

ЕВОЛЮЦІЯ АКТИВНОЇ ОБЛАСТІ 10069 У СЕРПНІ 2002 Р. І ЇЇ СПАЛАХОВЕ ЕНЕРГОВИДІЛЕННЯ

І. С. Лаба¹, П. Г. Лісняк², І. Я. Підстригач¹

¹Астрономічна обсерваторія Львівського національного університету імені Івана Франка
вул. Кирила й Мефодія, 8, Львів, 79005

²Тернопільський національний педагогічний університет ім. В. Гнатюка,
вул. М. Кривоноса, 2, Тернопіль, 46009

(Отримано 24 грудня 2008 р.; в остаточному вигляді — 15 червня 2009 р.)

За даними спостережень Сонця в астрономічній обсерваторії Львівського національного університету імені Івана Франка, а також даними Internet (<http://sxi.ngdc.noaa.gov>) про сонячну активність вивчено еволюцію АО 10069 і її спалахове енерговиділення.

З 11 до 24 серпня 2002 року по видимому диску Сонця “проходила” велика активна область (NOAA AR 10069; S07L298). Вона мала дуже велику і складну головну пляму з домінуючою S-полярністю і $\beta\gamma\delta$ магнітною конфігурацією. На магнітограмі MDI/SOHO АО 10069 була компактною з перемішаними малими магнітними елементами протилежної полярності. Спостерігалось об’єднання передньої і хвостової частин групи плям (14.08), виникнення області-сателіта АО 10077 (13.08), впливання нового вихрового магнітного потоку N-полярності (16.08), перестановка магнітних полярностей (20–21.08), зростання площі групи плям до максимальних значень (20.08). Повільними були зміни магнітного поля і власні переміщення окремих ядер. Високий рівень активності 16–24.08 визначався великим внеском від АО 10069 спалахового рентгенівського випромінювання M-класу, а також двома спалахами X-класу.

Порівняння області 10069 з областю 10486, яка дала серію дуже потужних спалахів (до X28), показує, що якщо запасена енергія АО вивільнюється великою кількістю спалахів, то енергетика кожного з них невелика. При невеликій кількості спалахів у такій АО зростає ймовірність появи потужніших спалахів. АО 10069 продукувала 76 рентгенівських і 122 оптичні спалахи.

Складна й велика АО з досить розбалансованим магнітним потоком N-, S-полярності може продукувати найбільшу кількість слабких спалахів C-класу, приблизно втричі менше спалахів M-класу та зрідка спалахи X-класу.

Ключові слова: активна область, спалахове енерговиділення, рівень активності Сонця.

PACS number(s): 97.10.Ex

I. ВСТУП

Кожна активна область (АО) пов’язана з генерацією магнітного поля в тахокліні (основі конвективної зони), його впливанням і появою на поверхні Сонця центра активності (флокул, факел, пара та ін.). Такий центр активності є своєрідним зародком майбутньої АО. Він поступово еволюціонує, охоплюючи всі рівні атмосфери Сонця [1, 2]. Зростає площа, зайнята магнітним полем, і напруженість у ній до деякого максимального значення. Для цієї стадії зростання характерним є: витікання магнітного потоку, поява плям і цілих областей-сателітів, магнітних петель та їхніх систем, активізація структурних утворень, власний рух плям та ін. Усе це веде до перебудови й ускладнення магнітного поля і, врешті, до нагромадження загального енергозапасу АО, який відображається у величині ($\sim 10^{11} - 10^{12}$ А) глобального електричного струму [3, 4].

Дослідження Сонця за останні 10 років за допомогою космічних апаратів і наземних обсерваторій із високим просторовим і часовим розділенням дали змогу встановити, що характерними структурами

спалахово-продуктивних областей є корональні магнітні арки і що спалахове енерговиділення відбувається в компактних арках — спалахових петлях.

При певних необхідних і достатніх умовах (виникненні нестійкості [5, 6] або проникнення в ділянку енерговиділення холодної, частково йонізованої плазми протуберанця [7] запасена енергія може вивільнятися. Залежно від того, яка доля із запасеної енергії АО вивільнилася, спостерігаємо спалахи різних балів (S, 1, 2, 3, 4) в оптичному діапазоні і різних класів у м’якому ($1 - 8 \text{ \AA} = 12.5 - 1 \text{ keV}$) рентгені (A, B, C, M, X).

Слід відзначити, що спалахи й пов’язані з ними (і не тільки) ежекції корональної маси, як найпотужніші прояви сонячної активності, визначають рівень його активності.

Використовують п’ять загальноприйнятих термінів: а) дуже низький; б) низький; в) помірний; г) високий; д) дуже високий — для опису рівня активності на базі рентгенівських спалахів: C, M, X (<http://SWPC.noaa.gov/weekly/index.html>). При наявності на видимому диску Сонця багатьох активних ділянок і спалахових процесів в них рівень активності визначається сумарною потужністю останніх, а та-

кож враховуються спалахи за попередній день. Отже, кожна активна область щоденно вносить свою частку спалахового енерговиділення в сумарний рівень активності. Внесок кожної АО в загальний рівень (у тому числі і АО 10069, про яку йтиме мова) активності прямо залежать від спалахового потенціалу й спалахового індексу.

