

О СВЯЗИ МЕЖДУ НЕКОТОРЫМИ ЯВЛЕНИЯМИ СОЛНЕЧНОГО РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ НА ВОЛНЕ $\lambda = 1.43$ м И ОПТИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ НА СОЛНЦЕ

Ш.МАКАНДАРАШВИЛИ, Н.ОГРАПИШВИЛИ, Д.ДЖАПАРИДZE,
Д.МАГРАДZE

Поступила 30 марта 2016

Принята к печати 22 июня 2016

Радионаблюдения заполняют результаты оптических исследований, а в некоторых случаях они являются единственным способом получения информации о физических условиях образования и распространения радиоволн. Солнечное радиоизлучение представляется в двух видах как "спокойное" и "спорадическое". Также хорошо известны их оптические черты. Солнечные радионаблюдения в метровых волнах ($\lambda = 1.43$ м, $\nu = 210$ МГц) были выполнены в Абастуманской астрофизической обсерватории с помощью солнечного радиотелескопа в течение 5 солнечных циклов (с 1957г.). В данной статье изучены долгосрочные наблюдения за солнечными радиовсплесками и солнечными пятнами и получено, что существует корреляция между амплитудами радиобурь, числом пятен и их областями.

Ключевые слова: Радиоизлучение; радиобури; солнечные пятна

1. *Введение.* Изучение солнечного радиоизлучения играет важную роль в исследовании процессов, происходящих на Солнце. Сопоставление данных радионаблюдений с оптическими данными вносит ценный вклад в дело понимания физических процессов, происходящих в атмосфере Солнца. Они позволяют изучать процессы, происходящие в различных слоях солнечной атмосферы. Применяя метод наложения эпох, получена последовательность событий в оптическом и радиодиапазонах во время вспышки [1].

По характеру спектра можно определить скорость распространения возмущения, генерируемую полосу частот, интенсивность энерговыделения и другие сведения о физических условиях в солнечной короне [2-5].

Преимуществом радионаблюдений является достижение высокого разрешения для высоких слоев короны, так как скорость распространения радиоволн очевидно зависит от плотности окружающей среды. Это особенно присуще полосе излучения 210 МГц, соответствующей $\lambda = 1.43$ м.

Сравнение результатов, полученных в различных спектральных диапазонах, является важным методом изучения различных событий, происходящих в атмосфере Солнца. В видимом диапазоне, содержащем большую

часть солнечной радиации, изменчивость выбросов очень мала. Наши знания о солнечной активности существенно расширились за счет совершенствования и координации оптических и радионаблюдений [6-9].

Излучение в разных длинах волн образуется на разных глубинах солнечной атмосферы. Следовательно, изменением длины волны возможно исследовать различные глубины солнечной атмосферы.

Наше внимание привлекает то обстоятельство, что солнечное радиоизлучение представляется в двух видах: "спокойном" и "спорадическом". Их отличительные черты хорошо известны [10-12]. Они, как правило, локализованы в активных областях солнечного диска. Всплески считаются основной особенностью солнечной активности, и следовательно, значительным объектом исследований. Интенсивность спорадического радиоизлучения в метровом диапазоне может превышать излучения спокойного Солнца в несколько тысяч раз [13].

Радиоизлучение спокойного Солнца представляет собой тепловое излучение солнечной атмосферы. Мощность этого излучения оценивается с помощью температуры солнечной короны. А радиоизлучение возмущенного Солнца связано с особенностями поверхностных слоев Солнца [14]. Установлено, что шумовые бури связаны с большими группами пятен в фотосфере, особенно с расположенными в центральной части солнечного диска [15]. Вероятность возникновения радиоизлучения увеличивается с увеличением площади всей группы, а также с увеличением площади крупнейшего пятна этой группы [14]. Всплески, также как и фоновое излучение, имеют высокую степень поляризации величиной до 100% с магнитным полем, проявляющимся либо в области образования радиоизлучения, либо при распространении радиоволн в короне [16].

Продолжительность шумовых бурь может изменяться от нескольких часов до нескольких дней в широком диапазоне частот (50-300 МГц) [17]. В целом, именно это явление, наблюдаемое в метровых волнах, и приводит к повышению уровня фонового излучения.

Вопрос о связи шумовых бурь с другими солнечными особенностями, т.е. со вспышками, различные авторы решают по-разному. Некоторые из них предполагают, что все хромосферные вспышки во времени предшествуют или совпадают с шумовыми бурями [18]. Другие же считают, что шумовые бури наблюдаются только тогда, когда на Солнце наблюдаются сильные, второго или третьего порядка, хромосферные вспышки [19,9,16].

