

УДК 523.98

Структура активной области NOAA 8662 по радионаблюдениям частного солнечного затмения 11 августа 1999 г.

И. А. Будзиновская, М. А. Миронов, Л. И. Цветков

Крымская астрофизическая обсерватория Министерства образования и науки Украины
98904, Крым, Бахчисарайский район, п. Научный

По наблюдениям затмения Солнца на РТ-22 КраО с помощью поляриметрического комплекса см-диапазона волн определены параметры радиоисточника, связанного с группой пятен NOAA 8662 (SGD). Выделены четыре фрагмента радиоисточника с угловыми размерами 8–24", яркостными температурами 10^5 – 10^6 К и магнитными полями 0.03–0.05 Тл. Спектральные индексы по потоку имеют разные знаки для фрагментов радиоисточника, располагавшихся над мелкими пятнами и над порами, что может свидетельствовать о различных механизмах радиоизлучения этих корональных структур.

СТРУКТУРА АКТИВНОЇ ОБЛАСТІ NOAA 8662 ЗА РАДІОСПОСТЕРЕЖЕННЯМИ ЧАСТКОВОГО СОНЯЧНОГО ЗАТЕМНЕННЯ 11 СЕРПНЯ 1999 Р., Будзиновська І. А., Миронов М. О., Цветков Л. І. — За спостереженнями затемнення Сонця на РТ-22 КраО з допомогою поляриметричного комплексу см-діапазону хвиль визначені параметри радіоджерела, зв'язаного з групою плям NOAA 8662 (SGD). Виділені чотири фрагменти радіоджерела з кутковими розмірами 8–24", яскравісними температурами 10^5 – 10^6 К та магнітними полями 0.03–0.05 Тл. Спектральні індекси за потоком мають різні знаки для фрагментів радіоджерела, розміщених над дрібними плямами та над порами, що може свідчити про різні механізми радіовипромінювання цих корональних структур.

STRUCTURE OF AN ACTIVE REGION NOAA 8662 BY RADIO OBSERVATIONS OF THE PARTICULAR SOLAR ECLIPSE ON AUGUST 11, 1999, by Budzinovskaya I. A., Mironov M. A., and Tsvetkov L. I. — Parameters of the radio source, connected with the sunspot group NOAA 8662 (SGD) were determined using the radio telescope RT-22 of Crimean Astrophysical Observatory and the polarimetric complex for centimeter wavelengths. Four fragments were given off the radio source with the dimensions of 8-24 second of arc, the brightness temperatures 10^5 – 10^6 K, the local magnetic fields in the range 0.03–0.05 T. The flux spectral indexes have the different signs for the fragments over the small sunspots and over the pores. This fact may be an evidence of the different mechanisms of radio emission of these coronal structures.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из основных требований при детальном наблюдении радиоизлучения Солнца является обеспечение высокой разрешающей способности. Наиболее эффективными в этом отношении оставались до недавнего времени наблюдения солнечных затмений. Во время прохождения лунного диска по Солнцу появляется возможность уточнить положение и параметры локальных источников (ЛИ), располагающихся над пятнами, флоккулами и холмами магнитного поля, а также получить распределение интенсивности по источнику с разрешением несколько угловых секунд. При обычных наблюдениях это доступно только для таких радиоастрономических комплексов, как VLA, WSRT, Nobeyama Radio Heliograph [12, 13], разрешение которых — в интервале 2—10".

Со дня ввода в эксплуатацию радиотелескопа РТ-22 Крымской астрофизической обсерватории на нем проведены наблюдения трех частных затмений Солнца. Поляризационные наблюдения солнечного затмения 1968 г. в сантиметровом диапазоне позволили определить размеры и высоты источников повышенного излучения и их тесную связь с магнитным полем на уровне фотосферы [8]. По наблюдениям затмений 1976 и 1982 гг. показано, что радиоисточники на миллиметровых волнах имели одинаковые размеры в интенсивности и в циркулярно-поляризованном компоненте излучения с яркостными температурами порядка сотен тысяч кельвин [7, 9].

