

## ОЦІНЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ 25 ЦИКЛУ НА ОСНОВІ ШВИДКОСТІ РОСТУ СОНЯЧНОЇ АКТИВНОСТІ

**Вступ.** Сонячна активність є важливим фактором навколишнього середовища і має тісний зв'язок із низкою геомагнітних явищ, а також визначає космічну погоду, глибоко впливає на космічне і земне середовище. Маючи надійні прогнози сонячної активності, можемо оцінювати ці індекси і хід пов'язаних із ними природних процесів. Варто зазначити, що нині ще немає достатньо розробленої теоретичної моделі для прогнозування сонячної активності на терміни від кількох місяців до кількох років. Тому для практичного прогнозування на зазначені терміни застосовують математико-статистичні методи. Крім висоти 25 циклу активності значний інтерес становить також оцінювання параметрів поточного циклу, а саме: тривалості фази росту циклу і повна тривалість 25 циклу сонячної активності.

**Методи.** Використано метод побудови залежностей висоти циклу, тривалості фази росту і тривалості циклу від швидкості наростання активності за відомими даними 24 попередніх циклів. Визначення коефіцієнтів лінійної і поліноміальної залежностей виконано за допомогою програмного середовища OriginPro 8. Уточнено розрахований раніше прогноз 25 циклу, оцінено тривалість фази росту та повну тривалість 25 циклу з урахуванням середньої швидкості наростання активності на фазі росту 25 циклу й отриманих коефіцієнтів залежності.

**Результати.** Побудовані залежності й отримані коефіцієнти в рівняннях дали змогу розрахувати амплітуду 25 циклу, яка становить  $W_{\text{max}25} = 156.3 \pm 14.4$  одиниць (отримана раніше амплітуда циклу міститься в межах 150–160 одиниць), а також розрахувати тривалість фази росту і повну тривалість циклу. Тривалості фази росту і повну тривалість циклу розраховано з використанням лінійної і поліноміальної залежностей. Отримані при цьому величини близькі між собою.

**Висновки.** Уточнено прогноз амплітуди 25 циклу. Розраховано тривалості фази росту циклів залежно від швидкості наростання активності. Визначено, що ця залежність є достатньо високою. Крайній результат отримано для поліноміальної залежності (поліном другого ступеня) з R-Square (COD) = 0.84. Причому тривалість фази росту 25 циклу має бути 57.8 місяців. Для лінійної залежності маємо кращий результат щодо коефіцієнта Пірсона  $r = -0.88$ . У цьому разі тривалість фази росту 25 циклу має становити 58.8 місяців. На підставі отриманого результату для тривалості фази росту 25 циклу оцінено тривалість 25 циклу на основі залежності тривалості циклу від тривалості фази наростання активності. Кращий результат для поліноміальної залежності для 25 циклу становить 11.5 років. Для лінійної залежності маємо кращий результат щодо коефіцієнта Пірсона  $r = 0.56$ . У цьому випадку тривалість 25 циклу має становити 11.2 років.

**Ключові слова:** Сонце, сонячна активність, кількість сонячних плям, прогнози, максимум 25 циклу, тривалість фази росту, тривалість циклу.

### Вступ

Сонячна активність є важливим фактором, що характеризує навколишнє середовище. Вона має тісний зв'язок із низкою геомагнітних явищ, значною мірою визначає космічну погоду, глибоко впливає на космічне і земне середовище. Маючи надійні прогнози сонячної активності, можемо оцінювати згадані індекси і хід пов'язаних із ними природних процесів.

Як відомо, сонячна активність має магнітну природу і циклічний характер змін із часом. Найвідомішим є 11-річний цикл сонячної активності. Існують також інші цикли, зокрема 22-річний, 44-річний, а також віковий цикл тривалістю 70–100 років. Найбільшу увагу приділяють прогнозуванню 11-річного циклу, оскільки саме із цим циклом пов'язані найзначніші зміни в навколосезонному космічному просторі й геосфері.

Зазначимо, що нині ще немає достатньо розробленої теоретичної моделі для прогнозування сонячної активності на терміни від кількох місяців до кількох років. Тому для практичного прогнозування на зазначені терміни застосовують математико-статистичні методи.

