

**КООПЕРАТИВНЫЕ МАГНИТОГРАФИЧЕСКИЕ
И РАДИОАСТРОНОМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
АКТИВНОЙ СОЛНЕЧНОЙ ОБЛАСТИ AR 3804 В ИЮЛЕ 1982 г.**

*Ш. Б. Ахмедов *, В. Н. Боровик **, Г. Б. Гельфрейх **, В. М. Богод,
А. Н. Коржавин, Э. Е. Петров, А. Хофманн ***, Г. Бахманн ****

Приведен дальнейший (по сравнению с работами [1, 2]) анализ пекулярного источника радиоизлучения в активной области Солнца AR 3804 с использованием магнитограмм, полученных в ЦИА АН ГДР в Потсдаме. Источник расположен на линии раздела полярностей фотосферного магнитного поля над волокном и имеет спектр потоков, резко растущий с длиной волны, причем яркостная температура источника на волне 4 см превосходит $6 \cdot 10^6$ К, а логарифмический наклон спектра в коротковолновой части ($\lambda = 2$ см) близок к $n = 10$. Степень поляризации в диапазоне 2—4 см близка 30 %. Вновь выполненный анализ стабильности потоков показал сохранение без изменения потоков источника в диапазоне 2—4 см, по крайней мере с 14.07 по 16.07.82 г. Анализ магнитограмм полного вектора поля показал, что в районе источника наблюдается усиление плотности продольного тока в фотосфере, причем это усиление имеет разные знаки по разные стороны от нулевой магнитной линии. Вблизи источника обнаружен холм магнитного поля обратной относительно фонового поля полярности. Предлагается связать источник с магнитной петлей «скрученного» поля в короне, в которой происходит локальное выделение энергии и нагрев короны за счет диссипации магнитных полей сложной конфигурации (возможно, с образованием токового слоя).

A further (as compared to the papers [1, 2]) analysis of the radiation peculiar source in the active solar region AR 3804 using the magnetograms, obtained at ZIAP AW DDR in Potsdam is presented. The source is on the border line of polarities of photospheric magnetic field above the filament and has the flux spectrum increasing with the wavelength, the brightness temperature at 4 cm being above $6 \cdot 10^6$ K, and the logarithm spectrum slope in the shortwave region ($\lambda = 2$ cm) being about $n = 10$. The polarization degree within 2—4 cm is close to 30 %. The following analysis of the flux stability showed the same without any variations of the source fluxes within 2—4 cm, at least from 14.07 to 16.07.82. An analysis of magnetograms of the total field vector showed that in the source region there is observed a density increase of the longitudinal current in photosphere, this increase having different signs on different sides from the zero magnetic line. Near the source there is observed a magnetic field hill of the reverse relative to the background field polarity.

It is suggested to relate the source with the magnetic loop of the «twisted» field in the corona in which the local energy emission and corona heating due to dissipation of magnetic fields of complex configuration occur (apparently, with the current sheet formation).

Активная область AR 3804, явившаяся объектом кооперативной программы исследований, принадлежала к числу наиболее мощных комплексов активности 20-го цикла, давшего также ряд крупных протонных вспышек (9, 12, 17.07.82 г.). К настоящему времени опубликован значительный наблюдательный материал, описывающий особенности проявления этой области как в оптическом, так и в радиодиапазонах (см., например, [3—7]).

Наблюдения Солнца на РАТАН-600 проводились в режиме Юг—перископ [1] с 7.07 и охватывали весь дальнейший период прохождения области по диску Солнца. Они проводились с помощью солнечного спектрально-поляризационного комплекса ИКАР-16 [8] на волнах 2.0, 2.3, 2.7, 3.2, 4.0, 12, 20, 30 см с регистрацией как интенсивности, так и круговой поляризации. Ежедневные наблюдения проводились в режиме прохождения Солнца через диаграмму направленности антенны (около $9^h 20^m$ U.T.) в меридиане, а в отдельные

* ШАО АН АзССР, Шемаха.

** ГАО АН СССР, Пулковое, Ленинград.

*** ЦИА АН ГДР, Потсдам.

дни также и в дополнительных азимутах, которые обеспечивали разворот диаграммы по позиционному углу на ± 4 и $\pm 8^\circ$ относительно положения в меридиане.

В Потсдаме сотрудниками Центрального института астрофизики АН ГДР параллельно проводились магнитографические наблюдения той же активной области Солнца на телескопе «Башня Эйнштейна» в линии железа 5250 \AA с анализом полного вектора магнитного поля. В данной работе используются данные за 15, 16.07.82 г.

