

РАДИОАСТРОНОМИЯ И АСТРОФИЗИКА

УДК 523.9, 520.27

А. И. БРАЖЕНКО¹, В. Н. МЕЛЬНИК², А. А. КОНОВАЛЕНКО²,
В. В. ДОРОВСКИЙ², А. В. ФРАНЦУЗЕНКО¹, Х. О. РУКЕР³,
М. ПАНЧЕНКО³, А. А. СТАНИСЛАВСКИЙ²

¹Полтавская гравиметрическая обсерватория Института геофизики
им. С. И. Субботина НАН Украины,
ул. Мясоедова, 27/29, г. Полтава, 36029, Украина
E-mail: brazhai@gmail.com

²Радиоастрономический институт НАН Украины,
ул. Краснознаменная, 4, г. Харьков, 61002, Украина
E-mail: melnik@ri.kharkov.ua

³Институт космических исследований Австрийской академии наук,
Шмидльштрассе, 6, Грац, 8042, Австрия
E-mail: helmut.rucker@oeaw.ac.at

НЕОБЫЧНЫЙ СОЛНЕЧНЫЙ ВСПЛЕСК В ДЕКАМЕТРОВОМ ДИАПАЗОНЕ ДЛИН ВОЛН. 1. НАБЛЮДЕНИЯ

3 июня 2011г. на радиотелескопах УТР-2 и УРАН-2 был зафиксирован необычный всплеск. Он наблюдался в полосе частот от 16 до 28 МГц. Выше 22 МГц всплеск имел обратный дрейф со скоростью около 500 кГц/с, а ниже этой частоты всплеск дрейфовал от высоких частот к низким со скоростью 100 кГц/с. Длительность всплеска по уровню половинной мощности была приблизительно одинакова на всех частотах и составляла 17 ± 22 с. Всплеск имел тонкую частотно-временную структуру. Максимальный поток излучения этого всплеска наблюдался на частоте 24 МГц и был равен 10^3 с. е. н. Поляризация всплеска была отрицательной и составляла около 10%. Высказывается предположение о возможном источнике этого всплеска.

Ключевые слова: Солнце, радиоизлучение, декаметровый диапазон, необычный всплеск, длительность, частотный дрейф, активные области, плазменный механизм генерации

1. Введение

Спорадическое радиоизлучение Солнца наблюдается в широком диапазоне длин волн, от миллиметровых до километровых [1]. Некоторые виды всплесков, такие, как всплески III типа, всплески II типа, всплески IV типа, спайки, наблюдаются в широкой полосе частот. Так, всплески III типа прослеживаются в пределах от сантиметрового диапазона до километрового, а всплески IV типа – от дециметрового диапазона до декаметрового. Некоторые всплески, например, дрейфующие пары, S-всплески, всплески I типа, всплески V типа, наблюдаются в достаточно узких полосах частот: всплески I типа – на частотах $50 \div 100$ МГц, всплески

V типа – на метровых волнах [2]. В декаметровом диапазоне к настоящему времени были зарегистрированы всплески III типа [3] (и относящиеся к ним IIIb всплески [4], U- и J-всплески [5, 6]), всплески II типа [7], всплески IV типа [8], дрейфующие пары [9, 10], S-всплески [11, 12], всплески в поглощении (продолжительные и короткие) [13, 14], быстрые всплески III типа [15]. Наблюдения на декаметровых радиотелескопах с большими эффективными площадями, таких, как УТР-2, с использованием регистрирующей аппаратуры, работающей в широком частотном диапазоне, позволили обнаружить новые декаметровые явления, а также новые свойства известных всплесков. Например, тонкие временные структуры всплесков III типа [16], тонкие временные структуры у обычных всплесков II типа [17], всплески III типа с из-

© А. И. Браженко, В. Н. Мельник, А. А. Коноваленко,
В. В. Доровский, А. В. Французенко, Х. О. Рукер,
М. Панченко, А. А. Станиславский, 2012

