

УДК 523.9

**В. М. Ораєвський¹, І. І. Собельман², І. О., Житник²,
В. Д. Кузнецов¹, А. І. Степанов¹, Г. М. Поліщук³,
П. М. Ковилін³, О. О. Негода⁴, В. Й. Драновський⁵, Я. С. Яцків⁶**

¹Інститут земного магнетизму, іоносфери й поширення радіохвиль Російської академії наук, м. Троїцьк, Росія

²Фізичний інститут ім. П. М. Лебедева Російської академії наук, Москва

³Російське авіаційно-космічне агентство, Москва

⁴Національне космічне агентство України, Київ

⁵Державне конструкторське бюро «Південне», Дніпропетровськ

⁶Головна астрономічна обсерваторія Національної академії наук України, Київ

Спостереження активних явищ на Сонці за допомогою космічного апарата КОРОНАС-Ф

Надійшла до редакції 03.06.03

Описано комплексні спостереження в рамках місії КОРОНАС-Ф, націленої на вивчення активних явищ у сонячній короні. Наведено основні риси таких експериментів: спектроскопія XUV-зображень із високим часовим і просторовим розділенням; спектроскопічні вимірювання в рентгенівському діапазоні; спектрофотометричні дослідження у рентгенівському та гамма-діапазоні; дослідження сонячних космічних променів. Обговорюються та аналізуються деякі нові спостережені дані про структуру й динаміку спалахів і про нестационарні явища на Сонці.

ПРОГРАМА КОРОНАС І МІСІЯ КОРОНАС-Ф

Міжнародну програму КОРОНАС (Комплексные орбитальные околоземные наблюдения активности Солнца), у рамках якої здійснено запуск навколоземної космічної сонячної обсерваторії КОРОНАС-Ф, призначено для дослідження Сонця на різних фазах 11-річного циклу. Попередній КА КОРОНАС-І (запущений 1994 р.) спостерігав Сонце в епоху, близьку до мінімуму активності. КОРОНАС-Ф вивчатиме сонячну активність поблизу максимуму теперішнього 23-го циклу. Цей супутник був виведений на орбіту 31 липня 2001 р. Параметри орбіти такі: нахил — 82.49°, найменша відстань до Землі — 500.9 км, найбільша відстань до Землі — 548.5 км, період обертання — 94.859 хв. Така орбіта забезпечує повторення 20-добових відрізків неперервних спостережень Сонця, що особливо

важливо для геліосейсмологічних досліджень і моніторингу сонячних спалахів. Ефективна стабілізація орієнтації супутника досягає 5"/с. Це значно підвищить просторове розділення спостережень Сонця.

Наукові завдання проекту КОРОНАС-Ф. Основні наукові завдання місії такі: спостереження глобальних коливань Сонця, сейсмологія Сонця та вивчення його внутрішньої будови; комплексне вивчення потужних динамічних процесів активного Сонця, таких як активні області, спалахи й викиди речовини, в широкому спектральному інтервалі — від оптичного діапазону до гамма-діапазону; дослідження сонячних космічних променів, прискорених у процесах сонячної активності, вивчення умов їхнього виходу та поширення в міжпланетному магнітному полі, а також дослідження впливу сонячних космічних променів на магнітосферу Землі.