За 50 лет интенсивных радионаблюдений, проводимых в Абастуманской астрофизической обсерватории (Грузия), было обнаружено до 200 случаев, показывающих четкую связь между происхождением шумовых бурь и циклом солнечной активности [20-21].

2. Наблюдательные данные и метод измерений. Солнечные

радионаблюдения в метровых волнах ($\lambda = 1.43$ м, $\nu = 210$ МГц) были выполнены в Абастуманской астрофизической обсерватории с 1957 г. с помощью солнечного радиотелескопа.

Использовались наблюдательные данные в 1957-2008 гг., содержащие 5 солнечных циклов (максимумы в 1957-1958, 1969-1970, 1980-1981, 1990-1991, 2000-2001 гг.).

Данные представлены в виде зависимости интенсивности от времени. Мировое время и интенсивность в единицах $10^{-22} \text{ WM}^2 \text{ Hz}^{-1}$ нанесены на осях X и Y, соответственно. Значение внутренних шумов составляет менее 0.01 сигнала от спокойного Солнца. Когда солнечное радиоизлучение зарегистрировано, фон галактики исключается. В случае регистрации большого всплеска солнечного излучения, во много раз превышающего уровень спокойного Солнца, чувствительность радиометра варьируется многократно.

Обширные данные, собранные за последние годы, ясно указывают на тесную связь радиобурь с солнечными пятнами или группой пятен. Группы пятен, сопровождающиеся солнечными радиобурами, часто являются E или F типов (в соответствии с принятой классификацией пятен). Установлено также, что пятно или группа пятен противоположной полярности могут являться источником радиобури.

Некоторые характеристики радиобури, такие как продолжительность и интенсивность, тесно связаны с 11-летним циклом солнечной активности. Все они изменяются с изменением солнечной активности.

Мы обратили особое внимание на три случая из массива изученных данных, показывающих четкую связь между происхождением радиобурь и уровнем солнечной активности; мы сравнили их с оптическими наблюдениями.

На рис. 1 представлены диаграмма солнечного радиоизлучения и изображение пятен на 24 декабря 1973 г. Рис. 1 соответствует первому типу радиоизлучения [8], т.е. радиобуре, зарожденной в активных областях Солнца и наблюдаемой в оптическом диапазоне. В этот день число

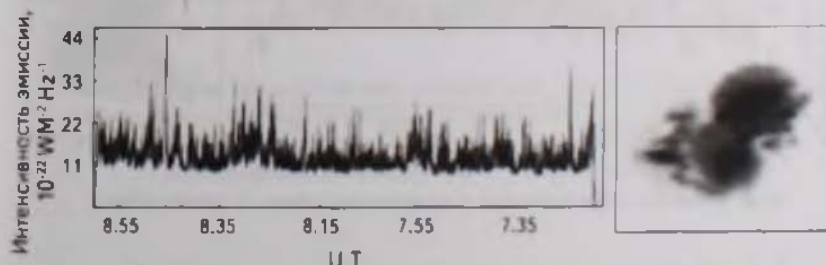


Рис. 1. Диаграмма солнечного радиоизлучения, полученного 24 декабря 1973 г. Моменты наблюдения нанесены на ось X (по Мировому времени), а интенсивность радиоизлучения - на ось Y (в $10^{-22} \text{ WM}^2 \text{ Hz}^{-1}$), рядом изображение пятен 24 декабря 1973 г.

Вольфа достигло 260, а площадь солнечных пятен достигло $1.500 \cdot 10^{-3}$ полусферы Солнца. Хромосферная вспышка первого класса была обнаружена хромосферным телескопом; по-видимому эта вспышка спровоцировала радиобури, замеченные нами в радиодиапазоне.

На рис.2 представлены диаграмма солнечного радиоизлучения и изображение пятен на 27 июля 1981г. Солнечные пятна наблюдаемые на фотосферо-хромосферном телескопе Абастуманской астрофизической обсерватории. Число Вольфа равно 170, а общая площадь солнечных пятен составляет $3.35 \cdot 10^{-3}$ в упомянутых выше единицах.

