ПРОЯВЛЕНИЕ СИМПАТИЧЕСКИХ ВСПЛЕСКОВ НА СОЛНЦЕ В САНТИМЕТРОВОМ ДИАПАЗОНЕ ДЛИН ВОЛН

Голубчина О.А.

Санкт-Петербургский филиал САО РАН, Санкт-Петербург, Россия

MANIFESTATION OF SYMPATHETIC BURSTS IN THE SUN IN A CENTIMETER WAVELENGTH RANGE

Golubchina O.A.

SAO RAS, St. Petersburg branch, St. Petersburg, Russia

The article presents the analysis of observations of sympathetic bursts for 1980-1981 on the radio telescope RATAN-600 on the waves of the centimeter range ($\lambda = 2.3$ cm, 4.5 cm). Possible trigger mechanisms of sympathetic bursts are discussed. The observational facts testifying to probable influence of the large-scale magnetic field of the Sun on the activity of solar spot groups, distant from each other on distances up to $L > 10^5$ both on observations in an optical range, and in radio emission are presented.

DOI: 10.31725/0552-5829-2019-107-110

В 1936 году Ричардсоном были обнаружены одновременные эрупции в местах на Солнце, удаленных друг от друга на значительные расстояния. Термин "симпатические вспышки" отражает механизм происхождения одновременных парных вспышек посредством влияния вспышки, происшедшей в одной активной области, на другую активную область. Симпатические вспышки исследовались на телескопах различных обсерваторий и институтов: в Маунт Вилсон обсерватории, в институте Фраунгофера, в Сакраменто Пик обсерватории, в Астрономическом институте в Ондржейове, в Локхедской Солнечной обс., в Биг Бэа Солнечной обс., в Крымской Астрофизической обсерватории и т.д. Для радионаблюдений использовались, как правило, крупные радиотелескопы: радиогелиограф в Кулгуре (Австралия), VLA радиоинтерферометр (США), интерферометр в Нобеяма (Япония), радиотелескоп РАТАН-600 (Россия), РТ - 22 (Крым) и т.д., пространственное разрешение которых составляет угловые секунды-минуты. Данные рентгеновских наблюдений получены со спутников ISEE 3, Skylab, Пионер, IMP-5, OGO-5, SMM, GOES, Yohkoh, CGRO. В оптическом диапазоне исследования проводятся двумя путями: на основе собственных наблюдений авторов и на основе статистического анализа больших выборок вспышек по данным служб Солнца. При исследовании наблюдений в радио- и рентгеновском диапазонах обычно невозможно применить статистический анализ.

Впервые обнаружение симпатических всплесков в сантиметровом диапазоне длин волн было выполнено Mullaly в 1958–1959 гг. на $\lambda = 21$ см

(интерферометр Христиансена, Австралия). Обнаружены симпатические всплески на расстояниях до R_s , $V = (1-2)10^3$ км/сек. Автор пришёл к выводу, что возмущающий агент – перенос частиц, высвобождающихся в виде сёджей во время вспышки, и ударные волны.

Симпатические всплески наблюдались и исследовались по радиоизлучению Солнца в Stockert Radio Observatory (1970, $\lambda = 0.83$ см); на VLA (1983, $\lambda = 6$ см; на интерферометре в Нобейма (1985, $\lambda = 1.76$ см); на радиогелиографе в Кулгуре на $\lambda = 7.5$ м, 3.7 м, 1.9 м); на РАТАН-600 (1980–1999, $\lambda = 2.3$ см, 4.5 см), (2001, $\lambda = (1.92, 2.24, 2.3, 2.74, 3.2, 10.17, 13.95, 14.63)$ см); на VLA (1989, $\lambda = 91.6$ см); на Sagamore Hill Observatory (патрульный солнечный телескоп, $\lambda = 122$ см); на РТ-22 (1991, $\lambda = (3.5, 2.8, 2.25, 1.95)$ см; на интерферометре в Нобейма (1996, 1997, $\lambda = 1.76$ см).

При исследовании симпатических вспышек и всплесков в качестве триггерных механизмов рассматривались: корпускулярные потоки, волны Мортонa, ударные волны, медленные моды ударных волн, альфвеновские волны, проводящие фронты с тепловыми скоростями горячей плазмы, EIT волны (Extreme Ultraviolet Imaging Telescope), высокоэнергичные частицы (ускоренные электроны с нетепловыми скоростями), эффект "плазменного эха". Тем не менее, существовало ряд указаний на возможное влияние крупномасштабного магнитного поля Солнца на синхронные уярчения далеко разнесённых а.о. ($L > 10^5$ км). Так Wild (1968, 1969) испытывал трудности при интерпретации коррелированных всплесков, когда скорости триггирующего агента $V > C$ и когда взаимодействовали источники одной полярности [1]. Fritzova-Svestkova L. et. al, (1976) предположили, что существует какой-то вид подфотосферной синхронизации активности без реального влияния одной вспышки на другую активную область [2]. Огирь (1982) пришла к выводу, что синхронизация вспышечной активности может быть обусловлена не только распространением магнитогидродинамических волн от места первоначальной вспышки к местам вторичных вспышек со скоростями $V = (1000 \div 2500)$ км / сек, но и единым процессом выноса нового магнитного поля из-под фотосферы или его возмущениями [3]. В работе [4] было показано, что с 9.02. на 10.02.1980 г. на фотосфере Солнца наблюдалось резкое суточное изменение и упрощение структуры семи групп пятен, расположенных по всему диску Солнца и одновременное ослабление или исчезновение поляризованного излучения большинства локальных источников магнитотормозного (теплового) механизма излучения на $\lambda = (2.3, 2.7, 4.0)$ см (РАТАН-600). Сделан вывод, что резкое изменение напряжённости магнитного поля локальных источников радиоизлучения и упрощение структуры соответствующих групп пятен на фотосфере Солнца, возможно, связано с действием единого подфотосферного источника общего для всех рассмотренных групп пятен. По данным наблюдений 17, 29.07.1981 г. на РАТАН-600 было продолжено исследова-