ломом [18], особый вид зебра-структуры у всплесков IV типа [19] и др. Основными параметрами, характеризующими всплески, являются скорость частотного дрейфа, длительность, степень поляризации, полоса частот, в которой наблюдается всплеск, поток излучения. Совокупность этих параметров определяет тип солнечного всплеска. Так, скорость дрейфа обычных всплесков III типа составляет $2 \div 4$ МГц/с на декаметровых волнах, а длительность $6 \div 12$ с [20, 21]. Длительность всплесков IV типа изменяется от часа–полтора до нескольких часов [19]. Всплески II типа имеют скорость частотного дрейфа $30 \div 70$ кГц/с [17]. Источником излучения различных типов всплесков являются быстрые частицы, в большинстве своем электроны, которые распространяются в разнообразных магнитных структурах, имеющих место в короне Солнца. Быстрые электроны, ускоренные во время вспышек и распространяющиеся вдоль открытых магнитных силовых линий, ответственны за всплески III типа [22]. Источником всплесков II типа являются быстрые электроны, ускоренные ударными волнами, которые формируются в солнечной короне, так называемыми корональными выбросами масс [17]. Считается, что из объема вещества самих корональных выбросов масс происходит радиоизлучение всплесков IV типа, порождаемое электронами, ускоренными в процессах взаимодействия коронального выброса и окружающей его корональной плазмы [19].

В настоящей работе сообщается о наблюдении необычного всплеска, который был зарегистрирован одновременно на двух радиотелескопах УТР-2 (Харьковская обл.) и УРАН-2 (Полтавская обл.). Этот всплеск не может быть отнесен ни к одному из известных в декаметровом диапазоне длин волн типов радиоизлучения. В работе обсуждаются свойства этого всплеска, а также высказывается предположение о его возможном источнике.

2. Оборудование

3 июня 2011 г. в наблюдениях радиоизлучения Солнца использовалась только часть радиотелескопа УТР-2 – четыре секции плеча “север–юг”. При этом эффективная площадь составляла около 50000 м^2 и размер диаграммы направленности был $15^\circ \times 1^\circ$. Эффективная площадь антенны радиотелескопа УРАН-2 [23] – около 28000 м^2 , при этом диаграмма направленности имела размеры $3^\circ \times 7.5^\circ$.

Для регистрации на обоих радиотелескопах использовался новый цифровой спектрометр DSPz, созданный в Радиоастрономическом институте Национальной академии наук Украины [24]. Полоса частотного анализа на обоих инструментах составляла $16 \div 32$ МГц, а динамический диапазон – 90 дБ. В наблюдениях был выбран режим работы с временным разрешением 100 мс и частотным разрешением 4 кГц.

3. Результаты наблюдений

Необычный всплеск в виде “гусеницы” наблюдался 3 июня 2011 г. в 12:10 UT во время бури всплесков III типа (рис. 1). Его максимальный поток излучения на частоте 24 МГц достигал $F \approx 10^3$ с. е. п. ($1 \text{ с. е. п.} = 10^{-22} \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{Гц})$).

Первая его необычная особенность заключается в том, что он появился со стороны высоких частот – на частоте 28 МГц. Необычна и длительность этого всплеска. Как видно из рисунка, она в несколько раз превосходит длительность обычных всплесков III типа. На рис. 2 показан временной профиль зарегистрированного всплеска на частоте 25.75 МГц. Полная длительность этого всплеска на частотах менее 22 МГц достигает 80 с, а на более высоких частотах около 50 с. По уровню половинной мощности всплеска значения длительности лежат в интервале $17 \div 22$ с.

Этот всплеск содержит много (до 14) ярких волокон (см. рис. 3) с небольшой скоростью частотного дрейфа. Их длительность равна или несколько меньше длительности самого всплеска, а частотная ширина составляет $300 \div 400$ кГц.

Еще одним необычным свойством этого всплеска является изменение знака скорости частотного дрейфа – на высоких частотах (больше 22 МГц) он дрейфует от низких частот к высоким, а на более низких частотах всплеск дрейфует от высоких частот к низким. Величина скорости частотного дрейфа также необычна – около 500 кГц/с в области частот больших 22 МГц и 100 кГц/с на меньших частотах. Такие значения скорости дрейфа в несколько раз меньше скорости дрейфа обычных всплесков III типа и больше, также в несколько раз, скорости дрейфа всплесков II типа.