Порівняння останніх прогнозів сонячної активності у новому 25 циклі, який розпочався у грудні 2019 р., наведено в роботі Petrovay (Petrovay, 2020). Із цього порівняння випливає, що використання найсучасніших методів прогнозування дає істотно відмінні результати. Наприклад, використання методу нейронної мережі (Attia, Ismail, & Basurah, 2013) дає амплітуду 25 циклу на рівні 57–91 одиниць, атракторного аналізу – близько 103 одиниць, вейвлет-аналізу (Nandy, 2021) – 130 одиниць, методу внутрішніх передвісників (Li, Feng, & Li, 2015) – 175 одиниць. Для порівняння варто нагадати, що в попередньому 24 циклі, який тривав із 2008 по 2019 р., максимальний рівень сонячної активності становив 116,4 одиниць.

Отже, в цілому ситуація з прогнозом максимуму поточного 25 циклу, який очікується в 2024–2026 рр., залишається невизначеною. Такою самою була ситуація і перед 24 циклом сонячної активності (Attia, Ismail, & Basurah, 2013; Lozitsky, & Efimenko, 2014; Nandy, 2021; Pishkalo, 2014).

Поточний 25-й цикл привертає до себе увагу ще й тим, що в низці робіт зроблено висновок, що у середині XXI ст. очікується віковий мінімум сонячної активності (Zharkova, & Shepherd, 2022). Це могло статися у разі зменшення висоти максимуму 25 циклу активності порівняно з 24 циклом. Як зазначено вище, у 24 циклі висота максимуму становила 116,4 одиниць.

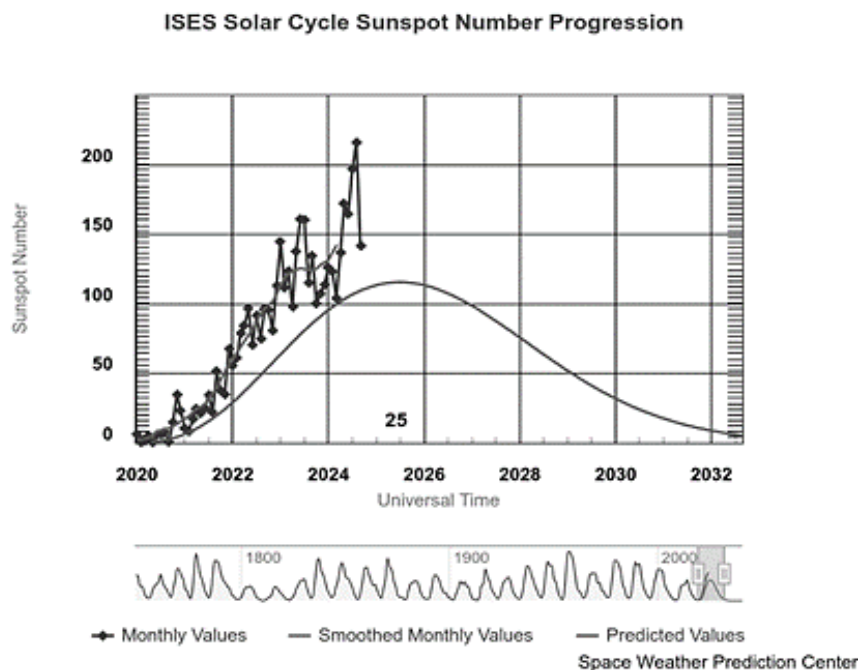
Крім висоти 25 циклу активності, значний інтерес становить також оцінювання інших важливих параметрів поточного циклу, а саме: тривалості фази росту циклу і повна тривалість 25 циклу сонячної активності. Раніше оцінку тривалості 25 циклу наведено в роботі (Kakad, V., Kakad, A., & Ramesh, 2017).

Метою цієї роботи є уточнення прогнозової оцінки амплітуди 25-го циклу, з огляду на швидкість наростання кількості сонячних плям на фазі росту цього циклу, а також оцінювання тривалості фази росту і повної тривалості 25 циклу сонячної активності.

**Методи**

Цикл № 25 розпочався у грудні 2019 р. (рис. 1). На лютий 2025 р. пройшло 62 місяці від початку циклу, на цей момент відомі згладжені місячні дані для 57 місяців – по серпень 2024 р., включно з початку циклу (згладжування відбувається по 13 місяцях). З 24 циклів, які використано в цій роботі, для часу 57 місяців від початку циклу у 16 з них максимуми вже наступили (67 %), а у 8 циклах максимум ще не наступив.