КОМПЛЕКС НАУКОВОЇ АПАРАТУРИ ТА РЕЗУЛЬТАТИ СПОСТЕРЕЖЕНЬ

Наукове обладнання. Комплекс наукової апаратури проекту охоплює чотири основні групи інструментів: геліосейсмологія — спектрофотометр ДИФОС (науковий керівник В. М. Ораєвський); одержання монохроматичних зображень Сонця із високим кутовим розділенням — сонячний рентгенівський телескоп СРТ-К (наукові керівники І. І. Собельман та І. О. Житник), рентгенівський спектрогеліограф РЕС-К (наукові керівники І. І. Собельман та І. О. Житник), спектрофотометр ДИОГЕНЕСС (науковий керівник Я. Сильвестер); вимірювання електромагнітних потоків і поляризації (у діапазоні від ультрафіолету до гамма-випромінювання) — рентгенівський спектрометр РЕСИК (науковий керівник Я. Сильвестер), сонячний спектрополяриметр СПР-Н (наукові керівники І. І. Собельман, І. П. Тіндо та С. І. Свертилов), спалаховий спектрометр ИРИС (науковий керівник Г. Є. Кочаров), гамма-спектрометр ГЕЛИКОН (науковий керівник Є. П. Мазец), рентгенівський спектрометр РПС (наукові керівники В. М. Панков і Ю. Д. Котов), амплітудно-часовий спектрометр АВС (науковий керівник Ю. Д. Котов), сонячний ультрафіолетовий радіометр СУФР-Сп-К (науковий керівник Т. В. Казачевська), сонячний ультрафіолетовий спектрофотометр ВУСС-Л (науковий керівник А. А. Нусінов); вивчення сонячних корпускулярних потоків — комплекс СКР (науковий керівник С. М. Кузнецов) (гамма-нейтронний спектрометр СОНГ, монітор для космічних променів МКЛ і рентгенівський спектрометр СКИ-3). Вимірювання електромагнітного випромінювання в широкому спектральному діапазоні, а також вимірювання потоків сонячних часток, як нейтральних (нейтрони), так і заряджених (електрони, протони та ядра) охоплюють повну картину фізичних процесів в активних областях на Сонці.

Спект рофот омет р ДИФОС*. Спектрофотометр ДИФОС використовується для вимірювань флуктуацій інтенсивності сонячного білого випромінювання та одержання спектрів власних коливань. Інтенсивності вимірюються одночасно у шести спектральних частках ($\lambda = 350, 500, 650, 850, 1100$ і 1500 нм) із шириною смуги, рівною 10 % від центральної частоти. Результати експерименту ДИФОС передано до журналу «Advances in Space Research» для публікації.

* У підготовці та проведенні експерименту ДИФОС брали участь науковці Головної астрономічної обсерваторії НАН України (див. статтю Костик Р. І. та ін. в цьому номері журналу)

Експеримент СПИРИТ — XUV-спектроскопія зображень повного Сонця. Наукові цілі експерименту такі: дослідження динамічних процесів сонячної активності на основі рентгенівських і рентгенівсько-ультрафіолетових спектральних зображень з високим розділенням у смузі $\lambda\lambda$ 0.185—30.4 нм; вивчення динаміки нестационарних явищ на Сонці (спалахи, струмені, викиди речовини корони тощо) на часових проміжках від 1 с до кількох місяців; дослідження тонкої структури сонячної плазми в спалахах, активних областях і корональних дірах з $T = (0.05—50) \cdot 10^6$ К; вивчення розподілу іонів заліза й гелію по сонячному диску й корони до відстані п'яти радіусів Сонця.

Інструмент СПИРИТ охоплює комплекси телескопа СРТ-К і спектрогеліографа РЕС-К. До першого входять 1) телескоп системи Річі—Кретьєна для смуг $\lambda\lambda$ 17.1, 19.5, 28.4 і 30.4 нм з багатошаровою оптикою (подібно до телескопа ЕІТ проекту SOHO); поле зору 42'; кутовий масштаб 2.4"/пкл; 2) телескоп-коронограф системи Гершеля для смуг $\lambda\lambda$ 17.5, 30.4 нм з позаосьовими параболоїдами з молібдено-кремнієвим покриттям; поле зору 45'; кутовий масштаб 2.6"/пкл. У режимі коронографа прилад має миттєве поле зору 45' при $(2—5)R$ і два оптичних сенсори, щоб контролювати наведення на Сонце по зірках. Комплекс спектрогеліографа РЕС-К охоплює: 1) бреггівський кристалічний спектрогеліограф на лінію Fe XXV в частку $\lambda = 0.185—0.187$ нм, з кутовим масштабом 1'/пкл і спектральним розділенням 0.015 пм; 2) два бреггівські кристалічні спектрогеліографи на лінію Mg XII в частку $\lambda = 0.8418—0.8423$ нм, з ортогональними площинами дисперсії, полем зору 1.3°, кутовим масштабом 4.1"/пкл і спектральним розділенням 0.3 пм; 3) два дифракційні безщілинні XUV-спектрогеліографи, кожен з яких дає спектральні зображення повного Сонця у двох вибраних спектраль-

Таблиця 1. Спектральні смуги інструмента СПИРИТ і температура збудження іонів сонячної плазми