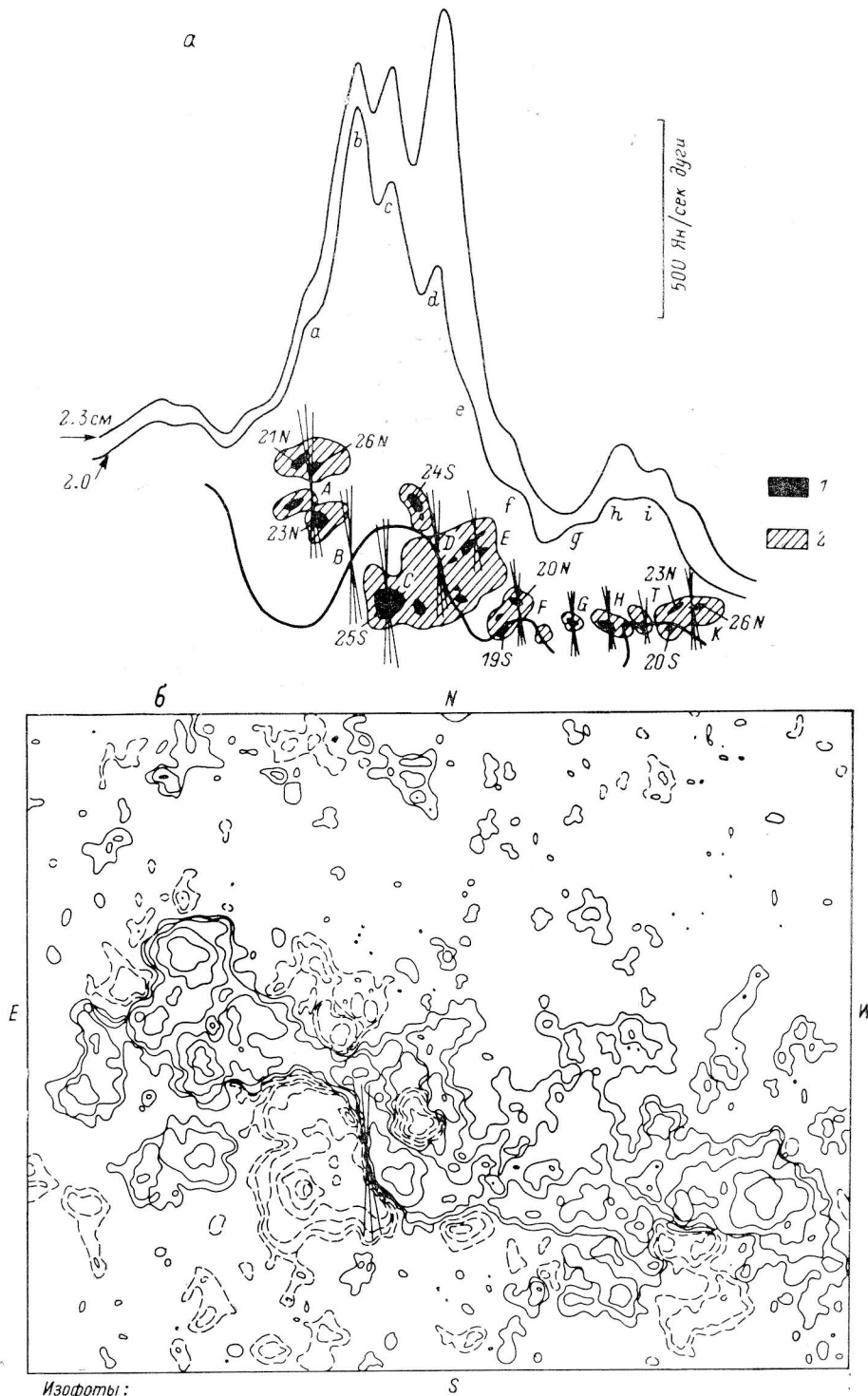
В работах [1, 2] были проанализированы особенности активной области, характеризующие ее структуру в радиодиапазоне по данным РАТАН-600, и выявлен компактный источник нового типа, расположенный на линии раздела магнитных полярностей продольной компоненты фотосферного магнитного поля в области с аномально сильным градиентом магнитного поля вблизи изгибов «нейтральной» линии. Было показано, что высокие яркостные температуры, большой «нетепловой» наклон спектра (резкий рост потока с длиной волны) свидетельствуют о нетепловых процессах и локальном выделении энергии в нижней короне Солнца в области генерации радиоизлучения источника.

Дальнейший анализ, проводимый в данной работе, был направлен на исследование степени стабильности радиоисточника и более детальной связи его с особенностями структуры магнитного поля на уровне фотосферы. При этом показано, что с высокой точностью, близкой к точности измерения (выделения) анализируемой компоненты ($\sim 10\%$), поток в диапазоне $2-4 \text{ см}$ не изменялся, по крайней мере в период с 14.07 по 16.07. В то же время область источника оказалась связанной с местами аномально сильного вертикального тока на фотосфере и областью появления «вкрапления», противоположного по знаку магнитного поля (дельта-конфигурация).

Структура активной области в радиодиапазоне. Наиболее отчетливо все компоненты локального источника активной области AR 3804 видны на записи, полученной на РАТАН-600 в меридиане 15.07, когда комплекс активности проходил центральный солнечный меридиан (рис. 1, 2). На рис. 1 приведены записи в канале интенсивности на волнах 2.0 и 2.3 см (ширины диаграмм в горизонтальном направлении 18 и 21 сек. дуги соответственно). Ниже в том же масштабе показана структура соответствующих групп пятен (№ 228 и № 229 по бюллетеню «Солнечные данные» [9]) — теней и полутеней (по наблюдениям ГАС ГАО в Кисловодске), указаны максимальные напряженности и полярности магнитных полей ядер (согласно СД); жирная линия показывает положение волокна, которое практически совпадает с нейтральной линией продольного магнитного поля на уровне фотосферы. На рис. 1, б приведена карта продольного магнитного поля (ЦИА, Потсдам). Отдельные максимумы яркости на кривой $\lambda = 2.0 \text{ см}$ обозначены малыми латинскими буквами. Отождествляемые с ними детали на фотосфере отмечены на карте фотосферы соответствующими заглавными буквами. Из девяти отмеченных деталей локального источника семь деталей совпало с ядрами (тенями) пятен. На магнитограмме с ними можно сопоставить «холмы» напряженности магнитного поля (при этом следует иметь в виду, что разрешающая способность фотогелиограммы выше, чем у магнитографа).

Этот тип источников — «ядерная» или «пятенная» компонента (в западной литературе «sunspot associated sources») — считается достаточно хорошо изученным и обусловлен магнитнотормозным (циклотронным) механизмом генерации радиоизлучения тепловыми электронами короны и переходного слоя преимущественно на 2-й и 3-й гармониках гирочастоты электронов в сильном магнитном поле пятен коронального уровня атмосферы Солнца (свойства этих источников по наблюдениям на РАТАН-600 описаны, например, в [10]).

Однако два источника (*b* и *d*) не имеют соответствующих пятен на уровне фотосферы. Наблюдения, выполненные 15.07 в трех азимутах, позволили определить обе координаты этих источников: и тот, и другой из них легли на нейтральную линию раздела полярности фотосферного магнитного поля в двух разных точках, каждая из которых расположена недалеко от своей точки изгиба нейтральной линии.



Изофоты:

- 2560 - 40
- 1280 - 80
- 640 - 160
- 320 - 320
- 160 - 640
- 80
- 40

(Гс)
N30 E10
390 x 344 сек. дуги

Рис. 1. Записи (сканы) радиоизлучения активной области Солнца AR 3804, полученные на волнах 2.0 и 2.3 см на РАТАН-600 15.07.82 г. в 9.52—10.58 У. Т.

Под записями (а) в том же масштабе показана структура группы пятен на фотосфере по данным ГАС ГАО АН СССР (Кисловодск); H_{α} -волокно, разделяющее магнитные полярности, показано жирной линией; 1 — тень, 2 — полутень, б — магнитограмма продольного поля по данным ЦИА АН ГДР (Потсдам). Пересекающиеся линии соответствуют отождествлению отдельных деталей локального источника при наблюдениях в трех азимутах.