У процесі вивчення потужних протонних спалахів у NOAA AR10486 28.X.03 (4B/X17.2) і 29.X.03 (2B/X10.0) виявлено [9] численні компактні акустичні джерела, що продукують сейсмічні хвилі; джерела ці утворюються під час потужних спалахів у підніжжях корональних петель. Зіставлення акустичних записів із записами жорсткого рентгенівського випромінювання вказують на прямий зв'язок між прискореними (під час спалаху) енергетичними частинками й сейсмічними хвилями, які є гідродинамічною реакцією (відгуком) хромосфери чи, можливо, нижчих шарів.

Потужні сонячні спалахи (сонцетруси) продукують геліосейсмічні хвилі [10]; підтверджується тісний зв'язок між спалаховими сейсмічними хвилями й джерелами жорсткого рентгенівського випромінювання.

Вивчення спектрограм потужного протонного спалаху 4B/X17.2 28.X.03 р. виявило значну неоднорідність вертикальної й горизонтальної компонент магнітного поля [11]. Автор праці [12] встановив низку характерних спектральних особливостей, які вказують як на фонові поля (≈ 300 Гс), так і на сильні дрібномасштабні (1300–3100 Гс) біля сейсмічного джерела великого сонячного спалаху 4B/X17.2 28.X.03 р. Автор [12] також визначає ще одну дрібномасштабну компоненту протилежної полярності з індукцією 8–10 кГс, у якій виявлено червоне зміщення (1 км/с).

За даними спостереження Сонця автори вивчають характерні особливості еволюції АО 10069 і пов'язане з ними спалахове енерговиділення як внесок у загальний високий рівень активності; визначають спалаховий потенціал і спалаховий індекс АО 10069 і зіставляють з аналогічними характеристиками найбільш спалаховопродуктивної у 23 циклі с.а. АО 10486 [8].

II. СПОСТЕРЕЖЕННЯ Й ОБРОБКА ДАНИХ

Спостереження активності Сонця в астрономічній обсерваторії Львівського національного університету імені Івана Франка проводять за допомогою хромосферного телескопа повного диска в центрі бальмерівської лінії H_{α} ($\lambda 6563\text{\AA}$). Телескоп оснащений кінокамерою з часовою роздільною здатністю 1 кадр/сек. Діаметр зображення Сонця в кадрі 50 мм; кутове розділення $\sim 1''$. Як світлоприймач використовували фотоплівку ізопанхром тип 38-ТП на триацетатцелюлозній протиореольній основі з контрастом 2,5 і світлочутливістю 250 од. ГОСТУ ("СВЕМА"). Смуга пропускання інтерференційно-поляризаційного фільтра ППФ-4 дорівнює 0.5\AA . На кожному кадрі поряд із зображенням Сонця вдруковано дату й час спостереження, а також ступінчатий послаблювач.

З 11 до 24 серпня 2002 року по видимому диску Сонця проходила велика активна область АО 10069 (NOAA AR 10069 S07L298). Спостереження активних процесів у цій АО проводили в астрономічній обсерваторії 9 днів (11, 15, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24.08), що дало змогу вивчати еволюцію цієї області, реєструвати спалахи різних балів і численні викиди (ерупції).

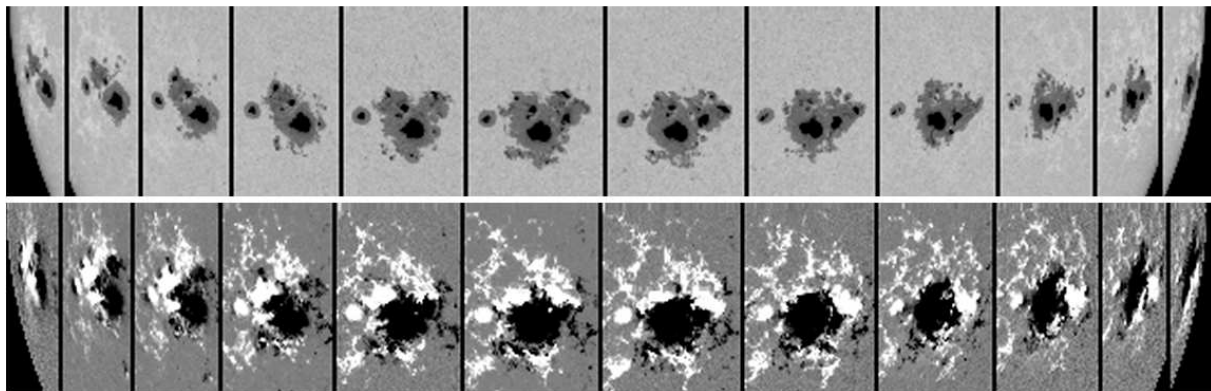


Рис. 1. Проходження по диску Сонця АО 10069 з 12 до 23 серпня 2002 року: верхній ряд — група плям, нижній ряд — магнетограма MDI/SOHO.

