

Авторы благодарят И.М.Чертока и В.В.Фомичева за полезные обсуждения, Г.Я.Смолькова за внимание к работе, а также А.Н.Готовскую за помощь в оформлении рисунков.

1. Solar Geophysical Data. 1983, N 466. P.1.
2. Castelli J.P., Aarons J., Muchael G.A. // J.Geophys.Res. 1967. Vol.72, N 21. P.5491-5498.
3. Kosugi T., Kiplinger A.L. SMM Topical Workshop on Rapid Fluctuations in Solar Flares (Lanham, Maryland, USA, September 30-October 4, 1985).
4. Solar Geophysical Data. 1983, N 471, part II, p.24.
5. Космические данные. М.: Наука, 1983, № 5. С.3-6..
6. Железняков В.В. Электромагнитные волны в космической плазме. М.: Наука, 1977. 432 с.
7. Robinson R.D. // Solar Phys. 1985. Vol.95. P.343-357.
8. Saito K. // Ann.Tokyo Astron.Obs., 1970. Vol. 12, N 2. P.53-120.
9. Михайловский А.Б. Теория плазменных неустойчивостей. М.: Атомиздат, 1975. Т.1. 272 с.
10. Sime D.G., MacQueen R.M., Hundhausen A.J. // J.Geophys. Res. 1984. Vol.89. P.2113-2121.
11. Каплан С.А., Цтович В.Н. Плазменная астрофизика. М.: Наука, 1972. 440 с.

Исслед. по геомагн. аэрон. и физике Солнца
М. Наука, 1988, вып. 82.

ПРОГНОЗ ПРОТОННЫХ ВСПЫШЕК ПО РАСПРЕДЕЛЕНИЮ ПОЛЯРИЗАЦИИ МИКРОВОЛНОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ АКТИВНОЙ ОБЛАСТИ

THE PREDICTION OF PROTON FLARES FROM THE POLARIZATION
DISTRIBUTION OF ACTIVE REGION MICROWAVE EMISSION

Using observations from Siberian Solar Radio Telescope a study is made of the cases where the polarization distribution of active region microwave emission is in direct contradiction of the Tanaka-Enome criterion. A modified criterion is suggested, which includes the variation in polarization distribution introduced by a change of the active region position on the solar disk.

Введение

Распределение поляризации микроволнового излучения по активной области и особенно характер его изменения содержит важную информацию о вспышечной деятельности активных областей. Однако попытки использования этой информации для прогноза даже мощных солнечных вспышек не всегда бывают успешными. Это обусловлено тем, что на изменение распределения поляризации по активной области влияют многие факторы, наиболее существенными из которых являются следующие.

1. Изменение распределения поляризации в результате изменения положения активной области на видимой стороне диска Солнца из-за его вращения. Так как степень поляризации локальных источников в значительной мере обусловлена магнитотормозным механизмом излучения, то суммарное распределение является функцией угла между лучом зрения и направлением магнитного поля в областях генерации излучения над пятнами и в областях прохождения излучения через квазипоперечные магнитные поля в короне.

2. Эволюционные изменения структуры магнитного поля в активной области, не приводящие к вспышкам, также дают существенный вклад в изменения распределения поляризации. К таким эволюционным изменениям относятся появление в активной области новых пятен и пор, распад пятен и их исчезновение, собственные движения пятен.

3. Изменение распределения поляризации, обусловленное изменениями магнитного поля, ответственными за создание вспышечной ситуации.

Совокупность этих явлений и приводит к формированию достаточно сложного распределения поляризации и его изменениям в течение всего времени существования активной области. Определение вклада каждой из причин в распределение поляризации представляет собой довольно сложную задачу (даже в кажущемся простым первом случае с наблюдательной точки зрения остается еще много неясностей).

