

ШИРОТНИЙ РОЗПОДІЛ АКТИВНИХ ДІЛЯНОК ПРОТЯГОМ 23–24 СОНЯЧНИХ ЦИКЛІВ

О. А. Баран^{ORCID}, А. І. Присяжний^{ORCID}

*Астрономічна обсерваторія Львівського національного університету імені Івана Франка,
вул. Кирила і Мефодія, 8, Львів, 79005, Україна,
e-mails: oleksandra.baran@lnu.edu.ua; andrii.prysiazhnyi@lnu.edu.ua*

(Отримано 24 січня 2023 р.; в остаточному вигляді — 24 лютого 2023 р.; прийнято до друку — 09 березня 2023 р.;
опубліковано онлайн — 19 квітня 2023 р.)

На основі об'єднаного масиву даних із SolarMonitor та GOES/XRS досліджено розподіл за широтою активних ділянок (АД), що спостерігались протягом 23–24-го циклів сонячної активності (СА).

Відслідковано появу АД та виникнення спалахів у них на різних геліографічних широтах протягом досліджуваних циклів. Установлено, що уніполярні та біполярні прості АД спостерігалися, починаючи з широт $\pm 40^\circ$ чи навіть вище, а біполярні комплексні ділянки з'являлися здебільшого в діапазоні $\pm 30^\circ$, і на цих широтах була абсолютна більшість спалахів в АД. Виявлено, що асиметричний характер розподілу АД за широтою сильніше проявлявся на фазі спадання СА.

Вивчено циклічні зміни сумарних значень площі АД та пікових потоків випромінювання в м'якому рентгенівському діапазоні від спалахів у них в окремих півкулях Сонця. Знайдено, що для обох циклів максимальні значення вибраних параметрів були швидше в північній півкулі, ніж у південній. Установлено зміну характеру північно-південної асиметрії СА під час переходу від 23-го до 24-го циклу: в 23-му циклі на початку фази зростання активність Сонця здебільшого переважала в північній півкулі, а в максимумі та на фазі спадання — у південній півкулі; у 24-му циклі вона переважала в північній півкулі.

Ключові слова: активні ділянки, класи магнітної складності, спалахи на Сонці, цикли сонячної активності, північно-південна асиметрія.

DOI: <https://doi.org/10.30970/jps.27.2901>

ВСТУП

Є вагомими докази того, що СА проявляє систематичні варіації. Добре вивченими протягом тривалого часу є варіації кількості сонячних плям та інших активних утворень протягом 11-річного циклу (цикл Швабе) і пов'язаний з ним ефект переміщення ділянки формування сонячних плям із середніх широт Сонця до його низьких широт — так звані “метелики Маундера” [1]. Аналіз розподілу АД різної магнітної складності за геліографічними широтами [2] показав, що АД зі складною конфігурацією магнітного поля з'являються на нижчих широтах, ніж ділянки з простою (уніполярною чи біполярною) магнітною конфігурацією. Ще одна з особливостей СА полягає в тому, що АД виникають у вибраних інтервалах довгот (так звані активні довготи — див., напр., [3–5]), причому дослідження довготного розподілу сонячних плям і спалахів [5] показує різницю у швидкості обертання північної та південної півкуль Сонця.

На різних фазах окремого 11-річного циклу також виявляють переважання активних процесів в одній із півкуль Сонця порівняно з іншою. Наприклад, у ранній роботі [6] показано, що максимум СА в окремих півкулях зміщений у часі; знайдено, що північно-південна асиметрія площі сонячних плям сильніше проявляється на фазі мінімуму СА — у цей період дисбаланс може бути спричинений раптовою появою великої групи плям в одній із півкуль. Поведінку асиметрії параметрів СА досліджено також на коротких часових масштабах у межах циклу [7–10] і протягом довшого періоду, що становить 8–12 сонячних циклів [11–18].

Удосконалення моделей сонячного динамо (див., напр., роботу [19] та посилання в ній) дасть змогу знайти чіткіші механізми фізичної інтерпретації результатів спостереження цього явища.

У роботі [12] досліджено північно-південну асиметрію для площі сонячних плям в окремих циклах СА від 12-го до 20-го і для кількості плям у 21-му циклі. Автори виявили, що загалом протягом сонячного циклу переважання проявів СА в одній півкулі змінюється на переважання СА в протилежній півкулі. Характер асиметрії повторюється чотири сонячні цикли, а потім змінюється на протилежний та залишається подібним у наступних чотирьох циклах. Тобто можна говорити про довгострокову періодичну поведінку північно-південної асиметрії протягом періоду, що включає близько восьми сонячних циклів. У цій роботі такі зміни знайдено під час переходу від 15-го до 16-го циклу та від 19-го до 20-го циклу. Наявність таких довготривалих періодичних змін СА підтверджено на основі аналізу північно-південної асиметрії спалахового індексу протягом 17–22-го циклів [15] і 21–22-го та частини 23-го (до 2004 р.) циклів [17]. Навіть більше, автори цих праць припустили, що протягом 23-го циклу загальний характер північно-південної асиметрії буде подібним до того, що спостерігали для попередніх трьох циклів, починаючи від 20-го, а саме: переважання СА в північній півкулі на



фазі зростання до максимуму і в південній півкулі — на фазі спадання циклу. Цю гіпотезу підтверджено в [20] на основі аналізу даних щодо площі сонячних плям для періоду часу, що включає 23-й цикл і початок 24-го циклу (до 2011 р.). З іншого боку, у працях [16, 18] зазначено періодичність переважання СА в окремих півкулях протягом часового проміжку, який складається з дванадцяти сонячних циклів.

