

УДК 523.985.7

О. Л. Івантишин

## **ВИКОРИСТАННЯ ДЕКАМЕТРОВОГО РАДІОТЕЛЕСКОПА УРАН-3 ДЛЯ АНАЛІЗУ СПОРАДИЧНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ СОНЦЯ**

The results of experimental observation of nonthermal solar radio emission using the radio telescope URAN-3 are presented. Three types of low-frequency nonthermal radio bursts are associated with coronal mass ejections occurred on 2011 August 3. The radio telescope URAN-3 observational data compiled from SOHO, SDO, GOES, WDC for Geomagnetism data were used.

**Keywords:** *solar activity, radio radiation, nonthermal radio bursts, coronal mass ejections.*

Наведено результати експериментального спостереження спорадичного випромінювання Сонця з використанням радіотелескопа РТ УРАН-3. За результатами спостережень радіовипромінювання Сонця 3.08.2011 р. зареєстрували послідовність сплесків III, II, IV типів, спричинених хромосферним спалахом, що супроводжувався корональним викидом мас (КВМ). Експериментальні дані, отримані на базі РТ УРАН-3, доповнені даними SOHO, SDO, GOES, WDC for Geomagnetism.

**Ключові слова:** *сонячна активність, радіовипромінювання, декаметрові радіосплески, корональний викид мас.*

Однією з найважливіших задач сонячно-земної фізики є вивчення тих сонячних явищ, що зумовлюють збурення навколоземного простору. Цю задачу неможливо вирішити без моніторингу сонячної активності в усіх діапазонах електромагнітного випромінювання, реєстрації потоків сонячного вітру, напруженості магнітного поля Землі та ін.

Перевагою моніторингу сонячної активності в радіодіапазоні є те, що випромінювання Сонця на різних частотах генерується відповідно на різних висотах в сонячній атмосфері. При цьому в короні спостерігаються прояви всіх форм сонячної активності: зародження та особливості розвитку активних областей, спалахів і викидів корональної маси, формування та прискорення потоків енергійних частинок, ударні хвилі в сонячній атмосфері та геліосфері та інше, причому, що особливо важливо, на фоні сонячного диску з локалізацією початку подій та динаміки їх розвитку. Спостереження радіовипромінювання, що супроводжує сонячні спалахи, дає змогу визначати, якими збуреннями може супроводжуватися спалах, які геофізичні ефекти слід очікувати в навколоземному просторі. Зокрема, для прогнозування геомагнітних бур та відповідних ефектів в іоносфері необхідно мати інформацію про ударні хвилі і потоки плазми, що поширюються в міжпланетному просторі. Вирішальну роль у процесі вирішення цих задач відіграє інформація про радіовипромінювання, що супроводжує ці збурення [1].

Отже, діагностика сонячних спалахів у радіодіапазоні являє собою один із підходів до проблеми прогнозування геофізичних ефектів сонячної активності.

Для вирішення цих задач передусім необхідні інструменти з відповідним просторовим, часовим і спектральним розділенням та з достатнім динамічним діапазоном для одночасної миттєвої реєстрації подій різних масштабів за інтенсивністю.

Впроваджена на радіотелескопі УРАН-3 широкосмугова система реєстрації даних дає змогу реєструвати динамічні спектри декаметрового радіовипромінювання Сонця в смузі  $16,5 \div 33$  MHz, частотне розділення становить  $\Delta f = 12$  kHz, часове вибирається з діапазону  $\Delta t = 1$  ms  $\div$  1 min.

**Експериментальні спостереження спорадичного радіовипромінювання Сонця з використанням радіотелескопа УРАН-3.** Зареєстровані засобами радіо-

© О. Л. Івантишин, 2013

телескопа УРАН-3 спектрограми дають змогу виявляти сплески радіовипромінювання Сонця в декаметровому діапазоні хвиль, спричинені активними процесами в сонячній короні.

Найбільш яскравим проявом спорадичного радіовипромінювання Сонця є сплески III типу. Сплески III типу формуються під час вибухової фази хромосферних спалахів (навіть дуже слабких) внаслідок плазмових коливань. В області хромосферної спалаху генерується пучок релятивістських електронів ( $v \sim 1/3c$ ), який, проходячи через корону Сонця, збуджує на своєму шляху коливання плазми. На фіксованій частоті тривалість сплеску III типу становить декілька секунд. Випромінювання вузькосмугове. Спектр сплеску дрейфує по частоті зі швидкістю в середньому  $2 \dots 4 \text{ MHz/s}$  [2].