Хід 25 циклу свідчить про те, що на травень 2025 р. його максимум формально ще не наступив (за даними <https://www.swpc.noaa.gov/> продовжується наростання середньомісячних згладжених чисел Вольфа у липні 2024 р. – 154.9 одиниць, у серпні 2024 – 156.7 одиниць, у вересні 2024 р. – 159.3 одиниць, як відомо час настання максимумів і мінімумів циклів встановлюють за згладженими середньомісячними значеннями чисел Вольфа), але середньомісячні спостережні значення змінюються з певними коливаннями від 216,0 одиниць у серпні 2024 р. до 134,2 одиниць у березні 2025 р. Причому за середньомісячними згладженими значеннями 25 цикл знаходиться в максимумі розвитку. Тому важливим для дослідження ходу розвитку 25 циклу сонячної активності (зокрема і настання максимуму циклу) є визначення тривалості його фази росту.



**Рис. 1.** Порівняння прогнозу кількості сонячних плям у 25-му циклі згідно з NOAA / Space Weather Prediction Center (плавна чорна крива) з фактичними змінами середньомісячних значень (ромби), а також згладжених значень, які представлені ламаною кривою, проведеною по середньомісячних значеннях. Вісь ординат підписано як sunspot number, і на ній показано кількість плям на осі абсцис – роки

Для досліджень нами використано згладжені місячні дані нового, ревізованого ряду відносних чисел сонячних плям (<https://www.swpc.noaa.gov/>). Результати цієї ревізії опубліковано 2014 р. (Clette et al., 2014) за даними Міжнародного центру даних при Бельгійській королівській обсерваторії. Як видно з рис. 1, спостережні місячні значення перевищують прогнозні величини.

Як відомо, хід сонячного циклу можна описати ефектом Вальдмайера (Waldmeier, 1935), суть якого полягає у тому, що висота циклу залежить від швидкості наростання активності на фазі його росту. У роботах (Efimenko, & Lozitsky, 2023; 2024) показано, що прогнозована амплітуда циклу також залежить від інтервалу передісторії, який враховують для обчислення середньої швидкості росту циклу. Це пов'язано з тим, що на фазі росту циклу існують періоди підвищення і зниження активності, що призводить до коливань середньої швидкості.

Для прогнозу використано метод, докладно описаний у роботах (Lozitsky, & Efimenko, 2014; Efimenko, & Lozitsky, 2023; 2024). Основою його була побудова лінійної залежності амплітуди циклу ( $y_i$ ) від швидкості наростання активності ( $x_i$ ) за відомими даними 24 ( $i = 1 \div 24$ ) попередніх циклів:

$$y_i = a + bx_i. \tag{1}$$

Для побудови прогнозу ( $y$ ) необхідно визначити коефіцієнти  $a$  і  $b$ , а також обчислити швидкість ( $x$ ) наростання активності для відповідного циклу. Крім лінійної залежності побудовано також апроксимацію поліномом другого ступеня:

$$y_i = a + b_1x_i + b_2(x_i)^2. \tag{2}$$

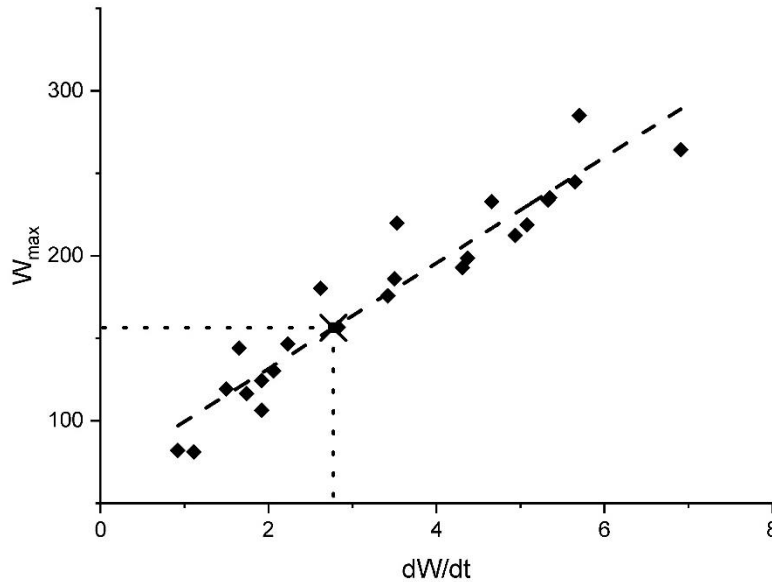
Визначення коефіцієнтів лінійної і поліноміальної залежностей виконано за допомогою програмного середовища OriginPro 8 (Савченко, 2021).

