

УДК 523.982

В. Лоцицький, д-р фіз.-мат. наук, проф., В. Єфіменко, канд. фіз.-мат. наук
КНУ імені Тараса Шевченка, Київ

ПРОГНОЗ СОНЯЧНОЇ АКТИВНОСТІ У 24-МУ ЦИКЛІ З ВРАХУВАННЯМ НЕМОНОТОННОСТІ ЙОГО ФАЗИ РОСТУ

Розвиток активності у 24-му циклі виявляє його суттєву особливість – немонотонність фази росту, яка зустрічається лише в 1/3 вивчених циклів. Для прогнозу максимального числа плям у цьому циклі застосовано модифікований метод Вальдмайера, який пов'язує висоту максимуму циклу з швидкістю наростання активності на фазі росту. Якщо цим методом співставити цикл № 24 з попередніми подібними циклами (№№ 1, 5, 6, 9, 12, 15 і 16), то можна зробити висновок, що цей цикл буде слабким, з максимальним числом плям $W_{\max}(24) = 73 \pm 10$ у 2014–2015 рр, найімовірніше – у першій половині 2014 р. Поточний цикл є аномальним у тому відношенні, що на різних ділянках кривої фази росту він проявляє себе то як слабкий, то як середній цикл.

Ключові слова: сонячна активність, метод Вальдмайера.

Вступ. Поточний цикл сонячної активності № 24, очевидно, увійде в історію як аномальний цикл. За майже 5 років його розвитку він нагадував то слабкий, то середній по потужності цикл, що ілюструється нижче такими його особливостями.

Як вже відмічалось авторами в статтях [1,2], цей цикл розпочався у грудні 2008 р. з досить "низького старту" – при згладженому числі Вольфа у мінімумі біля 2 одиниць, що у 4–6 разів менше, ніж у попередніх трьох циклах №№ 21–23 (<http://www.solen.info/solar/>). 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 збільшуватись і такий ріст активності продовжувався до 32-го місяця. Після цього активність зростала повільніше і досягла максимуму близько 67 одиниць на 38-му місяці циклу (у березні 2012 р.). Після цього число плям дещо зменшилось і надалі впродовж 43–52 місяців циклу майже не змінювалось, перебуваючи в межах 58–60 одиниць.

В роботах [1,2] було показано, що якщо виходити з найбільш крутої ділянки росту активності в попередніх циклах, яка, в середньому, відповідає проміжку часу між 20 і 32 місяцями циклу, то прогнозоване згладжене число плям в максимумі циклу № 24 має бути 105–120 одиниць. Виходячи саме з максимальної середньорічної швидкості зростання активності на фазі росту циклу, Наговіцин і Кулешова [3] зробили у 2012 р. висновок, що $W_{\max}(24) = 104 \pm 12$, що чудово узгоджується з прогнозом авторів в роботі [2] ($W_{\max}(24) = 105 \pm 11$), опублікованим також у 2012 р.

Незважаючи на це, є вагомий підстави вважати, що ці прогнози не справдяться і що дійсна активність в максимумі циклу буде значно меншою – як у слабких циклів. Розглянемо це детальніше.

Спостережні дані та їх аналіз. Для наведеного нижче аналізу було використано дані про згладжені числа Вольфа, вміщені на вказаному вище сайті. Оскільки поточний цикл №24 має істотно відмінні швидкості наростання активності на різних ділянках його кривої росту, була взята за основу робоча гіпотеза, що цей цикл подібний до попередніх семи циклів (№№ 1, 5, 6, 9, 12, 15 і 16), які умовно можна назвати "іррегулярними", тобто такими, в яких наростання активності від мінімуму до максимуму є нерегулярним, немонотонним. Звичайно, тут є певна умовність: адже кількість плям на Сонці постійно змінюється і якщо брати щоденні числа Вольфа, то в середньому щомісяця маємо 1–2 максимуми і стільки ж мінімумів внаслідок 27-денних (пов'язаних з обертанням Сонця навколо осі) варіацій активності. Певні зміни активності з мінімумами і максимумами можуть бути і при щомісячному усередненні даних. У цьому відношенні, згладжене числа плям, коли усереднюються дані за цілий рік (точніше, за 13 місяців – у проміжку ± 6 місяців відносно даного місяця) вже усереднюють коливання активності настільки добре, що для 2/3 циклів маємо гладеньку (монотонну) криву росту від мінімуму до максимуму, але для 1/3 циклів – все-таки немонотонну, коли спостерігаються один або два локальних максимуми перед глобальним максимумом всього циклу. Тобто, це випадок, коли похідна від активності по часу, dW/dt , два або більше разів змінює свій знак.

