

РАДИОАСТРОНОМИЯ И АСТРОФИЗИКА

УДК 521.81, 52.14

О. О. КОНОВАЛЕНКО¹, В. В. КОШОВИЙ², А. Б. ЛОЗИНСЬКИЙ²,
О. О. СТАНІСЛАВСЬКИЙ¹, В. О. ШЕПЕЛЕВ¹, О. Л. ІВАНТИШИН²,
Б. С. ХАРЧЕНКО², Р. А. ЛОЗИНСЬКИЙ², А. І. БРАЖЕНКО³,
Е. П. АБРАНІН¹, А. О. КОВАЛЬ¹

¹ Радіоастрономічний інститут НАН України,
вул. Червонопрапорна, 4, м. Харків, 61002, Україна
E-mail: akonov@ri.kharkov.ua

² Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України,
вул. Наукова, 5, м. Львів, 79053, Україна

³ Полтавська гравіметрична обсерваторія Інституту геофізики ім. С. І. Суботіна,
НАН України,
вул. М'ясоєдова, 27/29, м. Полтава, 36029, Україна

СПОСТЕРЕЖЕННЯ СПОКІЙНОГО СОНЦЯ НА ДЕКАМЕТРОВИХ РАДІОТЕЛЕСКОПАХ УРАН-2 ТА УРАН-3 ПІД ЧАС СОНЯЧНОГО ЗАТЕМНЕННЯ 1 СЕРПНЯ 2008 Р.

Наводяться результати досліджень сонячного затемнення 1 серпня 2008 р. на декаметрових радіотелескопах УРАН-2 та УРАН-3. Спостереження виконувалися методом проходження джерела через нерухому діаграму спрямованості антени. Зареєстровано зменшення інтегрального потоку радіовипромінювання спокійного Сонця, що відповідає модельним розрахункам у декаметровому діапазоні хвиль.

Ключові слова: спокійне Сонце, верхня корона, радіовипромінювання, затемнення

1. Вступ

Дослідження властивостей корони Сонця за випромінюванням радіохвиль різних довжин є важливою задачею як для астрофізики загалом так і для сонячно-земної фізики зокрема [1–4]. Вони виконуються за допомогою різних радіоастрономічних засобів (радіогеліографів, методом проходження джерела через нерухому діаграму спрямованості антени радіотелескопа, формуванням у просторі декількох діаграм спрямованості антени одночасно тощо). Порівняння результатів спостережень, одержаних такими засобами, мають не лише методичне значення, але і укріплюють достовірність сонячних досліджень корони Сонця в цілому. Попри складність задачі визначення яскравості сонячної корони незбуреного Сонця в низькочастотному діа-

пазоні, знання її варіацій дозволяють виявляти термінові зміни в сонячній атмосфері залежно від процесів сонячної активності [1, 3]. Як добре відомо, сонячна корона має вкрай динамічну структуру. Вона безпосередньо пов'язана з процесами, які виникають у хромосфері та фотосфері Сонця.

Метою роботи є надати результати спостережень декаметрової компоненти радіовипромінювання сонячної корони під час її часткового покриття Місяцем. Важливою рисою цих досліджень є те, що ці спостереження виконувались одночасно на двох радіотелескопах (УРАН-2 та УРАН-3), схожих за технічними характеристиками, проте розташованих на відстані приблизно 805 км.

2. Особливості сонячного затемнення

Сонячне затемнення 1 серпня 2008 р. випало на час глибокого мінімуму сонячної активності. На фотосфері Сонця за даними супутника “СОХО” [5] не помічено жодних активних областей. Нами викона-

© О. О. Коноваленко, В. В. Кошовий, А. Б. Лозинський,
О. О. Станіславський, В. О. Шепелев, О. Л. Івантишин,
Б. С. Харченко, Р. А. Лозинський, А. І. Браженко,
Е. П. Абранін, А. О. Коваль, 2012