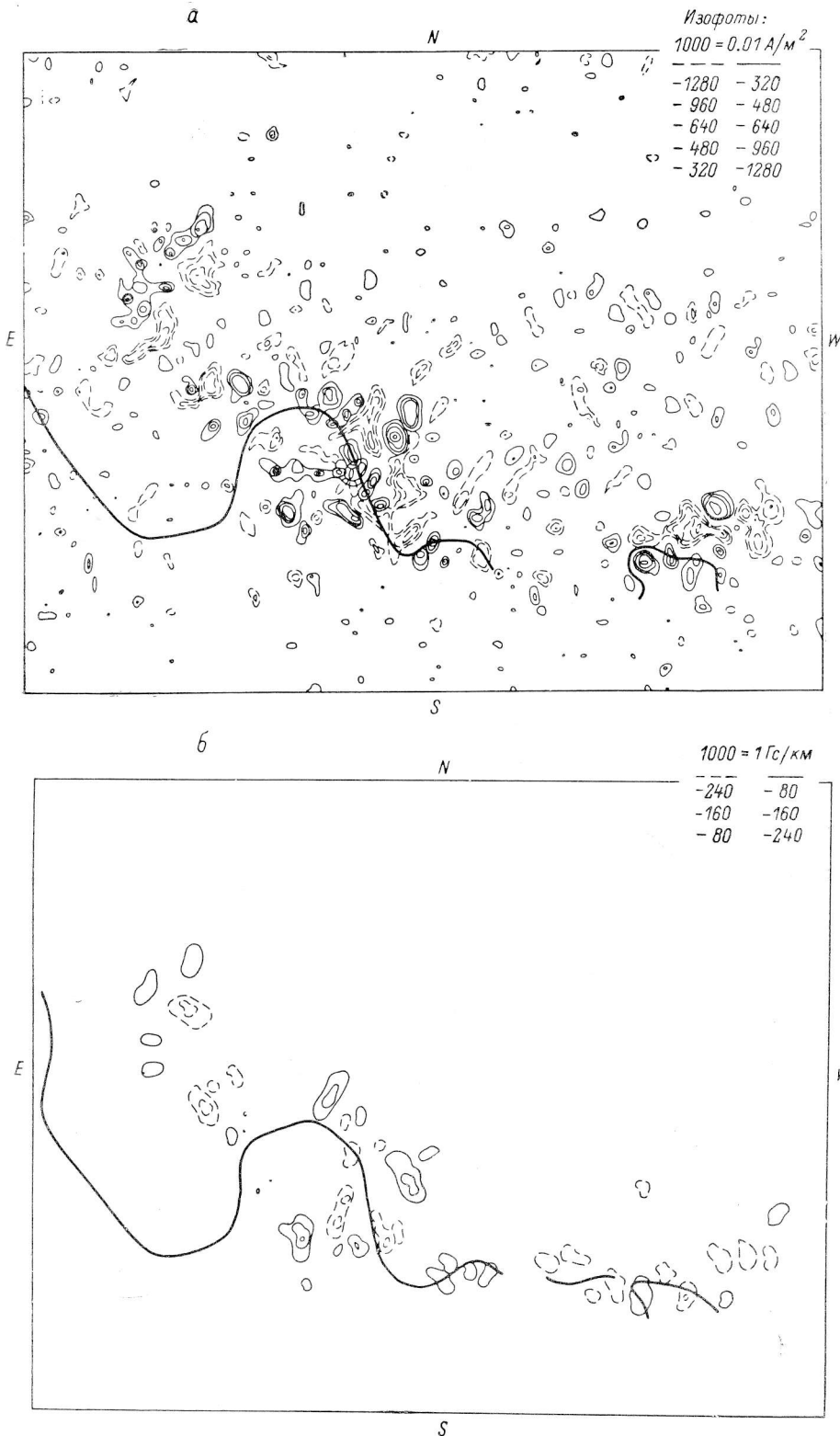


Рис. 2. Магнитограммы активной области Солнца AR 3804, полученные в ЦИА АН ГДР (Потсдам) 15, 16.07.82 г в линии железа 5250 Å.

а — карта вертикальных составляющих плотности электрических потоков (15.07.82 г., 9.52—10.58 У. Т.)
 б — карта вертикальных градиентов продольной компоненты поля (15.07.82 г., 9.52—10.58 У. Т.); в — карта азимутов поперечной компоненты поля и контуры пятен (15.07.82 г., 9.52—10.58 У. Т.); г — карта вертикальных составляющих плотности электрических токов (16.07.82 г., 9.43—10.31 У. Т.); д — карта вертикальных градиентов продольной компоненты поля (16.07.82 г., 9.43—10.31 У. Т.); е — карта продольной компоненты поля (16.07.82 г., 9.43—10.31 У. Т.); ж — азимутов поперечной компоненты поля и контуры пятен (16.07.82 г., 9.43—10.31 У. Т.).

Источники *b* и *d* обладают сравнимыми размерами (около 20 сек. дуги), в диапазоне 2 см их потоки соизмеримы; в то же время их спектрально-поляризационные характеристики разительно отличны друг от друга: спектр по-