Наша стаття є доповненням циклу робіт [21, 22] щодо статистичного аналізу вибраних параметрів АД на основі отриманих даних за період, який охоплює 23–24-й цикли СА. У [21] ми проаналізували циклічні зміни кількості, сумарної площі та тривалості різних за магнітною складністю АД. У праці [22] вивчено зв'язок між магнітною складністю цих ділянок та спалахами в них, а також зміни спалахової активності АД протягом сонячного циклу. Тепер буде представлено результати аналізу широтного розподілу АД та вивчення північно-південної асиметрії параметрів АД протягом 23–24-го циклів СА.

І. СПОСТЕРЕЖУВАНИЙ МАТЕРІАЛ

У нашій роботі ми розглянули 4806 АД протягом 23–24-го циклів СА (1996–2019 рр.). Як основу

ми використали дані про АД з проєкту SolarMonitor (www.solarmonitor.org). Цей проєкт надає щоденну інформацію про геліографічні координати та площу АД, які спостерігались у вибраний період, а також клас магнітної складності згідно з гейлівською класифікацією, до якого віднесли ділянку в конкретний день: α , $\alpha\gamma$, $\alpha\gamma\delta$, $\alpha\delta$ — уніполярна група класів; β — біполярна проста група; $\beta\gamma$, $\beta\gamma\delta$, $\beta\delta$ — біполярна комплексна група (див., напр., [23]). У нашому дослідженні ми аналізуємо параметри АД окремих груп класів магнітної складності, тому для спрощення такі ділянки називаємо відповідно до групи — уніполярні АД, біполярні прості АД та біполярні комплексні АД.

SolarMonitor також надає щоденні дані про спалахи в АД, проте в деяких випадках інформація щодо спалахів некоректна або відсутня (див. [22]). Тому цей масив даних доповнено інформацією про спалахи в досліджуваних ділянках із списку, отриманого на основі спостережень за допомогою приладу XRS супутника GOES (http://hec.helio-vo.eu/hec/hec_gui.php, список “GOES Soft X-ray Flare List”). Об'єднаний масив даних містить інформацію про 26066 спалахів класів В, С, М та Х, що відбувалися в АД протягом цього періоду. Докладну інформацію про використані бази даних і опис процедури об'єднання двох масивів даних про сонячні спалахи подано в [22].

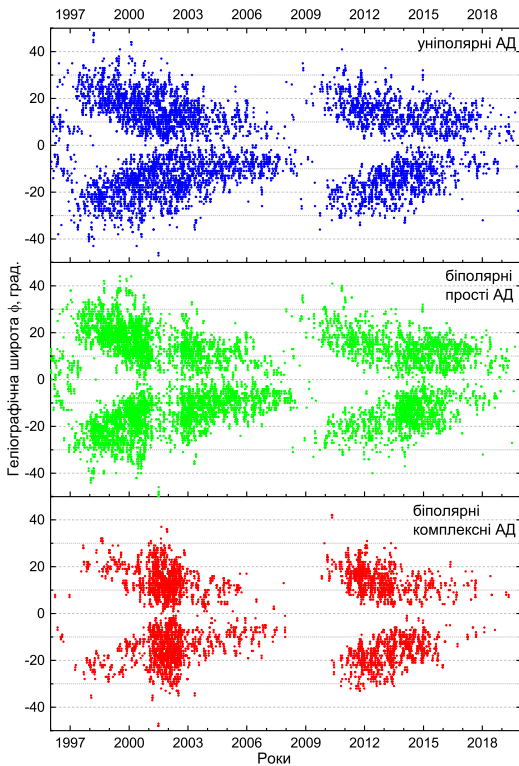


Рис. 1. Розподіл за широтою уніполярних, біполярних простих та біполярних комплексних АД протягом 23–24-го циклів СА

Fig. 1. Latitudinal distribution of unipolar, bipolar simple and bipolar complex ARs during 23–24 solar cycles

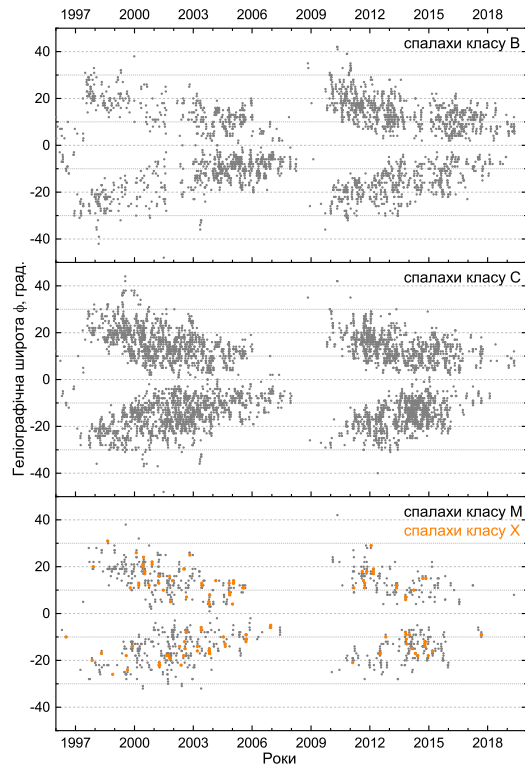


Рис. 2. Розподіл за широтою всіх АД, в яких відбувались спалахи класів В, С, М або Х, протягом 23–24-го циклів СА