Степень поляризации радиоизлучения необычного всплеска невысокая и составляет около 10 %,

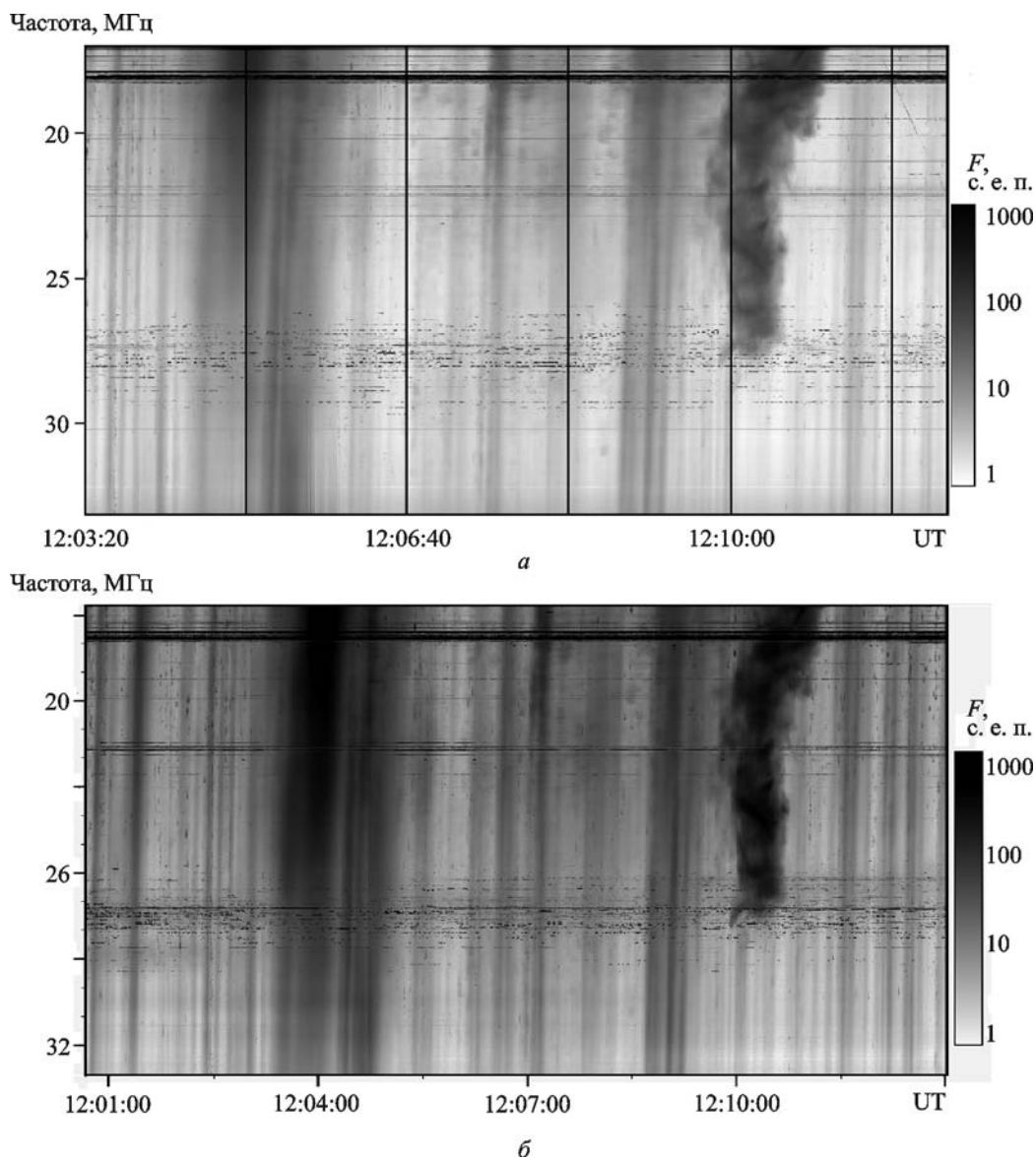


Рис. 1. Необычный всплеск в виде “гусеницы” (12:10:00 UT) на фоне бури всплесков III типа, зарегистрированный на радиотелескопах УТР-2 (а) и УРАН-2 (б)

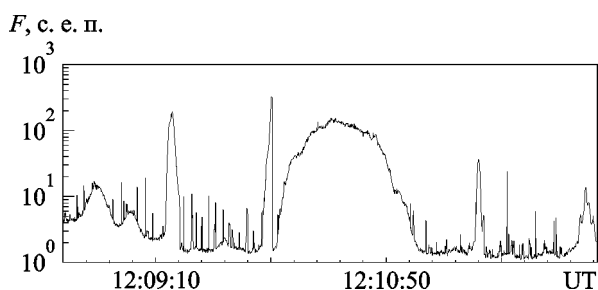


Рис. 2. Временной профиль необычного всплеска на частоте 25.75 МГц

что указывает в случае плазменного механизма генерации на излучение второй гармоники [25]. То обстоятельство, что знак поляризации отрицательный, свидетельствует о выходе этого излучения либо из южного полушария, либо из северного, но в случае залимбового события. Профиль поляризации необычного всплеска на частоте 25.75 МГц представлен на рис. 4.