$\lambda\lambda$, нм	Основные ионы	T, 10^6 К
0.185—0.187	Fe XXIV — Fe XXV	20—50
0.8418—0.8423	Mg XII	10
17.7—20.7	O IV, Fe IX — XXIV, Ca XIV — Ca XVII	0.3—16
28.5—33.5	He II, Si XI, Fe XV — Fe XVI, Mg VIII, Ni XVII, Ca XVII	0.05—5
17.1±0.3	Fe IX — Fe X	1.3
17.5±0.5	Fe X — Fe XI	1.3
19.5±0.6	Fe XII	1.6
28.4±0.8	Fe XV	2
30.4±0.8	He II, Si XI	0.05, 1.6

них смугах $\lambda\lambda = 17.7\text{--}20.7$ нм і $28.5\text{--}33.5$ нм, кутовий масштаб становить $6'' \times 1'/\text{пкл}$, а спектральне розділення дорівнює 3 пм/пкл. Основні характеристики вимірювальних каналів подано в табл. 1.

Перші результати експерименту СПИРИТ можна підсумувати так. За перший рік польоту на інструменті СПИРИТ проекту КОРОНАС-Ф одержано понад 130 тисяч зображень і спектрів Сонця; ці зображення одержано в рентгенівському й УФ-діапазонах, а спектри — у 10 спектральних каналах. Уперше були отримані монохроматичні зображення всього Сонця в резонансній лінії Mg XII з $\lambda = 0.842$ нм. Уперше виконано спостереження високотемпературних структур $((3\text{--}20) \cdot 10^6$ К), пов'язаних з активними областями і розміщених на сонячному диску та над лімбом (до висоти $0.3R$). Уперше одночасно зафіксовано зображення всього Сонця в спектральних смугах 0.842 нм (Mg XII), 17.5 нм (Fe IX—XI) і 30.4 нм (He II), а це важливо для вивчення просторової структури й динамічних процесів сонячної корони. Телескопи й спектрогеліографи експерименту СПИРИТ зафіксували часові ряди зображень Сонця в рентгенівському й УФ-діапазонах у кількох смугах спектрального інтервалу $\lambda\lambda 0.842\text{--}30.4$ нм впродовж часових проміжків від секунд до місяців. За допомогою рентгенівських й ультрафіолетових спектрогеліографів експерименту СПИРИТ одержано спектральні зображення всього Сонця у спектральних смугах $\lambda\lambda 17.7\text{--}20.7$ нм і $\lambda\lambda 28.5\text{--}33.5$ нм рентгенівського й УФ-діапазону в більш ніж 200 монохроматичних

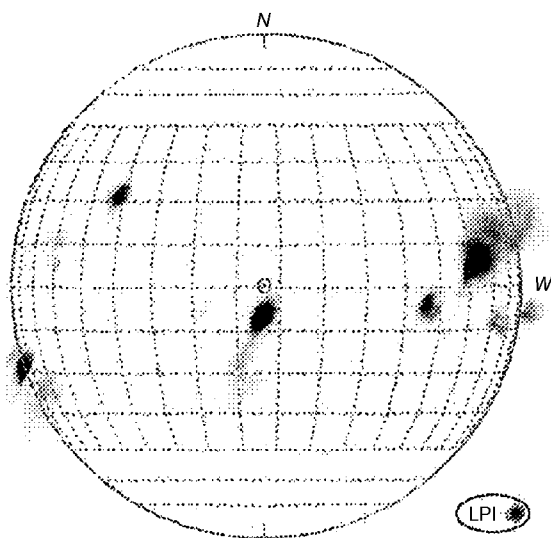


Рис. 1. Розподіл плазми з $T \sim 10^7$ К (лінія Mg XII) по сонячному диску (телескоп/спектрогеліометр експерименту СПИРИТ, 4 грудня 2001 р., 04:07 UT)

лініях низки іонів з температурою збудження $(0.05\text{--}16) \cdot 10^6$ К. Ці спектри дають змогу визначити температуру й густину різних структур на Сонці — від спалахів до корональних дір.

На рис. 1 зображено розподіл плазми з $T \sim 10^7$ К (лінія Mg XII) по сонячному диску. Зображення отримано за допомогою телескопа/спектрогеліометра експерименту СПИРИТ 4 грудня 2001 р., 04:07 UT.