но розрахунок відносної площі покриття сонячної корони Місяцем під час цього сонячного затемнення. У виконанні роботи використовувалися дані, наведені в [6] і [7]. Видимий диск Сонця на час затемнення мав радіус $15'45''$, видимий диск Місяця – $16'14''$. Сонячна корона бралася у вигляді еліпса з великою віссю $57'$ в екваторіальній площині і з малою віссю $41'$ в полярній площині на частоті 25 МГц [8]. Еліпс центральносиметрично накладався на круг видимого диска Сонця. Позиційний кут проекції осі обертання Сонця, узятий з таблиці ефемерид для фізичних спостережень Сонця на 1 серпня 2008 р., дорівнював 11° . За таких параметрів сонячної корони максимальне зниження інтенсивності радіовипромінювання корони через покриття Місяцем, який розташовується у межах еліпса корони, не може перевищувати 45 %. Для радіотелескопа УРАН-2 реальна відносна площа покриття корони Місяцем під час затемнення 1 серпня 2008 р. лежить у межах $0.21 \div 0.26$. Моменти контактів диска Місяця з видимим диском Сонця для Полтави узяті з [6]. Інтерполяція моментів контактів для УРАН-2 показала, що розбіжності перебувають за межами потрібної точності. Моменти для контактів з короною Сонця визначалися прямою екстраполяцією за відносним рухом Місяця і Сонця. Отримані моменти Р1 корони – 8 год 41 хв, Р4 корони – 11 год 51 хв. Загальна тривалість коронального затемнення склала 3 год 10 хв. Встановлено, що максимальна фаза покриття корони відбулася приблизно на 12 хв пізніше в порівнянні з найбільшою фазою затемнення видимого диска Сонця, відповідно о 10 год 25 хв та 10 год 13 хв UT. На рис. 1 наведена схема графічного обчислення максимальної площі покриття Місяцем сонячної корони під час часткового затемнення 1 серпня 2008 р.

Для координат радіотелескопа УРАН-3 величина максимального затемнення видимого диска Сонця склала 25 %, в момент кульмінації Сонця ця величина становила 11.5 %. Початок затемнення у видимому діапазоні хвиль припав на 08:54:52 UT, закінчення – на 10:53:26 UT. Час кульмінації Сонця для координат радіотелескопа УРАН-3 припав на 10:33:37 UT.

3. Засоби і схема спостереження

Спостереження сонячного затемнення виконувалися на декаметрових радіотелескопах УРАН-2, розташованому поблизу с. Степанівка Полтавської області, та УРАН-3 – поблизу м. Шацька Волинської

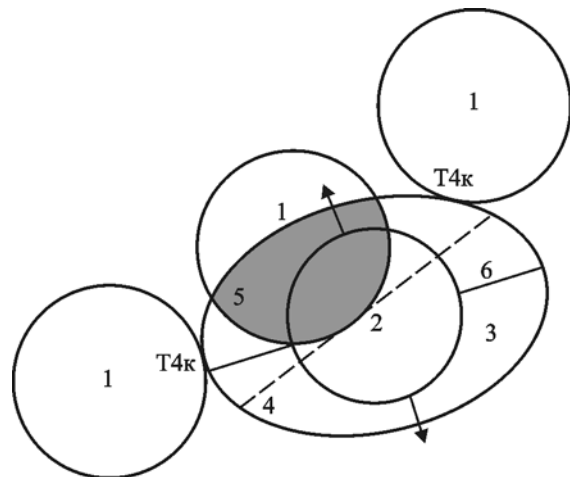


Рис. 1. Схема графічного обчислення площі покриття Місяцем сонячної корони під час затемнення 1 серпня 2008 р.: 1 – диск місяця ($32'40''$); 2 – видимий диск Сонця ($31'30''$); 3 – сонячна корона ($57' \times 41'$); 4 – пунктирна лінія межі покриття; 5 – покриття в максимальній фазі 0.26 (10 год 25 хв UT); T1к – момент першого контакту диска місяця з короною (8 год 41 хв UT); T4к – момент четвертого контакту диска місяця з короною (11 год 51 хв UT); 6 – площина сонячного екватора