Это событие регистрировалось также космическими аппаратами (КА) “Стерео”. На рис. 5 показан фрагмент наблюдений с КА “Стерео-А” и “Стерео-В” 3 июня 2011г. Видно, что в 12:10 на “Стерео-А” регистрировалось излучение в поло-

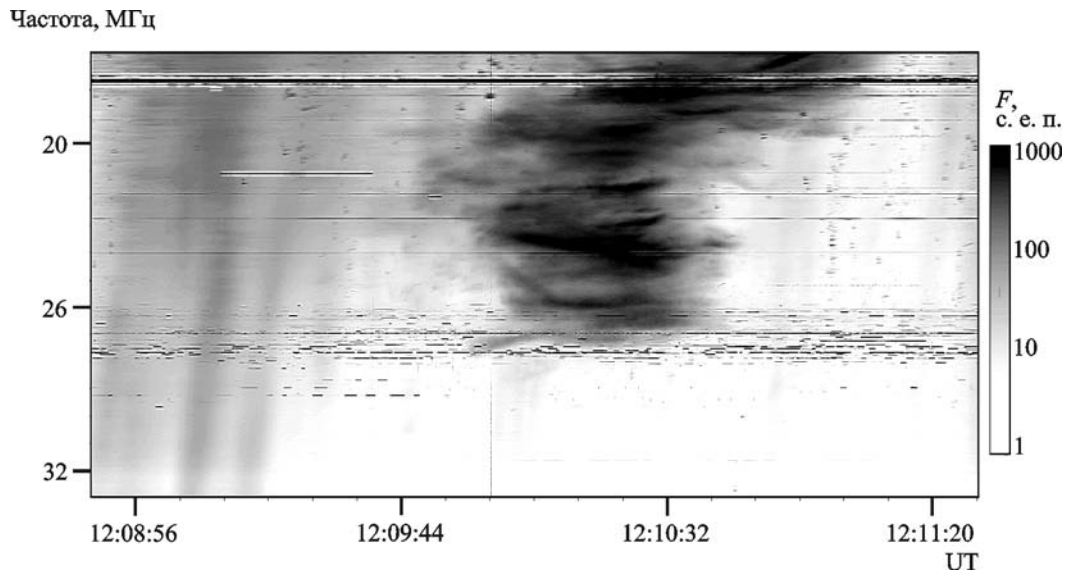


Рис. 3. Тонкая структура необычного всплеска

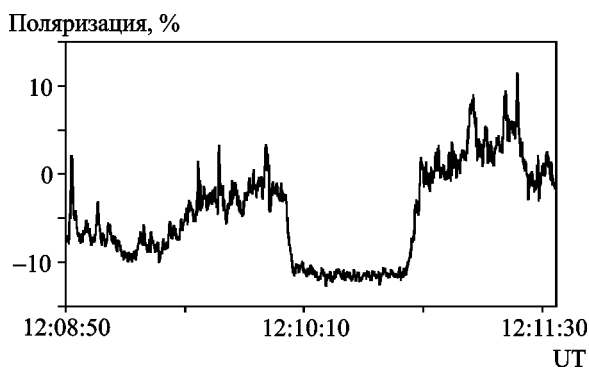


Рис. 4. Поляризационный профиль необычного всплеска на частоте 25.75 МГц

се частот $1 \div 15$ МГц с меньшим (около 63 кГц/с) частотным дрейфом по сравнению, например, с дрейфом группы всплесков III типа, наблюдавшейся в 12:05. Более того, если у группы всплесков III типа имеется низкочастотная часть с заметно уменьшающейся скоростью частотного дрейфа и увеличивающейся длительностью, то у всплеска, зарегистрированного в 12:10, таких особенностей нет. Отметим, что на КА “Стерео-В” в это время наблюдается очень слабое радиоизлучение группы всплесков III типа на самых низких частотах и совсем нет излучения от необычного всплеска. На момент наблюдений КА “Стерео-А” регистрировал излучение в секторе гелиодолгот от центрального меридиана Солнца до 180° на запад, а КА “Стерео-В” – от центрального меридиана до 180° на восток. Учитывая

такое расположение станций КА “Стерео-А” и “Стерео-В”, мы приходим к выводу, что источник излучения должен находиться в западной по отношению к Земле части Солнца.

