

The full version of the article is available on the website of the journal "Astrophysics":
<https://link.springer.com/journal/10511>

LOW-FREQUENCY TYPE II RADIO BURSTS AND ASSOCIATED SOLAR FLARES, CORONAL HOLES, AND CMEs DURING 2001 TO 2015

N.MITTAL¹, V.VERMA²

Received 16 June 2025

Accepted 10 September 2025

We have analyzed 20 low-frequencies (LF) type-II radio bursts associated with solar coronal mass ejections (CMEs), coronal holes (CHs), and solar flares observed during the solar cycle 23 and solar cycle 24, which consist of the period of year 1997 to year 2015. A total number of 505 types-II radio bursts were observed during the above period out of which only 20 types II radio bursts have frequencies ≤ 1 MHz. The time duration of 20 LF type II bursts ranges from 5 min to 2020 min. On investigation of 17 type-II bursts associated CMEs, solar flares, and coronal holes we also found that 12 types-II burst related CMEs observed when there were CHs and solar flares within 10° and 5 type-II burst-associated CMEs found when there were CHs and solar flares within 30° , respectively. In this paper we have done statistical analysis of low frequency type II radio bursts and related solar phenomena. The LF type-II radio bursts start after the peak time of associated solar flares. In this paper each LF type-II radio burst and other related solar phenomena are seen and analyzed to understand the origin of LF type-II radio bursts from the Sun in the latest scenario of solar heliophysics.

Keywords: *Sun: Solar flares: coronal mass ejections: type II radio burst*

¹ Dept. of Science and Math, Maharshi Dayanand I. College, Meerut-250626, India, e-mail: nishantphysics@gmail.com

² Uttarakhand Space Application Center, Dehradun, Uttarakhand 248006, India, e-mail: vkvermadr@gmail.com

НИЗКОЧАСТОТНЫЕ РАДИОВСПЛЕСКИ ТИПА II И СВЯЗАННЫЕ С НИМИ СОЛНЕЧНЫЕ ВСПЫШКИ, КОРОНАЛЬНЫЕ ДЫРЫ И КВМ В ПЕРИОД С 2001 ПО 2015гг.

Н.МИТТАЛ¹, В.ВЕРМА²

Проанализированы 20 низкочастотных (LF) радиовсплесков типа II, связанных с корональными выбросами массы (СМЕ), корональными дырами (СН) и солнечными вспышками, наблюдавшимися в течение 23-го и 24-го солнечных циклов, которые охватывают период с 1997 по 2015гг. За указанный период было наблюденно в общей сложности 505 радиовсплесков типа II, из которых только 20 радиовсплесков типа II имели частоту ≤ 1 МГц. Продолжительность 20 низкочастотных всплесков типа II колебалась от 5 до 2020 мин. При исследовании 17 всплесков типа II, связанных с КВМ солнечными вспышками и корональными дырами, было обнаружено, что 12 всплесков типа II, связанных с КВМ, наблюдались при наличии КД и солнечных вспышек в пределах 10° , а 5 всплесков типа II, связанных с КВМ, наблюдались при наличии КД и солнечных вспышек в пределах 30° . В данной статье проведен статистический анализ низкочастотных радиовсплесков типа II и связанных с ними солнечных явлений. НЧ-радиовсплески типа II начинаются после пикового времени связанных с ними солнечных вспышек. В данной статье каждый НЧ-радиовсплеск типа II и другие связанные с ним солнечные явления рассматриваются и анализируются с целью понимания происхождения НЧ-радиовсплесков типа II от Солнца в последней версии сценария солнечной гелиофизики.

Ключевые слова: *Солнце: солнечные вспышки: корональные выбросы массы: радиовсплески типа II*