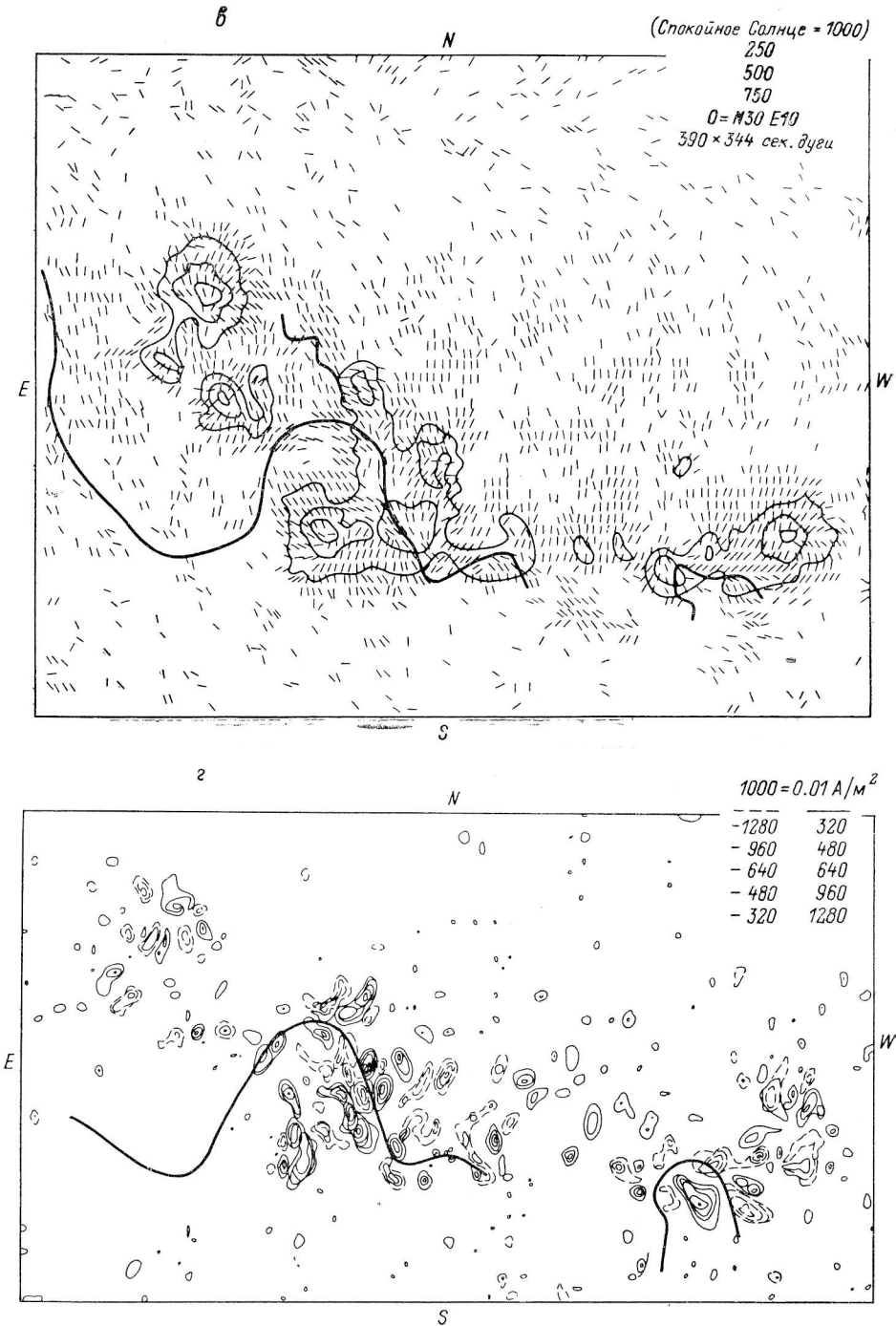
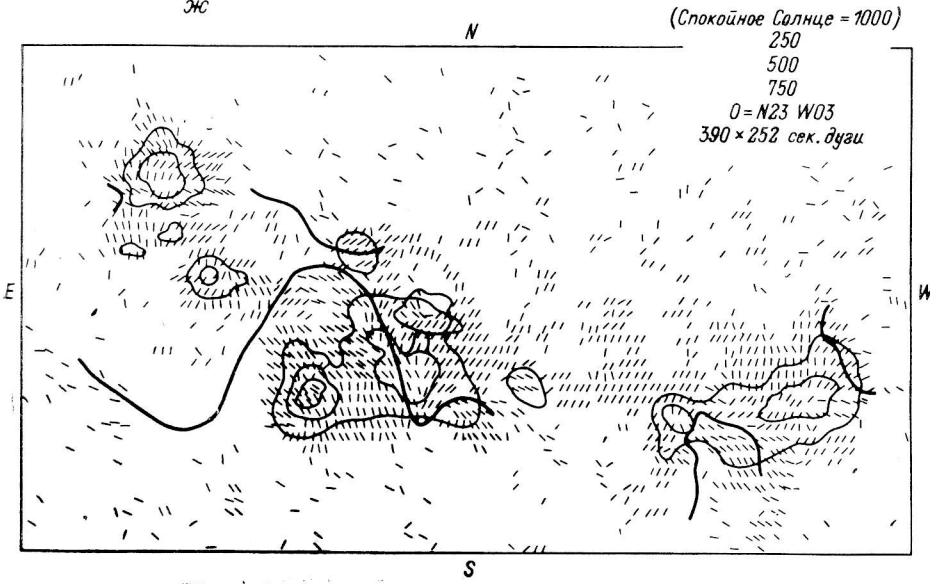
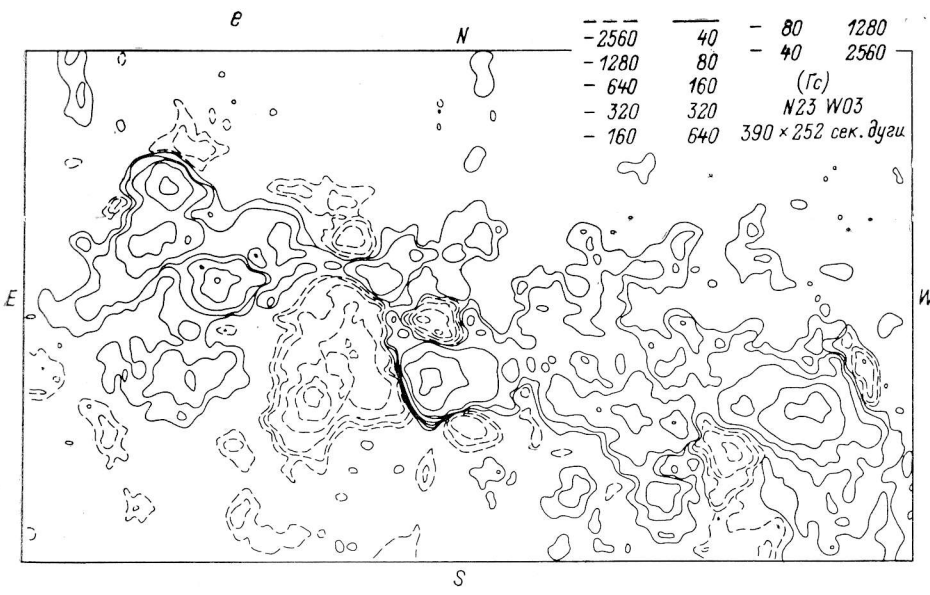
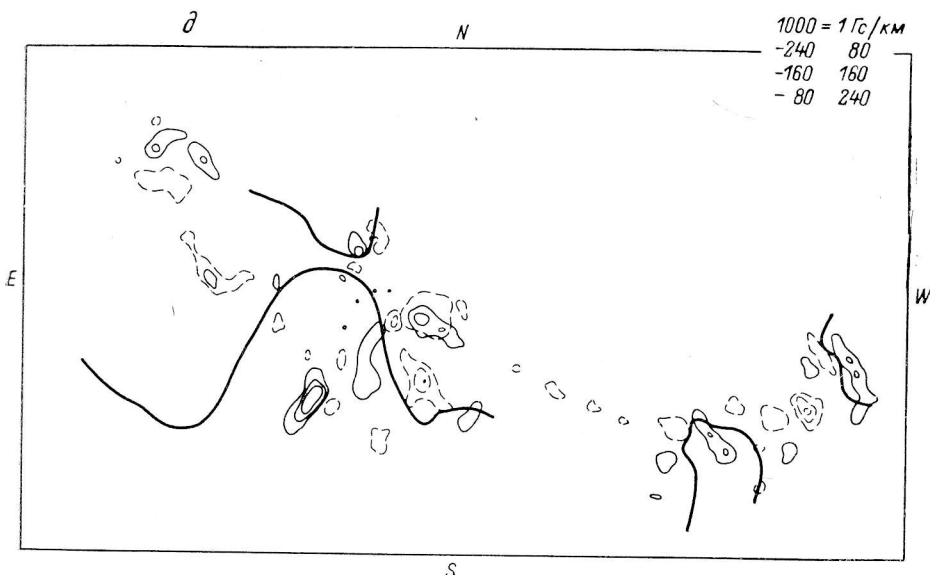


Рис. 2 (продолжение).