**Результати**

Використовуючи цей метод у роботах (Lozitsky, & Efimenko, 2014; Efimenko, & Lozitsky, 2023; 2024) детально розглянуто прогноз 25 циклу сонячної активності з використанням залежності амплітуди циклу від швидкості наростання кількості сонячних плям. Амплітуду 25 циклу для різних застосованих інтервалів передісторії для визначення середньої швидкості наростання активності отримано в межах 150–160 одиниць чисел Вольфа з

похибкою  $\pm 20$  одиниць. Подібний підхід пізніше реалізовано в роботі (Pesnell, 2024). Через великий термін (період) згладжування (до 40 місяців) середньої швидкості наростання активності отримано невелику помилку прогнозу (0.5 одиниць). Проте у цьому разі амплітуда виявилася значно меншою від реальної (прогноз 130.0 одиниць, за даними на травень 2025 р. – 160.0 одиниць).

В цій роботі уточнено прогноз 25 циклу з урахуванням середньої швидкості наростання активності на фазі росту 25 циклу й отриманих коефіцієнтів лінійної залежності. На рис. 2 подано залежність амплітуди циклу від швидкості наростання активності з урахуванням середньої швидкості наростання активності для фази наростання активності для попередніх 24 циклів. Хрестиком на рисунку позначено точку, що відповідає середній швидкості наростання активності у 25 циклі (2.77). Амплітуду 25 циклу оцінюють на рівні  $W_{\max 25} = 156.3 \pm 14.4$  одиниць.



**Рис. 2.** Залежність амплітуди циклу ( $W_{\max}$ ) від середньомісячного приросту кількості сонячних плям на фазі росту ( $dW/dt$ ) за даними 24 попередніх циклів. На графіку позначено хрестиком:  $dW/dt = 2.77$ ;  $W_{\max} = 156.3$  одиниць

Розглянемо розподіл 1+24 циклів (1755–2014 рр.), які використовуємо для досліджень, по тривалості фази росту (табл. 1). У першій колонці наведено тривалість фази росту у роках: менше 3 років, від 3 до 4 років включно, від 4 до 5 років включно, від 5 до 6 років включно, більше 6 років. У другій колонці – кількість циклів із такою тривалістю фази росту і у третій колонці – відсоток циклів із такою тривалістю фази росту. Як видно з таблиці максимальна кількість циклів має тривалість від 3 до 4 років (37,5 %), а переважна частина циклів має тривалість від 3 до 5 років (66.7 %).

**Таблиця 1**

**Розподіл циклів за тривалістю фази росту для 1755–2014 рр.**

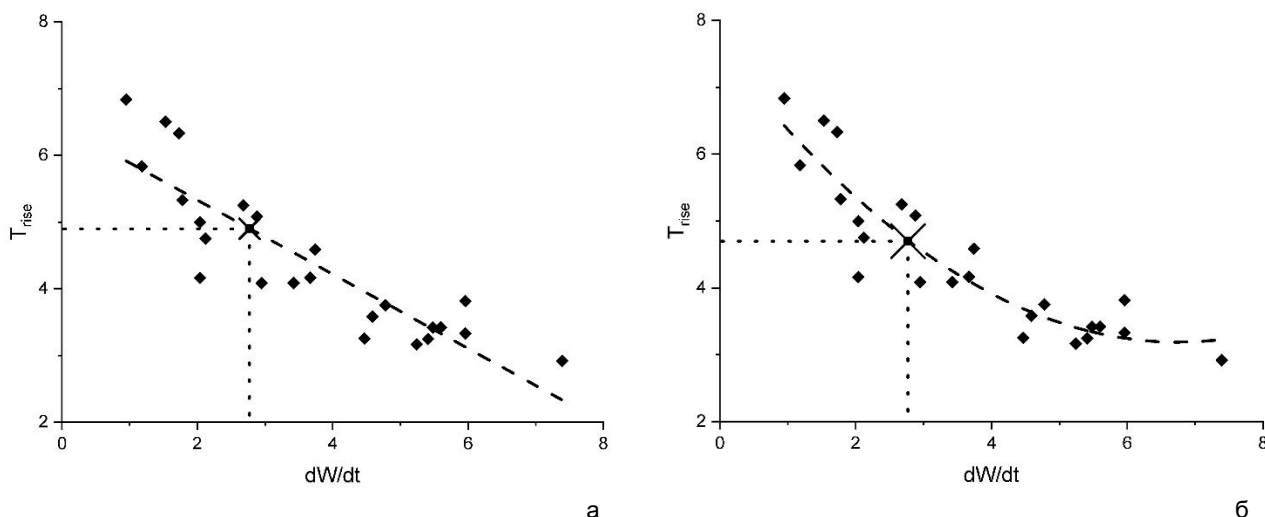
Роки	Кількість циклів, $n$	Відсоток циклів, %
< 3	1	0.04
3–4	9	0.375
4–5	7	0.29
5–6	4	0.17
> 6	3	0.125