Наиболее распространенным методом прогноза мощных вспышек по радиоизлучению активной области в сантиметровом диапазоне длин волн является метод, основанный на так называемом критерии Танаки-Эноме [1]. В основу метода положены те факты, что вероятность появления мощных вспышек возрастает с увеличением интенсивности полного потока излучения на волне 3,2 см, отношения потока на волне 3,2 см к потоку на волне 8 см и с переходом распределения поляризации от S-к E- и P-конфигурациям (S-конфигурация характеризуется сильно поляризованным одиночным пиком; E-конфигурация — двумя противоположно поляризованными пиками и P-конфигурация — сильно поляризованным центральным пиком и двумя боковыми субпиками с поляризацией, противоположной поляризации центрального пи-

ка). Этот метод используется для прогноза протонных вспышек на станции Тоякава [2]. Тем не менее существует целый ряд случаев, когда протонные вспышки по методу Танаки-Эноме предсказать не удалось [3].

В настоящей работе по материалам наблюдений на ССРТ на волне 5,2 см проведены анализ и обсуждение тех случаев, когда перед протонными вспышками распределение поляризованного излучения над активными областями явно не соответствовало критерию Танаки-Эноме.

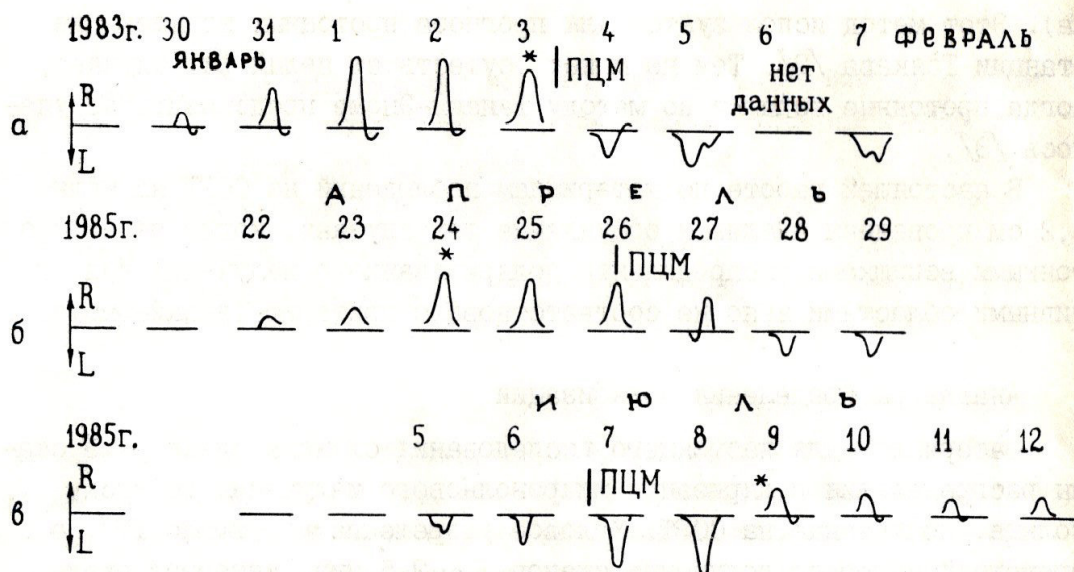
Анализ распределения поляризации

Материалом для настоящего исследования служили одномерные сканы распределения поляризации микроволнового излучения по диску Солнца, полученные на ССРТ. Угловое разрешение достигало $17''$, а временной интервал получения сканов $\approx 2,5$ мин, интервал ежедневных наблюдений - с 0000 до 0900 UT.

Наиболее четкое несоответствие наблюдаемого распределения поляризации по активной области критерию Танаки-Эноме можно проследить на примере трех активных областей: N OAA 4077, 4647, 467I (рис.1). Область 4077 (прохождение по диску 30 января - 8 февраля 1983 г.) начала развиваться вблизи восточного лимба 30 января. Распределение поляризации уже в начальной стадии имело биполярную структуру. В день прохождения центрального меридиана (ПЦМ) конфигурация стала униполярной, и в этот день произошла протонная вспышка балла 3В. Отметим, что в процессе вспышки конфигурация перешла в биполярную, причем переход произошел за время ≈ 30 мин и почти одновременно на длинах волн 3,2; 5,2 и 8,0 см. Это наталкивает на мысль, что в данном случае изменение характера поляризации излучения произошло вследствие перестройки магнитного поля в короне над активной областью в процессе вспышки. 5 февраля конфигурация стала униполярной, но уже с левой круговой поляризацией, и в этот день произошли четыре вспышки балла I В (см.рис.1,а).