Щоб належним чином згладити всі коливання активності і з'ясувати усереднену тенденцію, швидкість росту активності оцінювалась по величині згладженого числа плям на 52-му місяці циклу, яке позначене нижче через W_{52} . Для всіх семи нерегулярних циклів були розглянуті діагностичні залежності, подані на рис. 1 і 2.

Виявилось, що якщо для цих циклів співставити W_{52} і W_{\max} , то маємо досить тісну (коефіцієнт кореляції $r = 0.96$) і близьку до лінійної залежність (Рис. 1), рівняння регресії якої є таким

$$W_{\max} = 20.4 + 0.90 W_{52}. \quad (1)$$

Менш тісна залежність ($r = -0.63$) отримується для цих циклів між W_{52} і $T_{\max} - T_{52}$, де останній параметр – проміжок в часі між максимумом циклу і 52-м його місяцем (Рис. 2). Відповідне рівняння регресії:

$$T_{\max} - T_{52} = 24.6 - 0.22 W_{52}. \quad (2)$$

Оскільки для поточного циклу величина $W_{52} = 58$, то згідно (1) і (2) маємо $W_{\max}(24) = 72.9$, а $T_{\max} - T_{52} = 11.9$, що відповідає квітню 2014 р. З врахуванням статистичної похибки методу, $W_{\max}(24) = 73 \pm 10$, а момент максимуму $T_{\max}(24) = 2014.3 \pm 0.8$. Тобто, максимум поточного циклу очікується у 2014–2015 рр., найімовірніше – у першій половині 2014 р.

Таким чином, поточний цикл повинен мати повторний максимум, який по висоті, найімовірніше, буде вищим, ніж перший, що був на 38-му місяці циклу (67 одиниць). Хоча тут, враховуючи ймовірні похибки методу, не можна вилучити й того, що цей другий максимум буде таким же або й трохи нижчим, ніж перший.

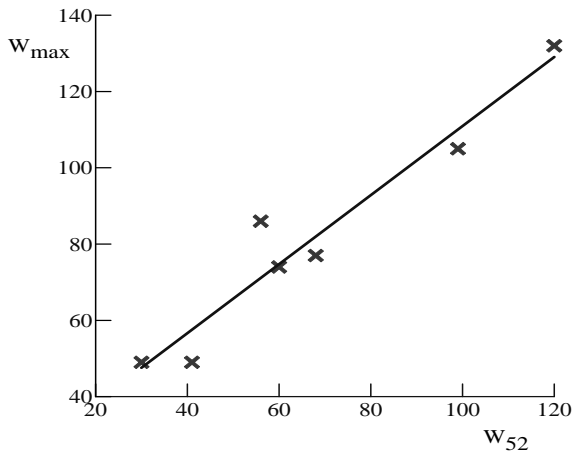


Рис. 1. Статистичний зв'язок між числом плям у максимумі циклу, W_{\max} , і кількістю плям на 52-му місяці циклу, позначеною через W_{52} . Наведена залежність побудована для циклів №№ 1, 5, 6, 9, 12, 15 і 16, які мають немонотонну криву росту