REFERENCES

1. *M.R.Kundu*, Solar Radio Astronomy, Interscience Publication, New York, 333, 1965.
2. *G.J.Nelson, D.B.Melrose*, Type II bursts, In Solar Radiophysics: Studies of emission from the sun at meter wavelengths, Cambridge and New York, Cambridge University Press, p.333, 1985.
3. *H.V.Cane*, Radio Astronomy at Long Wavelengths, tutorials and reviews from an AGU Chapman conference held Oct. 1998 in Paris, France. Geophysical Monograph Series, Vol. 119; Eds: R.G.Stone, K.W.Weiler, M.L.Goldstein, and J.-L.Bougerot. Washington, DC: American Geophysical Union, p.147, 2000.
4. *N.Gopalswamy, S.Yashiro, H.Xie et al.*, Astrophys. J., **674**, 560, 2008.
5. *N.Mittal, V.K.Verma*, New Astron., **50**, 60, 2017.
6. *N.Gopalswamy, S.Yashiro, M.L.Kaiser et al.*, J. of Geophys. Res., **106**(A12), 29219, 2001a.
7. *N.Gopalswamy, E.Aguilar-Rodriguez, S.Yashiro et al.*, J. of Geophys. Res., **110**, (A12), S07, 2005.
8. *A.Lara, N.Gopalswamy, S.Nunes et al.*, Geophysical Research Letters, **30**(12), SEP 4-1, 8016, 2003.
9. *N.Gopalswamy*, J. Astrophys. Astron., **27**, 243, 2006a.
10. *N.Gopalswamy*, Geophysical Research Letters, **30**, (12), SEP 1-1, CiteID 8013, 2003.
11. *E.W.Cliver, S.W.Kahler, D.V.Reames*, Astrophys. J., **605**(2), 902, 2004.
12. *N.R.Sheeley, R.A.Howard, D.J.Michels et al.*, Astrophys. J., **279**, 839, 1984.
13. *R.N.Shelke, M.C.Pande*, Bull Astr. Soc. India, **13**, 62, 1985.
14. *N.Gopalswamy, A.Lara, S.Yashiro et al.*, J. Geophys. Res., **106**, 29207, 2001b.
15. *E.Aguilar-Rodriguez, N.Gopalswamy, R.MacDowall et al.*, J. Geophys. Res., **110**(A12), A12S08, 2005.
16. *A.Shanmugaraju, Y.-J.Moon, B.Vrsnak*, Solar Physics, **254**(2), 297, 2009.
17. *N.Gopalswamy, H.Xie, S.Yashiro et al.*, Space Sci. Rev., **171**(1-4), 23, 2012a.
18. *N.Gopalswamy, P.Mäkelä, S.Akiyama et al.*, Journal of Geophysical Research, **117**(A08), CiteID: A08106, 2012b.
19. *V.K.Verma, M.C.Pande*, On the association between coronal mass ejections and coronal holes, in Proc. IAU Colloq. 104 "Solar and Stellar Flares" (Poster Papers), Stanford University, Stanford, USA, p.239, 1989.
20. *V.K.Verma*, Indian J. Radio & Space Phys., **21**, 64, 1992a.
21. *V.K.Verma*, Journal of Indian Geophysical Union, **2**, 65, 1998.
22. *V.K.Verma*, Coronal mass ejections: Relationship with solar flares and coronal holes, COSPAR Colloquia Series, Elsevier Science Ltd, **13**, 319, 2002.
23. *V.K.Verma, N.Mittal*, Astron. Lett., **45**, 164, 2019.
24. *V.K.Verma*, Indian J. Radio & Space Phys., **21**, 97, 1992b.

25. *V.K.Verma, N.Mittal, R.Chandra*, Open Astronomy, **29**(1), 81, 2020.
26. *V.Abramenko, V.Yurchyshyn, H.Watanabe*, Sol. Phys., **260**, 43, 2009.
27. *T.Rotter, A.M.Veronig, M.Temmer*, Sol. Phys., **281**, 793, 2012.
28. *R.J.Bray et al.*, In: Plasma Loops in the Solar Corona, Cambridge Univ. Press, Cambridge, p.29, 156, 256, 1991.
29. *D.E.McKenzie*, Signatures of reconnection in eruptive flares, COSPAR Colloquia Series 13, Elsevier Science Ltd, 155, 2002.
30. *N.Gopalswamy*, Low-Frequency Radio Bursts and Space Weather, Invited paper to the URSI Asia-Pacific Radio Science Conference in Seoul, August 21-25, 2016.
31. *G.E.Brueckner et al.*, Sol. Phys., **162**, 357, 1995.
32. *P.Mäkelä, N.Gopalswamy, S.Akiyama et al.*, Astrophys. J., **806**(1), article id. 13, 2015.
33. *N.Gopalswamy*, "Coronal mass ejections and Type II bursts", In Solar Eruptions and Energetic Particles, N.Gopalswamy, R.Mewaldt, and J.Torsti, Eds., vol. 165 of *Geophysical Monograph Series*, The American Geophysical Union, p.207, 2006b.
34. *N.Mittal, U.Narain*, On some properties of coronal mass ejections in solar cycle 23, New Astronomy, **14**(3), 341, 2009.
35. *N.Mittal, V.K.Verma*, Studies of Geomagnetic Storms associated Solar Activity Phenomena observed during 1996-2009, Acta Astronautica, **121C**, 179, 2016.
36. *N.Mittal, V.K.Verma*, On some characteristics of large energy Coronal Mass Ejections during 1996-2015, New Astronomy, **63**, 06, 2018.