Область N OAA 4647 (21 апреля - 2 мая): локальный источник над областью вышел из-за лимба с неполяризованным излучением 21 апреля. Уже 22 апреля источник стал правополяризованным и сохранял свою структуру до 27 апреля, когда распределение поляризации стало биполярным (прохождение центрального меридиана 26 апреля). 24 апреля произошла протонная вспышка балла 2В, а 25 апреля - вспышка балла IВ при сохранении униполярного распределения поляризации. С 28 апреля до момента захода за лимб (2 мая) источник имел левую круговую поляризацию (рис.1,б).

Область N OAA 467I (2-14 июля 1985 г.): источник вышел из-за лимба неполяризованным. 5 июля он стал левополяризованным с униполярным распределением поляризации, и этот характер поляризации со-



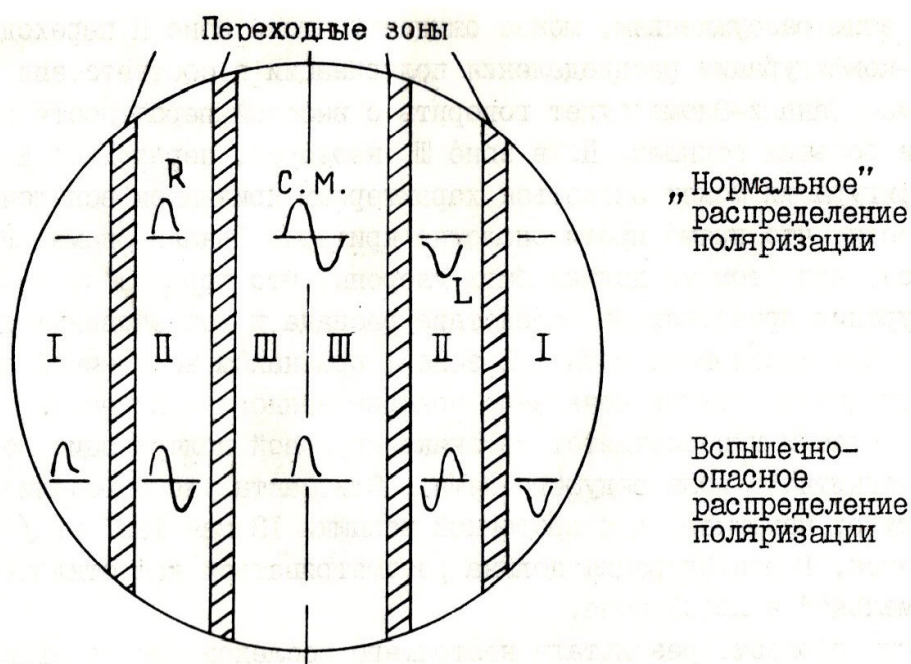
Р и с. 1. Распределение поляризации микроволнового излучения по активным областям: а - N OAA 4077; б - N OAA 4647; в - N OAA 4671. Звездочками отмечено положение протонных вспышек (см. текст)

хранился до 9 июля, когда структура распределения поляризации стала биполярной (прохождение активной областью центрального меридиана 7 июля). 8 июля произошла вспышка балла IN, а 9 июля - протонная вспышка балла 2B (до перехода распределения поляризации от униполярной конфигурации к биполярной). Биполярная структура источника в поляризации сохранялась до 10 июля, после чего распределение поляризации стало униполярным с правой круговой поляризацией (см. рис. 1, в).

Таким образом, в приведенных примерах протонным вспышкам предшествовало униполярное распределение поляризации микроволнового излучения по активной области, что находится в прямом противоречии с критерием Танаки-Эноме.