області. Антени обох радіотелескопів складаються з турнікетних вібраторів, що дає змогу приймати радіовипромінювання в двох ортогональних поляризаціях за допомогою двох незалежних комплектів приймальної апаратури. Далі в тексті ці два незалежні приймальні канали іменуються “поляризація А” і “поляризація В”. Ширина променя антени УРАН-2 на частоті 25 МГц становить близько $3.5^\circ \times 7^\circ$, а для УРАН-3 – $3.5^\circ \times 14^\circ$. Ця різниця пов’язана з різними лінійними розмірами антен радіотелескопів у напрямку північ–південь. Ефективна площа радіотелескопа УРАН-2 складає 28048 м^2 , а УРАН-3 – 14400 м^2 на частоті 25 МГц [9, 10]. Ширина смуги радіометрів становить близько 250 кГц. Спостереження на УРАН-3 виконувалися на частотах 20.75 і 23.9 МГц. Для УРАН-2 придатні для аналізу виміри були одержані лише на частоті 25 МГц. Слід зазначити, що спостереження сонячного затемнення 1 серпня 2008 р. виконувалися одночасно також на радіотелескопі УТР-2. Однак з технічних причин вони не були успішними. Тому ми можемо лише повідомити про таку спробу.

Завдяки тому, що час затемнення Сонця припав на момент його кульмінації для координат радіотелескопа УРАН-3, стало можливим його спостереження в околі його місцевого меридіану.

Тому для УРАН-3 була обрана схема спостереження, за якої експериментальний запис виконувався з фіксованим положенням променя радіотелескопа, спрямованого в точку кульмінації Сонця за схиленням.

На радіотелескопі УРАН-2 Сонце супроводжувалося з кроком 4 хв, і визначався максимум потоку в скані. Виміри використовувалися лише для однієї поляризації, оскільки на початковій фазі покриття у спостереженнях було дуже багато радіозвад.

4. Результати спостереження

На рис. 2 показані записи модуляційного радіометра УРАН-3 на двох частотах для двох поляризацій, виконані в день затемнення (зверху), і для порівняння – через день (знизу). Записи підлягали попередній обробці для фільтрації явних завад. На записах чітко вирізняються Сонце і два потужних радіоджерела (ЗС144 і ЗС274), які в подальшому використані для калібрування спостережень (приклад такого застосування у табл. 1). При цьо-

му радіоджерело ЗС144 має дуже близьке до Сонця схилення ($\delta = 21^{\circ}58'$), а для джерела ЗС274 воно становить $\delta = 12^{\circ}40'$. Обидва джерела у певний час потрапляють у головний промінь антени УРАН-3. Проте, через те що спостереження виконувалися методом проходження джерел через нерухому діаграму спрямованості антени, а промінь антени був націлений так, аби він пройшов саме через диск Сонця, це мало бути врахованим у калібруванні спостережень. Інші потужні радіоджерела (ЗС348, ЗС405 і ЗС461), які також чітко вирізняються на записах, були зареєстровані бічними пелюстками діаграми спрямованості антени. І хоча бічні пелюстки діаграми антени УРАН-3 значно менші аніж головний, потужність джерел ЗС348, ЗС405 і ЗС461 залишається досить великою порівняно з потужністю радіовипромінювання корони Сонця. Наші знання про бічні пелюстки (особливо про далекі) діаграми спрямованості УРАН-3 є істотно менш вірогідними аніж для головного променя. Тому для калібрування спостережень ці три радіоджерела ми не використовували.

