

УДК 523.98

## Эволюция и структура вспышечно-активной области HR 16 631 (февраль 1980 г.) по наблюдениям на РАТАН-600

В. И. Боровик, И. А. Драке, А. Н. Коржавин, В. М. Плотников

Рассмотрена эволюция локального источника радиоизлучения, связанного со вспышечно-активной областью HR 16 631 на Солнце (февраль 1980 г.), по наблюдениям на РАТАН-600 на пяти волнах в диапазоне 2—4 см. Показано, что в период повышенной вспышечной активности группы в структуре локального источника радиоизлучения появляется и доминирует пекулярная деталь, расположенная над областью максимального градиента магнитного поля на фотосфере в районе всплывания нового магнитного потока. Пекулярный источник характеризуется резко увеличивающимся с длиной волны потоком, умеренной (20—40 %) степенью круговой поляризации; в течение трех суток существования характеристики его отличаются стабильностью.

*EVOLUTION AND STRUCTURE OF THE FLARE-ACTIVE REGION HR 16 631 (FEBRUARY 1980) BASED ON RATAN-600 OBSERVATIONS, by Borovik V. N., Drake N. A., Korzhavin A. N., Plotnikov V. M.*—The evolution of a local radio source associated with flare active solar region HR 16 631 (February, 1980) is considered based on the RATAN-600 observations at five wavelengths in the range of 2—4 cm. It is shown that during the period of high flare activity of the sunspot group a peculiar detail associated with the place of the highest gradient of the photospheric magnetic field appears and dominates in the local radio source structure. This peculiar source is connected with the region of the emerging new magnetic flux. The peculiar source has a steep spectrum, moderate (20—40 %) degree of circular polarization. The characteristics of this source proved to be very stable for three days of its existence.

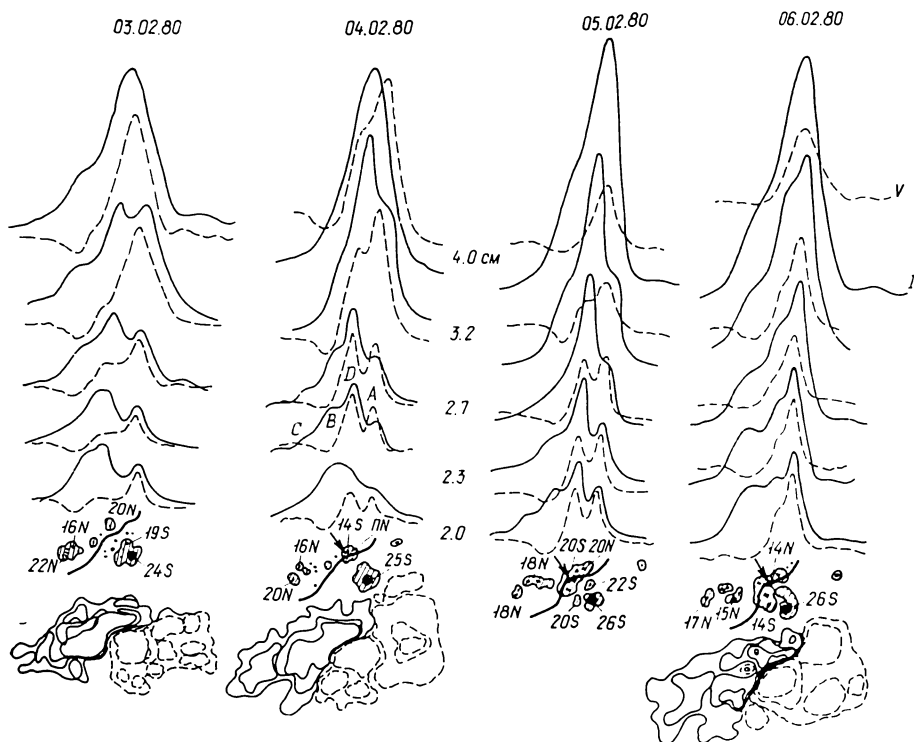
В последнее время благодаря наблюдениям с высоким пространственным разрешением на таких радиотелескопах, как РАТАН-600, VLA и WSRT, достигнут большой прогресс в исследовании наблюдательных радиохарактеристик активных областей на Солнце в сантиметровом диапазоне и в изучении механизмов, ответственных за генерацию радиоизлучения отдельных структурных компонентов центров активности. Однако в этой области исследований еще имеются нерешенные вопросы. Особый интерес представляет изучение структуры и эволюции развитых вспышечно-активных областей.

