О СВЯЗИ КОРОНАЛЬНЫХ ДЖЕТОВ С ДЕПРЕССИЯМИ МИКРОВОЛНОВОГО РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ

Кузьменко И.В.

Институт прикладной астрономии РАН, г. Уссурийск, Россия

ON THE RELATION BETWEEN CORONAL JETS AND DEPRESSIONS OF MICROWAVE RADIO EMISSION

Kuzmenko I.V.

Institute of Applied Astronomy of the Russian Academy of Sciences, Ussuriysk, Russia

The relationship between observations of coronal jets in the extreme ultraviolet range and depressions of the total radio flux (negative bursts) was traced. Negative bursts of different types were observed in solar events of March 2015 and September 2017 at a number of frequencies in the microwave range using data from different observatories. An analysis of the observations showed that depressions were caused by partial screening by jets material of the radiation from radio sources located near the solar limb in active regions with a complex magnetic configuration. A comparative analysis of the observation times of numerous jets and depressions of the total radio flux at frequencies of 1–17 GHz showed that emergence of many jets could be identified with negative radio bursts. At least 12 depressions in radio emission were found within three days in September 2017. It shows that negative bursts are not as rare as previously thought.

DOI: 10.31725/0552-5829-2021-177-180

Введение

Отрицательные всплески в микроволновом диапазоне представляют собой временную депрессию интегрального потока радиоизлучения ниже квазистационарного уровня. Большинство из них относятся к типу «послевсплесковое уменьшение потока» и неплохо изучены, типы «изолированный» и «поглощение перед всплеском» встречаются реже и мало исследованы. В ряде работ [1–3] было показано, что, в основном, причиной депрессий радиоизлучения являлось поглощение низкотемпературной плазмой эруптивного волокна излучения локальных радиоисточников, а также обширных областей спокойного Солнца. В некоторых случаях излучение радиоисточников экранировалось веществом джетов (мелкомасштабных выбросов плазмы, наблюдаемых в крайнем ультрафиолетовом (КУФ) и рентгеновском диапазонах) [4, 5]. Считается, что события с отрицательными всплесками довольно редки [3, 5].

В настоящей работе по данным различных спектральных диапазонов проведен анализ наблюдений солнечных событий в марте 2015 г. и сентябре 2017 г., в которых наблюдались депрессии радиоизлучения разного типа, с целью определения причин их возникновения.

Анализ наблюдений

В марте 2015 г. и сентябре 2017 г. на Солнце наблюдались две развивающиеся активные области сложной магнитной конфигурации ($\beta\gamma\delta$) – NOAA 12297 и NOAA 12673, которые показывали высокую активность в виде вспышек классов М и Х. Первая активная область находилась вблизи восточного лимба Солнца, вторая – приближалась к западному. В обеих активных областях наблюдались многочисленные джеты. По данным интегрального потока радиоизлучения на частоте 2.8 ГГц, полученным в Уссурийской обсерватории ИПА РАН, в двух событиях (08/09.09.2017 и 09.03.2015) были зарегистрированы отрицательные радиовсплески, которые наблюдались также на разных частотах по данным других обсерваторий (рис. 1). Для анализа использовались записи сети радиотелескопов RSTN BBC США и радиополяриметров Нобейма.

Рис. 1. Сглаженные записи интегрального радиопотока, полученные на разных станциях, после вычитания предвсплескового уровня для 08/09.09.2017 (а) и 09.03.2015 (б). Временные интервалы с депрессиями излучения отмечены пунктирными вертикальными линиями.

На рис. 1а видны сразу три отрицательных всплеска 08/09.09.2017, два из которых имели тип «поглощение перед всплеском», а третья депрессия излучения, скорее, относилась к типу «изолированный отрицательный всплеск», и уже была изучена ранее [4]. Рис. 1б демонстрирует отрицательный всплеск 09.03.2015 типа «поглощение после всплеска».

Как было выявлено в [4], причиной депрессии радиоизлучения 09.09.2017 после 07:00 явилось экранирование одного или нескольких по-

ляризованных источников над солнечными пятнами веществом небольшого эруптивного волокна, наблюдавшегося в виде джета. Анализ оригинальных изображений SDO/AIA в канале $304 \text{ \AA}$ (максимум температурной чувствительности – 80000 K) показал, что во время других отрицательных всплесков в активных областях также наблюдались джеты, которые выглядели как темные образования, поглощающие КУФ-излучение. Рис. 2 представляет разностные изображения части солнечного диска в $304 \text{ \AA}$ во время депрессий радиоизлучения, показанных на рис. 1. Белым контуром очерчено положение радиоисточников, определенное по изображениям радиогелиографа Нобейма на частоте 17 ГГц на уровне 0.5 от максимальной интенсивности.