Расположение активных областей на диске Солнца 3 июня 2011 г. (рис. 6) говорит о том, что на видимой его западной части нет активных областей (рис 6, а). Поэтому, активная область, с которой связан источник излучения, должна находиться за лимбом. Действительно, такие области, NOAA1222 и NOAA1224, находились согласно данным КА “Стерео-А” приблизительно в $40^\circ \div 50^\circ$ и 10° за лимбом соответственно. Как показывают динамические записи этих областей, проведенных на станции “Стерео-А”, в области NOAA1222 с 11:36 начали происходить активные процессы – увеличение ее яркости и размеров, активности магнитных арок и т. д., – продолжавшиеся более двух часов. В области NOAA1224 активность стала проявляться позже регистрации необычного всплеска, начиная с 12:36. Поэтому естественно связать радиоизлучение необычного всплеска с активностью области NOAA1222.

4. Заключение

Зарегистрированный на дециметровых волнах 3 июня 2011 г. солнечный всплеск не может быть отнесен ни к одному из известных типов спорадического радиоизлучения Солнца. Его длительность превышает в несколько раз длительности относительно коротких всплесков, регистрируемых в до-

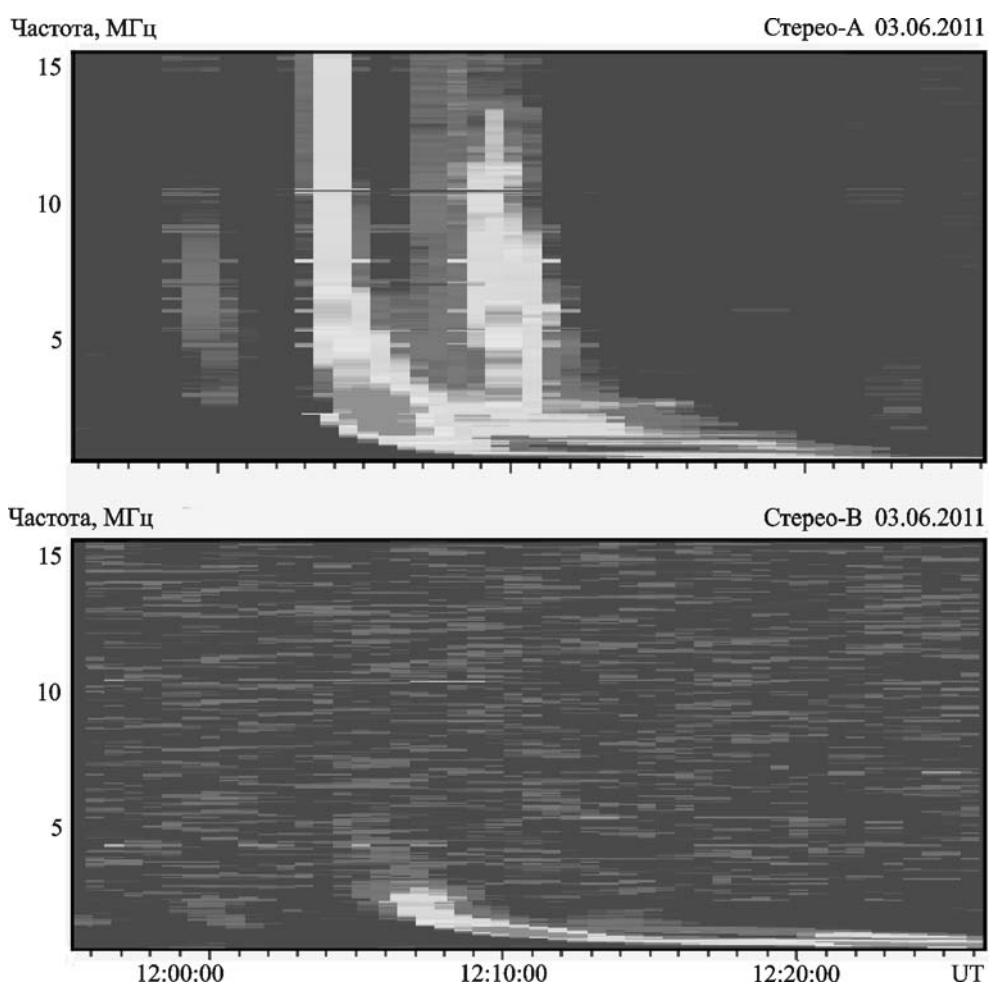


Рис. 5. Необычный всплеск 3 июня 2011 г. наблюдался КА “Сtereo-A” (верхняя панель) и не регистрировался КА “Сtereo-B” (нижняя панель)