В структуре локальных источников радиоизлучения над такими областями недавно выявлена составляющая нового типа, вероятно связанная с предсказанными некоторыми теориями горячими предвспышечными токовыми слоями [1—3, 7, 8].

В настоящей работе исследуются спектрально-поляризационные характеристики и структура локального источника радиоизлучения, связанного со вспышечно-активной областью HR 16 631 (№ 54 по нумерации бюллетеня «Солнечные данные»), по наблюдениям на РАТАН-600 в сантиметровом диапазоне.

Исследуемая группа пятен проходила по диску Солнца в период с 29 января по 11 февраля 1980 г. и отличалась высокой вспышечной активностью. Согласно [10], в этой группе ежедневно регистрировались 5—10 вспышек. Самые мощные вспышки балла 1В наблюдались 3 февраля в 13<sup>h</sup>18<sup>m</sup> UT и 5 февраля в 17<sup>h</sup>27<sup>m</sup> UT. Первая — сопровождалась рентгеновской вспышкой балла М5 и мощным всплеском радиоизлучения в широком диапазоне радиоволн. При этом зарегистрирован радиовсплеск IV типа, свидетельствующий о выбросе плазмы. Кроме того, эта вспышка вызвала сильные геомагнитные и межпланетные возмущения.

Так, на космическом аппарате «Гелиос-2» 5 февраля в 15<sup>h</sup> UT зафиксирован резкий скачок скорости солнечного ветра до значения примерно 850 км/с. На Земле 6 февраля в 3<sup>h</sup>20<sup>m</sup> UT наблюдалось внезапное начало магнитной бури ssc и последующие длиннопериодические пульсации геомагнитного поля  $P_{sc}$  5 [4]. Снимки кометы Брэдфил-



Сопоставление радио-, оптических и магнитографических изображений активной области HR 16 631

да 1979 X зафиксировали 6 февраля в 2<sup>h</sup> UT резкий поворот плазменного хвоста кометы [9], связанный с изменением режима течения солнечного ветра.

Эволюция исследуемой группы пятен № 54 (HR 16 631) представлена в табл. 1, в которой приведены значения площади всей группы  $S_{\Sigma}$ , площади наибольшего пятна  $S_{пл}$  и число пятен  $n$  в группе (согласно [5]).

Радионаблюдения Солнца на РАТАН-600 в период прохождения активной области HR 16 631 по диску проводились ежедневно в меридиане (в 9<sup>h</sup>27<sup>m</sup> UT) на южном секторе радиотелескопа на волнах 2.0, 2.3, 2.7, 3.2 и 4.0 см. Диаграмма направленности антенны в диапазоне волн 2.0—4.0 см составляла 17—34" в горизонтальном и 15—30' в вертикальном сечениях. При прохождении Солнца через неподвижную диаграмму одновременно регистрировались интенсивность и поляризованная по кругу составляющая радиоизлучения Солнца.

На рисунке показаны профили локального источника, связанного с исследуемой группой пятен № 54, для периода максимальной активности группы (3—6 февраля), выделенные на радиоскансах Солнца. Сплошная кривая на рисунке соответствует каналу интенсивности  $I$ , штриховая — каналу круговой поляризации  $V$ . Здесь же дано схематическое изображение группы пятен с указанием напряженности магнитного поля (согласно фотогелиограммам Горной астрономической станции ГАО АН СССР). Сплошная жирная линия соответствует линии раздела магнитных полей противоположной полярности; стрелкой

Таблица 1. Эволюция группы пятен № 54

Дата, февраль 1980 г.	$S_{\Sigma}$ (м. д. п.)	$S_{Гл}$ (м. д. п.)	$n$	Дата, февраль 1980 г.	$S_{\Sigma}$ (м. д. п.)	$S_{Гл}$ (м. д. п.)	$n$
1	1240	600	37	6	1530	415	66
2	1203	560	44	7	1380	858	68
3	1139	523	56	8	1370	965	66
4	1560	520	90	9	1390	815	50
5	1525	289	77	10	1139	683	20

показаны области максимального градиента магнитного поля (согласно магнитограммам, предоставленным А. А. Головки, Сибирский институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн). Внизу приведены карты магнитных полей на фотосфере, полученные в обсерватории Маунт-Вилсон [10].