Група плям 10069 (рис. 1) вийшла з-за східного лімба на видимий диск Сонця 11.08. у вигляді двох частин: передньої р-плями і хвостової f-плями; не повністю було видно f-частину групи плям. Тут слід відзначити нетипове розташування частин групи плям щодо екватора; хвостова частина групи плям була ближче до екватора і, рухаючись швидше, почала повільно наближатися до перенної частини. 12.08 добре вид-

но обидві частини групи плям: р-пляма дуже велика з домінуючою S-полярністю (темний колір) і невеликими осередками протилежної N-полярності (світлий колір); в окремій f-частині помітно чотири осередки перемішаних полярностей, а також — початки відокремлення двох із них в NW- і SE-напрямах. У цілому, згідно з магнітограмами МДІ SOHO (Michelson Doppler Imager/Solar and Heliospheric Observato-

гу) конфігурація магнітного поля АО 10069 (рис. 1) відповідає складній $\beta\gamma\delta$ магнітній конфігурації, тобто такій, яка є найбільш спалаховопродуктивною; група плям досить компактна. 13.08 р- і f-частини групи плям досить зблизились і через день злилися в одну гігантську пляму перемішаних полярностей, яку оточувала спільна півтінь; біля південної частини великої плями виникла група-сателіт АО 10077, яка 16.08. з'єдналася з великою плямою. Окремим елементом на сході групи плям залишився невеличкий біполь, у якому наростала N-полярність і зменшувалася s-полярність до нуля (16.08). 14–15.08 продовжують зростати площі й напруженість обох полярностей. 16.08 у північній частині великої плями виникли нові ядра N-полярності (початок зародження яких припадає на 14.08), що засвідчили про впливання нового вихрового магнітного потоку і його повільний рух у південно-західному напрямку (вздовж s-полярності). 17–19.08 продовжувала зростати площа обох полярностей. Значно сповільнилася швидкість збільшення площі групи плям за два дні до досягнення максимальних значень (20.08). Поряд зі збільшенням площі відбувалися зміни магнітного поля, пов'язані, насамперед, з впливанням 16.08 у північній частині великої плями нового вихрового магнітного потоку N-полярності, який протягом 5 днів продовжував зростати і дрейфувати в SW-напрямку. Зростання N-полярності на місці області-сателіта АО 10077 спричинило появу у SW-частині великої плями значної площі з N-полярністю, яка з'єдналася з дрейфуючою з півночі N-полярністю й утворила (20.08) “перестановку” магнітних полярностей, будучи й надалі складною магнітною конфігурацією ($\beta\gamma\delta$). Отже, 20–21.08 головною стала N-полярність, що, до речі, не характерно для даного непарного циклу сонячної активності (і є ознакою підсиленої спалахової активності). Мабуть тому, врешті 21.08 АО 10069 вперше продукувала довгоочікуваний (згідно з прогнозом) спалах X-класу (X 1.0). Ядра N-полярності, що дрейфували на південь (уздовж S-полярності), досягли максимальних розмірів і напруженості магнітного поля в них 18–19.08 (2600 Гс, згідно з вимірами магнітного поля в Кримській астрофізичній обсерваторії). 20–21.08 спостерігалось зменшення як площі цих ядер, так і магнітного поля (1800 Гс). У головній плямі (S-полярності) магнітне поле було досить сильним: 3500 Гс (18–19.08) і 3300 Гс (21.08). Вихід магнітного поля N-полярності спостерігався і на півдні великої плями на місці області-сателіта AR 10077, що приєдналась до великої плями. Найчастіше спалахова активність проявлялась у місцях контакту протилежних полярностей (ЛРП). 21.08 помітно зменшилась площа групи плям, зайнята N-полярністю, а 22.08 — S-полярністю. З наближенням АО 10069 до західного мімба (21–24.08) дещо збільшилась кількість спалахів в оптичному діапазоні, підсилювалися ерупційні процеси, продукуються потужніші рентгенівські спалахи X-класу. Два великі спалахи 22.08. (M5.0/2B) і 24.08 (X3.1/1F) продукували малу ($36 \text{ ч/см}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{ст}$) і помірну ($317 \text{ ч/см}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{ст}$) протонні події, відповідно.