Fig. 2. Latitudinal distribution of all ARs in which flares of classes B, C, M and X occurred during 23–24 solar cycles

II. ОТРИМАНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Ми розглянули розподіл АД за геліографічними широтами протягом 23–24-го сонячних циклів. На трьох панелях рис. 1 показано цей розподіл для ділянок окремих груп класів магнітної складності — уніполярної, біполярної простої та біполярної комплексної.

На початку кожного з сонячних циклів уніполярні та біполярні прості АД спостерігаються на широтах, абсолютне значення яких становить 40° чи навіть більше, а протягом циклу вони виникають все ближче до екватора. В той час біполярні комплексні АД з'являються у вузькому діапазоні, здебільшого в межах $\pm 30^\circ$.

Кількість усіх АД, що виникають на фазі зростання і в максимальній фазі СА, приблизно однакова в північній та південній півкулях. У 23-му циклі біполярні прості АД трапляються дещо рідше в максимумі СА, ніж на фазі зростання чи фазі спадання; у 24-му циклі кількість таких АД на фазі зростання є меншою, ніж після настання максимуму. В ці роки збільшується кількість біполярних комплексних АД. Такого збільшення немає в аналогічному розподілі в роботі Нікбахша та ін. [2], що можна пояснити тим, що в цій праці використано інший масив даних. Такі розбіжності в даних із різних баз стосовно класів магнітної складності для певних АД вже згадували раніше в літературі (див., напр., [24]). Також автори роботи [2] не враховували цілого класу магнітної складності — $\beta\delta$.

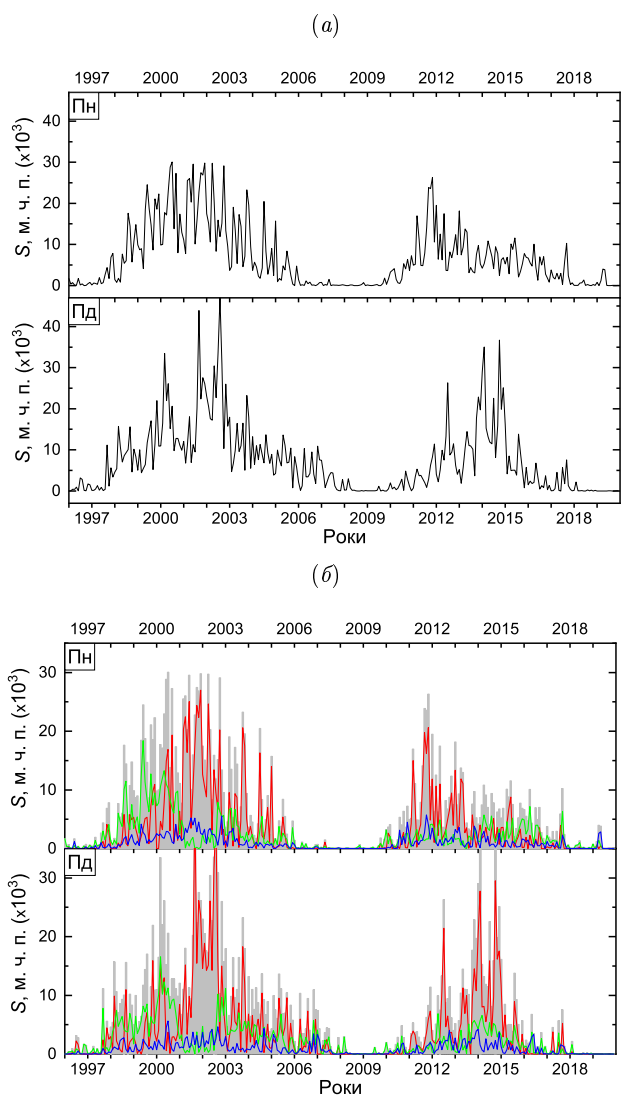


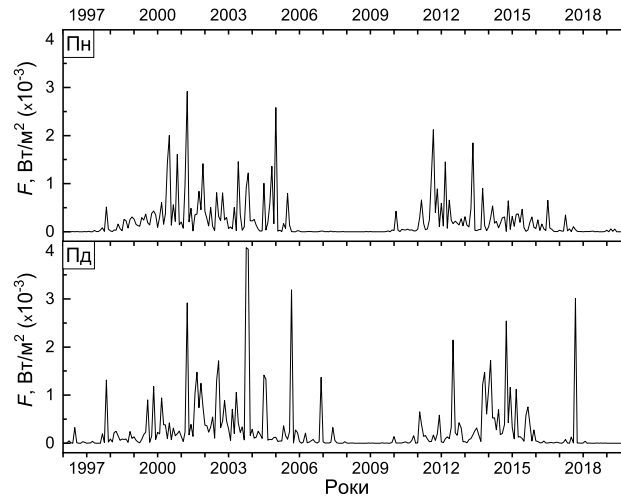
Рис. 3. (а) Графіки зміни місячної сумарної площі S (м. ч. п.) всіх АД в північній та південній півкулях Сонця протягом 23–24-го циклів. (б) Аналогічні графіки для окремих груп класів магнітної складності. Лінії для різних груп зображено кольорами відповідно до рис. 1 і накладено на сірі графіки зміни площі для всіх АД