Изучение тонкой структуры в распределении радиояркости ЛИ имеет смысл при сравнении ее со структурой магнитным полем на фотосферном уровне. В настоящей работе анализируются результаты обработки данных спектрально-поляризационных наблюдений частного солнечного затмения 11 августа 1999 г. в диапазоне $\lambda\lambda = 2.0...3.5$ см с целью получения информации о пространственной структуре и физических параметрах активной области (АО) NOAA 8662 (SGD) [14].

ОПТИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ

Обстоятельства солнечного затмения в оптическом диапазоне были вычислены Н. С. Черных. Для местоположения РТ-22 КрАО оно продолжалось с 09^h57^m UT (момент I контакта) до 12^h38^m UT (момент IV контакта). В максимальной фазе затмения (11^h20^m UT) Луна закрывала 0.938 площади солнечного диска. Погода благоприятствовала наблюдениям — безоблачное небо и отсутствие ветровых нагрузок на конструкцию радиотелескопа.

Одновременно с наблюдениями на РТ-22 КрАО проводились наблюдения на телескопе Службы Солнца АФР-2. За 11 августа 1999 г. снято 15 фотогелиограмм в белом свете на фотопластинках ORWO. Данные, полученные с помощью АФР-2, обрабатываются с целью точного определения координат мелких пятен и пор для моментов закрытия и открытия по методике [10]. Положения центра диска Луны относительно центра диска Солнца в дискретные одной минуте моменты рассчитывались по программе, предоставленной нам А. Н. Коржавиным. В этом сообщении мы воспользовались материалами, опубликованными в [14].

На рис. 1 представлен результат компьютерной обработки пятен из SGD — RAMEY SUNSPOT, располагавшихся в южной полусфере диска Солнца. Оптические образования обозначены цифрами: 1 — мелкое пятно с ядром и полутенью, 2 — мелкое пятно и группа пор к востоку от него, 3 — группа из трех пор, 4 — мелкое пятно (или группа) с примыкающей порой к его полутени и отдельной порой к северу от них. Кривые отмечают

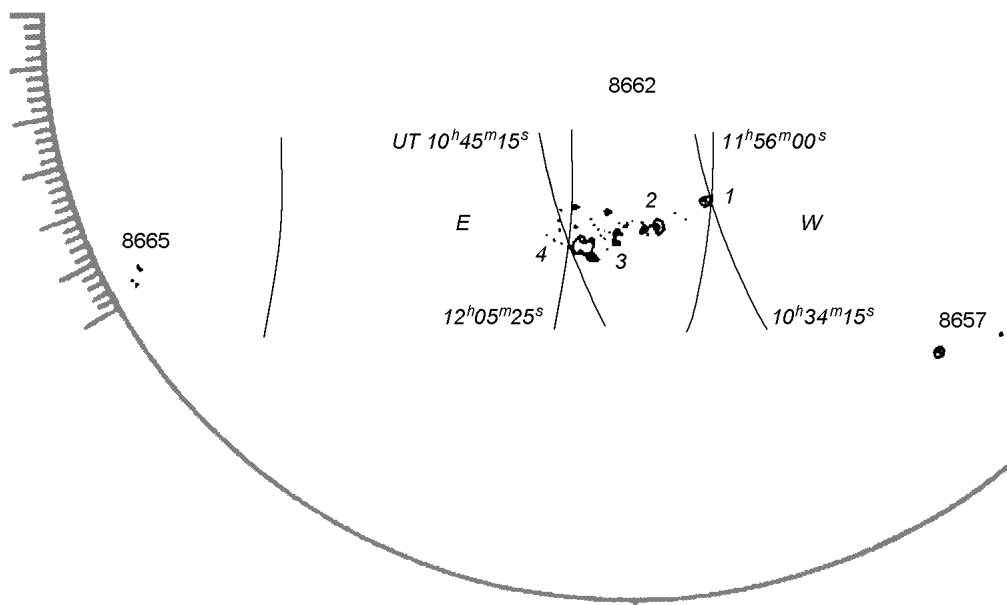


Рис. 1. Группа солнечных пятен 11 августа 1999 г. по SGD [14] и положения края диска Луны в моменты закрытия и открытия активной области NOAA 8662. Описание оптических образований 1, 2, 3, 4 см. в тексте