Обсуждение

Преимущественное появление мощных вспышек в активных областях, характеризующихся распределением поляризации микроволнового излучения E и P типов (по классификации Танаки и Эноме [1]), скорее всего отражает тот широко известный факт, что вспышки предпочитают возникать в областях со сложной конфигурацией магнитных полей, которая отражается и в распределении микроволнового излучения. Однако авторы [1] отмечали, что протонные вспышки появляются и в активных областях с S-конфигурацией поляризации и с неполяризованным излучением. Эти факты и описанные нами примеры приводят к заключению, что поляризационный критерий Танаки-Эноме не учитывает какие-то важные особенности формирования и изменений распределения



Р и с. 2. Схематическое разбиение Солнца на зоны с характерными нормальными и вспышечно-опасными конфигурациями поляризации в каждой зоне (см. текст)

поляризации микроволнового излучения активной области. Можно предположить, что эти особенности вызваны как раз наложением эволюционных изменений в самой активной области и изменения положения области на диске Солнца.

Проиллюстрируем это на идеализированной ситуации, когда дипольная группа с хорошо развитыми головным, например, северной полярности, и хвостовым пятнами, существенно не изменяясь, проходит по диску Солнца (рис. 2). При этом в соответствии с [2] на диске можно выделить следующие симметричные относительно центрального меридиана зоны, каждая из которых обладает собственным характером распределения поляризованного излучения по активной области: I — зона неполяризованного излучения, II — зона с преимущественно S-конфигурацией распределения поляризации, III — зона с преимущественно E-конфигурацией. Эти зоны разделены относительно более узкими переходными зонами, которые условно можно назвать зонами инверсии знака поляризации.

Отклонение от нормального распределения поляризации в каждой отдельной зоне будет в значительной мере обусловлено особенностями в структуре корональных магнитных полей активной области. В таком случае критерием предвспышечной ситуации необходимо считать не принадлежность распределения поляризации к определенному типу конфигурации, а отклонение наблюдаемого распределения поляризации от нормального в той зоне, где находится данная активная область.

Следуя этим рассуждениям, можно ожидать, что в зоне II переход от S- к E-конфигурации распределения поляризации в соответствии с критерием Танаки-Эноме будет говорить о высокой вероятности появления больших вспышек. Но в зоне III, наоборот, переход от E- к S-конфигурации может оказаться характерным признаком вспышечной активности, что прямо противоположно критерию Танаки-Эноме. Разумеется, при этом мы должны быть уверены, что переход от E- к S-конфигурации произошел не вследствие распада и исчезновения головного или хвостового пятна. В зоне I признаком вспышечной активности может служить появление поляризованного излучения от активной области и несоответствие знака круговой поляризации полярности магнитного поля ведущего пятна. Эти факты уже отмечались в литературе, например, для протонной вспышки 13 мая 1981 г. [4,5]. Разумеется, R-конфигурация должна рассматриваться как отклонение от нормальной в любой зоне.

Таким образом, результаты настоящего исследования показывают, что при прогнозировании протонных вспышек по структуре распределения поляризации микроволнового излучения активной области недостаточно определять только тип конфигурации (критерий Танаки-Эноме), но необходимо учитывать, в каком длительном интервале находится данная активная область и каково отклонение от нормальной конфигурации в этом интервале.

Л и т е р а т у р а

1. Tanaka H., Enome S. // Solar Phys. 1975. Vol.40. P.123-131.
2. Emmoku S. // Rev.Radio Research Laborat. 1979.Vol.25.P.172-177.
3. Железняков В.В. // Радиоизлучение Солнца и планет. М.: Наука, 1964. С.311-312.
4. Коробчук О.В., Петерова Н.Н. // Радиоизлучение Солнца. Л.: ЛГУ, 1984. Вып.5. С.102-114.
5. Нефедьев В.П., Потапов Н.Н., Смольков Г.Я. // Исследования по геомагнетизму, аэрономии и физике Солнца. М.: Наука, 1984. Вып.68. С.84-90.

Сибирский институт земного магнетизма,
ионосферы и распространения радиоволн
СО АН СССР

Статья поступила
в ноябре 1987 г.