Fig. 3. (a) Graphs of changes in the monthly total area S (μHem) for all ARs in the northern and southern hemispheres of the Sun during 23–24 solar cycles. (b) Similar graphs for distinct groups of magnetic complexity classes. Lines for different groups are depicted in colors according to Fig. 1 and superimposed on gray graphs of area changes for all ARs

На фазі спадання СА (рис. 1) сильніше проявляється асиметричний характер розподілу всіх АД; у 23-му циклі на цій фазі виявлено більше ділянок у південній півкулі Сонця, а в 24-му — навпаки, у північній. Цікаво зазначити, що в праці [25] виявлено переважання протягом 23-го циклу дрібномасштабних магнітних елементів, циклічні варіації кількості та сумарного магнітного потоку яких корелюють із варіа-

ціями відповідних параметрів АД, саме в південній півкулі. На основі досліджень АД за спостереженнями сонячної корони [26] знайдено, що вони також проявляють широтний розподіл, схожий на “метелики Маундера”, і протягом 23-го циклу переміщення ділянки їх виникнення до екватора в південній півкулі відбувається швидше, ніж у північній, а в 24-му циклі — навпаки.

(а)



(б)

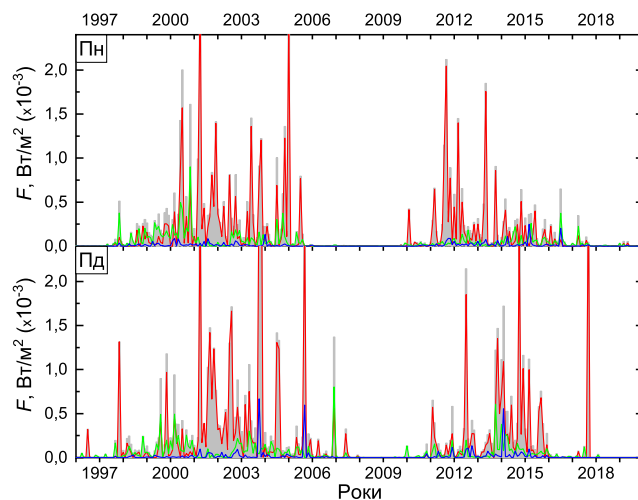


Рис. 4. (а) Графіки зміни місячних сумарних значень пікового потоку рентгенівського випромінювання F ($\text{Вт}/\text{м}^2$) від спалахів, що відбувались у всіх АД в північній та південній півкулях Сонця протягом 23–24-го циклів. (б) Аналогічні графіки для АД різної магнітної складності. Лінії для різних груп зображено кольорами відповідно до рис. 1 і накладено на сірі графіки зміни потоку для всіх АД

Fig. 4. (a) Graphs of changes in the monthly total values of the SXR peak flux F (W/m^2) from flares that occurred in all ARs in the northern and southern hemispheres of the Sun during 23–24 solar cycles. (b) Similar graphs for ARs of different magnetic complexity. Lines for different groups are depicted in colors according to Fig. 1 and superimposed on gray graphs of flux changes for all ARs

Ми також дослідили розподіл за широтами тих АД, у яких відбувались спалахи окремих класів В, С, М або Х (рис. 2). Абсолютну більшість спалахів в АД спостерігаємо в діапазоні широт $\pm 30^\circ$. У 23-му циклі

асиметричний характер спалахової активності найліпше проявляється на фазі спадання СА, коли спалахів було більше в південній півкулі. У 24-му циклі найбільш виражена асиметрія розподілу АД, у яких

відбувались спалахи класу В — вони суттєво переважають у північній півкулі. Спалахів класу С більше в північній півкулі на фазі спадання цього циклу. Спалахів класів М та Х в 24-му циклі було значно менше, ніж у 23-му, тому не можна однозначно стверджувати про переважання таких спалахів у північній чи південній півкулях.

Ми проаналізували циклічні зміни площ АД в окремих півкулях Сонця, показані на рис. 3а. Кількість АД у 23-му циклі більша, ніж у 24-му (див. рис. 1), відповідно, протягом 23-го циклу спостерігаємо більші значення місячних сумарних площ усіх ділянок порівняно з 24-м циклом (рис. 3а). Також ці графіки відрізняються для різних півкуль у тому ж циклі за формою, величиною пікового значення площі та мо-

ментом настання цього піка. Загалом помітна тенденція — у північній півкулі Сонця максимальні значення сумарної площі спостерігаються швидше, ніж максимальні значення в південній півкулі.