В загальному випадку тривалість фази росту циклів має залежати від швидкості росту активності на фазі її наростання. Побудуємо відповідну залежність для досліджуваних даних. На рис. 3а показано апроксимацію лінійною залежністю, а на рис. 3б поліномом другого ступеня.

Як видно з рис. 3а і 3б тривалість фази росту майже однакова для лінійної залежності і поліноміальної залежності від швидкості наростання активності на фазі росту циклу і становить 4.9 років (58.8 місяців) і 4.815 років (57.8 місяців) відповідно. Тривалість фази росту більше на 1 місяць для апроксимації лінійною залежністю ніж поліномом другого ступеня.

Викликає певний інтерес оцінювання повної тривалості 25 циклу сонячної активності. Раніше таке оцінювання зроблено в роботі (Kakad, B., Kakad, A., & Ramesh, 2017) для 24–26 циклів на підставі аналізу ряду сонячних даних за 14–24 цикли сонячної активності і для 25 циклу вона склала 12.2 років.

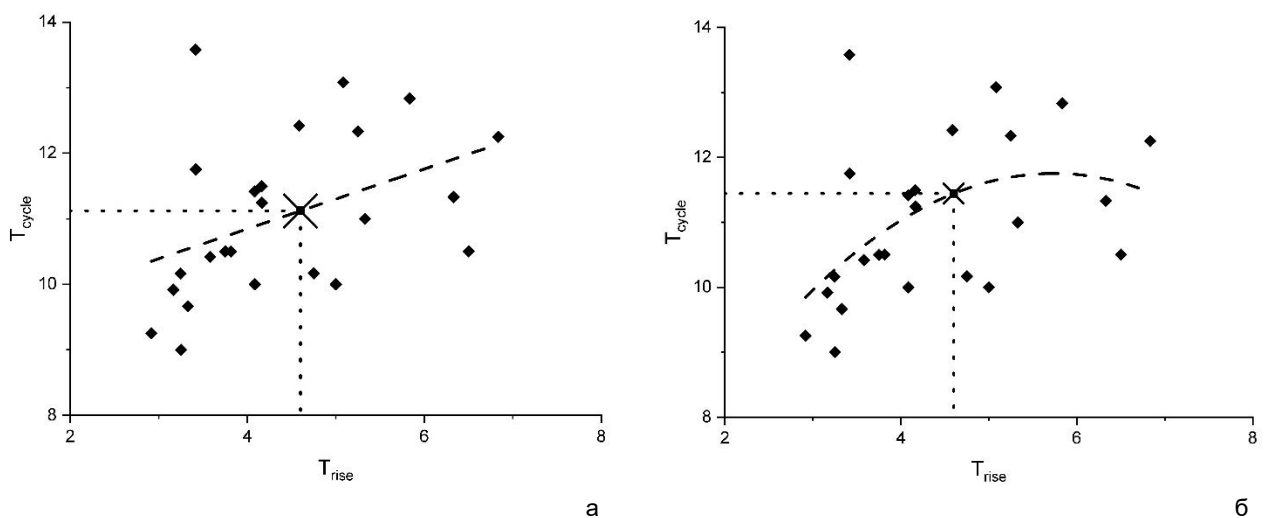
Ми зробили спробу оцінити повну тривалість циклу на основі побудови залежності тривалості циклу від тривалості фази росту відповідного циклу. Була побудована лінійна залежність і виконана апроксимація поліномом другого ступеня за даними за попередні 24 цикли.