Видно, что 3 февраля в активной области еще наблюдается четкая биполярная структура, а 4 февраля отмечено всплывание нового магнитного потока, о чем свидетельствует появление  $\delta$ -конфигурации в структуре магнитного поля группы. После 7 февраля магнитная структура группы упростилась и вновь стала биполярной.

По приведенным данным радионаблюдений Солнца можно проследить эволюцию локального источника по мере развития активной области. 3 февраля, когда группа пятен имела сугубо биполярный характер, в локальном источнике выделяются две составляющие  $A$  и  $B$ , связанные с пятнами в головной и хвостовой частях группы. 4 февраля после всплывания нового магнитного потока (и образования  $\delta$ -конфигурации в магнитной структуре группы) в локальном источнике на всех волнах появилась новая составляющая  $D$ , по положению совпадающая с областью максимального градиента магнитного поля на фотосфере, которая доминировала над всеми остальными составляющими источника радиоизлучения.

Необходимо отметить, что самая значительная вспышка, вызвавшая сильные геомагнитные и межпланетные возмущения, произошла 3 февраля в  $13^h18^m$  UT, т. е. это событие с точностью до суток совпало с моментом всплывания нового магнитного потока и появлением пекулярного источника радиоизлучения. Этот источник стабильно излучал в течение трех суток. Вспышечная активность группы в эти дни продолжала быть высокой. 5 февраля в  $17^h27^m$  UT в ней зарегистрирована еще одна вспышка балла  $1B$ . Можно предположить, что именно с этой вспышкой связан приход протонов к Земле, зарегистрированный 6 февраля в  $13^h$  UT, а не со вспышкой балла  $2N$  во флюктуальной области NR 16 630, как указано в [6]. Такое предположение основано на результатах исследования ряда развитых вспышечно-активных областей, в которых появление аналогичного пекулярного радиоисточника было непосредственно связано с мощными вспышками, в том числе и протонными.

Отметим, что начиная с 6 февраля пекулярный источник перестал доминировать над остальными составляющими локального источника радиоизлучения. Далее по мере упрощения магнитной структуры группы (8 февраля она стала вновь биполярной) интенсивность его уменьшалась. При этом увеличилась интенсивность «пятенного» источника над головным пятном группы и резко возросла площадь головного пятна.

Радиохарактеристики пекулярного источника  $D$  (потоки  $F$  и степень круговой поляризации радиоизлучения  $p$ ) за период с 4 по 6 февраля приведены в табл. 2. Для сравнения даны характеристики наиболее яркой «пятенной» составляющей  $A$  локального источника, связанной с наибольшим пятном в головной части группы.

Таблица 2. Потоки  $F$  (с. е. п.) и степень круговой поляризации  $p$  (в %) радиоизлучения «пятенного»  $A$  и пекулярного  $D$  источников

Дата, февраль 1980 г.	Источник		Длина волны, см				
			2.0	2.3	2.7	3.2	4.0
4	$A$	$F$	1.6	1.6	2.2	6.2	10
		$p$	57	63	68	64	71
	$D$	$F$	2.3	3.2	5.5	10.6	16
		$p$	20	37	42	30	48
5	$A$	$F$	1.4	1.8	2.7	5.8	10
		$p$	50	65	65	70	*
	$D$	$F$	3.6	4.2	7.3	9.7	18
		$p$	26	21	28	31	*
6	$A$	$F$	3.1	5.1	6.2	9.1	15.5
		$p$	61	62	55	37	*
	$D$	$F$	2.2	2.4	4.4	8.0	12.1
		$p$	24	27	37	26	*

Примечание. Звездочкой отмечены случаи, когда надежное разделение составляющих  $A$  и  $D$  локального источника невозможно.