Кольорові зображення Сонця і спектрогеліограми, одержані в рамках експерименту СПИРИТ, розміщено на Web-сайтах

<http://www.xras.lebedev.ru/>

та

<http://coronas.izmiran.rssi.ru>

Спектрофотометр ДИОГЕНЕСС і рентгенівський спектрометр РЕСИК. Інструменти ДИОГЕНЕСС і РЕСИК вимірюють спектри сонячного випромінювання в діапазоні хвиль $\lambda\lambda 0.3\text{--}0.7$ нм і призначені для вивчення з високим спектральним розділенням рентгенівського випромінювання активних областей і спалахів. Одержані рентгенівські спектри за їхнім спектральним і часовим розділенням порівнянні з найвідомішими світовими вимірюваннями. Завдяки полярній орбіті космічного апарата КОРОНАС-Ф і повному покриттю широкого спектрального діапазону ці спектри є доповненням до спектрів, отриманих на КА «Yohkoh».

На рис. 2 показано спектри для Ca XIX, виміряні з високим просторовим розділенням ($\approx 5''$) у фазі наростання, проміжній фазі і фазі затухання найінтенсивнішого спалаху теперішнього сонячного циклу (25 серпня 2001 р.). Температура плазми, яка випромінюється, знижується від $25 \cdot 10^6$ К у фазі наростання до $12 \cdot 10^6$ К у фазі затухання. Можна легко помітити, що ширини спектральних ліній змінюються. Це вказує на роль турбуленції плазми

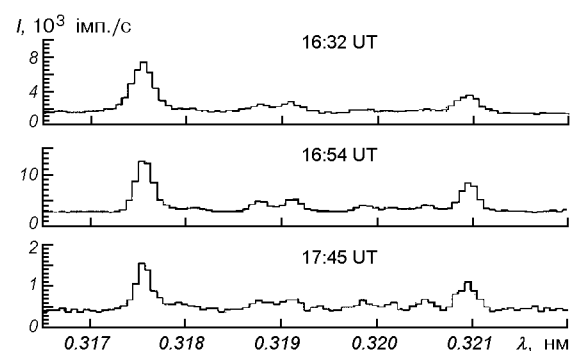


Рис. 2. Спектри для Ca XIX, виміряні з високим просторовим розділенням ($\approx 5''$) у фазах наростання, проміжній і затухання найінтенсивнішого спалаху теперішнього сонячного циклу (25 серпня 2001 р.; спектрофотометр ДИОГЕНЕСС)

в еволюції спалаху. Спектри з таким високим просторовим розділенням у даному спектральному діапазоні (0.3—0.7 нм) для спалахів рентгенівського типу одержано вперше. На ДИОГЕНЕСС отримано майже 2600 сонячних спектрів, в т.ч. спектри декількох сильних спалахів. Ці спектри дають змогу виявити багато емісійних ліній, утворених унаслідок ударного збудження атомів, збудження електронних оболонок атомів і двоелектронної рекомбінації та детально вивчати утворену при спалахах плазму. Відносні інтенсивності емісійних ліній містять інформацію про енергетичний баланс у сонячних спалахах і дають змогу глибше зрозуміти роль немаквелівських і нерівноважних процесів в плазмі. Проаналізовано зміни температури в плазмі, яка утворюється при спалахах, і вперше виявлено ефекти, пов'язані з електронними переходами в іонах Ar XVIII (L_{β}) та Si XIV.

На рис. 3 показано спектри у чотирьох каналах інструмента РЕСИК, отримані 21 квітня 2002 р. в епоху, близьку до максимуму спалаху з балом X1.5. Діапазони №№ 1—4 відповідають спектральним смугам $\lambda\lambda$ 0.337—0.388, 0.382—0.433, 0.431—0.489 і 0.496—0.609 нм. За допомогою спектрометра РЕСИК отримано майже 1 млн сонячних рентгенівських спектрів у діапазоні 0.32—0.61 нм, який до цього часу був мало вивчений. Виявлено декілька спектральних ліній, які раніше не спостерігалися. Спостерігалися часові варіації фізичних параметрів гарячої сонячної плазми, а також досліджено кількість випромінювання плазми при

сонячних спалахах. Рентгенівські спектри, одержані за допомогою спектрометра РЕСИК, розміщено на Web-сторінках