**Рис. 3.** Залежність тривалості фази росту: а – циклу ( $T_{rise}$ ) від середньомісячного приросту кількості сонячних плям на фазі росту ( $dW/dt$ ) за даними 24 попередніх циклів (лінійна залежність). На графіку позначено хрестиком:  $dW/dt = 2.77$ ;  $T_{rise} = 4.9$  років (58.8 місяців); б – циклу ( $T_{rise}$ ) від середньомісячного приросту кількості сонячних плям на фазі росту ( $dW/dt$ ) за даними 24 попередніх циклів (поліном другого ступеня). На графіку позначено хрестиком:  $dW/dt = 2.77$ ;  $T_{rise} = 4.815$  років (57.8 місяців)

На рис. 4а показано лінійну залежність тривалості циклу від тривалості фази росту активності. Для розрахованої в цій роботі тривалості фази росту 25 циклу 4.8 років маємо тривалість циклу 11.2 років. Практично не відрізняється тривалість циклу для отриманої тривалості фази росту 4.9 років і становить 11.25 років.

На рис. 4б показано апроксимацію залежності тривалості циклу від тривалості фази росту поліномом другого ступеня. Для розрахованої в цій роботі тривалості фази росту 4.8 років отримуємо тривалість 25 циклу 11.5 років.



**Рис. 4.** Залежність тривалості: а – циклу ( $T_{cycle}$ ) від тривалості фази росту циклу ( $T_{rise}$ ) за даними 24 попередніх циклів (лінійна залежність). На графіку позначено хрестиком:  $T_{rise} = 4.8$  років;  $T_{cycle} = 11.2$  років; б – циклу ( $T_{cycle}$ ) від тривалості фази росту циклу ( $T_{rise}$ ) за даними 24 попередніх циклів (поліном другого ступеня). На графіку позначено хрестиком:  $T_{rise} = 4.8$  років;  $T_{cycle} = 11.5$  років

### Дискусія і висновки

Досліджено залежність амплітуди 25 циклу сонячної активності від швидкості наростання кількості сонячних плям на фазі росту для попередніх 24 циклів. На основі отриманих залежностей оцінено параметри 25 циклу сонячної активності, а саме: уточнено амплітуду 25 циклу, розраховано тривалість фази росту і повну тривалість циклу. Уточнене значення амплітуди 25 циклу, при використанні швидкості наростання активності на фазі росту циклу, міститься в межах  $W_{max}(25) \approx 156 \pm 14$  одиниць. Зазначимо, що статистична оцінка відхилення точок від лінійної залежності (коефіцієнт Пірсона)  $r = 0.95$ .

Розглянуто залежність тривалості фази росту циклів від швидкості наростання активності. Знайдено, що ця залежність є достатньо високою. Кращий результат отримано для поліноміальної залежності (поліном другого ступеня) з R-Square (COD) = 0.84. При цьому розрахована тривалість фази росту 25 циклу становить 58–59 місяців. Для лінійної залежності маємо кращий результат для коефіцієнта Пірсона  $r = -0.88$ .

З огляду на отриману тривалість фази росту 25 циклу, оцінено тривалість 25 циклу на основі залежності тривалості циклу від тривалості фази наростання активності. Кращий результат для поліноміальної залежності для 25 циклу становить 11.5 років. Для лінійної залежності маємо кращий результат для коефіцієнта Пірсона  $r = 0.56$ , тривалість фази росту 25 циклу має бути 11.2 років.

**Джерела фінансування.** Роботу виконано за фінансової підтримки гранту МОН України для перспективного розвитку наукового напрямку "Математичні науки та природничі науки" в Київському національному університеті імені Тараса Шевченка.