На рис. 1 подано зареєстровані типові сплески радіовипромінювання Сонця III типу, спричинені сонячними збуреннями. Рівень сигналу відображений у градаціях сірого (у dB відносно рівня теплового випромінювання Сонця).

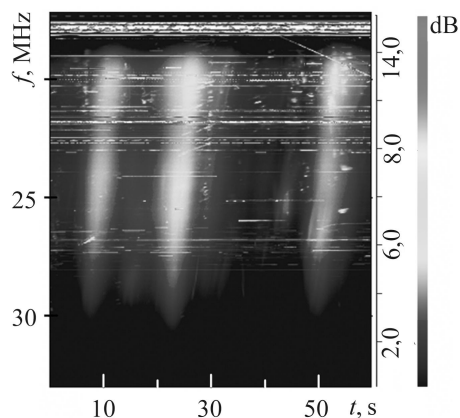


Рис. 1. Сплески III типу, зареєстровані радіотелескопом УРАН-3.

Сплески II типу з'являються в результаті особливо сильних хромосферних спалахів. Сплески II типу потужніші, ніж сплески III типу і так само є вузькосмуговим радіовипромінюванням, і також дрейфують по частоті до низьких частот, проте дрейф значно повільніший ( $30 \dots 70 \text{ kHz/s}$ ). Як правило, випромінювання сплесків II типу не поляризоване або поляризоване слабо. Механізм виникнення сплесків II типу – також плазмові коливання. Плазмові коливання збуджуються ударною хвилею, яка поширюється від області хромосферного спалаху [2–4]. Частота випромінювання зменшується зі збільшенням висоти джерела над поверхнею Сонця, швидкість переміщення якого близько  $1000 \text{ km/s}$ .

На рис. 2 наведено зареєстрований радіотелескопом УРАН-3 сплеск декаметрової компоненти радіовипромінювання Сонця II типу, спричинений збуреннями на Сонці.

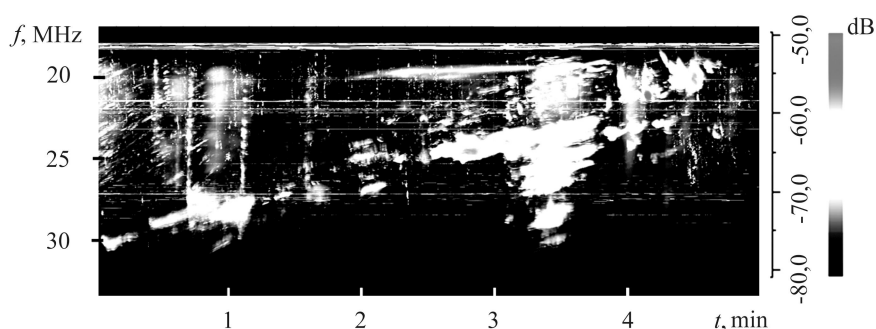


Рис. 2. Сплеск II типу, зареєстрований радіотелескопом УРАН-3.

Сплески IV типу спостерігаються після сплесків II типу, при більш сильних хромосферних спалахах; зокрема, вони свідчать про протонний спалах (при якому відбувається прискорення не тільки електронів, але і протонів). Генерується сплеск синхротронним механізмом. Плазмовий згусток, викинутий з області спалаху, несе вморожене магнітне поле. Поле утримує певну кількість релятивістських електронів. Відбувається також додаткове прискорення електронів на фронті

ударної хвилі. Електрони, які вириваються вперед, створюють сплески III типу.

Для сплесків IV типу в декаметровому діапазоні характерна, з одного боку, велика різноманітність властивостей, таких як тривалість, потік, великомасштабна структура, а з іншого боку, їх тонка структура складається в основному з волоконної структури, подібно як в сплесках III типу [3–5].

На рис. 3 подано зареєстрований радіотелескопом УРАН-3 сплеск радіовипромінювання Сонця IV типу, зумовлений збуреннями на Сонці.