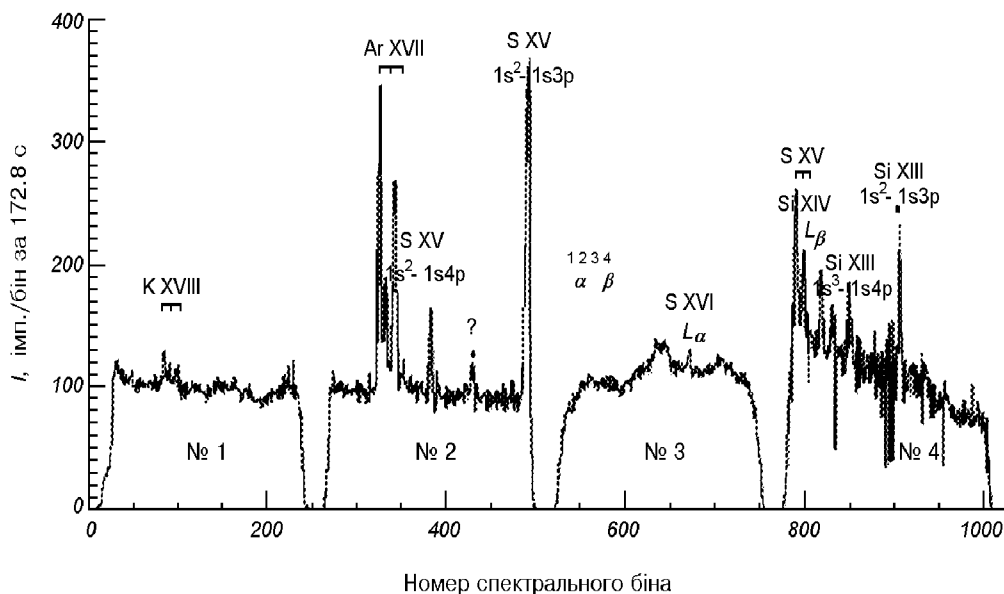
<http://www.cbk.pan.wroc.pl/2002.htm>

і

http://surfwww.mssl.ucl.ac.uk/surf/data_request.html

Спалаховий спектрометр ИРИС. Цей інструмент призначено для дослідження спалахової X-активності на Сонці у спектральному діапазоні 2—200 кеВ. У режимі патрулювання сплесків він має 12 енергетичних каналів, які дають часове розділення 2.5 с. У режимі реєстрації сплесків працюють 64 енергетичних канали, які дають часове розділення 1 с, і 4 канали, що дають часове розділення 10 мс. Ніколи раніше при вивченні Сонця в рентгенівському діапазоні не проводилося спектральних вимірювань з таким високим часовим розділенням. Спостереження часової тонкої структури жорстких рентгенівських потоків дають безпосередню інформацію про еволюцію процесів вивільнення енергії на стадії вибуху спалаху та дозволяють глибше зрозуміти фізичні механізми цих процесів.

На рис. 4 показано структуру часового профілю жорстких рентгенівських променів для сонячного спалаху, що відбувся 19 грудня 2001 р., з імпульсним вивільненням енергії в різних енергетичних каналах. Для сплеску, загальна тривалість якого становить 90 с, можна бачити п'ять піків з шириною 1—3 с, які йдуть один за одним приблизно через 20 с. Таким чином, записаний профіль жорсткого рентгенівського випромінювання виник,



Зис. 3. Спектри у чотирьох каналах інструмента РЕСИК, отримані 21 квітня 2002 р. для спалаху з балом X1.5 в епоху, близьку до його максимуму

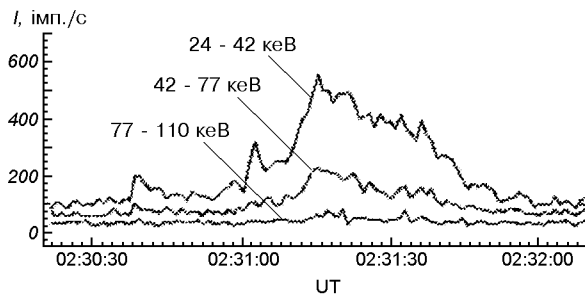


Рис. 4. Часовий профіль жорстких рентгенівських променів для сонячного спалаху, що відбувся 19 грудня 2001 р. з імпульсним вивільненням енергії в різних енергетичних каналах. (Отримано за допомогою спалахового спектрометра ІРИС)

імовірно, завдяки перекриванню окремих згенерованих імпульсів з відносно малою глибиною модуляції.