токов детали *b* близок к плоскому, что видно (для диапазона 2.0—2.3 см) непосредственно на рис. 1, в то время как для детали *d* поток катастрофически резко растет с длиной волны (обратите внимание на разительное отличие контрастов детали на двух близких волнах на рис. 1). Степень поляризации источника *d* достигает 30—40 % (что все же ниже, чем у «ядерных» источников).



Источник b можно интерпретировать как тормозное излучение корональной конденсации. Источник d требует для своей интерпретации новых механизмов и/или весьма существенных особенностей физических условий в локальной области солнечной короны, которые будут обсуждены позже.

Стабильность положения и спектра пекулярного источника. Обсуждаемый пекулярный источник (обозначен d на рис. 1) уверенно регистрировался как доминирующая узкая деталь на записях Солнца в течение всего периода, благоприятного для наблюдений активной области на диске Солнца (по крайней мере с 12.07 по 19.07).^{*} Достаточно надежно выделить его из общей сложной структуры локального источника и измерить его параметры удалось за период с 14.07 по 17.07, когда активная область проходила центральную часть диска. Записи Солнца на одной волне ($\lambda=3.2$) за этот период приведены на рис. 3 вместе с оптическими картами Солнца (из бюллетеня «Солнечные данные» [9]).

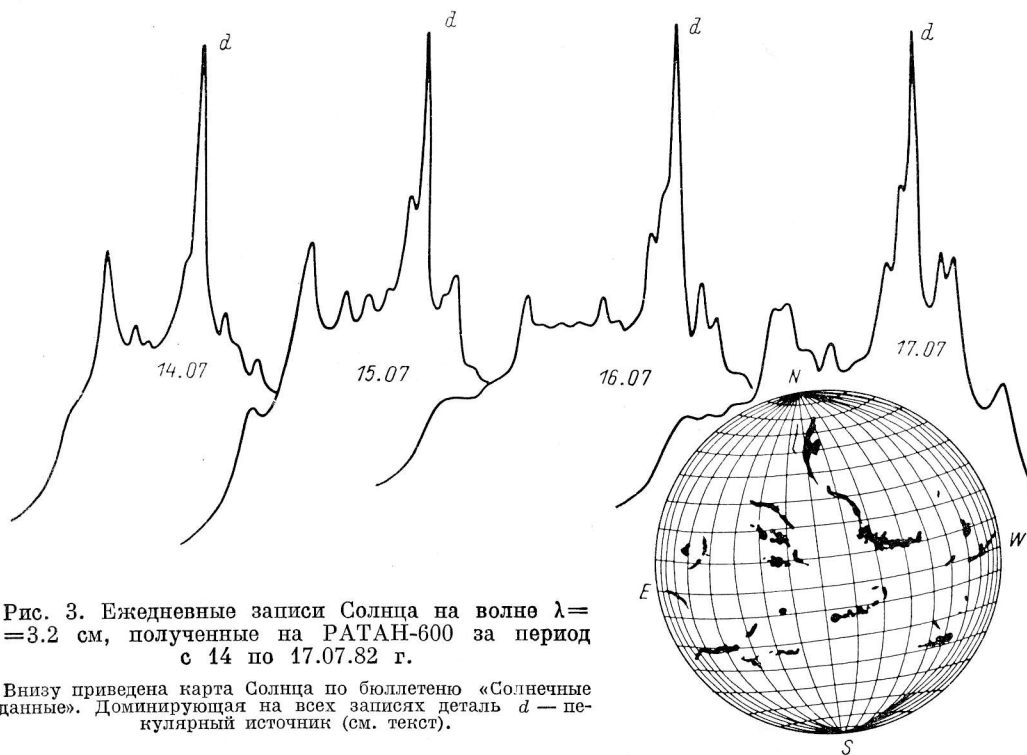


Рис. 3. Ежедневные записи Солнца на волне $\lambda=3.2$ см, полученные на РАТАН-600 за период с 14 по 17.07.82 г.

Внизу приведена карта Солнца по бюллетеню «Солнечные данные». Доминирующая на всех записях деталь d — пекулярный источник (см. текст).

Отождествление положения источника по двум данным координатам с оптической картиной активной области за четыре дня показано на рис. 4. Во все эти дни пекулярный источник находился над областью нейтральной линии, вблизи сильного изгиба волокна. 12, 13, 18, 19.07 из-за эффекта проекции (вблизи лимба) надежного отождествления положения источника провести невозможно, но и в эти дни сильных отклонений положения самой яркой детали от ранее найденного положения точки на фотосферно-хромосферном уровне не наблюдалось.

Из сказанного, в частности, можно сделать вывод о том, что высота источника над фотосферой (хромосферой) была невелика, по предварительным оценкам не более $15 \cdot 10^3$ км. В то же время высокие яркостные температуры, достигающие более $5 \cdot 10^6$ К, говорят о корональной природе образования, что следует также из естественного предположения, что источник лежал над волокном (не экранировался им).

Спектр источника в диапазоне волн 2—4 см за 14—17.07 приведен на рис. 5, из которого видно, что в пределах ошибок спектр сохранялся 14, 15, 16.07

^{*} В противоположность этому источник b наблюдался только 15.07. Аналогичный короткоживущий источник с плоским спектром был обнаружен ранее при наблюдениях солнечного затмения 24.12.73 г. [23].

(с точностью около 1 с. е. п. на всех волнах или не хуже 10 % для волны $\lambda = 2.7$ см). В то же время 17.07 характер спектра уже другой: на волне 2.3 см поток упал в 2 раза, а на волне 4 см вырос на 30 %. Эти изменения естественно связываются с перестройкой структуры активной области на фотосфернохромосферном уровне, имевшей место в этот период.