Рис. 2. Разностные изображения части диска Солнца по данным SDO/AIA в канале $304 \text{ \AA}$ для 08/09.09.2017 (а–в) и 09.03.2015 (г, д). По осям отложены угловые секунды от центра солнечного диска.

На рис. 2а,б видно, что джеты 08/09.09.2017 поглощали часть излучения радиоисточника, что и привело к отрицательным всплескам (в основном, на низких частотах микроволнового диапазона). Направление движения джета, наблюдаемого после 07:00 (рис. 2в), и его размеры были таковы, что вещество экранировало большую часть радиоисточника, что вызвало депрессию радиоизлучения даже на высоких частотах (рис. 1а).

Рис. 2г,д показывает, что джеты 09.03.2015 затеняли, в основном, области спокойного Солнца. При этом вещество джета (рис. 2г) в его основании частично поглощало излучение радиоисточника, что проявилось в 00:20–01:00 в виде отрицательного всплеска. Джет на рис. 2д не вызвал никакого отклика в радиодиапазоне (рис. 1б), вероятно потому, что площадь радиоисточника, которую затеняло вещество джета в 01:40, была для этого недостаточна.

Обе активные области содержали пятна большой площади, поэтому механизм излучения радиоисточников был не только тепловым. Скорее всего, происходило поглощение излучения гирорезонансных радиоисточников [4] или же мог затеняться компактный микроволновый источник, расположенный над нейтральной линией фотосферного магнитного поля в активной области в сентябре 2017 г., о котором сообщалось в работе [6].

После определения времени наблюдений рекуррентных джетов, наблюдавшихся в КУФ в обеих активных областях, было обнаружено, что их появление часто отождествлялось с депрессиями радиоизлучения на частотах диапазона 1–17 ГГц по данным разных обсерваторий. В сентябре 2017 г. за двое суток было выявлено еще 9 отрицательных всплесков разного типа. Вероятно, их могло быть и больше, но некоторые из джетов наблюдались во время мощных вспышек, поэтому на их фоне депрессии радиоизлучения заметны не были. Кроме того, для 5 джетов (во временном интервале с 16:00 до 21:00) не удалось найти данные наблюдений в микроволновом диапазоне.

В активной области в марте 2015 г. количество наблюдаемых за двое суток джетов было не меньше, чем в сентябре 2017 г., однако депрессий радиоизлучения было обнаружено всего 2. Это может быть связано с тем, что место возникновения джетов и направление их движения было таким, что их вещество затеняло, в основном, области спокойного Солнца, а не радиоисточник. К тому же плохое качество наблюдений и отсутствие данных некоторых станций сети радиотелескопов RSTN не позволили достоверно установить наличие или отсутствие отрицательных всплесков в тех случаях, когда их можно было ожидать.

Выводы

Сравнительный анализ данных различных спектральных диапазонов в марте 2015 г. и сентябре 2017 г. показал, что вещество рекуррентных джетов, возникающих в активных областях, имеющих сложную магнитную конфигурацию и расположенных вблизи солнечного лимба, частично затеняло находящиеся в них радиоисточники, что привело к депрессиям радиоизлучения на ряде частот микроволнового диапазона. Как минимум 12 депрессий радиоизлучения, наблюдаемые в течение трех суток в сентябре 2017 г., показывают, что отрицательные всплески могут быть не такими редкими явлениями, как считалось ранее.

Литература

1. *Sawyer C.* // *Solar Phys.*, 1977, V. 51, P. 203.
2. *Кузьменко И.В., Гречнев В.В., Уралов А.М.* // *Астрон. журн.*, 2009, Т. 86, С.1114.
3. *Grechnev V.V., Kuzmenko I.V., Uralov A.M. et al.* // *Publ. Astron. Soc. Jap.*, 2013, V. 65, S10.
4. *Grechnev V.V., Lesovoi S.V., Kochanov A.A. et al.* // *J. Atmosph. and Solar-Terr. Phys.*, 2018, V. 174, P. 46.
5. *Кузьменко И.В.* // *Солнечно-земная физика*, 2020, Т. 6, № 3, С. 26.
6. *Кудрявцева А.В., Мышьяков И.И., Уралов А.М., Гречнев В.В.* // *Солнечно-земная физика*, 2021, Т. 7, № 1, С. 3.