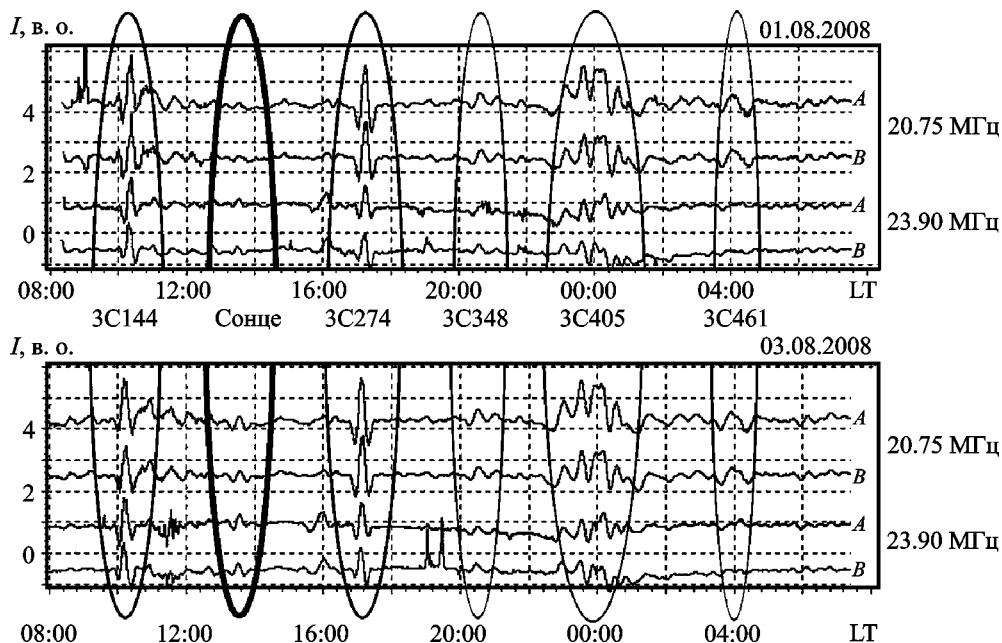


Рис. 2. Записи, отримані за допомогою радіотелескопа УРАН-3, LT – місцевий час

Таблиця 1. Густина потоку випромінювання Сонця зі спостережень на УРАН-3

Частота, МГц	Густина потоку, Ян			Антенні поправки			
	ЗС274	Сонце/ЗС274	Сонце	D_{sun}	A_{sun}	$D_{\text{ЗС274}}$	$A_{\text{ЗС274}}$
20.75	5220 ± 500	0.22 ± 0.02	620 ± 100	0.98	0.83	0.56	0.7
23.9	5850 ± 230	0.48 ± 0.02	715 ± 100	0.97	0.65	0.45	0.4

На рис. 3 показано співставлення різних фрагментів згаданих вище експериментальних записів. Вони впорядковані за джерелами і за днями спостережень. Рівні сигналів наведені у відносних одиницях, масштаби осей збережені, однак для наглядності для кожного джерела вибрано свій масштаб. Добре простежується стабільність рівнів сигналів ЗС144 і ЗС274, що свідчить про досить стабільну іоносферу та інші умови приймання радіовипромінювання. В той же час рівні записів Сонця для різних днів суттєво відрізняються. У подальшому аналізі виявилось, що таке значне зменшення рівня сигналу аж ніяк не може бути пояснене лише ефектом затемнення корони.

У вересні 2008 р. було виконано додаткові спостереження за такою ж схемою для визначення впливу далеких від Сонця радіоджерел (за схиленням), які попадають у бічні пелюстки діаграми спрямованості антени УРАН-3, формують тло запису і впливають на рівень зареєстрованого сигналу від Сонця.

Було виявлено, що в день затемнення положення Сонця співпало з локальним мінімумом тла, який відповідно вносив свій вклад у рівень прийнятого сигналу. Для усунення даного впливу записи були скореговані на його величину (рис. 4).