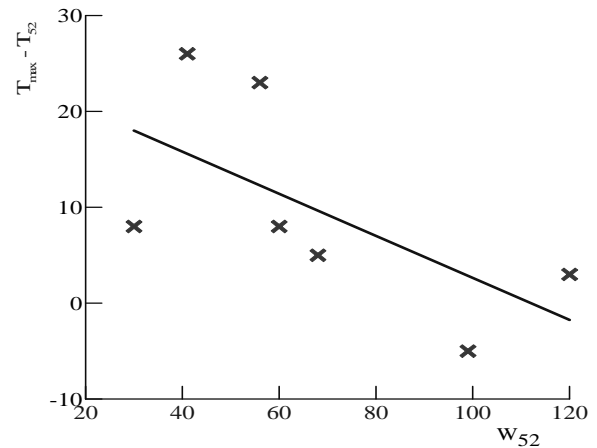


Рис. 2. Емпірична залежність між згладженим числом плям на 52-му місяці циклу, W_{52} , і проміжком часу (у місяцях) від моменту максимуму T_{\max} до 52-го місяця циклу. Ці дані стосуються також "іррегулярних" циклів

Висновки та їх обговорення. Основний висновок з наведеного вище аналізу полягає в тому, що поточний цикл № 24, високоюмовірно, буде слабким циклом, схожим на цикл № 12 ($W_{\max} = 74$), який мав максимум у 1883 р. Близьким по максимальній активності був і цикл № 16 ($W_{\max} = 77$), що мав максимум у 1928 р. За останні 110 років ще більш слабким був лише цикл № 14 ($W_{\max} = 65$), максимум якого – у 1906 р. Зауважимо, що подібні прогнози циклу № 24 зроблені раніше в роботах [4–8].

Враховуючи, що максимальні активності останніх трьох циклів (№№ 22, 23 і 24) будуть тоді 159, 121 і близько 73, відповідно, маємо явне свідчення поступового зниження активності у віковому циклі.

Є, однак, цікавим і актуальним таке питання: а чи не можна було уникнути помилкових прогнозів, опублікованих, зокрема, в роботах [1, 2], по якихось додаткових критеріях з'ясувавши, що цикл № 24 має бути саме "іррегулярним"? Яке взагалі місце 24-го циклу серед інших подібних циклів?

Відповідь на ці питання дещо прояснює Рис. 3, на якому співставлені величини W_{\max} на залежності від $W_{32} - W_{20}$, тобто приросту активності між 32-м і 20-м місяцями циклу, яка розглядалася раніше в роботах [1,2]. Дані для всіх 23 попередніх циклів показані кружечками, а для семи циклів з немонотонною кривою росту – хрестиками.

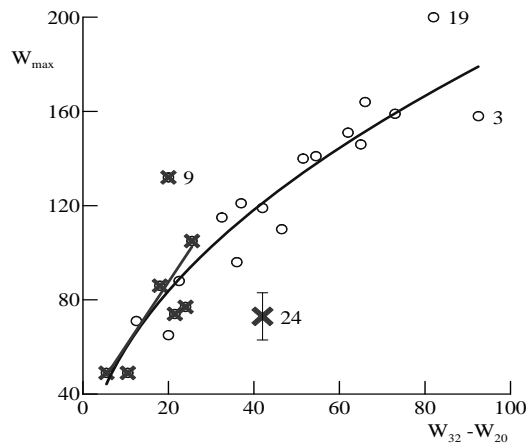


Рис. 3. Емпірична залежність між згладженим числом плям у максимумі W_{\max} , і приростом активності між 20-м і 32-м місяцями, $W_{32} - W_{20}$. Кружечки і проведена по них плавна крива – дані для всіх циклів згідно [1], косі хрестики і пряма – тільки цикли з немонотонною змінами на фазі росту.