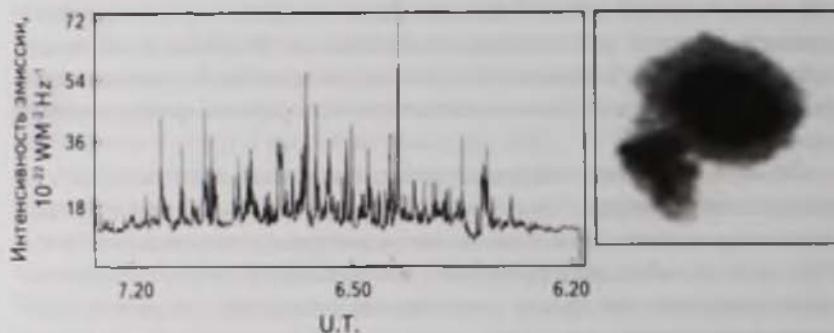


Рис.2. Солнечное радиоизлучение и изображение пятен 27 июля 1981г.

На рис.3 представлены диаграмма солнечного радиоизлучения и изображение пятен 12 ноября 2001г. Диаграмма показывает, что это очень интенсивная радиобура и колеблется между $20-100 \times 10^{-22} \text{ W m}^{-2} \text{ Hz}^{-1}$. В этот день была зарегистрирована особенно большая группа солнечных пятен на восточном краю Солнца вблизи северного полюса.

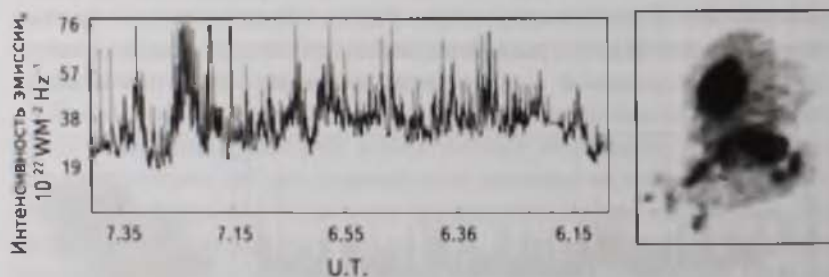


Рис.3. Солнечное радиоизлучение и изображение пятен 12 ноября 2001г.

3. Дискуссия и результаты. Многие исследователи [7,10] получили сходные результаты в различных частотных диапазонах при интерференционных и поляризационных наблюдениях. Изменение непрерывных

составляющих радиобурь тесно связано с площадью, занимаемой группой пятен. Но солнечные радиовсплески первого типа выявляют жесткую связь с колебаниями напряженности магнитных полей солнечных пятен.

Сравнение значений радиопотока на 10.7 см с числом солнечных пятен для солнечных циклов 19-21 показывает, что значения радиопотока зависят от магнитного поля, связанного с солнечными пятнами. Представлены значения радиопотока для 10.7 см и его соотношение с числом солнечных пятен и другими параметрами для каждого из этих циклов. Результаты указывают, что значение радиопотока на 10.7 см кажется стохастическим для Цикла 19 и хаотическим для Циклов 20 и 21 [22,23]. Солнечная радиоэмиссия предоставляет ценную информацию о структуре и динамике солнечной атмосферы выше температурного минимума. Они рассмотрели новые наблюдательные и теоретические результаты исследований тихого Солнца и активных областей, покрывая весь радиодиапазон длин волн, начиная с миллиметрового до декаметрового, попытались показать максимально полную картину о тихом Солнце и активных областях с помощью радиообластей. В принципе радиодиапазон может предоставить нам столько же информации сколько остальная часть спектра солнечной атмосферы. Дальнейшее уточнение и совершенствование механизма шумовой бури требуют оптических наблюдений хромосферных вспышек и пятен с магнитографами. Такого рода наблюдения позволят зафиксировать как напряженность магнитного поля больших пятен, так и изменения их площади с временным интервалом час [24-29]. На основе анализа данных наблюдений нами было получено, что в большинстве случаев радиобури формируются в группе пятен, имеющих сложную структуру, и в процессе роста крупных пятен. Кроме того, максимумы радиовсплесков и магнитного потока крупных групп пятен совпадают с точностью до дня. С другой стороны, мощный магнитный поток группы пятен является предшественником сильной хромосферной вспышки.

В результате анализа данных наблюдений максимальная продолжительность радиошума составляет 7-10 дней, всплески возникают раньше и исчезают позднее повышенного радиационного фона.

