

СПЕКТРАЛЬНО-ВРЕМЕННЫЕ ОСОБЕННОСТИ МИКРОВОЛНОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ, ПРЕДШЕСТВУЮЩЕГО ГЕОЭФФЕКТИВНЫМ КОРОНАЛЬНЫМ ВЫБРОСАМ МАСС

В.М. Фридман, О.А. Шейнер

SPECTRAL-TEMPORAL PECULIARITIES OF MICROWAVE RADIATION PRECEDING GEOEFFECTIVE CORONAL MASS EJECTIONS

V.M. Fridman, O.A. Sheiner

Приводятся данные о наличии в спорадическом микроволновом излучении комплекса волновых и спектральных явлений, связанных с формированием и начальным распространением корональных выбросов масс (КВМ) в атмосфере Солнца. Их характерный временной интервал простирается от 2–3 суток, предшествующих событию, до времени регистрации КВМ на коронографах.

Data on complex of wave and spectral phenomena in the sporadic microwave radiation are presented. These phenomena are associated with formation and initial propagation of coronal mass ejections (CME) in the Sun's atmosphere. Their specific time interval is from 2 to 3 days, preceding the event, before the CMEs are registered by coronagraphs.

Значительная часть солнечных исследований посвящена изучению корональных выбросов масс (КВМ). Интерес к этой проблеме объясняется большой ролью КВМ в глобальных солнечных магнитогидродинамических процессах и их не в полной мере оцененным значением в процессах мощного энерговыделения на Солнце. Это делает необходимыми новый взгляд и на проблему геоэффективности мощных солнечных явлений и поиск нового подхода к развитию методов их прогнозирования. Таким образом, понимание процессов формирования корональных выбросов масс является неотложной задачей как фундаментальной, так и прикладной гелиофизики.

Решение этой задачи с использованием явлений в радиодиапазоне оказалось эффективным, поскольку радиопроявления охватывают всю хромосферу и нижнюю корону Солнца, к тому же радиометоды обладают высокой чувствительностью. Представленные результаты получены на основе исследований, опирающихся на данные мировой службы Солнца в радиодиапазоне, включающие и данные РАО ФГНУ НИРФИ «Зименки».

Из солнечных данных можно сделать вывод, что процессы, отражающие формирование КВМ, проявляются в различных диапазонах наблюдений. Так, поскольку КВМ – это в основе своей явления, связанные с эволюцией магнитных полей, то очевидно, что солнечные магнитные поля играют важную роль в удержании плазмы в короне и формировании запаса свободной энергии. Поэтому, начиная с фотосферной магнитной эволюции, эволюции волокон и протуберанцев, мы можем найти проявления предэрупционных явлений в Н α , рентгеновском излучении, радиоизлучении.

Характерное время развития рассматриваемой ситуации – это, во-первых, несколько дней – временной интервал развития общей активности. Например, эволюция магнитных полей активной области, когда вокруг изолированного положительного пятна появляется много движущихся магнитных образований уже за 2 сут до регистрации КВМ (6 июня 2000 г.) [1].

В радиодиапазоне – это рост больше чем в 2 раза амплитуды долгопериодных ($T > 20$ мин) пульсаций потока микроволнового излучения за 3 дня до регистрации КВМ, что проиллюстрировано на событиях

января 2005 г. [2] (заметим, что эффект возрастания долгопериодных пульсаций был открыт по данным событий 1972 г. и подтвержден серией экспериментов 70–80 гг. как эффект перед мощными, в первую очередь геоэффективными, вспышками. Однако, как было показано, такого рода вспышки входят в комплекс явлений солнечной активности, связанных с корональными выбросами масс [3]). Пример долгопериодных пульсаций потока трехсантиметрового солнечного излучения приведен на рис. 1.