Цифрами 3, 9, 19 і 24 показані дані для відповідних сонячних циклів, які найбільше відхиляються від усереднюючої залежності на графіку

Видно, що дані для всіх семи попередніх "іррегулярних" циклів апроксимуються лінійною залежністю, яка досить добре стикується з плавною кривою для всіх циклів (регулярних+іррегулярних) на початку осі абсцис. Враховуючи, що більшість "іррегулярних" циклів є слабкими (виняток – цикл № 9), можна зробити висновок, що само по собі доозначення типу "це цикл регулярний" або "це цикл іррегулярний" ще нічого не дає для уточнення прогнозу. Адже саме серед "іррегулярних" циклів спостерігається найбільший розкид значень навколо лінії регресії! Дійсно, якщо прогноз $W_{\max}(24) = 73 \pm 14$ справдиться, то матимемо значення на рис. 3, яке так само сильно відхилятиметься від усереднюючої залежності, як і цикл №9. Тоді для циклів №№ 9 і 24 буде відхилення від усереднюючої кривої приблизно по 45 одиниць, тоді як для регулярних циклів ці відхилення менші – найбільші відхилення тут мають цикли №№ 19 і 3, але у них ці відхилення становлять 30 і 20 одиниць. А по-друге, серед "іррегулярних" циклів частка "аномальних" циклів (які найбільше відхиляються від лінії регресії) складе 2/8, тобто 25%, тоді як серед регулярних циклів частка "аномальних" (подібних до циклів №№ 3 і 19) складе лише 2/16, тобто вдвічі менша!

Тобто, навіть доозначивши, що досліджуваний цикл є "іррегулярний" і використовуючи методику робіт [1,2], з ймовірністю близько 25% можна сильно помилитись в прогнозі W_{\max} – приблизно на 45 одиниць. І навпаки, якщо виникає певність, що даний цикл звичайний, тобто з монотонною кривою росту, то, по-перше, ймовірність суттєвої похибки вдвічі менша, і крім того, сама похибка прогнозу має бути також приблизно в 2 рази менша і не перевищувати 30 одиниць. Однак в переважній більшості випадків (20/24 \approx 83%) методика робіт [1, 2] повинна давати відносно невеликі похибки прогнозу, які не перевищують 10–15 одиниць.

Список використаних джерел:

1. Лоцицкий В., Ефименко В. Развитие солнечной активности у 24-му циклу: сценарий 15-го цикла ? // Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Астрономія. – 2012. – Вип. 49. – С. 47–50.
2. Лоцицкий В.Г., Ефименко В.М. Развитие солнечной активности в 24-м цикле: сценарий среднего цикла ? // Известия Крым. Астрофиз. Обсерватории. – 2012. – Т. 108, № 1. – С. 312–316.
3. Наговицын Ю.А., Кулешова А.И. Соотношение Вальдмайера и ранняя диагностика величины максимума текущего цикла солнечной активности // Астрон. ж.-л. – 2012. – Т. 89, № 10. – С. 883–887.
4. Aguirre L.A., Letellier C., Maguet J. Forecasting the time series of sunspot numbers // Solar Phys. – 2008. – V. 249, No. 1. – P. 103–120.
5. 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.
6. Kilcik A., Anderson C.N.K., Rozelot J.P. et al., Non-linear prediction of solar cycle 24 // The Astrophys. Journ. – 2009. – V. 693, No. 2. – P. 1173–1177.
7. Kitiashvili I., Kosovichev A.G. Application of data assimilation method for predicting solar cycles // The Astrophys. Journ. – 2008. – V. 688, No. 1. – P. L49–L52.
8. Svalgaard L., Cliver E.W., Kamide Y. Sunspot cycle 24: Smallest cycle in 100 years? // Geophys. Res. Lett. – 2005. – Vol. 32. – L01104.