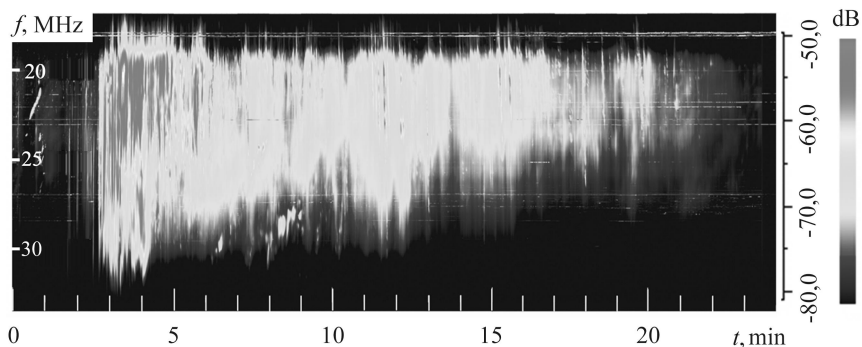


Рис. 3. Сплеск IV типу, зареєстрований радіотелескопом УРАН-3.

**Спостереження спорадичного радіовипромінювання Сонця, спричиненого спалахом 3.08.2011 р.** За результатами експериментальних спостережень спорадичної компоненти декаметрового радіовипромінювання Сонця на базі РТ УРАН-3 3.08.2011 р. зареєстрували послідовність сплесків III, II, IV типів (рис. 4). Початок запису, зображений на рисунку, відповідає часові 13:19:00 UT.

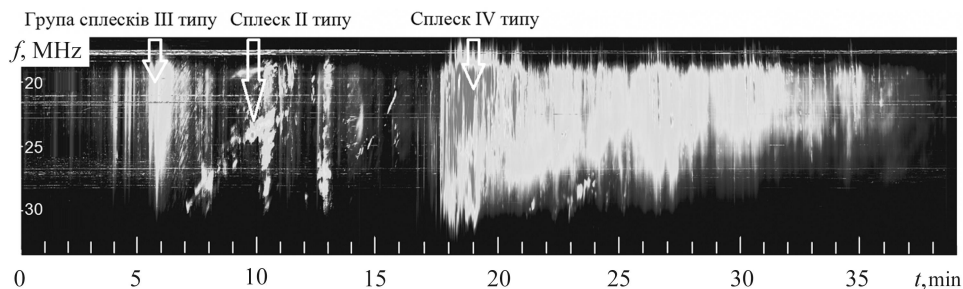


Рис. 4. Сплески III, II, IV типів декаметрового радіовипромінювання Сонця, зареєстровані радіотелескопом УРАН-3 03.08.2011 р.

Розглянемо події на Сонці, що були 3 серпня 2011 р. Активна область 1261 з геліографічними координатами (N15 W21) за даними NASA SDO (рис. 5) 3 серпня 2011 р. стала джерелом 6-ти спалахів в рентгенівському діапазоні, в тому числі спалаху класу M6.0, який розпочався в 13:17:00 UT і тривав 53 min за даними NOAA GOES (рис. 6). Максимум спалаху припав на 13:48:00 UT.

За даними експериментальних спостережень декаметрової компоненти спорадичного радіовипромінювання Сонця в 13:23:00 UT (через 6 min від початку спалаху) зареєстровано групу сплесків III типу, а в 13:26:00 UT (через 9 min від початку спалаху) зареєстровано початок сплеску II типу на частоті 30 MHz із дрейфом до нижніх частот. Швидкість дрейфу сплеску становила 37 kHz/s. В 13:36:30 UT (через 17 min 30 s від початку спалаху) зареєстровано сплеск IV типу, тривалість якого становила 21 min.

Зареєстровані сплески радіовипромінювання Сонця асоціюються з KBM, який, за даними SOHO LASCO, супроводжував вище зазначений спалах (рис. 7). KBM типу гало поширювався із швидкістю 610 km/s.

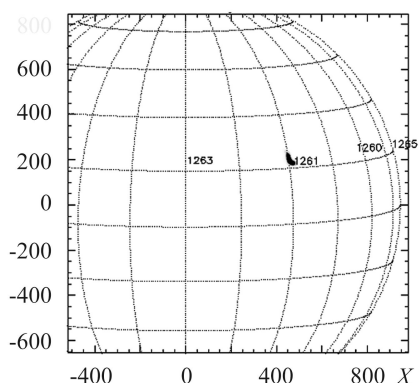


Рис. 5.