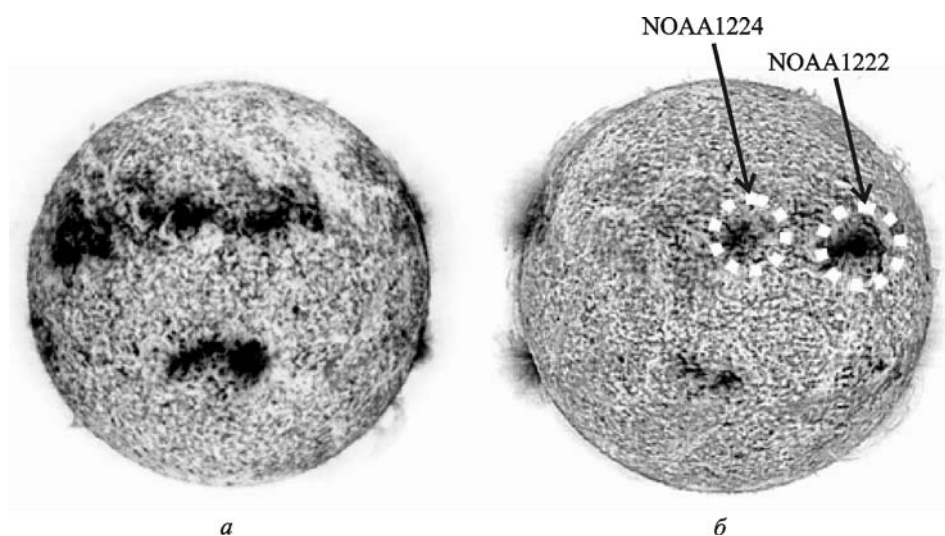


Рис. 6. Расположение активных областей на диске Солнца 3 июня 2011 г. по данным КА “СОХО” (*а*) и КА “Сtereo-A” (*б*)

статочной широкой частотной полосе, таких, как всплески III типа и S-всплески. Кроме того, его скорость частотного дрейфа в $4 \div 6$ раз меньше скорости обычных всплесков III типа. Вместе с тем скорость дрейфа необычного всплеска больше скорости дрейфа всплесков II типа в декаметровом диапазоне длин волн. Отличается он от этих всплесков и своей длительностью – всего около 20 с по сравнению с $5 \div 10$ мин для всплесков II типа. Необычный всплеск имеет высокую яркостную температуру, которая говорит в пользу нетепловых механизмов излучения, скорее всего плазменного механизма излучения, судя по низкой степени поляризации этого всплеска. Низкая степень поляризации указывает также на то, что излучение происходит на второй гармонике местной плазменной частоты, – только излучение второй гармоники плазменной частоты может быть зарегистрировано для событий, которые произошли за лимбом.