Надійшла до редколегії 03.12.13

В. Лоцицкий, д-р физ.-мат. наук, проф., В. Ефименко, канд. физ.-мат. наук
КНУ імені Тараса Шевченка, Київ

ПРОГНОЗ СОЛНЕЧНОЇ АКТИВНОСТІ В 24-М ЦИКЛІ С УЧЕТОМ НЕМОНОТОННОСТІ ЕГО ФАЗИ РОСТА

Развитие активности в 24-м цикле обнаружило его существенную особенность – немонотонность фазы роста, которая встречается только в 1/3 изученных циклов. Для прогноза максимального числа пятен в этом цикле применен модифицированный метод Вальдмайера, который связывает высоту максимума цикла со скоростью нарастания активности на фазе роста. Если этим методом сопоставить цикл № 24 с предыдущими подобными циклами (№ № 1, 5, 6, 9, 12, 15 и 16), то можно сделать вывод, что этот цикл будет слабым, с максимальным числом пятен $W_{\max}(24) = 73 \pm 10$ в 2014-2015 гг, вероятнее всего – в первой половине 2014 г. Текущий цикл является аномальным в этом отношении, что на разных участках кривой фазы роста он проявлял себя то как слабый, то как средний цикл.

Ключевые слова: солнечная активность, метод Вальдмайера.

V. Lozitsky, Dr. Phys. and Math. Sciences, Prof., V. Efimenko, Ph.D. in Phys. and Math. Sciences
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv

FORECASTING OF SOLAR ACTIVITY IN 24TH CYCLE TAKING INTO ACCOUNT ITS NON-MONOTONOUS GROWN PHASE

Development of solar activity in 24th cycle has specific peculiarity – non-monotonous increasing of solar activity on grown phase which occurs for 1/3 number of all cycles. The modification of Waldmayer's method was applied for forecasting 24th cycle which bases on a connection between maximum sunspot number and speed of increasing of activity on grown phase of cycle. If we compare 24th cycle with previous similar cycles Nos. 1, 5, 6, 9, 12, 15 s 16), one can conclude that this cycle will be weak, with maximum sunspot number $W_{\max}(24) = 73 \pm 10$ in 2014–2015, most likely – in first half of 2014. Current cycle could be considered as anomalous because on different times of grown phase it gives manifestations of both weak and middle cycle.

Key words: Solar activity, Waldmeier method.

УДК 523.985

О. Молочко, канд. фіз.-мат. наук
КНУ імені Тараса Шевченка, Київ

ВИЗНАЧЕННЯ МАГНІТНОГО ПОЛЯ РІЗНИМИ МЕТОДАМИ НА РІВНІ ФОТОСФЕРИ ПРОТЯГОМ СОНЯЧНОГО СПАЛАХУ

В роботі наведено результати визначення напруженості магнітного поля у фотосферній частині спалаху 18 липня 2000 року через 9 хвилин після максимальної фази спалаху. На основі методу аналізу бісекторів $I \pm V$ профілів Стокса знайдено, що в області спалаху поздовжнє усереднене магнітне поле, виміряне за шести фотосферними лініями, знаходиться в межах 200 – 700 Гс. Напруженість магнітного поля, розрахована за тими ж одночасно шести фотосферними лініями методом інверсії за допомогою програмного комплексу SIR, змінювалась від 3200 Гс в нижній до декількох сот гаус у верхній фотосфері в магнітній компоненті. Така відмінність в отриманих значеннях напруженості магнітного поля вказує на різні межі застосування даних двох методів і можливості визначення за ними магнітного поля для різних структур.

Ключові слова: магнітні поля, сонячний спалах.

Вступ. Сонячні спалахи є потужними вибухоподібними процесами в атмосфері Сонця, пов'язані з наявністю сильних складних магнітних полів. Питання про дослідження сонячних спалахів на фотосферному рівні зумовлене тим, що ще не так давно ставилась під сумнів можливість розповсюдження спалахів у щільні фотосферні шари. Спектральні дослідження сонячних спалахів ґрунтувались переважно на аналізі хромосферних і корональних емісійних ліній. Але сучасні спектрополяриметричні спостереження спалахів та активних областей з високим просторово-часовим розділенням дали можливість отримати достовірні дані про вихід магнітного потоку з фотосферних шарів на початку спалаху та поширення спалахового збурення у фотосферні шари на стадії затухання спалаху.