Подальша обробка полягала в усередненні всіх однотипних записів (у тому числі усереднення було виконано і для двох поляризацій) та визначенні відношення густини потоку Сонця, замаскованого Місяцем, до густини потоку незамас-

кованого. На рис. 5 наведено графіки усереднених записів радіовипромінювання незатемненого Сонця (крива 1) і запису радіовипромінювання Сонця в день затемнення (крива 2) для двох частот. Відношення густини потоку Сонця, замаскованого Місяцем, до густини потоку незамаскованого на частоті $f = 20.750$ МГц склало $S_e/S = 0.89 \pm 0.03$, на частоті $f = 23.900$ МГц – $S_e/S = 0.82 \pm 0.02$.

Завдяки спостереженням радіоджерела ЗС274 ми маємо можливість знайти густину потоку Сонця на частоті 20.75 і 23.9 МГц, порівнюючи з густиною потоку ЗС274, за допомогою формули

$$P = S \cdot A \cdot D,$$

де P – потужність (рівень запису) спостережуваного радіоджерела (ЗС274 або Сонце), S – його густина потоку, A – ефективна площа антени (у нашому випадку УРАН-3) у заданому напрямку спостереження на небі, D – поправочний коефіцієнт, який ураховує діаграми спрямованості цієї антени. Слід нагадати, що спостереження на УРАН-3 виконувалися методом проходження джерела через нерухому діаграму спрямованості антени. Тому антена радіотелескопа спрямована за схиленням на Сонце, а не на ЗС274. Це пояснює значення антенних поправок, наведених у табл. 1. Близькі значення маємо і для калібрування за радіоджерелом ЗС144. В результаті для Сонця маємо густину потоку 620 ± 100 Ян на частоті 20.75 МГц і 715 ± 100 Ян на частоті