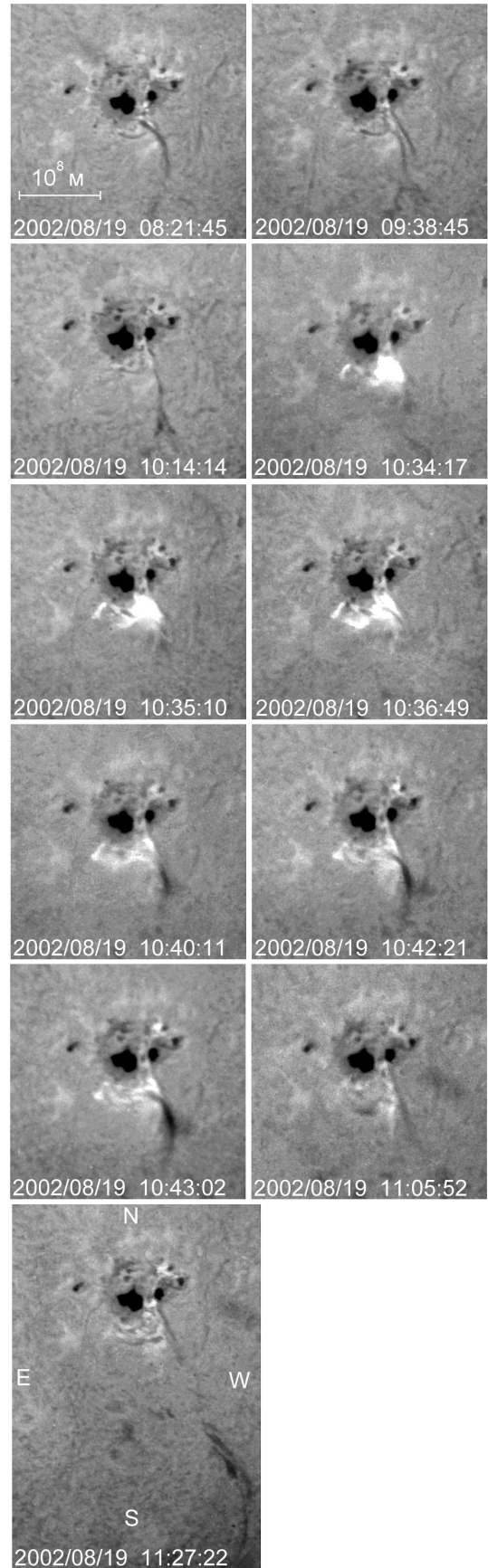


Рис. 2. Зображення АО 10069 19 серпня 2002 року на хромосферному рівні в передспалаховий, спалаховий (1N/M2.0) та післяспалаховий періоди.

На рис. 2 подано зображення АО 10069 19.08 на хромосферному рівні в передспалаховий, спалаховий і післяспалаховий періоди, одержані за допомогою сонячного телескопа астрономічної обсерваторії Львівського національного університету імені Івана Франка. У передспалаховий період помітною була активізація волокон. Під час спалаху балу $1n/M2.0$ зникло волокно й почався викид холодної речовини (10:34 UT); викид цей добре проявився під кінець спалаху (10:42 UT). У післяспалаховий період видно було рух холодної речовини в SW-напрямку і відновлення волокна.

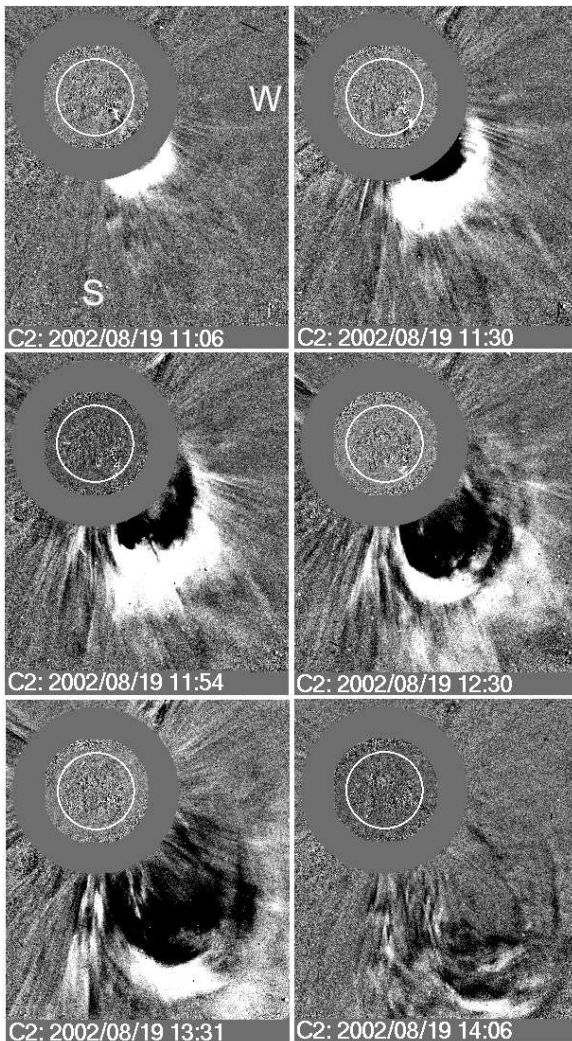


Рис. 3. Зображення руху викиду, пов'язаного зі спалахом ($1n/M2.0$), отримане в SOHO/LASCO/C2.

Цей викид спостерігався приладами космічної обсерваторії SOHO/LASCO (LASCO — Large Angle and Spectrometric Coronagraph) (рис. 3).