Магнитографические наблюдения. Как уже отмечалось, пекулярный источник оказался расположенным в области относительно сильных градиентов продольной компоненты фотосферного магнитного поля (сгущение изолиний на рис. 1). Из этого рисунка видно, что вблизи (западнее) пекулярной области

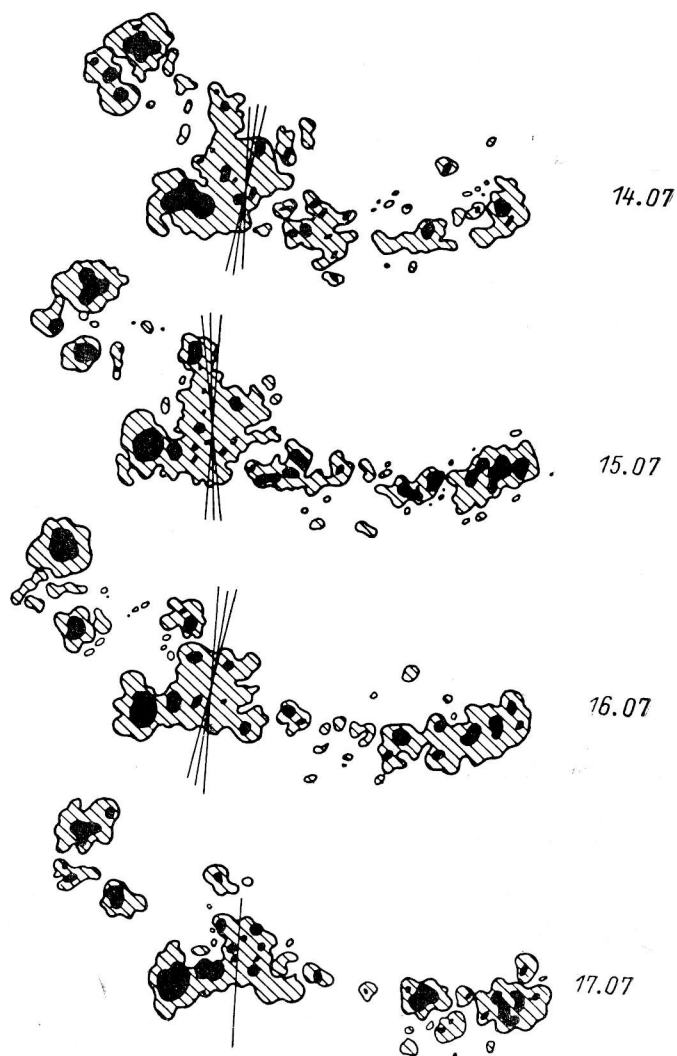


Рис. 4. Положения пекулярного источника относительно пятен на фотосфере (по фотогелиограмме ГАС ГАО), найденные из наблюдений в трех азимутах на РАТАН-600 на волне $\lambda = 3.2$ см за период 14—17.07.82 г.

был зарегистрирован холм магнитного поля противоположной (южной) полярности относительно направления фонового поля северной полярности. Это вкрапление лежит на фотосфере в пределах большой пятенной полутени, и, таким образом, (условно) эта совокупность пятен может рассматриваться как дельта-конфигурация.

Векторные магнитограммы за 15, 16.07, полученные в Потсдаме, были использованы также для расчета вертикальных составляющих плотности электрических токов ($\text{rot}_z \vec{H}$) и вертикальных градиентов продольной компоненты поля (из

уравнения $\text{div } \vec{H}=0$). Карты этих величин также приведены на рис. 2, где кружком показано положение пекулярного источника. Мы видим, что радиоисточник попадает в область локального увеличения плотности тока, причем разных направлений — по обе стороны нейтральной линии.

Локальные источники на нейтральных линиях магнитного поля. Обсуждаемый пекулярный источник был одним из первых обнаруженных нами источников «нового» типа. В структуре радиоизображений активных областей Солнца на см-волнах [11—13] отчетливо проявлялись компоненты, связанные с флоккулами, пятнами («ядерная» компонента), корональными конденсациями (петлями), а при переходе на длинноволновую часть см-диапазона отчетливо проявлялось «гало», имеющее размеры всей группы пятен в целом (но меньше размеров флоккула). Это «гало» часто называли также межпятенной компонентой. Отличие обсуждаемого пекулярного источника состоит в сочетании свойств, характерных для ядерной компоненты (размер $24'' \pm 1''$ в диапазоне 2.3—

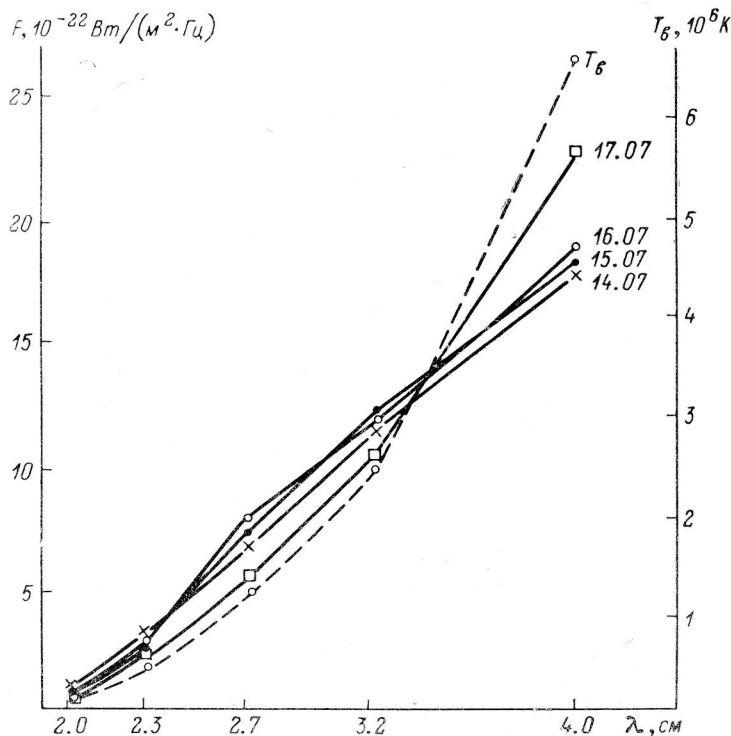


Рис. 5. Спектры потоков пекулярного радиоисточника за период с 14 по 17.07.82 г. Усредненный спектр яркостных температур $T_B(\lambda)$ приведен для периода 14.16.07.