Следующий характерный интервал развития, связанный с активизацией именно той активной области, где и происходит выброс КВМ, – несколько часов. Например, анализ магнитной топологии источников 26 КВМ (предэрупционной нейтральной линии) обнаружил характерные проявления за 8 ч до регистрации КВМ [4]. В спектрах микроволнового излучения ранее нами уже наблюдались особенности на подобных временных интервалах, что демонстрируется на рис. 2, *a–г*. Здесь представлены результаты наблюдений AR NOAA/USAF 5638 (S18W90) 12 августа 1989 г. в КРАО для интервала времени формирования и распространения геоэффективного КВМ, зарегистрированного на коронографе SMM в 12:59 UT.

В наблюдениях использовался спектрограф с диапазоном 14–17 ГГц и спектральным разрешением 100 МГц, позволяющий получать один спектр в течение 1 с. Как видно из рис. 2, *a*, обычно спектры – стабильные, гладкие, с увеличением потока в указанном частотном диапазоне. Примерно за 5 ч до регистрации КВМ (рис. 2, *б*) появляется небольшая особенность в правой части спектра, по амплитуде величиной меньше 10 % от потока активной области и с шириной полосы около 100–150 МГц. Чем ближе время регистрации КВМ, тем больше ее амплитуда: за 1.5 ч до этого момента поток особенности составляет около 1 с.е.п. и спектральный интервал варьируется от 200 до 400 МГц (рис. 2, *в, г*).

На рис. 3 и 4 продемонстрированы примеры быстрых (несколько секунд) изменений во временном поведении радиоизлучения, представляющие собой регистрацию узкополосной (1–1.5 ГГц) компоненты излучения, дрейфующей от низких к высоким частотам со скоростью дрейфа 1–4 ГГц/с. Причем ам-

плитуда узкополосной компоненты растет при приближении ко времени регистрации КВМ – сравним амплитуду узкополосной компоненты в 7:43 UT (рис. 3) и в 8:06 UT (рис. 4).

Ранее было показано, что по крайней мере за час до регистрации КВМ на коронографах в значительном числе случаев наблюдаются многообразные спорадические явления в радиодиапазоне, причем в большинстве своем такие явления широкополосны, т.е. охватывают сантиметровый, дециметровый и метровый диапазоны длин волн [5–8]. Одной из выявленных закономерностей для событий КВМ (1998 и 2003 гг.) с углом раскрыва больше 100° и скоростями меньше 600 км/с является характерное для большинства случаев наличие спорадической компоненты типов GRF, SER, PBI. Максимум импульсных составляющих радиопредвестников находится в

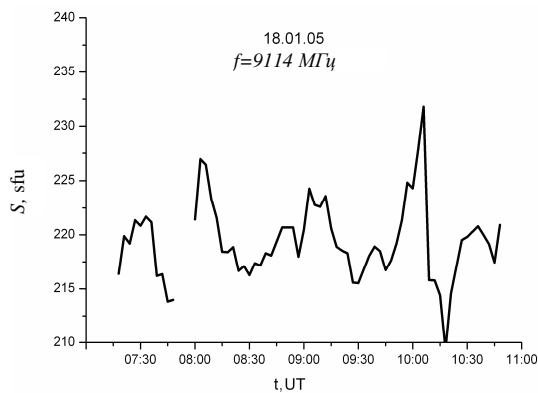


Рис. 1.