Ширококутний спектрометричний коронограф LASCO (C1, C2, C3) проводить моніторинг корони Сонця (подібно до того, як ми спостерігаємо її під час повного сонячного затемнення) поза лімба на відстані від центра Сонця від 1.1 до $32 R_{\odot}$. LASCO C2 покриває діапазон відстаней від 1.5 до $6 R_{\odot}$ і дає зображення в оптичному діапазоні псевдостатичних і

динамічних корональних структур.

На рис. 3 зображено викид і його рух (11:06–13:31 UT) в оптичному діапазоні, одержаний LASCO/C2 і пов'язаний зі спалахом $1n/M2.0$.

III. ОТРИМАНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Спалахове (електромагнітне й корпускулярне) енерговиділення та ежекції корональної маси — найпотужніші прояви сонячної активності. Близько 90% [13] спалахової енергії вивільняється у вигляді рентгєнівського і УФ-випромінювання, потоків прискорених частинок та гідродинамічних течій речовини.

У таблиці 1 подано результати спостережень (повні дані) АО 10069 у серпні 2002 р., одержані в астрономічній обсерваторії Львівського національного університету імені Івана Франка, а також використано дані INTERNET (<http://sxi.ngdc.noaa.gov>) про сонячну активність.

В еволюції АО 10069 (рис. 1) і пов'язаного з нею спалахового енерговиділення (таблиця 1) можна виділити три етапи (стадії), які в часі взаємно перекриваються.

Перший етап (11–15.08) — поступове наближення й з'єднання хвостової частини з передньою частиною групи плям (14.08) з утворенням гігантської плями, а також відокремлення двох ядер хвостової частини та їхні рухи в SE- і NW-напрявках відповідно. Сюди слід віднести виникнення (13.08) активної групи-сателіта АО-10077 і зародження (14.08) нових N-полярностей у північній частині великої плями. Локалізація спалахів на цьому етапі припадає на місця зіткнення хвостової і передньої частин групи плям.

Другий етап (16–20.08) пов'язаний з повільним виходом в атмосферу Сонця нового вихрового магнітного потоку N-полярності в північній частині гігантської плями, його повільним дрейфом в SW-напрямку (вздовж S-полярності) і взаємодією зі старим магнітним потоком; як результат взаємодії (16.08) — три спалахи рентгєнівського M-класу. При дальшому зростанні площі й напруженості обох полярностей (16–20.08) до максимальних значень АО 10069 продукувала 12 спалахів M-класу і 31 спалах C-класу, тим самим зробивши основний внесок у високий рівень активності Сонця. На цьому етапі спалахи виникали на ЛРП витікаючого нового потоку N-полярності при його дрейфі вздовж старого поля S-полярності, а також на півдні великої плями, на місці АО 10077. Перестановка магнітних полярностей (20–21.08) стала можливою через дрейф нового потоку N-полярності — спочатку в SW-напрямку, а згодом — в південному напрямку до місця виникнення області-сателіта АО-10077, у якій досить зросла N-полярність (декілька малих ядер). На цьому етапі найчастіше спалахова активність проявилася на лінії розділу полярностей.

Третій завершальний етап (21–24.08) пов'язаний з наближенням групи плям до західного лімба, зменшенням площі спочатку N-полярності, а згодом і S-

полярності. На цьому етапі досліджувана АО генерувала два спалахи рентгенівського Х-класу, 4 спалахи М-класу і 19 — С-класу. Спалахи відбувались у південній частині великої плями і в її західній частині.

Рівень активності Сонця був помірним 11–13.08 14–15.08 рівень активності став високим, в основному, через рентгенівські спалахи М-класу в інших активних

областях, яких на видимому диску було понад 10; внесок від АО 10069 у рівень активності тут був незначним. Високий рівень активності 16–24.08 визначався великим внеском від АО 10069 спалахового рентгенівського випромінювання М-класу (II етап) і Х-класу та М-класу на завершальному третьому етапі.

Події Дата	H_{α} спалахи			Х-спалахи			Х-спалахи			Ерупції	Рівень активності
	Бал			1–8Å клас			всього диска Сонця 1–8Å клас				
	Суб.	1	2	С	М	Х	С	М	Х		
11.08.02.	1			1			12			3	помірний
12							5			6	помірний
13		1			1		13	1		3	помірний
14	5			3			7	2		6	високий
15	5			3			11	2		7	високий
16	3	3	1		3		1	4		5	високий
17	17	1		11	1		14	2		7	високий
18	9	3		6	3		12	3		5	високий
19	10	1		5	2		11	2		6	високий
20	11	4		9	3		18	4		7	високий
21	12	1		10	1	1	12	1	1	11	високий
22	11		1	6	1		14	2	1	9	високий
23	20	1		3	2		8	5		10	високий
24		1				1	5	2	1	5	високий
Разом	104	16	2	57	17	2	143	30	3	91	

Таблиця 1. Результати спостережень спалахів в оптичному й м'якому рентгенівському діапазонах та пов'язаних із ними ерупцій в АО 10069.

