**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИРОДЫ ФОНОВОГО МИКРОВОЛНОВОГО
ИЗЛУЧЕНИЯ И МИКРОВСПЫШЕК В МОЛОДОЙ АО 12635
С 8 ПО 9 ФЕВРАЛЯ 2017 ГОДА**

Федотова А.Ю., Алтынцев А.Т., Мешалкина Н.С., Мышьяков И.И.
Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск, Россия

**STUDY OF THE NATURE OF BACKGROUND MICROWAVE
RADIATION AND MICROFLARES IN YOUNG ACTIVE REGION
12635 FROM 8 TO 9 FEBRUARY 2017**

Fedotova A.Yu., Altyntsev A.T., Meshalkina N.S., Myshyakov I.I.
Institute of Solar-Terrestrial Physics SB RAS, Irkutsk, Russia

The paper considers the mechanisms of increased background microwave radiation and micro-flares sequence of X-ray class B and C in young active region 12635, which formed on the Sun's disk during the minimum solar activity. The range of increased background radiation in soft X-ray, UV and microwave emission observed during 10 hours on February 9, 2017 corresponds to the time interval with increased vertical currents of both directions. In soft X-rays (GOES 1–8 Å channel) the bursts occur as pulses of 6–10 minutes with a smooth growth and decline. In hard X-ray and microwave radiation, pulsed and smooth components are distinguished. The pulse microwave emission is generated by the gyrosynchrotron mechanism in the frequency range up to 10 GHz caused by the appearance of a small electron population with energies up to hundreds of keV. Appearance of smooth components of bursts is caused by generation of bremsstrahlung microwave radiation due to plasma heating up to the temperature ~ 10 MK in sites of coronal loops interaction.

DOI: 10.31725/0552-5829-2020-305-308

Активные области (АО) представляют собой сильные магнитные поля в атмосфере Солнца, являются источниками солнечных вспышек и выбросов корональной массы (КВМ). АО высокодинамичные сложные магнитные структуры, берущие свое начало в фотосфере. Основные преимущества радионаблюдений нагрева в короне: 1) характеристики радиоизлучения в микроволнах зависят от параметров магнитного поля в источнике, 2) более чувствительны к появлению нетепловых электронов. Появление нетеплового излучения во время формирования пятен АО было впервые обнаружено на частоте 5 ГГц [1, 2].

Морфология события 8–9 февраля 2017 года

В настоящей работе рассматриваются механизмы повышенного фонового микроволнового излучения в молодой АО 12635 (40 угл. сек.) на солнечном диске в минимуме солнечной активности. Период с квазипостоянным увеличенным мягким рентгеновским излучением GOES-15 наблюдался в течение 14 часов после 22:00 UT 8 февраля. В этот период

зарегистрировано около 20 микровспышек рентгеновского класса (В, С). Наблюдения по данным многоволнового Сибирского радиогелиографа (СРГ-48) начались с 9-го февраля в 00:45 UT до окончания светового дня в 08:30 UT с 5 по 14 всплеск (рис. 1).

Величина фотосферного магнитного поля для пятен N-полярности достигала значений 1.3 кГс, S-полярности 1.8 кГс. В ходе анализа механизмов излучения в микроволновом диапазоне использовались данные: радио, рентгеновского и крайнего ультрафиолетового излучения.

Вычисления проводились с помощью моделей дифференциальной меры эмиссии DEM(T) приведенной в (табл. 1), и описанной в работах [3, 4]. Яркостная температура для оптически тонкого излучения NoRH на 17 ГГц определялась попиксельно из формулы 1, [5]:

$$T_x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \quad br = 0.2v^{-2} \int_{T_{min}}^{T_{max}} T^{-0.5} DEM(T) dT + T_{bk}, \quad (1)$$

где T_{br} – фоновое излучение перед всплеском, DEM(T) – дифференциальная мера эмиссии, рассчитана для температур 0.5–20 МК. Расчетные потоки и яркостная температура плазмы, полученные из данных ультрафиолета (SDO/AIA) близки к наблюдаемым.

Рис. 1. Изменения интегральных параметров АО 9 февраля 2017 г.