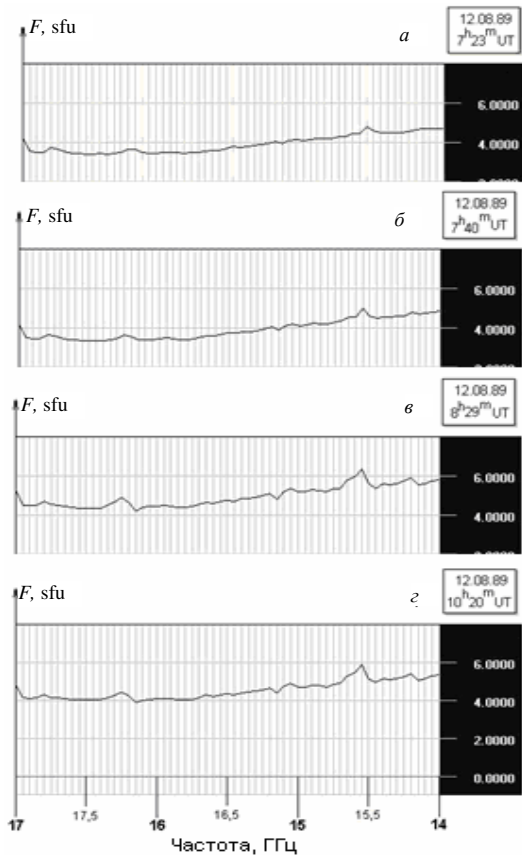


Рис. 2

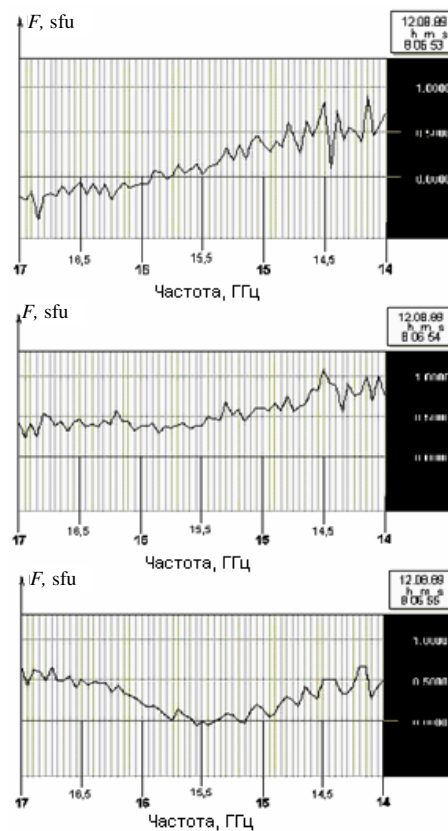


Рис. 3.

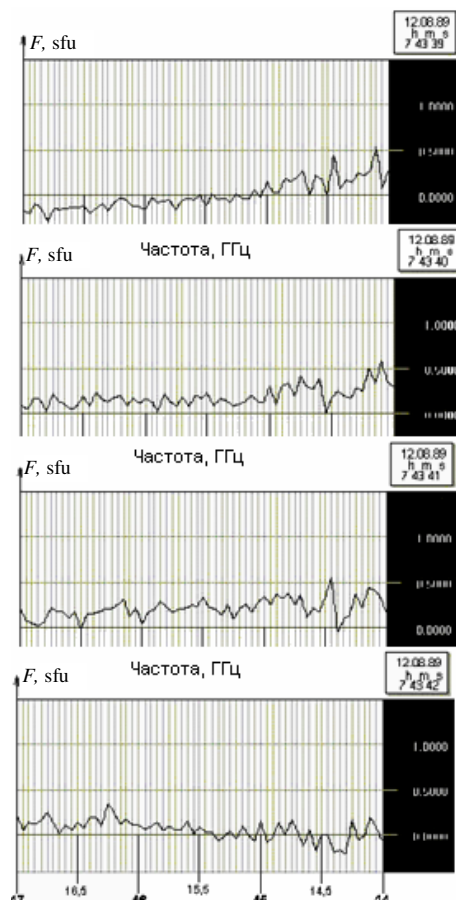


Рис. 4.