положения края диска Луны в моменты закрытия $10^{\text{h}}34^{\text{m}}15^{\text{s}}$ — $10^{\text{h}}45^{\text{m}}15^{\text{s}}$ UT и моменты открытия $11^{\text{h}}56^{\text{m}}00^{\text{s}}$ — $12^{\text{h}}05^{\text{m}}25^{\text{s}}$ UT группы пятен NOAA 8662. Поскольку снимок пятен сделан в $11^{\text{h}}39^{\text{m}}$ UT, то временные интервалы до начала закрытия (55 мин) и до конца открытия (36 мин) столь небольшие, что вполне можно допустить, что за это время не произошло каких-либо существенных изменений в этой группе пятен. Следует заметить, что по данным SGD в этой активной области наблюдалось еще около 25 мелких пор.

Сведения о магнитных полях в данной группе пятен получены нами от Н. Н. Степанян, см. также нашу страницу

http://www.crao.crimea.ua/Projects/solar.sunspot/DATA/1999_08/110899.GIF.

Согласно магнитограмме, полученной на БСТ-2 в п. Научный в $05^{\text{h}}00^{\text{m}}$ UT, магнитное поле в пятне 1, пятне 2 и в ближайших к нему порах, а также в отдельных порах 3 имело южную полярность. В группе мелких пятен с полутенью 4 и в микропорах, расположенных к северо-востоку от него, имелись магнитным полем северной полярности. Оптические данные представлены табл. 1.

Таблица 1. Оптические данные группы пятен NOAA 8662

Величина	Фрагменты			
	1	2	3	4
Начало акрытия	$10^{\text{h}}34^{\text{m}}15^{\text{s}}$	$10^{\text{h}}38^{\text{m}}35^{\text{s}}$	$10^{\text{h}}41^{\text{m}}35^{\text{s}}$	$10^{\text{h}}43^{\text{m}}40^{\text{s}}$
Конец закрытия	10 35 15	10 40 25	10 42 35	10 45 15
Начало открытия	11 56 00	11 59 00	12 02 00	12 03 25
Конец открытия	11 57 00	12 01 00	12 03 25	12 05 25
Размеры	0.38—0.42'	0.77—0.84'	0.38—0.55'	0.60—0.84'
Магнитные поля ядер, Тл	S0.24	S0.18—0.28	S0.19—0.28	N0.17—0.24

МЕТОДИКА НАБЛЮДЕНИЙ

Для наблюдения затмений Солнца мы применяли метод сопровождения активной области диаграммой направленности антенны. Сопровождение выбранных участков диска Солнца — стандартный режим наблюдений на РТ-22 КрАО.

Наблюдения солнечного затмения 1968 г. проводились на волне $\lambda = 3.15$ см [8], а наблюдения 1999 г. — на четырех волнах одновременно с регистрацией интенсивности и циркулярно-поляризованного компонента солнечного радиоизлучения. В период между двумя затмениями значительно улучшены параметры антенны РТ-22 КрАО, которая оснащена широкополосным облучателем диапазона 8–17 ГГц и чувствительной приемной аппаратурой. Поляризационный комплекс сантиметровых волн является одним из основных приемных устройств наблюдательной аппаратуры РТ-22 КрАО и вместе с системой управления его антенной образует единый комплекс для проведения радиоастрономических наблюдений [1]. В табл. 2 представлены сведения о параметрах радиотелескопа. Система управления радиотелескопа позволяла быстро производить переустановку антенны с одной точки диска Солнца на другую. Скорость движения Луны относительно Солнца при закрытии участка диска вблизи меридиана была равна $0.384''/\text{с}$, а при открытии — $0.412''/\text{с}$. Опрос восьми каналов поляриметра проводился за одну секунду с последующим усреднением по десяти измерениям, что соответствует разрешению около $4''$ в направлении движения края лунного диска.

Таблица 2. Параметры радиотелескопа РТ-22 КрАО

λ , см	Эффективная площадь, м^2	Размеры ДН	Инструментальная поляризация, %	Чувствительность радиометра, К	Температура спокойного Солнца, К
3.5	280	6.0'	0.05	0.3	8700
2.8	275	5.0	0.10	0.5	7800
2.3	245	4.1	0.15	0.2	6800
2.0	240	3.6	0.19	0.2	6400

В период, предшествующий затмению, были определены координаты максимума локального источника по результатам сканирования его диаграммой направленности антенны радиотелескопа. С $10^{\text{h}}20^{\text{m}}$ UT в течение 15 мин радиотелескоп сопровождал точку максимума в распределении радиояркости по источнику во время закрытия группы NOAA 8662. Во время открытия, с $11^{\text{h}}40^{\text{m}}$ UT, были установлены те же координаты. Положение максимума ЛИ совпало с положением группы пор на диске Солнца, обозначенных цифрой 3 на рис. 1.