На рис. 1: (а) представлены световые кривые GOES-15, (б) световые кривые по данным HXR в каналах 6–12 кэВ (для 10 пика 4–11 кэВ), (с) корреляционная кривая NoRH на 17 ГГц (сплошная линия) и оценки

размеров (пунктирная линия), (d) прирост значений корреляционных кривых 9 февраля относительно предыдущего дня по данным СРГ-48 на частотах 4.5–7.5 ГГц (сверху вниз) [6].

Таблица 1.

N	T_b		F, sfu			МК	SPARSE, sfu			CHENG, sfu		
	before	max	4.5	7.5	17		before	max	difference	before	max	difference
5	14.5	164	0.2	0.8	1.0	> 7	0.6	0.8	0.2	8.6	10.3	1.7
7	47.	75	0.05	0.2	0.2	1.0-2.5 13-17	1.0	1.13	0.13	6.9	8.9	2.0
9	12.7	61	2.0	2.0	1.0	0.6-16	1.3	2.2	0.9	3.2	7.8	4.6
10	28.	38.0	–	–	0.15	5-16	1.96	2.1	0.14	6.2	6.8	0.6

В таблице 1 приведены расчеты величины потоков и максимальные значения яркостной температуры перед всплеском и в максимуме, дающие основной вклад по 4-м всплескам. Потоки определены по данным СРГ-48 на частотах 4.5 и 7.5 ГГц, Нобелями на 17 ГГц, а также SPARSE и CHENG. Для 5 всплеска: поток вырос до 0.22 сеп. на 4.5 ГГц, до 0.7 сеп. на 7.5 ГГц, на 17 ГГц до 1 сеп., форма профилей гладкой компоненты микроволнового излучения была близка к профилю мягкого рентгеновского излучения. Для 7 всплеска: 4.5 ГГц – 0.1 сеп., 7.5 ГГц и 17 ГГц – 0.2 сеп. Изменение гладкого компонента всплеска со временем схожи в диапазоне 4.5–17 ГГц, вначале наблюдается постепенный рост, затем уменьшение микроволнового потока излучения на 0.3–0.5 сеп. ниже предвсплескового уровня. Для 9 всплеска: постепенный рост микроволнового излучения на всех частотах на 0.5 сеп. В максимуме величина гладкого всплеска на 4.5, 7.5 ГГц – 2 сеп., на 17 ГГц – 1 сеп. Перед всплеском наблюдается глубокая депрессия, яркостная температура превышает 10^3 К, что характерно для спокойного Солнца на 17 ГГц. Для 10 всплеска: Импульсный компонент длился ~20 сек, доминирует над гладким всплеском на СРГ-48. Гладкий компонент наблюдался на световой кривой потока на 17 ГГц, амплитуда до 0.15 сеп.

Выводы

Повышение фона и всплески мягкого рентгеновского излучения наблюдались при больших значениях радиальных токов в АО. Из-за динамики магнитных петель, заполненных плазмой до нескольких МК, в некоторых петлях менялось фоновое излучение относительно спокойного Солнца. Корреляция роста теплового излучения и суммарного тока объясняется наличием омической диссипации тока как механизма нагрева петель [7]. Флуктуации вспышечных токов и появление кратковременных всплесков не наблюдается. Эффект объясняется тем, что периоды с высоким уровнем распределения токов соответствуют интервалам участив-

шейся активности на примере работы [8], где авторы определили, что токовая система АО погружена глубоко в конвективную зону и характеризуется большой индуктивностью, препятствующей быстрым изменениям тока.

Работа поддержана Министерством науки и высшего образования Российской Федерации, номер темы П.16. Экспериментальные данные получены с использованием уникальной научной установки ССРТ [<http://ckp-rf.ru/usu/73606>].

Литература

1. Shibasaki K., et al. // Solar Phys., 1983, v. 89, 307.
2. Chiuderi D., et al. // Solar Phys., 1987, v. 112, 89-105.
3. Su Y., et al. // Proc Natl Acad Sci USA., 2018, 115(7):E1578-E1587.
4. Cheng J. X., et al. // Astronomy and Astrophysics, 2012, 547.
5. Zhang J., et al. // ApJ., 2001, 548:L99-L102.
6. Lesovoi S., Kobets V. // Solar-Terrestrial Physics, 2017, v. 3, № 1, 19-25.
7. Gudiksen B.V., Nordlund A. // ApJ., 2002, v. 572, L113-L116.
8. Fursyak Yu.A., et al. // ApJ., 2020, v. 63, 260-273.