Рис. 5. Активні області на Сонці станом на 3.08.2011 р.

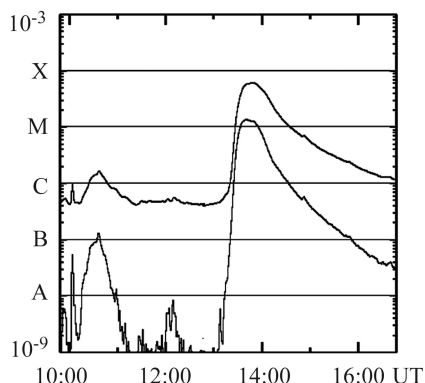


Рис. 6.

Рис. 6. Спалах класу M6.0 у рентгенівському діапазоні (3.08.2011 р.)

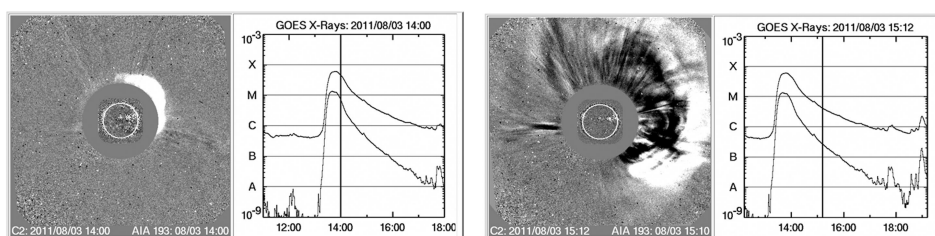


Рис. 7. Корональний викид мас 3.08.2011 р.

КВМ – це гігантські викиди речовини з корони Сонця, коли вони спрямовані в напрямку Землі, то можуть спричинити сильні геомагнітні бурі [6]. Бурю вважають потужною, коли індекс геомагнітної активності  $Dst < -50$  nT [7].

Через  $\sim 54$  h від початку спалаху, що супроводжувався КВМ та послідовністю сплесків III, II і IV типу в декаметровому діапазоні хвиль, зареєстровано початок магнітної бурі. Магнітна буря, за даними WDC for Geomagnetism, Kyoto, розпочалася 5.08.2011 р. о 19:00 UT. Часова залежність індекса геомагнітної активності  $Dst$  зображена на рис. 8. Зменшення індекса  $Dst$  досягло величини  $-107$  nT, тривалість головної фази магнітної бурі становила 7 h, а фази відновлення – 6 днів.

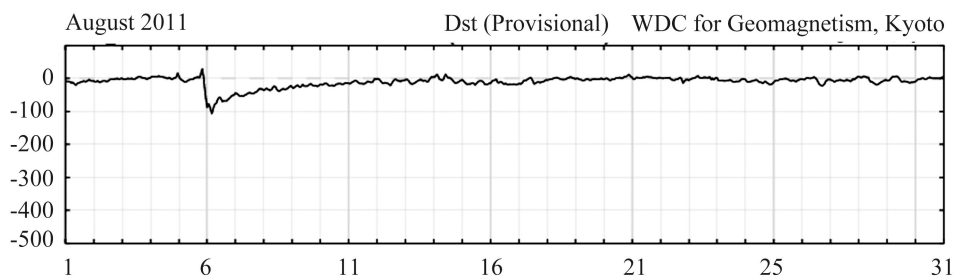


Рис. 8. Часова залежність індекса геомагнітної активності  $Dst$  за даними WDC for Geomagnetism, Kyoto (серпень 2011 р.)

На рис. 9 зображена гістограма чисельності сонячних спалахів (NOAA, SWPC) і КВМ (SOHO LASCO), що були впродовж серпня 2011 р.

Сплески радіовипромінювання Сонця II і IV типів РТ УРАН-3 були зареєстровані лише для спалаху класу M6.0, який відбувся 3.08.2011 р., для інших спалахів і КВМ, які відбулися в серпні 2011 р., таких сплесків не було зареєстро-

вано. Результат експериментального спостереження спорадичного радіовипромінювання Сонця свідчить про те, що сплески II і IV типів у декаметровому діапазоні хвиль є однією з ознак геофективності сонячних спалахів.