АО 10486 $\beta\gamma\delta$	АО 10069 $\beta\gamma\delta$
Sp=2610 м.д.п.	Sp=1990 м.д.п.
спалах.потенціал $X_7^{28} + M_{20} + C_{17}$	спалах.потенціал $X_2^{3.1} + M_{17} + C_{57}$
спалах.індекс $77.9 \cdot 10^{-4}$ Вт/м ²	спалах.індекс $8.5 \cdot 10^{-4}$ Вт/м ²
H_{α} -спалахи 1(бал 4)+2(бал 3)+3(бал 2) + 7(бал 1) + 56 Суб.	H_{α} -спалахи 2(бал 2)+16(бал 1) + +104 Суб.

Таблиця 2. Порівняння спалахових характеристик двох АО.

Узятий з таблиці 1 спалаховий потенціал АО 10069 (як кількість спалахів згідно з рентгенівськими балами Х, М, С) і вирахований спалаховий індекс (як сума спалахів Х і М, де Х-клас оцінюється цілим числом і М-клас — десята доля цілого числа), а також H_{α} -спалахи порівнюються з аналогічними показниками найбільшої у 23 циклі сонячної активності АО 10486 (таблиця 2). Представлений у таблиці 2 спалаховий потенціал обох активних областей — це розподіл відповідної кількості спалахів за енергіями (адже: $E_{X1.0} = 10E_{M1.0} = 100E_{C1.0}$). Якщо перевага в кількості спалахів М-класу в АО 10486 порівняно з АО

10069 незначна, то для Х-класу така перевага є дуже великою, якщо взяти до уваги не тільки кількість спалахів, але й потужність їхнього випромінювання (Х 28; Х 17.2; Х 10.0 — 4.XI.03; 28.X.03; 29.X.03 відповідно). Потужність кожного із цих спалахів більша за загальну потужність ($8.5 \cdot 10^{-4}$ Вт/м²) АО 10069 відповідно в 3.3; 2; 1.2 рази! Зате кількість слабких спалахів С-класу в АО 10069 явно переважає такі ж спалахи в АО 10486.

Спалаховий індекс — це енергетична характеристика АО. Із таблиці 2 випливає, що енергетика спалахового випромінювання в рентгенівському діапазоні (1–8Å) АО 10486 переважає таку ж енергетику АО 10069 приблизно в 9.2 раза. Аналогічна картина представлена й результатах спалахового енерговиділення в обох областях в H_{α} -лінії.

Загальна кількість спалахів (як рентгенівських, так і оптичних) в АО 10069 переважає такі ж спалахи в АО 10486 в 1.7 раза!

Потужним проявом сонячної активності є також викиди (ежекції корональної маси — Coronal Mass Ejection — CME). У таблиці 1 наведено загальне число ерупцій, що дала АО 10069 — 91. Згідно з даними SOHO (LASCO CME CATALOG; <http://sxi.ngdc.noaa.gov/SOHO>) середні маси ерупцій $\sim 5 \cdot 10^{14}$ г і середня кінетична енергія $\sim 5 \cdot 10^{29}$ ерг. Для 91 ерупції маємо: $91 \cdot 5 \cdot 10^{29}$ ерг = $4.55 \cdot 10^{31}$ ерг.

Кінетична енергія ежекції корональної маси, що дав протонний спалах 4В/Х17.2 28.Х.03 в АО 10486 становила $1.2 \cdot 10^{33}$ ерг. Тобто ($120/4.6=26$), кінетична енергія лише однієї ерупції, що дала АО 10486, переважає сумарну кінетичну енергію ерупцій АО 10069 у 26 разів.

Цілком логічно виникає питання: чому дві АО з однаковою $\beta\gamma\delta$ конфігурацією й великою площею групи плям дають різні результати в спалаховому енерговиділенні. Одна АО 10069 продукує більше (в 1.7 раза) спалахів й одночасно менше (в 9.2 раза) сумарне спалахове енерговиділення, тоді як інша АО 10486 продукує менше (в 1.7 раза) спалахів з більшою (у 9.2 раза) сумарною енергетикою спалахів.

Спостереження за АО, що мають складну $\beta\gamma\delta$ магнітну конфігурацію і велику площу групи плям, постійно підтверджують їхню велику спалахову й ерупційну продуктивність. Цей висновок повністю підтверджують і наші результати спостережень АО 10069. Із таблиці 2 впливає помітна різниця в кількості спалахів (їх більше в АО 10069) і в енергетиці спалахових процесів (вона більша в АО 10486). Отже, якщо запасена енергія складної й великої АО вивільняється великою кількістю спалахових процесів, то в середньому енергетика кожного з них невелика (спалахи С-класу, рідше М-класу і дуже рідко — Х-класу). І навпаки — при невеликій кількості спалахів у такій АО зростає ймовірність появи потужніших спалахів (М-клас, Х-клас). У частині I ми відзначили, що вивільнена енергія (бал, клас) спалаху — це певна енергетична частка від загального енергозапасу АО.