Ми порівняли місячні сумарні площі для АД різної магнітної складності, які були в окремих півкулях Сонця в досліджуваній період (рис. 3б). Бачимо, що в максимальних фазах СА найбільший внесок у загальну площу дають біполярні комплексні АД. Для них графіки показують таку ж асиметрію в околі максимуму СА, що й графіки для площ усіх АД. Хід графіків для біполярних простих АД в обох циклах відрізняється: загалом бувають піки й на фазі зростання СА, і в максимумі, і на фазі спадання. Сумарні площі уніполярних АД варіюють із порівняно значно нижчими значеннями протягом цілого циклу СА.

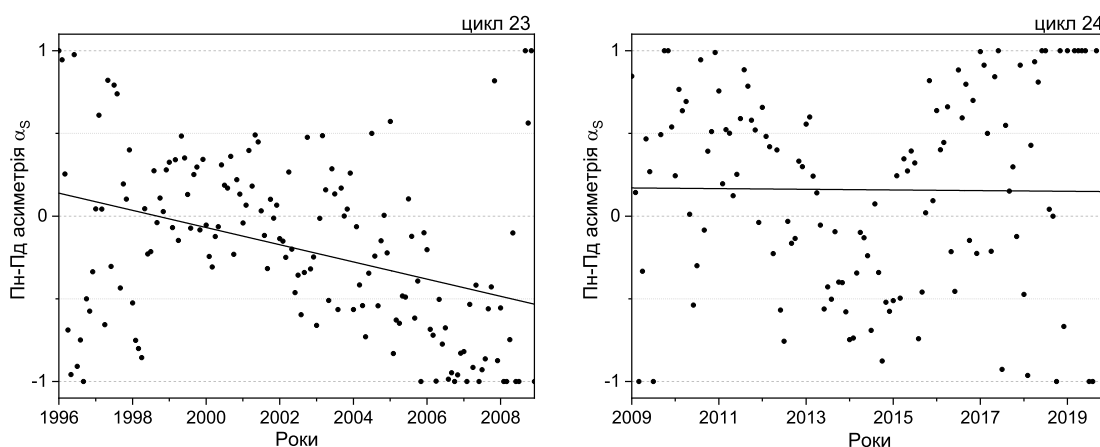


Рис. 5. Північно-південна асиметрія α_S сумарної площі всіх АД у 23-му та 24-му циклах. Кружечками показано значення α_S для кожного місяця протягом відповідного циклу, лінією — пряму регресії для цих значень
 Fig. 5. North-south asymmetry α_S of the total area of all ARs in cycles 23 and 24. The circles show the values of α_S for each month during the corresponding cycle; the line represents a regression line for these values

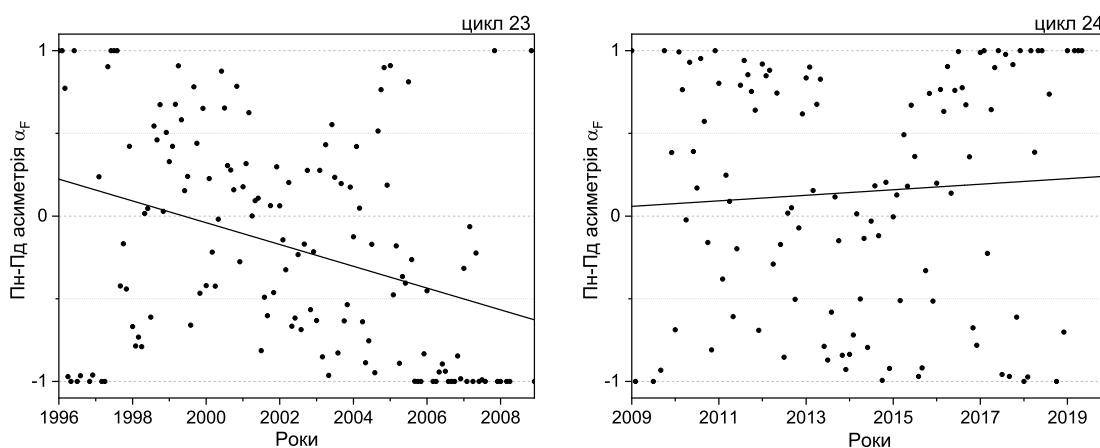


Рис. 6. Північно-південна асиметрія α_F сумарних значень пікового потоку рентгенівського випромінювання від спалахів у всіх АД для 23-го та 24-го циклу. Кружечками показано значення α_F для кожного місяця протягом відповідного циклу, лінією — пряму регресії для цих значень
 Fig. 6. North-south asymmetry α_F of the total values of the SXR peak flux from flares in all ARs for cycles 23 and 24. The circles show the values of α_F for each month during the corresponding cycle; the line represents a regression line for these values

Ми також дослідили циклічні зміни пікових потоків випромінювання в м'якому рентгенівському діапазоні від спалахів, що відбувались у всіх АД в окремих півкулях Сонця у 23–24-му циклах (рис. 4а). Графіки зміни їхніх місячних сумарних значень, аналогічно до графіків для площ, досить відмінні для різних циклів і відрізняються для різних півкуль у тому ж циклі. Вузькі, але високі піки наявні в усіх фазах сонячного циклу. Проте знову помітна загальна тенденція — у північній півкулі Сонця максимальні значення сумарного пікового потоку спостерігаються швидше, ніж у південній півкулі.

