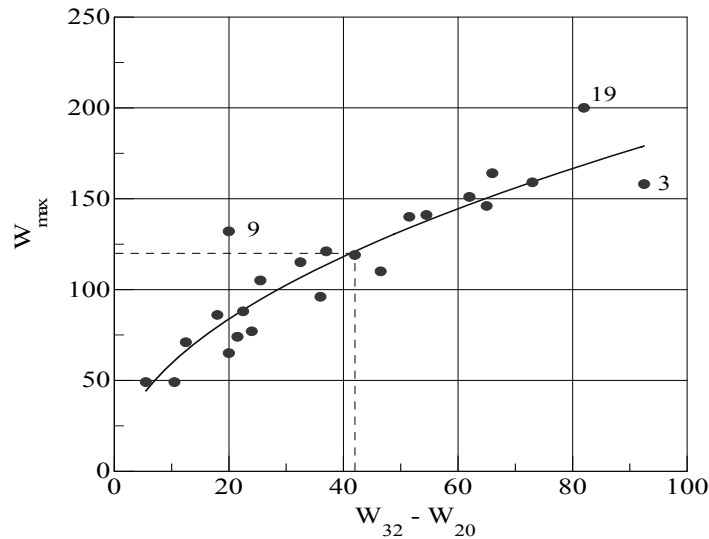


Рис. 1. Статистичний зв'язок між числом плям у максимумі циклу, W_{\max} , і величиною росту активності між 20-м і 32-м місяцями циклу, позначеною через $W_{32} - W_{20}$.

Плавна крива, проведена по експериментальних точках методом найменших квадратів, відповідає формулі (1).

Числа 3, 9 і 19 показують спостережені дані для відповідних циклів, які мають найбільші відхилення від цієї плавної лінії.

Коротко (але водночас і достаньно точно) подані залежності можна охарактеризувати так так: число плям у максимумі W_{\max} пропорційне кореню квадратному від різниці $W_{32} - W_{20}$, тоді як різниця $T_{\max} - T_{32}$ 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 вище залежності (1) та (2), то отримаємо $W_{\max} \approx 120$ і $T_{\max} - T_{32} \approx 11$. З врахуванням середньоквадратичних відхилень, цей результат запишеться так: $W_{\max} = 120 \pm 17$ і $T_{\max} - T_{32} \approx 11 \pm 7.5$ (місяців). Таким чином, з позицій поданої вище інтерпретації, поточний цикл буде приблизно таким же по потужності, як і попередній цикл № 23. Його максимум, скоріш за все, буде у другій половині 2012 р., хоча тут не виключений і інший час, аж до березня 2013 р.

Однак на рис. 1 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 аналогічну залежності лише для парних циклів (Рис. 2).

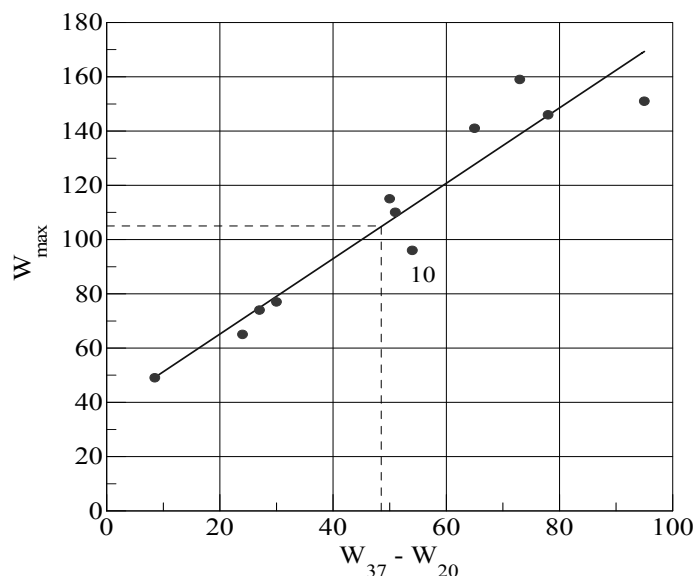


Рис. 2. Залежність числа плям у максимумі циклу, W_{\max} , від приросту числа плям між 20-м і 37-м місяцями циклу, позначеною через $W_{37} - W_{20}$. Усереднююча пряма, проведена по експериментальних точках, відповідає формулі (3).

Цифрою 10 помічено спостережені дані для 10-го циклу сонячної активності.

З рис. 2 видно, що залежність між W_{\max} та $W_{37} - W_{20}$ для парних циклів є також досить тісною ($r = 0.95$) і близькою до лінійної. Лінія регресії (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. Рівняння регресії, що виражає усереднену тенденцію зв'язку величин $W_{37} - W_{20}$ та $T_{\max} - T_{37}$, є таким

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

Спостережному значенню $W_{37} - W_{20} = 48.5$ відповідає $T_{\max} - T_{37} + 5 = 16 \pm 5$ (місяців), звідки випливає $T_{\max} = T_{37} + 11 \pm 5$. Момент T_{\max} припадає на останній місяць 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.

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.

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 сповільнення 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 ≈ 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 і 2, які і є підставою для такого прогнозу.

Можна бачити з рис. 1, 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 № 3. Поскілки 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, поскілки 24-й цикл є парним – на противагу непарним циклам №№ 9 і 19.

Розгляд залежності для парних циклів (рис. 2) 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, 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. 2 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, досявши рівня W_{\max} близько 105 одиниць – як у циклі № 15 (1913–1923 рр.). Якщо аналогія з циклом № 15 поширяться і на момент максимуму, максимум активності поточного циклу № 24 наступить у червні 2013 р.

Автори щиро вдячні 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. – Т.24, № 5.– С. 370–378. 2. Badalyan, O.G., Obridko V.N., Sykora J. Brightness of the coronal green line and prediction for activity cycles 23 and 24 // Solar Phys. – 2001.– Vol. 199, N 2. – P. 421–435. 3. 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. – Vol. 33.– L05102. 4. Kane R.P. A preliminary estimate of the size of the coming solar cycle 24, based on Ohl's precursor method // Solar Phys. – 2007. – Vol. 243, N 1. – P. 205–217. 5. Svalgaard L., Cliver E.W., Kamide Y. Sunspot cycle 24: Smallest cycle in 100 years? // Geophys. Res. Lett. – 2005. – Vol. 32. – L01104.