Спектральний аналіз рентгенівського часового профілю для сонячного спалаху 19 грудня 2001 р. [1, 2] дав змогу виявити в доспалаховій фазі у м'якому рентгенівському діапазоні (3.6—5.0 кеВ) коливання великої інтенсивності з періодом 36 с, а також декілька слабших компонентів з періодами 4, 13, 23 і 26 с. Щоб детально дослідити часову структуру, ряди даних з енергетичних каналів 3.6—5.0 кеВ і 24—42 кеВ були оброблені з використанням методів спектрального аналізу, які враховують специфічний характер самих рядів [3]. У процесі спалаху (початок і дальша еволюція) спектральна структура випромінювання змінилась: коливання з періодом 18 с стали найінтенсивнішими, з'явилися нові компоненти з періодами 6 і 8 с, коливання з періодом 4 с тривали і надалі, а всі інші коливання зникали. У діапазоні жорсткого рентгенівського випромінювання (24—42 кеВ) під час доспалахової фази найінтенсивнішими були коливання з періодом 31 с. Можна також ідентифікувати коливання з періодами 5, 15, 22 і 37 с. Усі ці коливання збігаються з коливаннями, виявленими для м'якого рентгенівського випромінювання, з точністю до дискретності реєстрації, рівної 1 с. Як і для м'якого рентгенівського випромінювання, у процесі спалаху можна виявити інтенсивні коливання з періодом 17 с і слабший компонент з періодом 4 с. Під час післяспалахової фази можна виявити потужні коливання з періодами 6 і 15 с, причому останні — найінтенсивніші, а також коливання з періодами 11, 20, 45 і 54 с.

Таким чином, спектральний аналіз даних, здобутих за допомогою спалахового спектрометра ІРИС, показує, що вивільнення енергії спалаху — це періодичний процес з періодом 18 с. Періодичність виявлено як для м'якого, так і для жорсткого

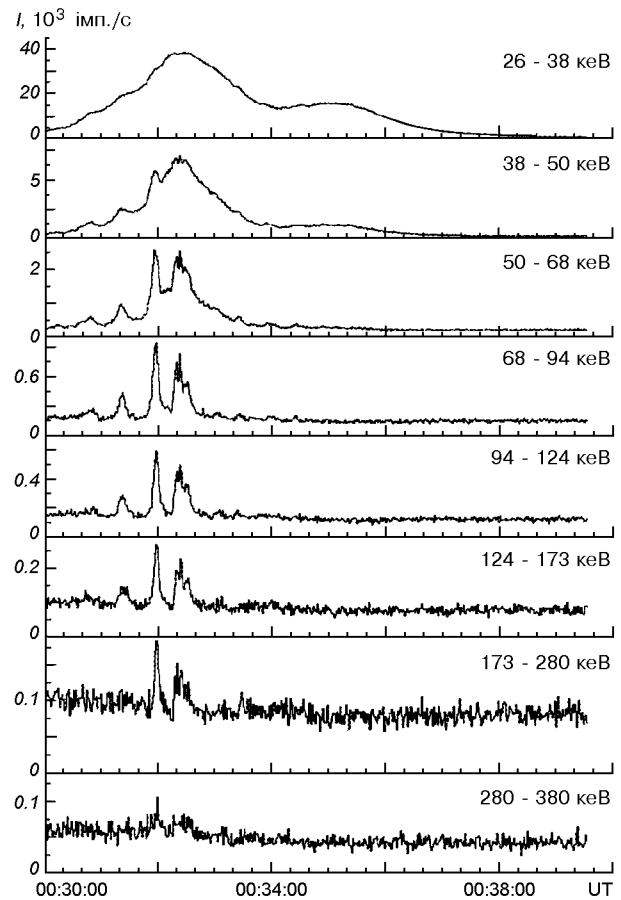


Рис. 5. Часовий профіль випромінювання для найбільшого спалаху 24 грудня 2001 р. ($0^{\text{h}}31^{\text{m}}41.895^{\text{s}}$ UT); зареєстровано у фазі вибуху у 8 енергетичних каналах за допомогою гамма-спектрометра ГЕЛІКОН

рентгенівського випромінювання, але вона не спостерігалася під час доспалахової фази. Це свідчить про імпульсну природу прискорення електронів у спалахах та про значний внесок нетеплового компонента в інтенсивність м'якого рентгенівського випромінювання.

Аналіз загальної картини формування й еволюції коливань на різних стадіях еволюції спалаху дає змогу трактувати їх як систему зв'язаних осциляторів, що може трохи змінити частоту коливань і перш за все амплітуду. Це означає, що під час еволюції спалаху має місце перекачування енергії від одних структур до інших; воно триває і в післяспалаховий період.