Абастуманская астрофизическая обсерватория им. Е. К. Харадзе,

Государственный Университет им. Илии, Грузия.

e-mail: natela.oghrapishvili@iliauni.edu.ge darejan.japandze@iliauni.edu.ge

davit.maghradze.2@iliauni.edu.ge admin@reservetour.com

ON THE CORRELATION BETWEEN SOME PHENOMENA OF THE SOLAR RADIO EMISSION AT THE WAVE $\lambda=1.43\text{m}$ AND OPTICAL PROCESSES ON THE SUN

Sh.MAKANDARASHVILI, N.OGHRAPISHVILI, DJAPARIDZE,
D.MAGHRADZE

Radio observations supply the results of optical investigations and in some occasions they are the only method of obtaining information on physical conditions of generation and propagation of radio waves. Our attention attracts the solar radio emission occurring in two ways, as "quiescent" and "disturbed" (i.e. "sporadic") ones. Their distinguishing features are known as well. Together with optical observations, the solar radio observations in the metric bands ($\lambda=1.43\text{m}$, $\nu=210\text{MHz}$) have been performed at Abastumani astrophysical observatory since 1957 with the solar radio telescope. From 1957 we acquire highly abundant observational data comprising of 5 solar cycles. This article discusses the processing of radio emissions of solar active regions. Examples of optical and radio observations are given. Various characteristics are calculated.

Key words: *Solar rotation: Radio Emission: Radio Bursts: Sun spots*

ЛИТЕРАТУРА

1. М. Гиголашвили, Н. Ограпишвили и др., *Астрофизика*, **57**, 439, 2014, (*Astrophysics*, **57**, 408, 2014).
2. Ю. Ф. Юровский, *Изв. Крым. Астрофиз. Обсерв.*, **106**, 38, 2010.
3. Ю. Ф. Юровский, *Изв. Крым. Астрофиз. Обсерв.*, **107**, 84, 2011.
4. Yu. F. Yurovsky, 23-rd international Crimean Conference, 1116, 2013.
5. Yu. F. Yurovsky, *Kinematics and Physics of Celestial Bodies*, **29**, 301, 2013.
6. D. E. Innes, R. H. Kameron et al., *Astron. Astrophys.*, **431**, 4, 2011.
7. О. С. Королев, Сб. докл. сессий научн. совета по радиоастрономии, М., Наука, 83, 1970. (Proc. of the Meeting of Sci. Commit. for Complex Problems in Radio Astronomy, 83, 1970).
8. О. С. Королев, *Астрон. ж.*, **52**, 1247, 1975, (*Soviet Astronomy*, **19**, 747, 1976).
9. K. Shibasaki, C. E. Alissandrakis, S. Pohjolainen, *Solar Phys.*, **273**, 309, 2011.
10. P. Zucca, E. P. Carley et al., *Solar Phys.*, **280**, 591, 2012.
11. О. С. Королев, *Физика солнечной активности*, М., Наука, 192, 1976.
12. Ш. Макандарашвили, *Бюлл. Абаст. Астрофиз. Обсерв.*, **29**, 47, 1962.
13. J. S. Hey, *Nature*, **157**, 47, 1946.

14. *J.L.Pawsey, R.N.Bracewell*, in *Radio Astronomy*, Oxford Clarendon Press, ch., 5, 1955.
15. *J.L.Pawsey, R.Payne-Scott, L.L.McCready*, *Nature*, **157**, 158, 1946.
16. *M.Ryle, D.D.Vonberg*, *Proc. Roy. Soc.*, **193**, 98, 1948.
17. *G.P.Chernov*, *Astron. Lett.*, **23**, 949, 1997.
18. *H.W.Dodson*, *Proc. IRE*, **46**, 149, 1958.
19. *A.D.Fokker*, in *Solar System Radio Astronomy*, 171, 1965.
20. *III. Makandaparashvili*, *Бюлл. Абаст. астр. обсерв.*, **76**, 193, 2003
21. *Sh.Makandarashvili*, *Bull. of the Georgian NAS*, **5**, 51, 2011
22. *R.A.Greenkorn*, *Solar Phys.*, **280**, 205, 2012.
23. *R.A.Greenkorn*, *Solar Phys.*, **255**, 301, 2009.
24. *C.Kies, R.Rezaei, W.Schmidt*, *Astron. Astrophys.*, **565**, ID: A52, 10, 2014.
25. *T.A.Schad, M.J.Penn*, *Solar Phys.*, **262**, 19, 2010.
26. *S.Zharkov, V.V.Zharkova, S.S.Ipson*, *Solar Phys.*, **228**, 377, 2005.
27. *A.Solov'ev, E.Kirichek*, *Astrophys. Space Sci.*, **352**, 23, 2014.
28. *J.Kallunki, M.Uunila*, *International J. Astron. Astrophys.*, **4**, 649, 2014.
29. *J.Kallunki, N.Lavonen, E.Jarvela, M.Uunila*, *Baltic Astron.*, **21**, 255, 2012.