Місячні сумарні значення пікового потоку рентгенівського випромінювання від спалахів в АД різної

магнітної складності в окремих півкулях у досліджуваній період показано на рис. 4б. Бачимо, що найбільший внесок у сумарний піковий потік випромінювання дають біполярні комплексні АД і для них спостерігається аналогічний асиметричний характер спалахової активності, що й для всіх АД. Для уніполярних і біполярних простих АД в обох циклах трапляються піки на різних фазах СА, проте вони значно нижчі, ніж для біполярних комплексних АД.

Ми розрахували північно-південну асиметрію для вибраних параметрів АД: $\alpha = \frac{N - S}{N + S}$, де N і S — параметри АД у північній і південній півкулях Сонця відповідно. Якщо $\alpha > 0$, то СА домінує в північній півкулі, і навпаки.

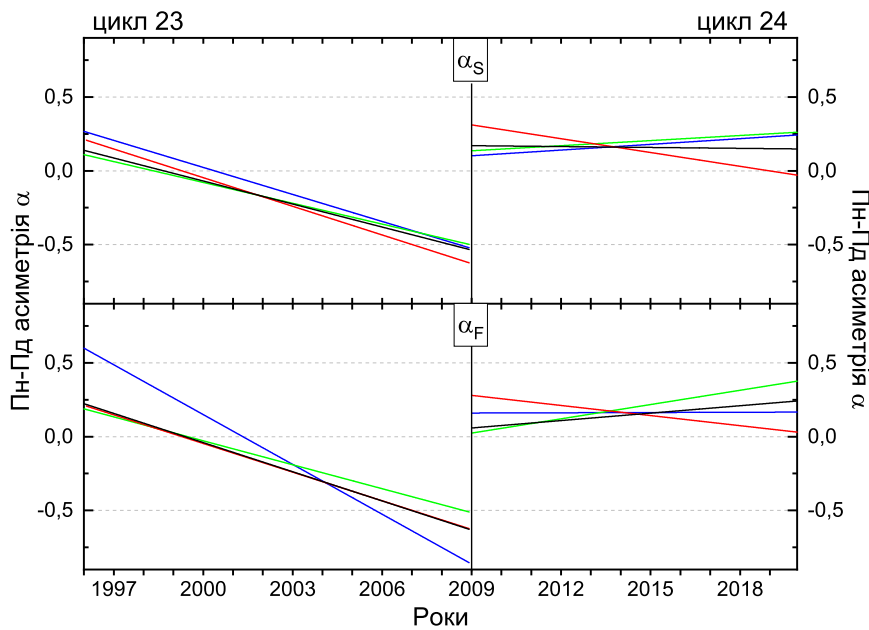


Рис. 7. Прямі регресії для асиметрії α_S сумарних місячних значень площі АД різної магнітної складності та для асиметрії α_F відповідних значень пікового потоку рентгенівського випромінювання від спалахів у 23-му та 24-му циклах. Лінії для різних груп зображено кольорами відповідно до попередніх рисунків

Fig. 7. Fitting of a regression line to the monthly values of the asymmetry α_S of the total area occupied by ARs of different magnetic complexity and for the asymmetry α_F of the SXR peak flux from flares in cycles 23 and 24. Lines for different groups are colored as in previous figures

Зміни з часом північно-південної асиметрії α_S місячних сумарних значень площі АД окремо для 23-го і 24-го циклів СА показано на рис. 5, відповідні зміни асиметрії α_F сумарного пікового потоку рентгенівського випромінювання від спалахів у цих ділянках — на рис. 6. Аналогічно до робіт [12, 15–18, 20], на рисунках ми також зобразили прямі регресії, що показують загальний характер асиметрії протягом кожного циклу. Бачимо, що у 23-му циклі хід прямих регресії для асиметрії сумарної площі АД та пікового потоку випромінювання від спалахів у них є схожим: на початку фази зростання СА асиметрія додатна, а в максимумі СА і далі, на фазі спадання, — від’ємна. Кут нахилу прямої регресії для обох параметрів суттєво змінюється під час переходу від 23-го до 24-го

циклу СА. Протягом всього 24-го циклу бачимо додатну асиметрію.

Ми побудували аналогічні прямі регресії для асиметрії місячної сумарної площі АД різних груп класів магнітної складності, а також для асиметрії відповідних значень пікового потоку рентгенівського випромінювання від спалахів у них (рис. 7). Бачимо, що поведінка асиметрії для уніполярних і біполярних АД при переході від 23-го до 24-го циклу зазнає подібних змін: в 23-му циклі асиметрія змінює знак з додатного на від’ємний, а в 24-му циклі асиметрія додатна.

Хід прямих регресії (як для всіх АД, так і для окремих груп класів магнітної складності) указує на те, що на початку фази зростання 23-го циклу активність Сонця дещо переважає в північній півкулі, а вже в ма-

кимумі та на фазі спадання цього циклу – у південній півкулі. Для 24-го циклу хід прямих свідчить про те, що загалом активнішою є північна півкуля.