Спостереження Сонця з великим просторовим розділенням підтвердили, що нагромадження енергії відбувається в корональних магнітних арках АО і спалахове енерговиділення здійснюється в компактних арках — спалахових петлях.

Магнітні арки (петлі) з'єднують осередки (ядра) протилежних полярностей. Кількість арок, що з'єднують протилежні полярності, залежить від їхньої площі. Невеличкі ядра (площі) протилежних полярностей переважно з'єднують окремі (одиночні) петлі, спираючись на них своїми "ніжками-основами"; якщо ж площі N- і S-полярності, що контактують, достатньо великі, то їх з'єднує система петель (аркада), у вершині якої може бути протуберанець [7]. Цілком зрозуміло, що запасена енергія [3, 4, 7, 14, 15] (енергія електричного струму) в одній петлі набагато менша від запасеної енергії в аркаді (та ще й з протуберанцем у вершині петель). Тепер слід дати оцінку осередкам (ядрам) N- і S-полярності в групі плям 10069.

Після об'єднання (13–15.08) хвостової частини групи плям з передньою утворилася гігантська пляма $\beta\gamma\delta$ конфігурації з домінуючою в центральній частині S-полярністю (згідно з вимірами магнітного поля в КрАО і SOHO/MDI). Центральне велике ядро S-полярності безпосередньо оточували середні за величиною і дрібні осередки (ядра) S-полярності. Малі ядра N-полярності були, як правило, на периферії групи плям (N, NW, W, S). Якщо не брати до уваги слабого фонового в північній частині поля N-полярності, то протя-

гом усього часу проходження по диску Сонця в групі плям 10069 домінувала S-полярність; також розміри ядер S-полярності й напруженість магнітного поля в них значно переважали розміри і напруженість у ядрах N-полярності. Найбільше ядро N-полярності середньої величини було у хвостовій частині групи плям і не проявляло активності. Нові ядра N-полярності, що виникли 16.08 у північній частині великої плями, були малими: їхні площі дещо збільшилися 18–19.08, але 20.08 різко зменшили свої розміри. Маленькі ядра N-полярності були й на півдні великої плями на місці області-сателіта АО 10077.

Отже, наявні малі ядра N-полярності з'єднані, мабуть, лише одиничними магнітними арками (петлями) з ядрами S-полярності, й накопичення енергії в них визначалося величиною електричного струму [14, 15]. При виникненні в петлях нестійкості [6, 7] накопичена енергія в них вивільняється у вигляді спалахів та ерупцій.

Отже, великі АО зі складною $\beta\gamma\delta$ магнітною конфігурацією й досить розбалансованим магнітним потоком N-, S-полярності (наявність великих, середніх та дрібних ядер однієї полярності й малих, переважно периферійних ядер протилежної полярності з повільною зміною магнітного потоку і власних рухів, оточені спільною північчю) можуть продукувати найбільшу кількість спалахів С-класу, приблизно втричі менше М-класу, та зрідка Х-класу. Їхнє спалахове енерговиділення визначає високий рівень активності Сонця при наявності спалахів М-класу в інших АО.

IV. ВИСНОВКИ

Спостереження за АО, що мають складну $\beta\gamma\delta$ магнітну конфігурацію й велику площу (групи плям), постійно підтверджують їхню велику спалахову й ерупційну продуктивність. Ми теж одержали аналогічні результати, вивчаючи АО 10069.

Однак, визначивши для АО 10069 спалаховий потенціал та індекс і зіставивши їх з такими ж характеристиками найбільшої у 23 циклі с.а. АО 10486, ми отримали таке: АО 10069 продукує (як у рентгені, так і в оптиці) більше (в 1.7 раза) спалахів і, одночасно, менше (у 9.2 раза) сумарне спалахове енерговиділення, тоді як АО 10486 продукує менше (в 1.7 раза) спалахів з більшою (у 9.2 раза) сумарною енергетикою спалахів. Отже, виявлено різницю як у кількості спалахів (їх більше в АО 10069), так і в енергетиці спалахових процесів (вона більша у АО 10486).

Отже, якщо запасена енергія великої і складної АО вивільняється досить великою кількістю спалахових процесів, то в середньому енергетика кожного з них невелика. І, навпаки, при невеликій кількості спалахів у такій АО зростає ймовірність появи потужніших спалахів.

Перевага в кількості спалахів (таблиця 2) М-класу в АО 10486 незначна, тоді як для Х-класу така перевага дуже велика, якщо взяти до уваги не тільки кількість спалахів, але й потужність їхнього випромін-

новання (X28 4.XI.03; X17.2 28.X.03; X10.0 29.X.03). Потужність кожного з цих спалахів більша за загальну потужність АО 10069 ($8.5 \cdot 10^{-4}$ Вт/м⁻²) відповідно в 3.3; 2; 1.2 рази. Проте кількість слабких спалахів С-класу в АО 10069 переважає (у 3.3 раза) кількість спалахів С-класу в АО 10486.