#### Список використаних джерел

- Савченко, Д. В. (2021). *Основи обробки та візуалізації фізичних даних в програмному середовищі ORIGINPRO 8*. КПІ ім. Ігоря Сікорського.
- Attia, A. F., Ismail, H. A., & Basurah H. M. (2013). A neuro-fuzzy modeling for prediction of solar cycles 24 and 25. *Astrophysics and Space Science*, 344, 5–11.
- Clette, F., Svalgaard, L., Vaquero, J. M., & Cliver, E. W. (2014). Revisiting the sunspot number. A 400-year perspective on the solar cycle. *Space Science Reviews*, 186, 35–103.
- Efimenko, V. M., & Lozitsky, V. G. (2023). Solar cycle 25 amplitude prediction based on sunspot number increase rate. *Advances in Space Research*, 72(4), 1448. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2023.04.006>
- Efimenko, V. M., & Lozitsky, V. G. (2024). Refining the amplitude of the 25th solar cycle using sunspot number growth rate data. *Journal of Physical Studies*, 28(4), 4902. <https://doi.org/10.30970/jps.28.4902>
- Kakad, B., Kakad, A., & Ramesh, D.S. (2017). Prediction of the length of uncoming solar cycles, *Solar Physics*, 292, 181. <https://doi.org/10.1007/S11207-020-01655-7>
- Li, K. J., Feng, W., & Li, F. Y. (2015). Predicting the maximum amplitude of solar cycle 25 and its timing. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 135, 72–76.
- Lozitsky, V. G., & Efimenko, V. M. (2014). Prognoses and anomaly of 24th cycle of solar activity. *Odesa Astronomical Publications*, 27, 90–91.
- Nandy, P. (2021). Progress in solar cycle predictions: Sunspot cycles 24–25 in perspective: Invited review. *Solar Physics*, 296, 54. <https://doi.org/10.1007/s11207-021-01797-2>.
- Pesnell, D. W. (2024). An Interesting Correlation Between the Peak Slope and Peak Value of a Sunspot Cycle. *Solar Physics*, 299, 14. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11207-024-02256-4>
- Petrovay, K. (2020). Solar cycle prediction. *Living Review in Solar Physics*, 17, 2.
- Pishkalo, M. I. (2014). Prediction of solar cycle 24 using sunspot number near the cycle minimum. *Solar Physics*, 289, 1815–1829.
- Zharkova, V. V., & Shepherd, S. J. (2022). Eigenvectors of the solar magnetic field in cycles 21-24 and their links to solar activity indices. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 512, 5085–5099.
- Waldmeier, M. (1935). Neue Eigenschaften der Sonnenfleckenkurve. *Astronomische Mitteilungen Eidgenossischen Sternwarte*. Zurich.14, 105.

#### References

- Attia, A. F., Ismail, H. A., & Basurah H. M. (2013). A neuro-fuzzy modeling for prediction of solar cycles 24 and 25. *Astrophysics and Space Science*, 344, 5–11.
- Clette, F., Svalgaard, L., Vaquero, J. M., & Cliver, E. W. (2014). Revisiting the sunspot number. A 400-year perspective on the solar cycle. *Space Science Reviews*, 186, 35–103.
- Efimenko, V. M., & Lozitsky, V. G. (2023). Solar cycle 25 amplitude prediction based on sunspot number increase rate. *Advances in Space Research*, 72(4), 1448. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2023.04.006>
- Efimenko, V. M., & Lozitsky, V. G. (2024). Refining the amplitude of the 25th solar cycle using sunspot number growth rate data. *Journal of Physical Studies*, 28(4), 4902. <https://doi.org/10.30970/jps.28.4902>
- Kakad, B., Kakad, A., & Ramesh, D.S. (2017). Prediction of the length of uncoming solar cycles, *Solar Physics*, 292, 181. <https://doi.org/10.1007/S11207-020-01655-7>
- Li, K. J., Feng, W., & Li, F. Y. (2015). Predicting the maximum amplitude of solar cycle 25 and its timing. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 135, 72–76.
- Lozitsky, V. G., & Efimenko, V. M. (2014). Prognoses and anomaly of 24th cycle of solar activity. *Odesa Astronomical Publications*, 27, 90–91.
- Nandy, P. (2021). Progress in solar cycle predictions: Sunspot cycles 24–25 in perspective: Invited review. *Solar Physics*, 296, 54. <https://doi.org/10.1007/s11207-021-01797-2>.
- Pesnell, D. W. (2024). An Interesting Correlation Between the Peak Slope and Peak Value of a Sunspot Cycle. *Solar Physics*, 299, 14. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11207-024-02256-4>
- Petrovay, K. (2020). Solar cycle prediction. *Living Review in Solar Physics*, 17, 2.
- Pishkalo, M. I. (2014). Prediction of solar cycle 24 using sunspot number near the cycle minimum. *Solar Physics*, 289, 1815–1829.
- Savchenko, D. V. (2021). *Basics of processing and visualization of physical data in the ORIGINPRO 8 software environment*. National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"
- Zharkova, V. V., & Shepherd, S. J. (2022). Eigenvectors of the solar magnetic field in cycles 21-24 and their links to solar activity indices. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 512, 5085 – 5099.
- Waldmeier, M. (1935). Neue Eigenschaften der Sonnenfleckenkurve. *Astronomische Mitteilungen Eidgenossischen Sternwarte*. Zurich.14, 105.