Гамма-спектрометр ГЕЛІКОН. Цей інструмент призначено для вимірювань часових і спектральних параметрів утвореного під час спалаху жорсткого електромагнітного випромінювання в

широкому інтервалі енергій — від рентгенівського до гамма-випромінювання (10 кеВ — 10 МеВ). Він дає змогу проводити моніторинг радіаційних умов у навколоземному космічному просторі та моніторинг м'яких сонячних спалахів, а також виявляти та реєструвати жорсткі спалахи ($E_\gamma > 50$ кеВ) й гамма-сплески. Починаючи з 15 серпня 2001 р., зареєстровано декілька сотень сонячних спалахів і декілька десятків гамма-сплесків. Більша частина спалахів має м'які спектри, і була зафіксована у фоновому режимі роботи з часовим розділенням 1 с у восьми сусідніх інтервалах енергії від 26 до 380 кеВ. Один з найбільших сонячних спалахів зареєстровано під час фази вибуху 24 грудня 2001 р. о 0^h31^m41.895^s UT.

На рис. 5 показано динаміку цього спалаху для восьми енергетичних каналів і послідовність енергетичних спектрів, одержаних для різних фаз цього явища.

Комплекс для дослідження сонячних космічних променів. До комплексу інструментів для дослідження сонячних космічних променів входять: гамма-нейтронний спектрометр СОНГ, монітор для дослідження космічних променів МКЛ і рентгенівський спектрометр СКИ-3. Комплекс призначено для комбінованих досліджень сонячних космічних променів і їхнього впливу на навколоземний простір. Прилад СОНГ дає змогу записувати рентгенівські та гамма-спектри в діапазоні 0.03—100 МеВ, детальні спектри для гамма-ліній в інтервалі 0.3—20 МеВ, реєструвати нейтрони з енергією понад 20 МеВ, а також заряджені частинки, що входять до складу сонячних космічних променів: протони з енергією понад 70 МеВ і електрони з енергією понад 50 МеВ. Прилад МКЛ використовується для вимірювання потоків і спектрів протонів з енергією 1—200 МеВ та електронів з енергією 0.5—12 МеВ. Прилад СКИ-3 призначено для визначення хімічного складу і спектрів іонів у межах $Z = 1—10$ для гелію в інтервалі енергій 1.5—20 МеВ/нуклон та для неону в інтервалі енергій 4—40 МеВ/нуклон. Як видно на прикладі інструментів проектів СОНО і «Yohkoh», спектрометр СОНГ може вимірювати високоенергетичні

гамма-кванти (аж до 100 МеВ), і серед них ті, що утворюються при розпадах π^0 -мезонів, породжених зіткненнями протонів високої енергії.

Як показало дослідження сонячних нейтронів з борту КА КОРОНАС-Ф, фон спектрометра СОНГ щонайменше у п'ять—сім разів нижчий від фону приладу SMM GRS: лише одна реєстрація сонячних нейтронів у тому самому інтервалі енергій.

Інструмент СОНГ зареєстрував десятки сонячних спалахів. У більшості випадків зафіксовано енергії гамма-квантів гальмівного випромінювання, менші від 150 кеВ, проте є кілька записів і для енергій понад 7 МеВ. Були детально проаналізовані явища, пов'язані зі спалахом, спостереженням 4 листопада 2001 р. о 16 год 16 хв. Як показують дані спостережень GOES, фаза нагрівання плазми для цього спалаху тривала майже 10 хв. Упродовж цього проміжку часу СОНГ зареєстрував три сплески гамма-квантів з енергією, меншою від 500 кеВ. В інтервалах між сплесками зумовлений гальмівним випромінюванням фон монотонно збільшувався, тоді як фон заряджених частинок не змінювався при русі супутника по орбіті. Імовірно, що це зумовлювалося падінням захоплених електронів на область спалаху. Зареєстрований після спалаху потік високоенергетичних частинок був, очевидно, утворений у короні або міжпланетному просторі ударним фронтом викиду корональної речовини (СМЕ), швидкість якого поблизу Сонця досягає 1800 км/с. Підставою для такого висновку є затримка на 30—50 хв первинних протонів з енергією 10—500 МеВ, виявлених у просторі, де проходить земна орбіта, а також характеристики потоку частинок перед наближенням ударної хвилі. Прискорення ударного фронту було також основним джерелом високоенергійних частинок після спалахів 24 вересня і 22 листопада 2001 р. Після спалахів 4 і 22 листопада 2001 р. відбулися сильні магнітні бурі, спричинені наближенням фронту ударної хвилі СМЕ до Землі. Під час магнітних бур межа захоплених частинок у магнітосфері Землі змістилася до $L \approx 3.5—4$, а зовнішній радіаційний пояс фактично зник. Після бурі він відновився, а потоки електронів з $E \approx 0.3—0.6$ і $0.6—1.5$ МеВ збіль-

Таблиця 2. Вміст різних хімічних елементів під час спалаху 4—7 листопада 2001 р.