Кінетична енергія ежекції корональної маси, що дав протонний спалах 4В/X17.2 28.X.03 в АО 10486, переважає сумарну кінетичну енергію ерупцій від АО 10069 у 26 разів.

Велика АО зі складною $\beta\gamma\delta$ магнітною конфігура-

цією й досить розбалансованим магнітним потоком N-, S-полярності (наявність великих, середніх та дрібних ядер однієї полярності й малих, переважно периферійних ядер протилежної полярності з повільною змінною магнітного потоку і власних рухів, оточених спільною півтінню) може продукувати найбільшу кількість слабких спалахів С-класу, приблизно втричі менше спалахів М-класу та зрідка — Х-класу. Їхне спалахове енерговиділення може визначати високий рівень активності лише за наявності на диску Сонця інших АО і спалахів М-класу в них.

-
- [1] И. С. Лаба, *Возникновение и эволюция активных областей на Солнце*, Труды VIII Консультативного совещания академий наук соцстран по физике Солнца, (Наука, Москва, 1976), с. 37.
- [2] К. В. Аликаева и др., *Возникновение и эволюция активных областей на Солнце*, Труды VIII Консультативного совещания академий наук соцстран по физике Солнца, (Наука, Москва, 1976), с. 21.
- [3] С. И. Гопасюк, Изв. Крым. астрофиз. обсерв. **94**, 98 (1998).
- [4] А. М. Зверева, А. Б. Северный, Изв. Крым. астрофиз. обсерв. **41–42**, 97 (1970).
- [5] А. Г. Алтынцев и др., *Солнечные вспышки* (Наука, Москва, 1982).
- [6] С. А. Каплан, С. Б. Пикельнер, В. Н. Цытович, *Физика плазмы солнечной атмосферы* (Наука, Москва, 1977).
- [7] В. В. Зайцев, А. В. Степанов, Изв. Крым. астрофиз. обсерв. **92**, 25 (1994).
- [8] И. С. Лаба, Кинем. физ. небес. тел **23**, 51 (2007).
- [9] A.-C. Donea, C. Lindsey, *Astrophys. J.* **630**, 1168 (2005).
- [10] A. G. Kosovichev, *Solar Phys.* **238**, 1 (2006).
- [11] V. G. Lozitsky, N. I. Lozitska, *Kinem. Phys. Celest. Bodies Suppl. Ser. No 5*, 148 (2005).
- [12] В. Г. Лозицкий, *Письма Астрон. журн.* **35**, 154 (2009).
- [13] І. А. Климишин, А. О. Корсунь, *Астрономічний енциклопедичний словник* (Львів, 2003).
- [14] С. И. Гопасюк, Изв. Крым. астрофиз. обсерв. **92**, 15 (1995).
- [15] В. И. Абраменко, С. И. Гопасюк, М. Б. Огирь, Изв. Крым. астрофиз. обсерв. **78**, 151 (1988).

THE EVOLUTION AND FLARE ENERGETIC RELEASE OF ACTIVE REGION 10069 IN AUGUST 2002

I. S. Laba¹, P. G. Lisnyak², I. Ya. Pidstryhach¹

¹*Ivan Franko National University of Lviv, Astronomical Observatory, 8, Kyrylo and Mephodij St., Lviv, 79005, Ukraine
e-mail: laba@astro.franko.lviv.ua*

²*V. Gnatyuk National Pedagogical University of Ternopil, 2, M. Kryvonosa St., Ternopil, 46009, Ukraine*

The evolution and flare energetic release of AR 10069 are studied according to observations of the Sun made at the Astronomical Observatory of the Ivan Franko National University of Lviv and the Internet data (<http://sxi.ngdc.noaa.gov/>).

A large active region (NOAA AR 10069, SO7L298) was passing along the visible Sun disk on 11–24 August 2002. It was characterized by a very large and complicated leading spot with prevailing S-polarity and $\beta\gamma\delta$ magnetic configuration. The AR 10069 looked compact and intermixed with little magnetic elements of opposite polarity on the magnetogram by MDI/SOHO. A unification of the leading part of the spot group with its back part was observed (Aug. 14) as well as the appearing of satellite region AR 10077 (Aug. 13), emerging of new twisted magnetic flow of N-polarity (Aug. 16), rearrangement of magnetic polarities (Aug. 20–21), and increase of the spot group to maximal values (Aug. 20). Both changes of magnetic field and proper motions of separate cores were slow. High level of activity (Aug. 16–24) was characterizing by a high contribution of M-class flare X-rays at AR 10069, and two flares of X-class.

The comparison of AR 10069 with AR 10486, which has produced a series of very powerful flares (up to X28), testifies to the fact that if the energy which was stored in AR releases into high quantity of flares the energetics of each flare is low. A low quantity of flares at such AR increases the probability of appearance of more powerful flares.

AR 10069 has produced 76 X-ray flares and 122 optical flares.

Having rather disbalanced magnetic flow of N-, S-polarity, the complicated and great AR may produce the largest quantity of faint C-class flares, M-class flares approximately three times less, and seldom X-class flares.