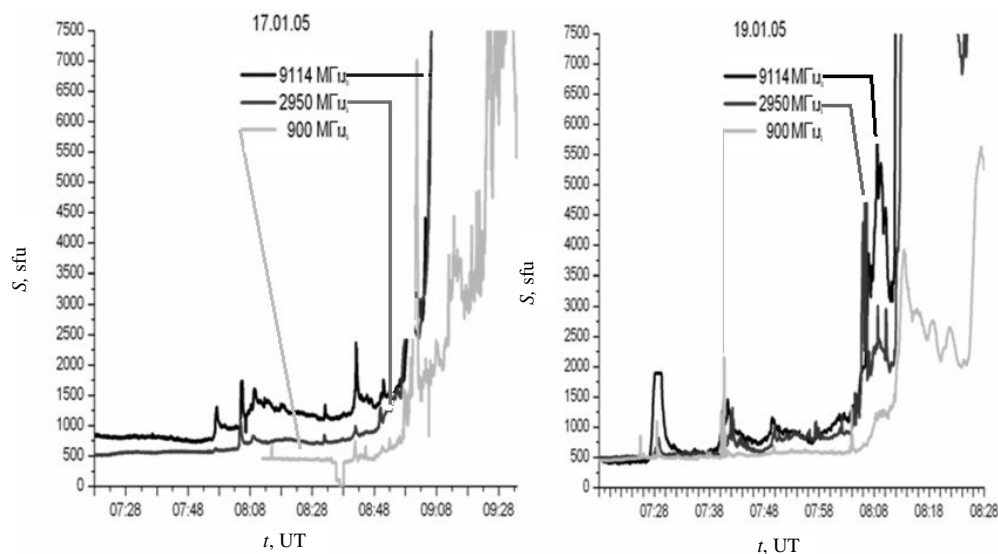


Рис. 5.

интервале 100–25 мин до регистрации корональных выбросов масс на коронографе. Заметим при этом, что наблюдаемая интенсивность радиопредвестников могла достигать ~ 10 % от интенсивности последующего основного всплеска. Таким образом, радиопредвестники так называемых безвспышечных КВМ были значительно меньше по интенсивности предвестников КВМ, сопровождаемых вспышками. Важно подчеркнуть, что при этом не наблюдается значимых отличий во временной структуре спорадических явлений вспышечных и безвспышечных корональных выбросов масс [6].

Вид различных типов спорадической компоненты радиоизлучения продемонстрируем на примере событий января 2005 г. Как известно [9], в это время наблюдались экстремальные солнечные события: 17 января – два последовательных геоэффективных КВМ типа гало с начальными скоростями распространения, превышающими 2000 км/с (09:30 и 09:54 UT), и 19 января – корональный выброс масс типа гало также с высокой, более 2000 км/с, начальной скоростью распространения (08:29 UT).

На временном интервале около 2 ч 17 января и около 1 ч 19 января непосредственно перед регистрацией КВМ можно видеть (рис. 5) такие явления, как простые импульсные всплески С, всплески типа GRF, RF или SER, наблюдаемые на всех используемых частотах. В силу экстремальности событий радиопредвестники обладают значительной интенсивностью.

Следующий интервал развития естественным образом примыкает к времени регистрации коронального выброса масс.

Специально проведенное исследование радиособытий, непосредственно предшествующих регистрации КВМ (менее получаса), в серии alertных наблюдений 2001–2002 гг. показало наличие периодических составляющих в радиоизлучении с периодами в диапазоне 6–22 с за 10–15 мин до регистрации КВМ, причем не наблюдаемых перед КВМ, не связанными со вспышками [10]. На рис. 6 для примера приведен фурье-спектр записи радио-

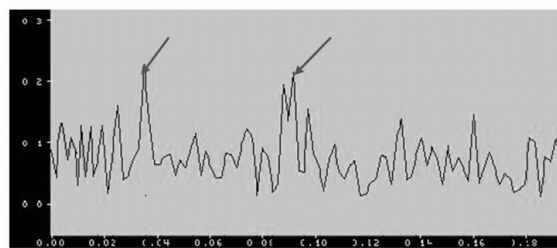


Рис. 6.