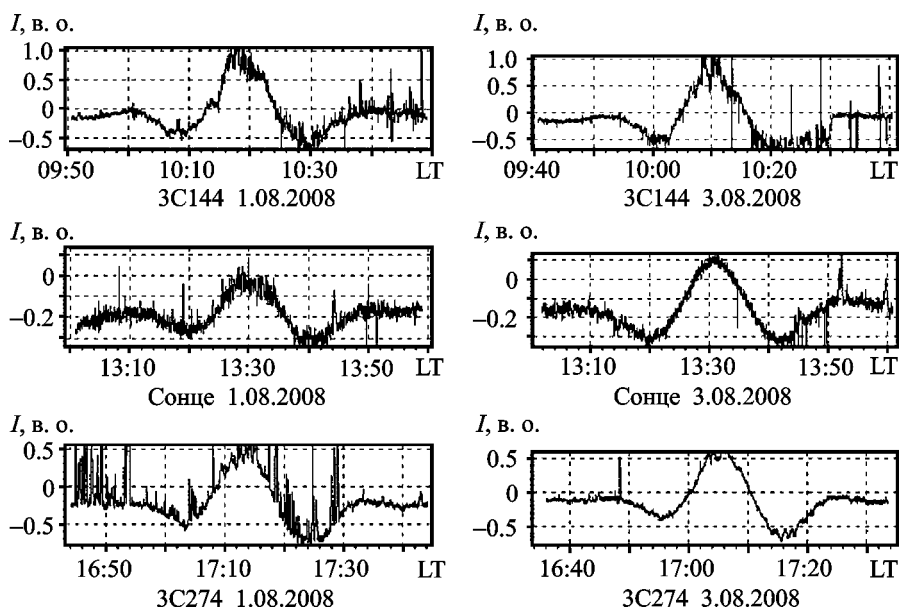


Рис. 3. Фрагменти експериментальних записів, отриманих на радіотелескопі УРАН-3

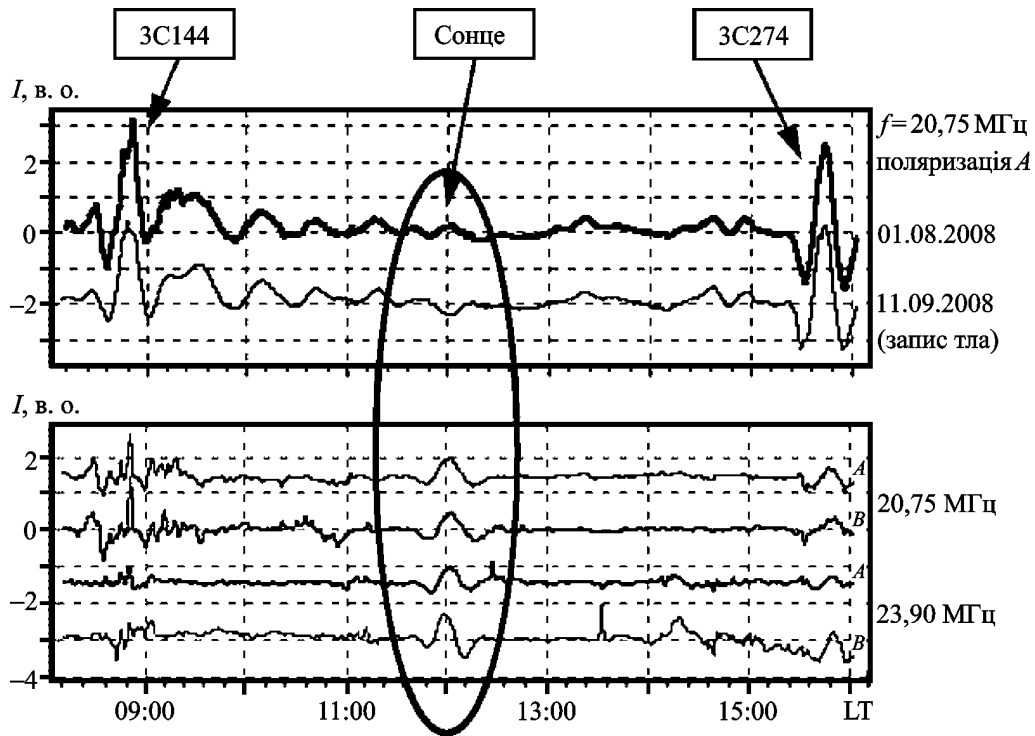


Рис. 4. Скореговані записи випромінювання Сонця з урахуванням впливу тла сигналу на УРАН-3

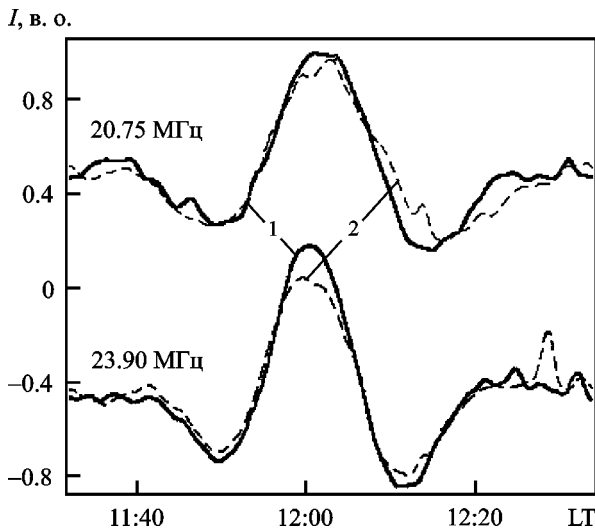


Рис. 5. Експериментальні записи радіовипромінювання незатемненого Сонця (крива 1) і радіовипромінювання Сонця в день затемнення (крива 2) на двох частотах на УРАН-3

23.9 МГц, що добре співпадає з результатами сонячних спостережень з роботи [11].