Отримано редакцією журналу / Received: 30.04.25

Прорецензовано / Revised: 05.06.25

Схвалено до друку / Accepted: 08.07.25

Volodymyr EFIMENKO, PhD (Phys. & Math.)  
ORCID ID: 0000-0003-4167-4952  
e-mail: efim@knu.ua  
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

## ESTIMATION OF CYCLE 25 PARAMETERS BASED ON THE RATE OF GROWTH OF SOLAR ACTIVITY

**Background.** Solar activity is an important environmental factor. It is closely related to a number of geomagnetic phenomena, largely determines space weather, and has a profound impact on the space and terrestrial environment. Having reliable forecasts of solar activity, we can estimate these indices and the course of the natural processes associated with them. It should be noted that today there is still no sufficiently developed theoretical model for predicting solar activity for periods from several months to several years. Therefore, mathematical and statistical methods are used for practical forecasting for the specified periods. In addition to the height of the 25th cycle of activity, the assessment of the parameters of the current cycle is also of considerable interest, namely: the duration of the growth phase of the cycle and the full duration of the 25th cycle of solar activity.

**Methods.** The method of constructing the dependences of the cycle height, the duration of the growth phase and the duration of the cycle on the rate of increase in activity using the known data of the 24 previous cycles was used. The determination of the coefficients of linear and polynomial dependences was performed using the OriginPro 8 software environment. The work refined the previously calculated forecast of the 25th cycle, estimated the duration of the growth phase and the full duration of the 25th cycle, taking into account the average rate of increase in activity in the growth phase of the 25th cycle and the obtained dependence coefficients.

**Results.** The constructed dependences and the obtained coefficients in the equations made it possible to calculate the amplitude of the 25th cycle, which is  $W_{\max 25} = 156.3 \pm 14.4$  units (the previously obtained cycle amplitude is within 150-160 units), as well as to calculate the duration of the growth phase and the full duration of the cycle. The durations of the growth phase and the total duration of the cycle were calculated using linear and polynomial dependencies. The values obtained are close to each other.

**Conclusions.** The prediction of the amplitude of the 25th cycle was refined. The durations of the growth phase of the cycles were calculated from the rate of increase in activity. It was found that this dependence is quite high. The best result was obtained for the polynomial dependence (polynomial of degree 2) with  $R$ -Square (COD) = 0.84. In this case, the duration of the growth phase of the 25th cycle should be 57.8 months. For the linear dependence, we have the best result for the Pearson coefficient  $r = -0.88$ . In this case, the duration of the growth phase of the 25th cycle should be 58.8 months. Based on the result obtained for the duration of the growth phase of the 25th cycle, an estimate of the duration of the 25th cycle was made based on the dependence of the cycle duration on the duration of the activity increase phase. The best result for the polynomial dependence for the 25th cycle is 11.5 years. For the linear dependence, we have the best result for the Pearson coefficient  $r = 0.56$ . In this case, the duration of the 25th cycle should be 11.2 years.

**Keywords:** Sun, solar activity, sunspot number, forecasts, maximum of the 25th cycle, duration of the growth phase, duration of the cycle.

Автор заявляє про відсутність конфлікту інтересів. Спонсори не брали участі в розробленні дослідження; у зборі, аналізі чи інтерпретації даних; у написанні рукопису; в рішенні про публікацію результатів.

The author declares no conflicts of interest. The funders had no role in the design of the study; in the collection, analyses or interpretation of data; in the writing of the manuscript; in the decision to publish the results.