ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ СОЛНЕЧНЫЕ СОБЫТИЯ 6 СЕНТЯБРЯ 2017 ГОДА

Гопасюк О.С., Вольвач А.Е., Якубовская И.В.

Крымская Астрофизическая Обсерватория РАН, Научный, Крым, Россия

EXTREME SOLAR EVENTS OF 6 SEPTEMBER 2017

Gopasyuk O.S., Volvach A.E., Yakubovskaya I.V.

Crimean Astrophysical Observatory of RAS, Nauchny, Crimea, Russia

A multiwave analysis of two X-class solar eruptive flares that occurred in the active region of NOAA 12673 on September 6, 2017 is presented. The analysis was performed using soft X-ray (GOES), (E)UV (AIA/SDO) and radio emissions from microwaves to the meter range (the radio telescopes of the Sun service KRIM). The structure of the active region showed a very complex system of δ -sunspots, which led to the formation of the sigmoid observed in EUV channels. Both X-class flares occurred sequentially at approximately 3 hours intervals and developed as a single sigmoid-to-arcade event. The time delays of radio bursts associated with both flares were determined. For the first burst (flare X2.2), the time delay in the transition from higher to lower frequencies of the centimeter wavelength range was about 12 seconds, and in the transition from the centimeter to the meter range – 23 seconds. The second burst (flare X9.3) had a time delay of 1.4 and 5.5 minutes, respectively, and caused a prolonged half-hour noise storm in the meter range. The X2.2 event possessed the most rigid frequency spectrum compared to the X9.3 event.

DOI: 10.31725/0552-5829-2019-111-114

Введение

Значительный и очень резкий всплеск солнечной активности в начале сентября 2017 года был связан с бурным развитием на видимом диске большой группы солнечных пятен NOAA 12673 [1, 2]. С 4 по 12 сентября в этой активной области произошло 4 вспышки X-класса, 27 вспышек M-класса и многочисленное число (57 C- и 4 B- класса) вспышек меньшей мощности. Мы провели исследования пространственно-временных особенностей двух вспышек класса X, которые произошли 6 сентября 2017. В белом свете вспышка X2.2 представляла собой совокупность локализованных, ограниченных ядер, в то время как вспышка X9.3 показывала структуру с двумя лентами. Горизонтальные шировые движения и вращения пятен в активной области привели к вспышкам 6 сентября [3].

Данные наблюдений и их анализ

Нами были использованы данные радиоастрономического диагностического комплекса солнечной активности КрАО РАН, созданного на базе радиотелескопа РТ-22 и трех малых радиотелескопов РТ-3, РТ-2 и РТ-М. Массив данных представляет собой одновременные наблюдения в диапазоне частот 245 МГц – 10 ГГц. Микроволновые излучения дополняют

наблюдения солнечных вспышек в других спектральных областях. Поэтому, в дополнение к радиоданным, мы использовали изображения Солнца в видимом и (E)UV диапазонах длин волн, полученные на космических инструментах AIA и HMI, установленных на борту SDO. Выбранный нами набор изображений покрывал интервал времени от начала до конца вспышки по GOES.

6 сентября 2017 года с 9:00 до 12:40 UT было зафиксировано два мощных радиовсплеска (рис. 1), произошедших во время вспышки X2.2 (максимальная фаза 09:10 UT) и во время вспышки X9.3 (максимальная фаза 12:02 UT) на соответствующих фиксированных частотах.

Рис. 1. Временные профили радиоизлучения в событиях 6 сентября 2017 года. *Левая панель* – вспышка X2.2, *правая панель* – вспышка X9.3. Вертикальная линия – время максимальной фазы вспышки по данным GOES.

Были определены временные задержки радиосигнала для каждого из событий. Первый всплеск имел временную задержку от более высоких до более низких частот сантиметрового диапазона длин волн около 12 секунд, и между сантиметровым и метровым диапазонами длин волн – 23 сек. Второй всплеск имел временную задержку – 1.4 и 5.5 минут соответствен-

но, и вызвал продолжительную получасовую шумовую бурю в метровом диапазоне.

Рис. 2. Частотный спектр.

Частотные спектры (рис. 2) обеих вспышек построены по максимальным радио потокам. Видно, что спектр для события X2.2 был более жесткий по сравнению со вспышкой X9.3. Вспышка X9.3 обладала самым мощным радиовсплеском на частоте 2.695 ГГц (примерно 14100 SFU). Максимальный поток вспышки X2.2 пришелся на 8.8 ГГц (примерно 970 SFU).

Рис. 3. Временные профили излучения вспышек X2.2 (левая панель) и X9.3 (правая панель). Все профили нормированы на соответствующие максимальные значения.

Проведено сравнение временных профилей мягкого рентгеновского излучения GOES (SXR) (рис. 3), радиоизлучения (рис. 1), HMI излучения (рис. 3) и AIA (E)UV излучения (рис. 3). Для обеих вспышек ход производной данных GOES (рис. 3) совпадает с изменениями микроволнового излучения (рис. 1), подтверждая, что излучение SXR в это время является результатом нагрева нетепловыми электронами и говорит о корреляции со временем нарастания жесткого рентгеновского излучения HXR, согласно Neupert эффекту [4].

Ход временных профилей на всех диапазонах длин волн предполагают возникновение импульсной фазы первой вспышки (X2.2) в ~09:00–09:10 UT. Резкое увеличение рентгеновского потока после 11:55 UT свидетельствует о внезапном инициировании второй вспышки (X9.3) и сопровождалось быстрым нарастанием (E)UV излучения. После ~12:02 UT рентгеновский поток быстро затухал до ~12:22 UT. Эволюция фазы распада второй вспышки также заметна на кривых (E)UV излучения.

Нормированные потоки интенсивностей в континууме и (E)UV варьируются в соответствии с изменениями излучения SXR. Корреляция между фотосферной, хромосферной и корональной активностями предполагает магнитную связь между фотосферным, хромосферным и корональным слоями во время мелкомасштабных процессов на предварительной фазе вспышки. Различные временные константы в разных слоях атмосферы могут объяснить некоторые различия во временных профилях. Таким образом, оптически тонкие корональные источники могут быстро излучать энергию, в то время как источники глубоко в хромосфере и такие особенности, как излучение SXR, могут тратить больше времени на рассеивание энергии, выделяемую в этих слоях.

Авторы благодарят команды SDO/AIA, SDO/HMI, GOES за возможность свободного использования данных этих инструментов.

Литература

1. Yang, S., Zhang, J., Zhu, X., Song, Q. // *ApJL*, 2017, 849, L21.
2. Sun, X., Norton, A.A. // *Research Notes of the AAS*, 2017, 1, 24.
3. Yan, X.L., Wang, J.C., Pan, G.M. et al. // *ApJ*, 2018, 856, article id. 79.
4. Neupert, W.M. // *ApJL*, 1968, 153, L59.