

ДЕПРЕССИЯ МИКРОВОЛНОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ КАК ОТКЛИК НА ВОЗНИКНОВЕНИЕ ДЖЕТА

Кузьменко И.В.

Институт прикладной астрономии РАН, Санкт-Петербург, Россия

DEPRESSION OF MICROWAVE EMISSION AS A RESPONSE TO THE APPEARANCE OF A JET

Kuzmenko I.V.

Institute of Applied Astronomy of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia

Numerous ultraviolet jets were observed on the images of the SDO/AIA space observatory in March 2015. They originated in the active region with a complex magnetic configuration which was located near the eastern limb of the Sun. One of the jets caused a response in the microwave range as a radio emission depression (negative burst) at frequencies of 2–17 GHz. An analysis of observations in different spectral ranges showed that the jet originated to the north of the stationary radio source associated with the large sunspot. Its material absorbed the radiation of the regions of the quiet Sun and the flare radio source. Small jets to the west of the active region were also observed at this time, so the total screening area of the quiet Sun regions was >1% of the solar disk area. The absorption value was greater than in other cases due to the fact that the material of two jets returned to the surface of the Sun. The radio burst before the depression of radio emission was impulsive and there was no other activity on the Sun. The combination of these factors was the reason for the appearance of a negative burst with a small depth.

DOI: 10.31725/0552-5829-2022-181-184

Отрицательные всплески в микроволновом диапазоне представляют собой временную депрессию интегрального потока радиоизлучения ниже квазистационарного уровня. В ряде работ было показано, что, в основном, причиной депрессий радиоизлучения являлось поглощение низкотемпературной плазмой эруптивного волокна излучения локальных радиоисточников [1, 2], а также обширных областей спокойного Солнца [2 и ссылки в ней]. В некоторых случаях излучение радиоисточников экранировалось веществом джетов [3, 4], которые представляют собой мелкомасштабные выбросы плазмы, наблюдаемые в крайнем ультрафиолетовом и рентгеновском диапазонах.

В марте 2015 г. на солнечном диске наблюдалась развивающаяся активная область NOAA 12297, имеющая сложную магнитную конфигурацию $\beta\gamma\delta$. С 7 по 9 марта 2015 г. она находилась вблизи восточного лимба Солнца и в ней возникали многочисленные джеты. Только один из них вызвал отклик в микроволновом диапазоне в виде депрессии радиоизлучения на частотах 2–17 ГГц около 00:30 UT (рис. 1а). Целью этого исследования было выяснение возможных причин его возникновения, для чего проводился анализ изображений Солнца в различных диапазонах спектра.

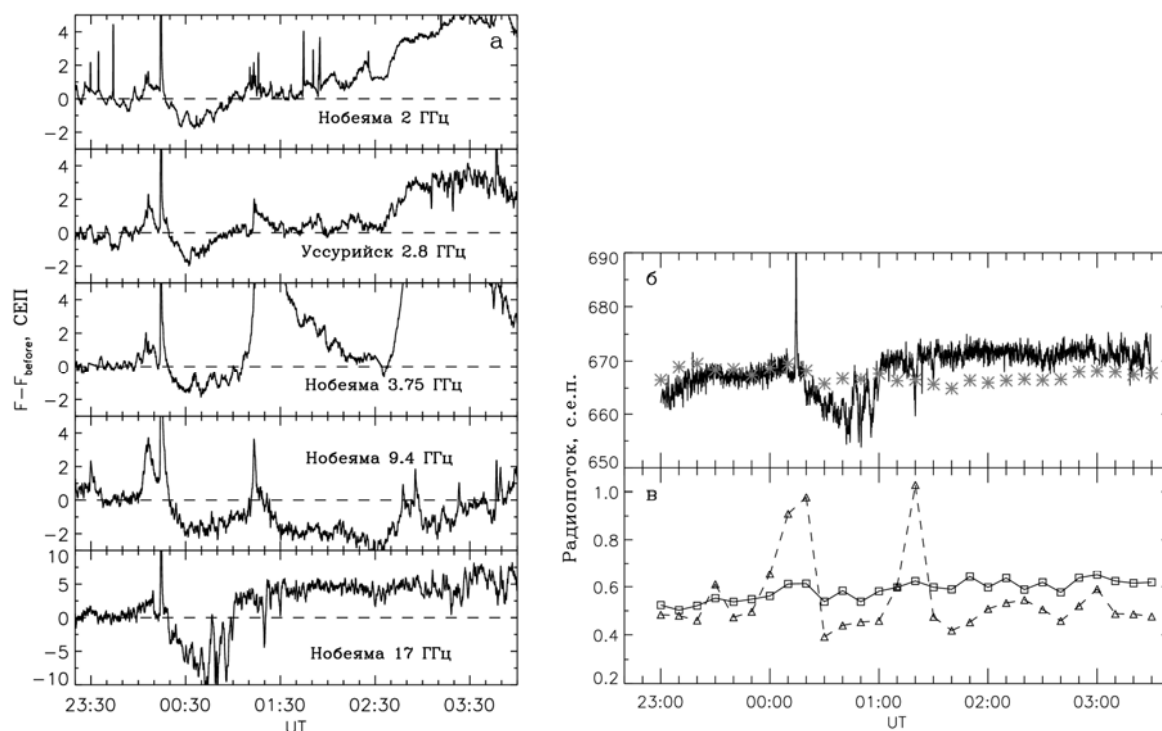


Рис. 1.