ние динамики изменения радиоизлучения локальных источников на 3–4 часовом временном интервале времени с вычислением коэффициентов линейной корреляции относительных потоков наблюдаемых л.и., расположенных друг относительно друга на расстояния вплоть до 10^5 км.

Рис. 1. Динамика изменений относительных потоков источников солнечного радиоизлучения со временем 29 июля 1981 г.:

(А) – $\lambda = 4.5$ см;

(В) – $\lambda = 2.3$ см.

Столбец I: точки (F / F_0) реальных наблюдений; столбец K: значения (F / F_0) после линейного сглаживания скользящим средним по 3-м точкам. Стрелка вверх: момент максимума на временном интервале № вспышки. Стрелка вниз: момент максимума на временном интервале всплеска на частоте 9100 МГц.

Для уменьшения влияния всплесков и вспышек на демонстрацию динамики изменения потоков радиоизлучения л.и., была выполнена процедура линейного сглаживания скользящим средним по трём точкам, т.е. интегрирование по 28 - мин. интервалам. После этого вычислялись значения коэффициентов корреляции по (N/m) независимым точкам, согласно статистике малых выборок Фишера (для рассматриваемых наблюдений $N = 16, 15$; $m = 3$) (рис. 1). Вычисленные коэффициенты линейной корреляции изменения относительных потоков наблюдаемых л.и. подтвердили предположение о возможном существовании линейной корреляции радиоизлучения ряда л.и. на Солнце не только на моменты синхронных уярчений, но и на всем 4-часовом интервале времени наблюдений (табл. 1). Аналогичная процедура анализа результатов была выполнена для наблюдений 17.07.1981 г.

Таблица 1. Коэффициенты линейной корреляции (ρ) величин (F / F_0) для источников 325, 339 + 334, 333, 327 относительно величин (F/F_0) локального источника 329 + 332 на $\lambda = 4.5$ см и на $\lambda = 2.3$ см (29 июля 1981 г.); $\rho(3)$ – коэффициенты линейной корреляции последовательностей (F / F_0), вычисленные после выполнения процедуры линейного сглаживания скользящим средним по 3-м точкам. P – уровень значимости* коэффициента корреляции.

29.07.81 г.						$\lambda = 4.5$ см				$\lambda = 2.3$ см			
№ гр.	325		339 + 334		333		325		327				
	ρ	P	ρ	P	ρ	P	ρ	P	ρ	P			
ρ	0.73	< 0.001	0.67	0.002	0.64	0.003	0.43	0.048	0.83	< 0.001			
$\rho(3)$	0.84	0.042	0.85	0.038	0.83	0.046	0.35	0.301	0.94	0.008			

Выводы

1. Результаты наблюдений глобальной перестройки структуры восьми групп пятен, расположенных в обоих полушариях Солнца за одни сутки, уменьшение степени поляризации и величины магнитного поля соответствующих л.и. предполагает, что возможной причиной этого является действие единого подфотосферного источника (например, вынос нового магнитного поля из-под фотосферы или его возмущения), природа которого точно пока неизвестна.

2. Достаточно частое проявление синхронных уярчений источников солнечного радиоизлучения (л.и.), удалённых друг от друга на расстояния вплоть до $L > 10^5$ км, а также установленный факт существования линейно коррелированных крупномасштабных временных компонент динамики изменения относительных потоков радиоизлучения источников (л.и.) на Солнце указывают на гораздо более сильную связь активных областей на Солнце, чем это принято считать.

3. Возможной причиной симпатических вспышек и всплесков в удалённых активных областях ($L > 10^5$) км, может быть единый процесс выноса нового крупномасштабного магнитного поля из-под фотосферы или его возмущения.

Работа выполнена в рамках Государственного задания: №АААА-А17-117011810013-4

Литература

1. Wild J.P., Sheridan K.V., Kai K. 80 MHz photography of the eruption of a solar prominence // *Nature*, 1968, Vol. 218, pp. 536.
2. Fritzova-Svestkova L. et al. // *Sol. Phys.*, 1976, Vol. 48, No. 2, p. 275.
3. Ogir M.B. // *Izv. KrAO*, 1981, Vol. LXIV, p. 118 (in Russian).
4. Golubchina A.O., Topchilo A.N. Global daily variation of polarized centimeter radio emission of local solar sources and structures of the corresponding groups of spots on the photosphere // *AApTr (Astronomy Astrophysical Transaction, V.31, Issue 2-3, 2019.*