На УРАН-2 зміни густини потоку радіовипромінювання спокійного Сонця під час затемнення визначалися відносно середніх значень за 10 днів, найближчих до 1 серпня, для відповідних напрямків променя радіотелескопу. Таким чином, усувалися добові варіації потоку радіовипромінювання

спокійного Сонця і зміни ширини діаграми спрямованості антени радіотелескопу від положення джерела. Усі виміри на УРАН-2 калібрувалися за радіоджерелом 3C144. Відносні зміни потоку радіовипромінювання спокійного Сонця під час сонячного затемнення 1 серпня 2008 р. на частоті 25 МГц і зміни площі покриття сонячної корони Місяцем показані на рис. 6. Бачимо добру відповідність цих двох залежностей. Хоча вимірювання за допомогою УРАН-2 виконувалися і на частоті 20 МГц, проте вони були зіпсовані радіозавадами, присутніми впродовж майже усього часу затемнення. Слід відзначити, що незначні зміни розмірів сонячної корони не спричиняють істотних змін площі покриття Місяцем. Розміри корони, наведені в [8], на наш погляд, якнайкраще відповідають таким декаметровим спостереженням.

5. Висновки

1. За результатами експериментального дослідження на радіотелескопі УРАН-3 сонячного затемнення 1 серпня 2008 р. отримано оцінки відношення густини потоку випромінювання Сонця, замаскованого Місяцем, до густини потоку незамаскованого Сонця. Для частоти $f = 20.75$ МГц

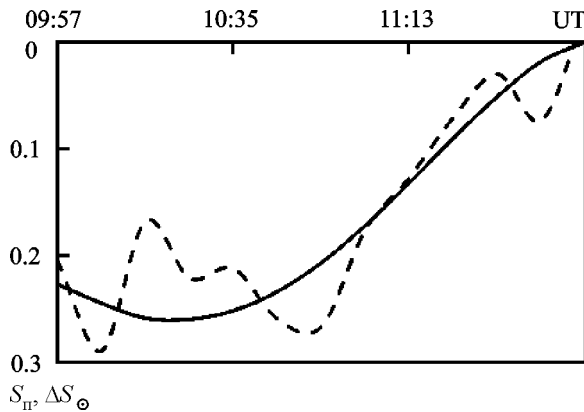


Рис. 6. Відносні зміни потоку радіовипромінювання спокійного Сонця ΔS_{\odot} на частоті 25 МГц (пунктирна лінія) і покриттів Місяцем еліптичної корони $S_{\text{п}}$ з розмірами $57' \times 41'$ [8] (суцільна лінія) під час сонячного затемнення 1 серпня 2008 р. для УРАН-2

це відношення склало $S_e/S = 0.89 \pm 0.03$, для частоти $f = 23.9$ МГц – $S_e/S = 0.82 \pm 0.02$.

2. Потік Сонця 1 серпня 2008 р. на частоті $f = 20.75$ МГц склав 620 ± 100 Ян, а на частоті $f = 23.9$ МГц – 715 ± 100 Ян.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- Gerrard T., Sabatino S., and Margit H. Past, present and future measurements of the solar diameter // Adv. Space Res. – 2005. – Vol. 35, Is. 3. – P. 329–340.
- Subramanian K. R. Brightness temperature and size of the quiet Sun at 34.5 MHz // Astron. Astrophys. – 2004. – Vol. 426, No. 1. – P. 329–331.
- Selhorst C. L., Silva A. V. R., and Costa J. E. R. Radius variations over a solar cycle // Astron. Astrophys. – 2004. – Vol. 420, No. 3. – P. 1117–1121.
- Ramesh R. Low Frequency Radio Emission from the Quiet Sun // J. Astrophys. Astr. – 2000. – Vol. 21. – P. 237–240.
- SOHO Images. – <<http://sohowww.nascom.nasa.gov/data/realtime-images.html>>.
- Повне сонячне затемнення 1 серпня 2008 р. // Астрономічний календар. 2008. Вип. 54 / Відп. ред. Д. П. Дума. – К: ГАО-УАА. – 2007. – С. 171–172.
- NASA Eclipse Bolletins. – <<http://eclipse.gsfc.nasa.gov/SEpubs/bulletin.html>>.
- Bazelyan L. L., Braude S. Ya., and Men' A. V. Scattering of the Decameter Radio Emission of the Crab Nebula by the Solar Corona // Sov. Astron. – 1970. – Vol. 14, No. 1. – P. 153–162.
- Koshovy V. V., Lozynsky A. B., Romanchev Y. V., and Ivantyshyn O. L. Radiophysical complexes for cosmic investigations based on Ukrainian radiotelescope URAN-3 // Acta Cosmologica. – 1997. – Vol. XXIII-2. – P. 67–70.
- Brazhenko A. I., Bulatsen V. G., Vashchishin R. V., Frantuzenko A. V., Konovalenko A. A., Falkovich I. S., Abranin E. P., Ulyanov O. M., Zakharenko V. V., Lecacheux A., and Rucker H. O. New Decameter Radiopolarimeter URAN-2 // Kinematics and Physics of Celestial Bodies. – 2005. – Suppl. No. 5. – P. 43–46.