Раніше в роботах [12, 15] внаслідок аналізу північно-південної асиметрії різних параметрів СА було виявлено, що нахил відповідних прямих регресії змінився з додатного на від’ємний після 19-го циклу. Наше дослідження підтверджує та розширює ці попередні результати: поведінка північно-південної асиметрії протягом 23-го циклу подібна до тієї, що була у 22-му циклі [15, 17, 20], а в 24-му циклі вона суттєво відрізняється. Беручи до уваги повторюваність характеру асиметрії протягом періоду з тривалістю чотирьох сонячних циклів, можна припустити, що ще в трьох наступних циклах, починаючи від 25-го, СА проявлятиме північно-південну асиметрію, суттєво відмінну від тієї, що була в 20–23-му циклах.

ВИСНОВКИ

У роботі проаналізовано циклічні зміни вибраних параметрів СА в окремих півкулях Сонця протягом 23–24-го циклів. Це дослідження базується на об’єднаному масиві даних із SolarMonitor та GOES/XRS.

- Унаслідок аналізу кількості АД, що виникали на різних широтах протягом досліджуваних циклів, і спалахів, що відбувались у цих ділянках, було виявлено, що:
 - уніполярні та біполярні прості АД наявні, починаючи від широт $\pm 40^\circ$ чи навіть вище; біполярні комплексні АД з’являються здебільшого в діапазоні $\pm 30^\circ$, і на цих широтах бачимо абсолютну більшість спалахів;
 - у 23-му і 24-му циклах СА на фазі зростання і в максимальній фазі кількість АД окремих груп приблизно однакова в північній і південній півкулях Сонця, на фазі спадання сильніше проявляється асиметричний характер їх розподілу: наприкінці 23-го циклу виявлено більше АД і спалахів у них у південній півкулі, а в 24-му – навпаки, у північній.
- Дослідження місячних сумарних значень площі АД і пікового потоку випромінювання в м’якому рентгенівському діапазоні від спалахів у цих ділянках, що спостерігались в окремих півкулях Сонця протягом 23–24-го циклів, показало, що:

– для обох циклів у північній півкулі максимальні значення відповідних параметрів спостерігаються швидше, ніж максимальні значення в південній півкулі;

– найбільший внесок у загальну площу й сумарний піковий потік випромінювання від спалахів дають біполярні комплексні АД, графіки зміни досліджуваних параметрів цих ділянок показують таку ж асиметрію в околі максимуму СА, що й графіки для всіх АД; параметри уніполярних і біполярних простих АД варіюють із порівняно значно нижчими значеннями протягом цілого циклу, за винятком окремих піків.

- Вивчено загальну поведінку північно-південної асиметрії для площі АД і для пікових потоків випромінювання від спалахів у них в 23-му і 24-му сонячних циклах:

– у 23-му циклі на початку фази зростання активність Сонця переважає в північній півкулі, а в максимумі та на фазі спадання – у південній півкулі; у 24-му циклі СА переважає в північній півкулі;

– для різних груп класів магнітної складності північно-південна асиметрія зазнає подібних змін під час переходу від 23-го до 24-го циклу.

Як підсумок, ми підтвердили наявність північно-південної асиметрії СА протягом 11-річного циклу, виявленої раніше в працях [12, 15, 17, 20], а також припущення про її довгострокову періодичну поведінку, що проявилась у її зміні під час переходу від 23-го до 24-го циклу. Отже, імовірно, ще наступні три цикли активності Сонця характеризуватиметься північно-південною асиметрією, суттєво відмінною від тієї, що спостерігалась у 20–23-му сонячних циклах.

ПОДЯКИ

Автори висловлюють щирі вдячність усім Героям, які захищають свободу, незалежність та територіальну цілісність нашої держави і завдяки яким українські вчені можуть займатися науковими дослідженнями.

[1] E. W. Maunder, Mon. Not. R. Astron. Soc. **64**, 747 (1904); <https://doi.org/10.1093/mnras/64.8.747>.
 [2] S. Nikbakhsh, E. I. Tanskanen, M. J. Käpylä, T. Hackman, Astron. Astrophys. **629**, A45 (2019); <https://doi.org/10.1051/0004-6361/201935486>.

[3] И. Н. Атрощенко и др., *Вариации глобальных характеристик Солнца* (Наук. думка, Киев, 1991).
 [4] S. V. Berdyugina, D. Moss, D. Sokoloff, I. G. Usoskin, Astron. Astrophys. **445**, 703 (2006); <https://doi.org/10.1051/0004-6361:20053454>.