Отметим, что на записи депрессии радиоизлучения на 17 ГГц (рис. 1а) мог быть сбой в работе приемной аппаратуры: депрессия на других частотах не превышала 2 с.е.п. (солнечных единиц потока, 1 с.е.п. = 10^{-22} Вт/(м²·Гц)), тогда как на частоте 17 ГГц она достигла 10 с.е.п. Чтобы скорректировать запись, по перекалиброванным изображениям радиогелиографа Нобеяма (NoRH) на частоте 17 ГГц с интервалом в 10 мин был рассчитан интегральный поток излучения от всего диска Солнца, величины которого показаны звездочками на рис. 1б. Видно понижение радиопотока около 00:30, хотя и не такое глубокое, как на записи радиополяриметра Нобеяма на 17 ГГц. При расчете временного профиля потока радиоизлучения по фрагменту солнечного диска, охватывающего активную область и ее окрестности, выявлено, что глубина депрессии не превышала 1 с.е.п.

Анализ изображений NoRH на 17 ГГц за период 23:00–02:30 показал, что в активной области над крупным пятном находился стационарный радиоисточник (рис. 2а), а к северу от него существовала область, которая периодически увеличивала свою яркость. Вероятно, она являлась областью источника радиовсплеска. Назовем ее северным радиоисточником, а стационарный источник – южным. Положение радиоисточников показано контурами на рис. 2б,в. На изображении NoRH в 00:30 (рис. 2в) видно, что северного источника нет. Возможно, после вспышки его интенсивность уменьшилась, к тому же, судя по изображениям, он был закрыт темным веществом выброса. Поглощающее вещество наблюдалось и на солнечном диске, что указывает на его низкую температуру (яркостная температура спокойного Солнца на частоте 17 ГГц – 10000 К).

На рис. 1в приведены временные профили радиопотока от северного (квадраты) и южного (треугольники) радиоисточников, рассчитанные по изображениям NoRH в интервале 23:00–02:30 с учетом компенсации солнечного вращения на 00:30. Северный источник имел большие вариации радиопотока, тогда как поток от южного оставался довольно стабильным. Максимальное увеличение потока северного источника происходило во время вспышек, а во время его уменьшения около 00:30 и 01:30 наблюдались джеты. Северный радиоисточник можно рассматривать как вспышечный, величина потока которого изменялась со временем.

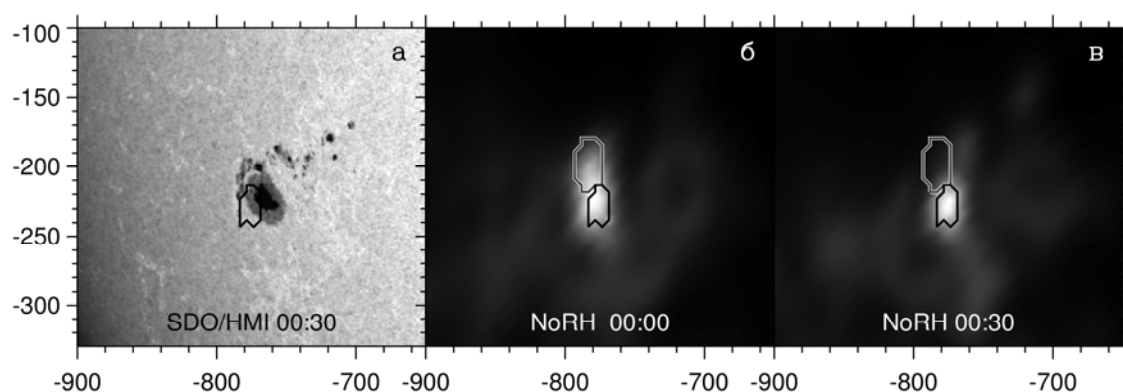


Рис. 2. Изображения активной области в белом свете (а) и на частоте 17 ГГц (б,в).

Рис. 3 представляет джеты на разностных изображениях части солнечного диска по данным SDO/AIA в канале 304 Å. Вещество джетов затеняло, в основном, области спокойного Солнца, а их основания совпадали с положением северного радиоисточника. Около 00:40 (рис. 3а) также наблюдались джеты к северо-западу от активной области.