- Браженко А. И., Коваль А. А., Коноваленко А. А., Станиславский А. А., Абранин Э. П., Доровский В. В., Мельник В. Н., Ващишин Р. В., Французенко А. В., Борысюк О. В. Особенности континуального излучения верхней короны Солнца в декаметровом диапазоне длин волн // Радиофизика и радиоастрономия. – 2012. – Т. 17, №1. – С. 3–14.

А. А. Коноваленко¹, В. В. Кошевой², А. Б. Лозинский², А. А. Станиславский¹, В. А. Шепелев¹, О. Л. Ивантишин², Б. С. Харченко², Р. А. Лозинский², А. И. Браженко³, Э. П. Абранин¹, А. А. Коваль¹

¹ Радиоастрономический институт НАН Украины, ул. Краснознаменная, 4, г. Харьков, 61002, Украина

² Физико-механический институт им. Г. В. Карпенко НАН Украины, ул. Научная, 5, г. Львов, 79053, Украина

³ Полтавская гравиметрическая обсерватория Института геофизики им. С. И. Субботина НАН Украины, ул. Мясоедова, 27/29, г. Полтава, 36029, Украина

НАБЛЮДЕНИЯ СПОКОЙНОГО СОЛНЦА НА ДЕКАМЕТРОВЫХ РАДИОТЕЛЕСКОПАХ УРАН-2 И УРАН-3 ВО ВРЕМЯ СОЛНЕЧНОГО ЗАТМЕНИЯ 1 АВГУСТА 2008 Г.

Приводятся результаты наблюдений солнечного затмения 1 августа 2008 г. на декаметровых радиотелескопах УРАН-2 и УРАН-3. Наблюдения проводились методом прохождения источника через неподвижную диаграмму направленности антенны. Зарегистрировано уменьшение интегрального потока радиоизлучения спокойного Солнца, соответствующее модельным расчетам в декаметровом диапазоне волн.

А. А. Коноваленко¹, В. В. Кошевой², А. Б. Лозинский², А. А. Станиславский¹, В. А. Шепелев¹, О. Л. Ивантишин², Б. С. Харченко², Р. А. Лозинский², А. И. Браженко³, Э. П. Абранин¹, and А. А. Коваль¹

¹ Institute of Radio Astronomy, National Academy of Sciences of Ukraine, 4, Chervonopraporna St., Kharkiv, 61002, Ukraine

² Karpenko Physico-Mechanical Institute, National Academy of Sciences of Ukraine, 5, Naukova St., Lviv, 79053, Ukraine

³ Poltava Gravimetric Observatory, S. Subotin Institute of Geophysics, National Academy of Sciences of Ukraine, 27/29, Miasoiedov St., Poltava, 36029, Ukraine

QUIET SUN OBSERVATIONS BY URAN-2 AND URAN-3 DECAMETER RADIO TELESCOPES DURING THE SOLAR ECLIPSE OF AUGUST 1, 2008

Results of observations of the solar eclipse on August 1, 2008 using the decameter radio telescopes URAN-2 and URAN-3 are presented. The observations were made using a technique of scanning the passing source by a fixed beam antenna pattern. The decrease of the quiet Sun integral flux corresponds to theoretical estimates at decameter wavelengths.

Стаття надійшла до редакції 30.08.2012