Работа частично была проведена в рамках проекта “SOLSPANET” (номер FP7-PEOPLE-2010-IRSES-269299). Авторы выражают благодарность коллективу NASA за политику открытого доступа к данным, полученным КА “СОХО”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Krüger A. Introduction to solar radio astronomy and radio physics. – Dordrecht: D. Reidel Publishing Company, 1979. – 469 p.
2. Dulk G. A., Suzuki S., and Gary D. E. The position and polarization of type V solar bursts // *Astron. Astrophys.* – 1980. – Vol. 88, No. 1–2. – P. 218–229.
3. Abranin E. P., Bazelyan L. L., Rapoport V. O., and Tsybko Ya. G. Variations of type III burst parameters during a decametric solar storm // *Sol. Phys.* – 1980. – Vol. 66, No. 1. – P. 333–346.
4. Abranin E. P., Bazelyan L. L., Goncharov N. Yu., Zinichev V. A., Rapoport V. O., and Tsybko Ya. G. Harmonic structure of type IIIb and III burst // *Sol. Phys.* – 1979. – Vol. 62, No. 1. – P. 145–151.
5. Stone R. G. and Fainberg J. A. U-Type solar radio bursts originating in the outer corona // *Sol. Phys.* – 1971. – Vol. 20, No. 1. – P. 106–111.
6. Доровский В. В., Мельник В. Н., Коноваленко А. А., Рукер Х. О., Абрагин Э. П., Лекашо А. Солнечные U- и J-всплески на декаметровых волнах // *Радиофизика и радиоастрономия.* – 2010. – Т. 15, № 1. – С. 5–14.
7. Nelson G. L. and Melrose D. B. Type II bursts. In: *Solar Radiophysics.* McLean N. J., and Labrum N. R., editors. – Cambridge: Cambridge University Press, 1985. – 516 p.
8. Stewart R. T. Moving type IV bursts. In: *Solar Radiophysics.* McLean N. J., and Labrum N. R., editors. – Cambridge: Cambridge University Press, 1985. – 516 p.
9. De la Noe J. and Moller-Pedersen B. Relationship between Drift Pair Bursts and Decametre Type III Solar Radio Emission // *Astron. Astrophys.* – 1971. – Vol. 12. – P. 371–378.
10. Melnik V. N., Konovalenko A. A., Dorovskyy V. V., Rucker H. O., Abranin E. P., Lisachenko V. N., and Lecacheux A. Solar drift pair bursts in the decameter range // *Sol. Phys.* – 2005. – Vol. 231, No. 1–2. – P. 143–155.
11. McConnell D. Spectral characteristics of solar S bursts // *Sol. Phys.* – 1982. – Vol. 78, No. 2. – P. 253–269.
12. Melnik V. N., Konovalenko A. A., Rucker H. O., Dorovskyy V. V., Abranin E. P., Lecacheux A., and Lonskaya A. S. Solar S-bursts at Frequencies of 10-30 MHz // *Sol. Phys.* – 2010. – Vol. 264, No. 1. – P. 103–117.
13. Konovalenko A. A., Stanislavsky A. A., Abranin E. P., Dorovskyy V. V., Kaiser M. L., Lecacheux A., Rucker H. O., and Melnik V. N. Absorption in Burst Emission // *Sol. Phys.* – 2007. – Vol. 245, No. 2. – P. 345–354.
14. Melnik V. N., Konovalenko A. A., Brazhenko A. I., Rucker H. O., Dorovskyy V. V., Abranin E. P., Lecacheux A., and Lonskaya A. S. Bursts in emission and absorption as a fine structure of Type IV bursts // *AIP Conf. Proc.* – 2010. – Vol. 1206. – P. 450–454.
15. Мельник В. Н., Коноваленко А. А., Рукер Х. О., Руткевич Б. П., Абрагин Э. П., Доровский В. В., Браженко А. И., Лекашо А., Станиславский А. А. Свойства быстрых всплесков III типа в декаметровом диапазоне длин волн // *Радиофизика и радиоастрономия.* – 2007. – Т. 12, № 4. – С. 341–349.
16. Briand C., Zaslavsky A., Maksimovic M., Zarka P., Lecacheux A., Rucker H. O., Konovalenko A. A., Abranin E. P., Dorovskyy V. V., and Stanislavsky A. A. Faint solar radio structures from decametric observations // *Astron. Astrophys.* – 2008. – Vol. 490, No. 2. – P. 339–344.
17. Melnik V. N., Konovalenko A. A., Rucker H. O., Stanislavsky A. A., Abranin E. P., Lecacheux A., Mann G., Warmuth A., Zaitsev V. V., Boudjada M. Y., Dorovskii V. V., Zaharenko V. V., Lisachenko V. N., and Rosolen C. Observations of Solar Type II bursts at frequencies 10–30 MHz // *Sol. Phys.* – 2004. – Vol. 222, No. 1. – P. 151–166.
18. Dorovskyy V. V., Melnik V. N., Konovalenko A. A., Rucker H. O., Abranin E. P., and Lecacheux A. Unusual type III bursts at the decameter wavelengths. In: H. O. Rucker, W. S. Kurth, P. Loran, G. Fischer, editors, *Proc. PRE VII.* – Vienna: Austrian Academy Sciences Press, 2011. – P. 359–365.
19. Melnik V. N., Rucker H. O., Konovalenko A. A., Dorovskyy V. V., Abranin E. P., Brazhenko A. I., Thide B., and Stanislavskyy A. A. Solar Type IV Bursts at Frequencies 10-30 MHz. In: Pingzhi Wang, editor, *Solar Physics Research Trends.* – New York: Nova Science Publishers, 2008. – P. 287–325.
20. Абрагин Э. П., Базелян Л. Л., Цибко Я. Г. Устойчивость параметров ДКМ радиовсплесков III типа в 11-летнем цикле солнечной активности. I. Скорость частотного дрейфа. II. Длительности на кратных частотах // *Астрономический журнал.* – 1990. – Т. 67. – С. 141–150.
21. Melnik V. N., Konovalenko A. A., Abranin E. P., Dorovskyy V. V., Stanislavsky A. A., Rucker H. O., and Lecacheux A. Solar sporadic radio emission in the decameter waveband // *Astron. Astrophys. Trans.* – 2005. – Vol. 24. – P. 391–401.