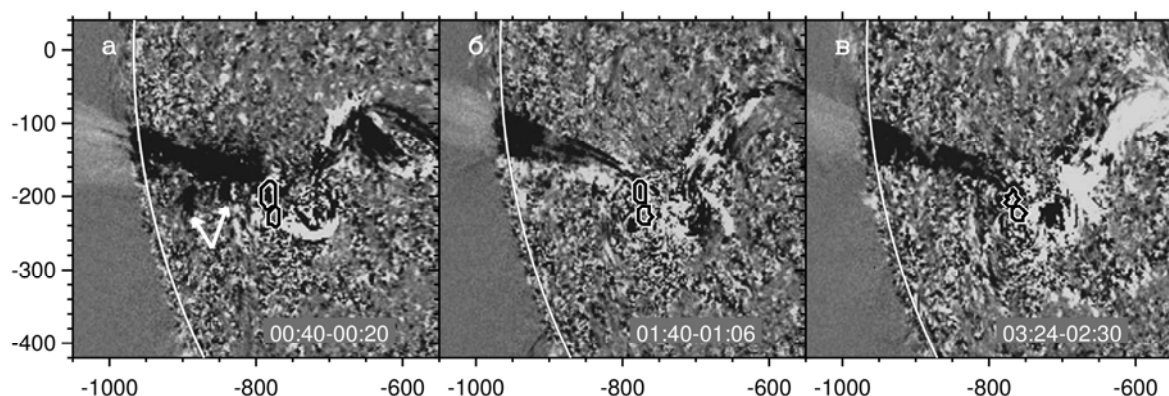


Рис. 3. Джеты на разностных изображениях по данным SDO/AIA в канале 304 Å.

С использованием изображений в 304 Å мы определили среднюю величину и площадь поглощения на диске на уровне 15%-го снижения яркости. Максимальная глубина поглощения наблюдалась во время джета в 00:30 и составила 81%. Отметим, что 9 марта друг за другом произошли

две вспышки – C1.1 с началом в 00:03 и C3.0 в 00:12, откликом на которые были следовавшие друг за другом радиовсплески (рис. 1а). Во время первой вспышки начался выброс вещества, которое поднималось по закрытым петлям (на них указывают стрелки на рис. 3а), и которое догнал джет в 00:30, связанный со второй вспышкой. В результате обратно на солнечную поверхность возвращалось вещество уже двух джетов, т.е. плотность вещества и масса были больше, чем в других случаях.

Общая площадь поглощения учитывала площадь джетов к западу от активной области и площадь части джетов над лимбом до $1.14 R_{\odot}$ (радиорadius на частоте 2 ГГц, где еще наблюдалась депрессия радиоизлучения). В 00:40 она составила $>1\%$ от площади солнечного диска.

Джеты около 01:40 и 03:20 (рис. 3б,в) визуально были похожи на джет в 00:30, но оцененная площадь поглощения их веществом излучения областей спокойного Солнца была примерно в 2 раза меньше. Временной ход пересчитанного по изображениям NoRH интегрального потока излучения на частоте 17 ГГц (рис. 1б) показывает понижение его значений в 01:40. Однако на более низких частотах радиовсплеск с началом в 01:10 не был импульсным (рис. 1а), наблюдалось послевсплесковое увеличение потока, поэтому депрессия радиоизлучения отсутствовала. Во время же возникновения джета около 03:20 происходило увеличение активности к западу от активной области, что привело к повышению уровня радиоизлучения на частотах < 17 ГГц (рис. 1а), на фоне которого отрицательный всплеск небольшой глубины мог быть не замечен.

Таким образом, отрицательный всплеск 9 марта около 00:30 был вызван поглощением радиоизлучения, в основном, областей спокойного Солнца возвратным веществом джетов, наблюдавшихся к востоку и северо-западу от активной области, а также затенением вспышечного радиоисточника. Непосредственно перед исследуемым джетом возник еще один, в результате чего обратно на солнечную поверхность возвращалось вещество уже двух джетов, что, вероятно, увеличило общую массу возвратного вещества и площадь поглощения. Что немаловажно, радиовсплеск перед депрессией радиоизлучения был импульсным, а какая-либо активность в других областях Солнца отсутствовала. Совокупность всех этих факторов и вызвала возникновение отрицательного всплеска небольшой глубины.

Литература

1. Sawyer C. // Solar Phys., 1977, V. 51, P. 203.
2. Grechnev V.V., Kuzmenko I.V., Uralov A.M. et al. // Publ. Astron. Soc. Jap., 2013, V. 65, S10.
3. Grechnev V.V., Lesovoi S.V., Kochanov A.A. et al. // J. Atmosph. and Solar-Terr. Phys., 2018, V. 174, P. 46.
4. Кузьменко И.В. // Солнечно-земная физика, 2020, Т. 6, №. 3, С. 26.