Видно, что обе детали имеют крутой, растущий с длиной волны спектр потоков. Характер спектра не изменяется в течение всего времени наблюдения источников. Степень поляризации пекулярного источника в среднем меньше, чем у «пятенного»: соответственно 20—40 и 60—80 % при точности измерений  $\pm 5$  %.

Если спектрально-поляризационные характеристики «пятенного» источника интерпретируются в рамках известного механизма магнитотормозного излучения тепловых электронов на второй и третьей гармониках гирочастоты в сильных полях пятен, то характеристики пекулярного источника  $D$  нельзя объяснить в рамках этого механизма, так как данный источник не связан с большим пятном значительной напряженности магнитного поля на фотосфере.

Очевидно, долгоживущий пекулярный источник радиоизлучения свидетельствует о стабильной области высокого энерговыделения в короне над областью максимального градиента магнитного поля на фотосфере. Можно предположить, что он связан с горячими токовыми слоями в короне, предсказанными некоторыми теориями для вспышечно-активных областей.

Отметим, что наблюдавшийся в феврале 1980 г. пекулярный источник в активной области NR 16 631 относится к серии источников «нового» типа, зарегистрированных при наблюдениях Солнца на РАТАН-600 и при затменных наблюдениях в апреле 1976, июле 1981, июле 1982 и апреле 1985 г.

Исследование природы подобных источников имеет большое значение для понимания процесса накопления и высвобождения энергии во время солнечных вспышек, а также для разработки физически обоснованных методов их диагностики и прогнозирования.

1. Аураc Г., Крюгер А., Боровик В. Н. и др. Эволюция активной области, связанной с протонным событием 24.04.85 по радионаблюдениям // Прогнозы солнечной активности и наблюдения солнечных активных явлений: Тез. симп. КАПГ.—Л.: Наука, 1987.—С. 51.
2. Ахмедов Ш. Б., Богод В. М., Боровик В. Н. и др. Структура активной области на Солнце по наблюдениям на VLA и РАТАН-600 в июле 1982 года. I. AR 3804.—Л., 1985.—60 с.—(Препр. / АН СССР. Спец. астрофиз. обсерватория; № 19Л).
3. Ахмедов Ш. Б., Боровик В. Н., Қоржавин А. Н. Високотемпературные образования в короне активных областей как проявление вспышечной активности // Прог-

- нозы солнечной активности и наблюдения солнечных активных явлений: Тез. симп КАПГ.— Л.: Наука, 1987.— С. 52.
4. *Драке Н. А., Птицына Н. Г.* Вспышка на Солнце 3 февраля 1980 года и ее межпланетные и геофизические эффекты // Там же.— С. 63.
  5. *Солнечные данные.*— 1980.— № 2.— 108 с.
  6. *Спектры солнечных протонных событий в 20, 21 циклах солнечной активности // Материалы Мирового центра данных Б. / Отв. ред. Э. Е. Дубов.*— М., 1986.— С. 12.
  7. *Akhmedov Sh. B., Bogod V. M., Borovik V. N. et al.* On the search for current sheets in the solar atmosphere using radio observations // Solar maximum analysis: Proc. Intern. workshop, Irkutsk, USSR, June 17—24, 1985.— Utrecht: VNU Sci. press, 1987.— P. 51—56.
  8. *Akhmedov Sh. B., Borovik V. N., Gelfreikh G. B. et al.* Structure of a solar active region from RATAN-600 and very large array observations // *Astrophys. J.*— 1986.— 301, N 1.— P. 460—464.
  9. *Brandt J. C., Hawley J. D., Niedner M. B.* A very rapid turning of the plasma tail axis of comet Bradfield 1979 1 on 1980 Feb. 6 // *Ibid.*— 1980.— 241, N 1.— P. L51—L54.
  10. *Solar-Geophysical Data.*— 1980.— N 428A.
  11. *Solar-Geophysical Data.*— 1981.— N 447B.

Глав. астрон. обсерватория АН СССР, Пулково,  
Астрон. обсерватория Ленингр. ун-та,  
Ленингр. фил. Спец. астрофиз. обсерватории АН СССР

Поступила в редакцию 07.12.87,  
после доработки 29.03.88