4.0 см [11]), крутого спектра потоков, где логарифмический наклон спектра достигал $n=6 \div 12$, высокой степени поляризации $p=(28 \div 45) \%$ с положением вне тени пятна (хотя и внутри области гигантской полутени), исключающим обычную интерпретацию ядерной компоненты.

К настоящему времени с помощью РАТАН-600 изучено еще несколько источников, подобных по своим параметрам описанному [14—17]. Все они принадлежали к вспышечно активным областям Солнца, дававшим в числе прочих и протонные вспышки, были связаны по положению с областями, где соседствовали противоположные магнитные полярности, в ряде случаев появление пекулярного источника по времени можно было связать с появлением нового магнитного потока, противоположного по знаку основной полярности (образование дельта-конфигурации). В большинстве случаев источники примыкали к крупным солнечным пятнам.

Ряд подобных источников был обнаружен и при наблюдении солнечных затмений: 7.03.70 г. и 29.04.76 г., 15.12.82 г. [14, 18, 19]. Можно считать, что

появление таких пекулярных источников является особенностью структуры активных областей Солнца в радиодиапазоне на определенном этапе их развития.

Следует отметить, что на больших антеннах апертурного синтеза также обнаружен ряд источников, расположенных на отдельных участках нейтральной магнитной линии [20, 21]. Однако поскольку эти наблюдения велись только на одной волне в диапазоне 6 см, то однозначного сопоставления этих источников с обнаруженными в наших наблюдениях сделано быть не может.

Физическая природа пекулярных источников. Первым и пока нерешенным вопросом является механизм генерации их радиоизлучения. Высокая стабильность потока практически исключает из рассмотрения когерентные механизмы и, кроме того, делает более вероятными модели с большой оптической толщиной области генерации радиоизлучения. Высокое значение яркостной температуры (на волне 4 см $T_b \approx 6 \cdot 10^6$ К) [4] требует (при тепловом механизме) области весьма устойчивого локального «перегрева» короны относительно «обычного» для активной области значения температуры около $2 \cdot 10^6$ К; альтернативно возможны нетепловые механизмы генерации излучения, в случае которых необходим стационарный источник ускорения электронов, сохраняющий свои параметры на протяжении нескольких суток.

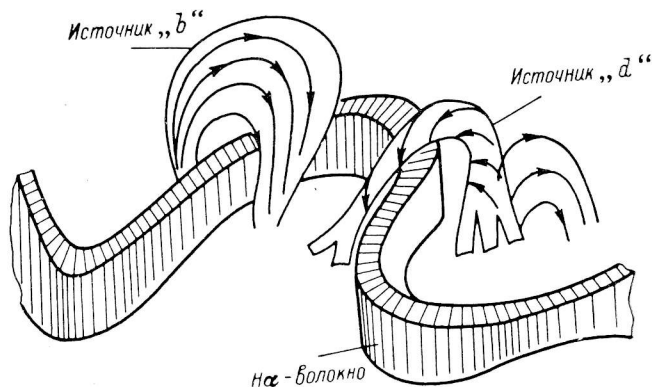


Рис. 6. Качественная картина структуры корональных петель, ответственных за излучение источников «конденсация» и «токовый слой».

Наибольшее значение потока тормозного излучения (а вместе с тем и меры эмиссии) ограничивается его наблюдаемым значением на самой короткой волне $\lambda = 2$ см, составляющим всего $1 \cdot 10^{-22}$ Вт·м⁻²·Гц⁻¹. Таким образом, вклад потока тормозной природы, скажем на волне 4 см, не превосходит 6 % от измеренного значения этой детали источника. Единственно приемлемым из известных механизмов генерации радиоизлучения, таким образом, является магнитнотормозной. Проблема состоит в выборе физически допустимых конфигураций поля и распределения частиц (электронов) по скоростям.

По ряду параметров (спектр, размер) данный источник напоминает ядерную компоненту, обусловленную циклотронным излучением тепловых электронов короны в сильных полях пятен, излучающих преимущественно на 2-й и 3-й гармониках гирочастоты. В этом случае общая оценка поля (для 3-й гармоники) производится по формуле [10, 22] $B = 3570/\lambda$ Гс.

Считая $\lambda = 2.1$ см, получим $B = 1700$ Гс на границе «Короны» и хромосферы. Это значение почти в 2 раза превосходит величину $H = 1000$ Гс, получаемую для этой области из магнитограммы. Заметим, однако, что для областей генерации в диапазоне $\lambda = 4$ см необычно высокие температуры могут сделать оптически толстой область и на 4-й гармонике, поскольку $\tau \sim T^{s-1}$ (где s — номер гармоники), тогда как обычно в пятенных источниках излучения при $s > 3$ они не играют большой роли. Тогда оценка поля производится по формуле $B = 2680/\lambda$ Гс и дает $B = 670$ Гс, вероятно в вершине петли, соединяющей (над волокном) области разной магнитной полярности. Упомянутые выше и найденные из магнитограмм вертикальные токи, которые, видимо, могут течь вдоль

петли, будут способствовать ее сжатию (и большему значению напряженности поля). Структура поля в таком образовании носит «закрученный» характер и может быть очень сложной. Различие оптической и радиоастрономических оценок поля у основания петли может быть связано с неоднородностью поля (расчленением петли у основания на несколько волокон). Характер геометрии такого образования представлен на рис. 6. Заметим, что более сложная геометрия поля по сравнению с полем пятен вполне может объяснить более низкую степень поляризации пекулярного источника по сравнению с источником пятен (достигающую у них 100 %).

Перегрев (троекратный) короны в петле требует дополнительных источников энергии, из которых здесь кажется наиболее естественным «выгорание» скрученного магнитного поля с упрощением его конфигурации.

Трудности описанной выше модели (сильное поле, источник энергии нагрева) могут быть перемещены в другую плоскость, если предположить, как это сделано в работе [15] для другого пекулярного источника, что эта область излучения имеет много большую температуру (10^7 – 10^8 К). Тогда излучение генерируется на значительно более высоких гармониках гирочастоты магнитного поля ($s \approx 10$), и значение напряженности поля может быть еще в несколько раз снижено, что позволяет исключить противоречия с фотосферными измерениями напряженности поля. Проблема постоянного и стабильного локального источника энергии здесь полностью сохраняется и, опять-таки, связана скорее всего с определенным механизмом аннигиляции магнитной энергии (в горячем токовом слое?), генерируемой подфотосферными движениями и переносимой каким-то механизмом в корону.