22. *Dulk G. A. and Suzuki S.* The position and polarization of type III solar bursts // *Astron. Astrophys.* – 1980. – Vol. 88, No. 1–2. – P. 203–217.
23. *Brazhenko A. I., Bulatsen V. G., Vashchishin R. V., Frantsuzenko A. V., Konovalenko A. A., Falkovich I. S., Abranin E. P., Ulyanov O. M., Zakharenko V. V., Lecacheux A., and Rucker H.* New Decameter Radiopolarimeter URAN-2 // *Kinematics and Physics of Celestial Bodies. Suppl. Ser.* – 2005. – Vol. 21. – P. 43–46.
24. *Ryabov V. B., Vavriv D. M., Zarka P., Ryabov B. P., Kozhin R., Vinogradov V. V., and Denis L.* A low-noise, high-dynamic-range, digital receiver for radio astronomy applications: an efficient solution for observing radio-bursts from Jupiter, the Sun, pulsars, and other astrophysical plasmas below 30 MHz // *Astron. Astrophys.* – 2010. – Vol. 510, id. A16.
25. *Железняков В. В.* Радиозлучение Солнца и планет. – М: Наука, 1964. – 560 с.

A. I. Браженко, В. М. Мельник, О. О. Коноваленко, В. В. Доровський, А. В. Французенко, Г. О. Рукер, М. Панченко, О. О. Станіславський

¹Полтавська гравіметрична обсерваторія Інституту геофізики ім. С. І. Субботіна НАН України, вул. Мясоедова, 27/29, м. Полтава, 36029, Україна

²Радіоастрономічний інститут НАН України, вул. Червонопрапорна, 4, м. Харків, 61002, Україна

³Інститут космічних досліджень Австрійської академії наук, Шмидельштрассе, 6, Грац, 8042, Австрія

НЕЗВИЧАЙНИЙ СОНЯЧНИЙ СПЛЕСК У ДЕКАМЕТРОВОМУ ДІАПАЗОНІ ХВИЛЬ. 1. СПОСТЕРЕЖЕННЯ

3 червня 2011 р. на радіотелескопах УТР-2 та УРАН-2 був зафіксований незвичайний сплеск. Він спостерігався у смузі частот від 16 до 28 МГц. Вище 22 МГц сплеск мав зворотний дрейф зі швидкістю близько 500 кГц/с, а нижче цієї частоти сплеск дрейфував від високих частот до низьких

зі швидкістю 100 кГц/с. Тривалість сплеску на рівні половинної потужності була приблизно однакова на всіх частотах і складала 17 ± 22 с. Сплеск мав тонку частотно-часову структуру. Максимальний потік випромінювання цього сплеску досягав на частоті 24 МГц і становив 10^3 с. о. п. Поляризація сплеску спостерігалася негативною і становила близько 10 %. Висловлюється припущення про можливе джерело цього сплеску.

A. I. Brazhenko, V. N. Melnik, A. A. Konovalenko, V. V. Dorovskyy, A. V. Frantsuzenko, H. O. Rucker, M. Panchenko, and A. A. Stanislavsky

¹Poltava Gravimetric Observatory, S. Subotin Institute of Geophysics, National Academy of Sciences of Ukraine, 27/29, Miasoiedov St., Poltava, 36029, Ukraine

²Institute of Radio Astronomy, National Academy of Sciences of Ukraine, 4, Chervonopraporna St., Kharkiv, 61002, Ukraine

³Institut für Weltraumforschung der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, 6, Schmiedlstrasse, Graz, 8042, Austria

AN UNUSUAL BURST AT DECAMETER WAVELENGTHS. 1. OBSERVATIONS

An unusual burst was observed by the UTR-2 (Kharkiv, Ukraine) and URAN-2 (Poltava, Ukraine) radio telescopes on June 3, 2011. It was recorded in the frequency band 16–28 MHz. Its frequency drift rate (about 500 kHz/s) was positive at frequencies higher than 22 MHz and negative with drift rate 100 kHz/s at lower frequencies. The half-power duration of this burst was about the same at all frequencies and made 17–22 s. The fine frequency-time structure was unusual too. The maximum radio flux of the unusual burst at 24 MHz was about 10^3 s.f.u. and its polarization was about 10 %. We propose an interpretation of the unusual burst.

Статья поступила в редакцию 18.01.2012