излучения в 10-сантиметровом диапазоне перед событием 19 октября 2001 г., стрелками отмечены указанные периоды.

По-видимому, такие колебания возникают в корональных петлях уже в период начального распространения КВМ, свидетельством чему может служить обнаружение сходных по периодам колебаний в корональных петлях, зарегистрированных непосредственно во время всплесковых явлений (см., например, [11]).

Таким образом, в микроволновом излучении процессов, связанных с формированием и начальным распространением КВМ в атмосфере Солнца, наблюдается комплекс явлений, состоящий:

- из возрастания долгопериодных пульсаций радиоизлучения в течение 1–2 сут;
- наличия узкополосных спектральных особенностей излучения активных областей за ~5 ч до события;
- импульсных и континуальных всплесков-предвестников в широком диапазоне длин волн за 1–2 ч;
- колебаний интенсивности с периодами в диапазоне 6–22 с за 25–15 мин до регистрации КВМ на коронографах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Song L., Zhang J., Yang Zh., Wang J. Atmospheric dynamics and magnetic activity associated with a coronal mass ejection // *Solar Phys.* 2002. V. 211. P. 315–331.
2. Durasova M.S., Fridman V.M., Podstrigach T.S., et al. Dynamic of electromagnetic emission during the period of solar extreme events // *Proc. 2nd International Symposium SEE-2005*, Nor Amberd, Armenia (26–30 September 2005). Yerevan, 2006. P. 51–54.

3. Снегирев С.Д., Фридман В.М., Шейнер О.А. О состоянии разработки метода краткосрочного прогнозирования мощных солнечных вспышек по долгопериодным пульсациям солнечного радиоизлучения // *Солнечно-земная физика*. Вып. 2 (115). Иркутск, 2002. С. 21–25.
4. Ugarte-Urra I., Warren H.P., Winebarger A.R. The Magnetic topology of coronal mass ejection sources // *Astrophys. J.* 2007. V. 662. P. 1293–1301
5. Durasova M.S., Fridman V.M., Sheiner O.A. The Precursors of the CME Onset in Solar Radio Emission // *Proc. 9-th European Meeting on Solar Physics, "Magnetic Fields and Solar Processes"*, Florence, Italy, 12–18 September 1999. (ESA, SP-448, December 1999). P. 979–982.
6. Durasova M.S., Fridman V.M., Sheiner O.A. Characteristics of nonstationary solar radio emission corresponding to CMEs formation in solar atmosphere // *Proc. "SOLSPA: The Second Solar Cycle and Space Weather Euroconference"*, Vico Equense, Italy, 24–29 September (ESA SP-477, February 2002). P. 373–376.
7. Sheiner O.A., Fridman V.M. Spectral features in solar microwave emission preceding CME onset // *Coronal and Stellar Mass Ejections: Proceedings IAU, Symposium N 226*. Cambridge: Cambridge University Press, 2005. P. 233–234.
8. Дурасова М.С., Тихомиров Ю.В., Фридман В.М., Шейнер О.А. Особенности спорадического радиоизлучения Солнца в периоды, предшествующие регистрации корональных выбросов масс, по данным мировой службы Солнца за 1998 и 2003 г. // *Солнечно-земная физика*. Вып. 8. Иркутск, 2005. С. 30–32.
9. http://cdaw.gsfc.nasa.gov/CME_list/
10. Sheiner O.A., Fridman V.M. Quasi-periodic components of solar microwave emission preceding CME onset on 19 October, 2001 // *Coronal and Stellar Mass Ejections: Proceedings IAU, Symposium N 226*. Cambridge: Cambridge University Press, 2005. P. 235–237
11. Grechnev V.V., White S.M., Kundu M.R. Quasi periodic Pulsations in a Solar Microwave Burst // *Astrophys. J.* 2003. V. 588. P. 1163–1174.

*ФГНУ «Научно-исследовательский радиопизический институт»,
Нижний Новгород*