Заметим, что два приведенных варианта подхода к построению модели радиоисточника имеют достаточно много общих черт: имеется аномальная область выделения энергии (нагрева) короны, расположенная над волокном на небольшой высоте — порядка $(10 \div 20) \cdot 10^3$ км. Эта энергия черпается из магнитной энергии в сложной конфигурации поля (закрученная петля, токовый слой). Последняя возникает в результате движения плазмы и, в частности, из-за выноса подфотосферных магнитных полей.

Вместо области нагрева можно было бы рассматривать процесс ускорения электронов. При этом картина явления не претерпела бы существенных изменений. Во всех вариантах наиболее загадочным является стационарность явления на масштабах нескольких суток, причем вспышки, происходящие в той же активной области, не разрушают источника радиоизлучения.

Литература

1. Структура активных областей на Солнце по наблюдениям на РАТАН-600 и VLA в июле 1982 г. / Ш. Б. Ахмедов, В. М. Богод, В. Н. Боровик и др. // *Астрофиз. исслед.* (Изв. САО). 1987. 25. С. 105–134.
2. The structure of solar active region from RATAN-600 and VLA-observations / Sh. B. Akhmedov, V. M. Bogod, V. N. Borovik et al. // *Astrophys. J.* 1986. 301. P. 460–464.
3. Ишков В. Н., Коробова З. Б., Могилевский Э. И. Эволюция структуры, собственных движений и некоторые особенности больших вспышек в мощной вспышечно-активной области июня–июля 1982 г. // *Publ. Debrecen Heliophys. Obs.* 1983. Vol. 5. P. 355–368.
4. An analysis of evolution of the active region on July, 1982 / E. I. Mogilevsky, V. A. Ioshpa, L. I. Starkova et al. // *Contribution of the Astronom. Obs. Skalnaté Pleso.* 1986. Vol. 15. P. 189–211.
5. Крюндаль А. В., Меркулов В. Б., Стоянова М. Н. Некоторые фотометрические характеристики тонкой структуры сложной группы пятен № 228–229 июля 1982 г. // *Солнеч. данные.* 1985. № 2. С. 79–83.
6. Огирь М. Б., Парфяненко Л. Д., Стоянова М. Д. К вопросу о вспышечной активности июльской группы 1982 г. // *Солнеч. данные.* 1984. № 9. С. 77–85.
7. Bachmann G., Hofmann A., Staude J. Results of vector magnetographic measurements in the active region SD, 228/229 on 15 July, 1982 // *Publ. Debrecen Heliophys. obs.* 1983. Vol. 5. P. 369–376.
8. Богод В. М., Гельфрейх Г. Б., Петров З. Е. Автоматизированный солнечный спектрально-поляризационный комплекс ИКАР-16 на радиотелескопе РАТАН-600 / *Астрофиз. исслед.* (Изв. САО). 1985. 20. С. 102–116.
9. Солнечные данные. 1982. № 7.

10. The measurement of magnetic fields in the solar atmosphere above sunspots using resonance emission / Sh. B. Akhmedov, G. B. Gelfreikh, V. M. Bogod, A. N. Korzhavin // *Solar Phys.* 1982. Vol. 79. P. 47—58.
11. Гельфрейх Г. Б. Активные области на Солнце. Структура активных областей // *Contribution of the Astronom. Obs. Skalnaté Pleso.* 1986. Vol. 15. P. 33—47.
12. Радиоструктура активных областей на Солнце / Ш. Б. Ахмедов, В. Н. Боровик, Г. Б. Гельфрейх и др. // Всесоюзный симпозиум солнечно-земной физики, Иркутск, 22—27 сентября 1986: Тез. докл. С. 30—32.
13. Коржавин А. Н. Особенности структуры локальных источников радиоизлучения на Солнце по наблюдениям с высоким разрешением: Канд. дис. Л., 1979.
14. On the search of current sheets in the solar atmosphere using radio observations / Sh. B. Akhmedov, V. M. Bogod, V. N. Borovik et al. // *Solar Maximum Analysis.* Ed. V. E. Stepanov, V. N. Obridko. VNU Sci. Press. 1987. P. 51—56.
15. Боровик В. Н., Ватрушин С. М., Коржавин А. Н. Радиохарактеристики активной области, связанной с протонной вспышкой 24 апреля 1985 г. по наблюдениям на РАТАН-600 // *Астрофиз. исслед.* (Изв. САО). 1989. 28. С. 123—131.
16. Ахмедов Ш. Б., Боровик В. Н., Коржавин А. Н. Высокотемпературные образования в короне активных областей как проявление вспышечной активности // Прогнозы солнечной активности и наблюдения солнечных активных явлений: Тез. докл. на симпозиуме КАИГ в Ленинграде 18—22 мая 1987 г. Л.: Наука, 1987. С. 51.
17. Эволюция вспышечно-активной области № 54 (февраль 1980 г.) по наблюдениям на РАТАН-600 / В. Н. Боровик, Н. А. Драке, А. Н. Коржавин, В. М. Плотников. Всесоюзная конференция «Физика Солнца», Алма-Ата, 22—26 июня 1987 г. Алма-Ата, 1987. С. 52.
18. Результаты наблюдения солнечного затмения 31 июля 1981 г. на волнах 2.0, 4.0, 13 и 28 см / Ш. Б. Ахмедов, В. М. Богод, В. Н. Боровик и др. *Исследования по геомагнетизму, аэронавигации и физике Солнца.* 1982. Вып. 62. С. 172—181.
19. Результаты наблюдения солнечного затмения 15 декабря 1982 г. на малых зеркалах и на РАТАН-600 в см- и дм-диапазонах волн // Ш. Б. Ахмедов, В. М. Богод, В. Н. Боровик и др. // XVI Всесоюзная конференция по радиоастрономическим исследованиям солнечной системы. Звенигород, октябрь 1984 г.: Тез. докл. М., 1984. С. 70.
20. X-ray and microwave observations of active regions / Webb D. F., Davis J. M., Kundu M. R., Velusamy T. // *Solar Physics.* 1983. 85. P. 267—283.
21. Lang K. R., Willson R. F., Gaisauskas V. VLA observations of Solar active regions. III: Multiple wavelength observations // *Astrophys. J.* 1983. 267, nr 1, pt. 1. P. 455—464.
22. Гельфрейх Г. Б. Микроволновая диагностика магнитных полей на Солнце // *Динамика токовых слоев и физика солнечной активности.* Рига: Зинатне, 1982. С. 416—424.
23. Петерова Н. Г., Кайрановский М. Н. Необычный источник солнечного радиоизлучения // *Солнеч. данные.* 1977. № 4. С. 70—74.

Пос тупила в редакцию
27 июля 1987 г.