Час, 2001 р.	C	N	O	Ne	Mg	Si
22 ^h 04 листопада — 15 ^h 05 листопада	39.0±3.9	11.9±1.7	100	14.4±2.3	17.9±2.4	17.4±2.2
22 ^h 05 листопада — 07 ^h 06 листопада	45.5±3.4	10.4±1.3	100	12.0±2.0	16.8±1.8	
07 ^h 06 листопада — 19 ^h 06 листопада	42.4±6.5	11.2±2.7	100	12.4±2.7	16.8±3.4	10.4±2.6
19 ^h 06 листопада — 20 ^h 07 листопада	54.7±12.6	8.5±2.0	100	12.2±4.6	21.6±6.7	18.9±6.0

шилися на півпорядка, порівняно з величинами до бурі. Потік електронів високої енергії збільшувався упродовж декількох днів. Потік електронів з космічних променів можна використати для моніторингу полярних шапок. За спокійних геомагнітних умов межа полярних шапок спостерігалася на геомагнітних широтах $\Lambda \approx 75\text{--}78^\circ$ протягом 06:00—11:00 MLT та на $\Lambda \approx 68^\circ$ протягом 15:00—22:00 MLT. За збурених умов вона стає квазіколовою і зміщується до $\Lambda \approx 58^\circ$. Цей аналіз дає змогу перевірити наявні магнітосферичні моделі та розробляти нові динамічні моделі.

У табл. 2 наведено вміст кількох хімічних елементів (ядра з енергіями 11.4—23 МеВ/нуклон) у процентах вмісту кисню для чотирьох часових інтервалів під час спалаху 4—7 листопада 2001 р. (прилад СКІ-3). Часові варіації іонів від С до Si аналогічні до часових варіацій протонів й електронів. Склад іонів залишається практично незмінним під час сплеску високоенергетичних частинок.

Автори вдячні Я. Сильвестеру, Г. Є. Кочарову, Є. П. Мазецу та С. М. Кузнецову за оброблені дані, які вони люб'язно надали в наше розпорядження.

Українськомовний варіант статті підготовлено до друку Л. Свачій, якій автори висловлюють щире подяку.

1. Dmitriev P. B., Matveev G. A., Charikov Yu. E., et al. Impulse structure of the energy release in solar flare of December 19, 2001 // *Active processes on the Sun and stars* / Eds V. V. Zaitsev and L. V. Yasnov. — S-Peterburg, NIIRF SPGU, 2002.—P. 195—198.
2. Kocharov G. E., Lazutkov V. P., Matveev G. A., et al. Experiment IRIS onboard CORONAS-F for investigation of the solar X-ray emission // *Active processes on the Sun and stars* / Eds V. V. Zaitsev, L. V. Yasnov. — S-Peterburg, NIIRF SPGU, 2002.—P. 314—317.
3. Jenkins G. M., Watts D. G.. *Spectral analysis and its applications*. — San Francisco, Cambridge, London, Amsterdam, HOLDEN-DAY, 1969.

CORONAS-F OBSERVATIONS OF ACTIVE PHENOMENA ON THE SUN

V. N. Oraevsky, I. I. Sobelman, I. A. Zhitnik,
V. D. Kuznetsov, A. I. Stepanov, G. M. Polishuk,
P. N. Kovilin, O. O. Negoda, V. Y. Dranovskii, Ya. S. Yatskiv

Complex observations in the framework of the CORONAS-F Mission aimed at the study of active phenomena in the solar corona are described. The main features are given for the following experiments: XUV-imaging spectroscopy with high temporal and spatial resolution, X-ray spectroscopy, X-ray and gamma-ray photometer/spectrometer, and solar cosmic rays. Some new observational data on the structure and dynamics of flares and transient events are discussed along with their analysis.