- [5] L. Zhang, K. Mursula, I. Usoskin, H. Wang, *Astron. Astrophys.* **529**, A23 (2011); <https://doi.org/10.1051/0004-6361/201015255>.
- [6] J.-R. Roy, *Solar Phys.* **52**, 53 (1977); <https://doi.org/10.1007/BF00935789>.
- [7] J. L. Ballester, R. Oliver, M. Carbonell, *Astron. Astrophys.* **431**, L5 (2005); <https://doi.org/10.1051/0004-6361:200400135>.
- [8] S. I. Zharkov, V. V. Zharkova, *Adv. Space Res.* **38**, 868 (2006); <https://doi.org/10.1016/j.asr.2006.03.035>.
- [9] P. Chowdhury, A. Kilcik, V. Yurchyshyn, V. N. Obridko, J. P. Rozelot, *Solar Phys.* **294**, 142 (2019); <https://doi.org/10.1007/s11207-019-1530-7>.
- [10] V. de Paula, J. J. Curto, R. Oliver, *Mon. Not. R. Astron. Soc.* **512**, 5726 (2022); <https://doi.org/10.1093/mnras/stac424>.
- [11] M. Waldmeier, *Z. Astrophys.* **43**, 149 (1957).
- [12] G. Vizoso, J. L. Ballester, *Astron. Astrophys.* **229**, 540 (1990).
- [13] V. K. Verma, *Astrophys. J.* **403**, 797 (1993); <https://doi.org/10.1086/172250>.
- [14] R. Oliver, J. L. Ballester, *Solar Phys.* **152**, 481 (1994); <https://doi.org/10.1007/BF00680451>.
- [15] T. Ataç, A. Özgüç, *Solar Phys.* **166**, 201 (1996); <https://doi.org/10.1007/BF00179363>.
- [16] K. J. Li, J. X. Wang, S. Y. Xiong, H. F. Liang, H. S. Yun, X. M. Gu, *Astron. Astrophys.* **383**, 648 (2002); <https://doi.org/10.1051/0004-6361:20011799>.
- [17] B. Joshi, A. Joshi, *Solar Phys.* **219**, 343 (2004); <https://doi.org/10.1023/B:SOLA.0000022977.95023.a7>.
- [18] J. Zhang, W. Feng, *Astron. J.* **150**, 74 (2015); <https://doi.org/10.1088/0004-6256/150/3/74>.
- [19] A. A. Norton, P. Charbonneau, D. Passos, *Space Sci. Rev.* **186**, 251 (2014); <https://doi.org/10.1007/s11214-014-0100-4>.
- [20] B. Ravindra, P. Chowdhury, J. Javaraiah, *Solar Phys.* **296**, 2 (2021); <https://doi.org/10.1007/s11207-020-01744-7>.
- [21] O. A. Baran, A. I. Prysiaznyi, M. M. Koval'chuk, *J. Phys. Stud.* **26**, 1901 (2022); <https://doi.org/10.30970/jps.26.1901>.
- [22] A. I. Prysiaznyi, O. A. Baran, *J. Phys. Stud.* **27**, 1901 (2023); <https://doi.org/10.30970/jps.27.1901>.
- [23] S. Toriumi, H. Wang, *Liv. Rev. Solar Phys.* **16**, 3 (2019); <https://doi.org/10.1007/s41116-019-0019-7>.
- [24] J. Guo, J. Lin, Y. Deng, *Mon. Not. R. Astron. Soc.* **441**, 2208 (2014); <https://doi.org/10.1093/mnras/stu695>.
- [25] C. L. Jin, J. X. Wang, *Astrophys. J.* **745**, 39 (2012); <https://doi.org/10.1088/0004-637X/745/1/39>.
- [26] D. A. Maghradze *et al.*, *Adv. Space Res.* **65**, 1321 (2020); <https://doi.org/10.1016/j.asr.2019.11.028>.

LATITUDINAL DISTRIBUTION OF ACTIVE REGIONS DURING SOLAR CYCLES 23–24

O. A. Baran, A. I. Prysiaznyi

*Astronomical Observatory of Ivan Franko National University of Lviv,
8, Kyrylo & Mefodiy St., Lviv, UA-79005, Ukraine,
e-mails: oleksandra.baran@lnu.edu.ua; andrii.prysiashnyi@lnu.edu.ua*

We carried out a study of the latitudinal distribution of active regions (ARs) observed during solar cycles 23–24. The research was based on the ARs data from the SolarMonitor database. We supplemented this dataset with information about solar flares provided by GOES/XRS (GOES SXR Flare List).

We monitored the occurrence of ARs on the Sun and flares associated with them. Unipolar and bipolar simple ARs were observed starting from latitudes of $\pm 40^\circ$ or even higher; bipolar complex ARs appeared mostly in the range of $\pm 30^\circ$, where the absolute majority of the flares associated with ARs were observed. The asymmetric character of the ARs latitudinal distribution was more noticeable during the descending phase of solar activity: at the end of cycle 23 more ARs and flares occurred in the southern hemisphere, and at the end of cycle 24 they prevailed in the northern hemisphere.

We studied cyclic changes in the total values of the ARs area and peak soft X-ray flux from the flares separately in the two solar hemispheres. For both cycles, the maximum values of these parameters were observed earlier in the northern hemisphere than in the southern hemisphere.

The general behavior in the north-south asymmetry of solar activity was changed during the transition from cycle 23 to cycle 24. In cycle 23, the northern hemisphere was more active at the beginning of the ascending phase, whereas the southern hemisphere was more active in the maximum and descending phases. In cycle 24, the northern hemisphere activity dominated throughout.

Key words: active regions, magnetic complexity classes, solar flares, cycles of solar activity, north-south asymmetry.