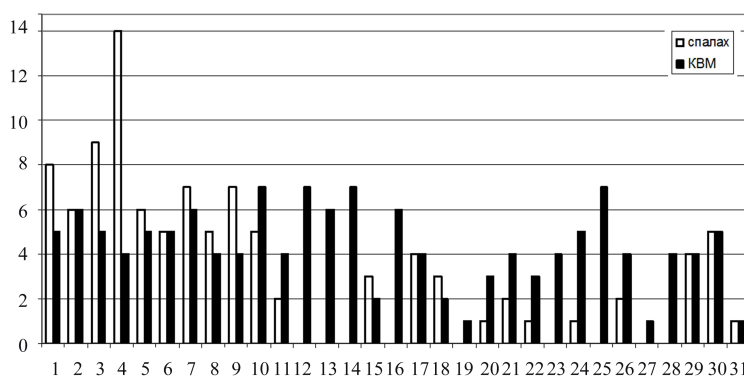


Рис. 9. Гістограма чисельності сонячних спалахів і КВМ (серпень 2011 р.)

## ВИСНОВКИ

Експериментальні спостереження спорадичного радіовипромінювання Сонця підтвердили високі потенційні можливості декаметрового радіотелескопа УРАН-3 для досліджень сонячної активності та сонячно-земних зв'язків. Діагностика сонячних спалахів у радіодіапазоні являє собою один із підходів до проблеми прогнозування геофізичних ефектів сонячної активності. Для сонячного спалаху 3.08.2011 р., що супроводжувався КВМ, експериментально встановлені часові параметри послідовного ланцюжка сонячно-земних подій: сонячний спалах – декаметрові радіосплески II і IV типів – зменшення індекса геомагнітної активності Dst. Зокрема, через 9 min від початку спалаху з допомогою радіотелескопа УРАН-3 зареєстровано появу радіосплеска II типу на частоті 30 MHz із дрейфом до нижніх частот. Швидкість дрейфу сплеска становила 37 kHz/s. Через 17 min 30 s від початку сонячного спалаху зареєстровано широкосмуговий сплеск IV типу, тривалість якого становила 21 min. Через ~54 h від початку спалаху зафіксовано початок магнітної бурі на Землі за даними Світового центру даних з геомагнетизму (WDC for Geomagnetism, Kyoto). Експериментальне спостереження декаметрових сплесків II і IV типів, асоційованих з КВМ, свідчить, що ці сплески є однією з ознак геофективності сонячних спалахів.

1. Смольков Г. Я., Фомичев В. В., Снегирев С. Д. Радиоизлучение Солнца и космическая погода // Солнечно-земная физика. – 2002. – Вып. 2. – С. 31–35.
2. Мельник В. Н. Исследование радиоизлучения Солнца в радиоастрономическом институте // Радиофизика и радиоастрономия. – 2005. – 10, Спец. вып. – S54–S73.
3. Decametric radio bursts associated with the 13 July 2004 CME event at frequencies 10–30 MHz / A. I. Boiko, V. N. Melnik, A. A. Konovalenko et al. // Advances in Astronomy and Space Physics. – 2012. – 2. – P. 76–78.
4. Gopalswamy N. Coronal Mass Ejections and Solar Radio Emissions // Proc. of the 7<sup>th</sup> Int. Workshop on Planetary, Solar and Heliospheric Radio Emissions (PRE VII). – Graz, Austria, September 15–17, 2010. – 2010. – P. 325–342.
5. Solar Type IV bursts at frequencies 10–30 MHz / V. N. Melnik, H. O. Rucker, A. A. Konovalenko et al. // Ed. by Pingzhi Wang. – New York: Solar Physics Research Trends, Nova Science Publishers, Inc., 2008. – P. 287–325.
6. Webb D. F., Gopalswamy N. Coronal mass ejections and space weather // ILWS workshop 2006, GOA, February 19–24, 2006.
7. Relationship of halo coronal mass ejections, magnetic clouds, and magnetic storms / D. F. Webb, E. W. Cliver, N. U. Crooker et al. // J. of Geophysical Research: Space Physics. – 2000. – 105, № A4. – P. 7491–7508.