Для оценки солнечной активности в период, охватывающий затмение, нами было проведено картографирование диска Солнца 10, 11 и 12 августа 1999 г. и построены радиокарты Солнца на волнах $\lambda\lambda$ 3.5, 2.8, 2.3 и 2.0 см в интенсивности. Радиокарты Солнца за указанный период можно найти на нашей страничке в интернете (см. выше). Примеры оформления радиоизображений Солнца на четырех волнах в интенсивности и поляризованной по кругу составляющей радиоизлучения по результатам наблюдений на РТ-22 КрАО представлены нами в каталогах и работе [2]. На рис. 2 показано радиоизображение Солнца, полученное в день затмения на волне $\lambda = 2.0$ см.

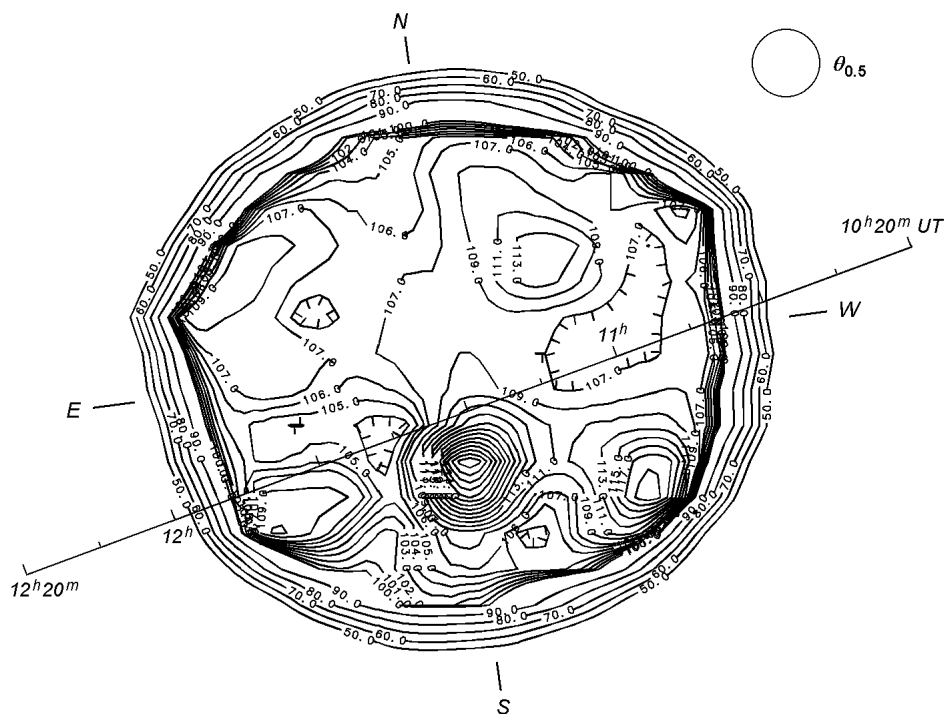


Рис. 2. Распределение радиояркости по диску Солнца в день затмения на волне $\lambda = 2.0$ см. Проведена траектория движения центра Луны по диску Солнца; указаны размеры диаграммы направленности антенны радиотелескопа

Таблица 3. Потoki радиоизлучения АО NOAA 8662

Дата, август 1999	S_{λ} , СЕП*			
	3.5 см	2.8 см	2.3 см	2.0 см
10	6.3	2.9	3.7	3.1
11	6.2	3.3	3.7	3.5
12	9.4	5.0	6.9	6.3

* 1 СЕП = 10^{-22} Вт/(м²Гц)

На нем же изображена расчетная траектория движения центра диска Луны относительно диска Солнца с нанесенной шкалой времени. Изотермы на изображении указаны в уровнях излучения невозмущенного Солнца.

Как показывает рис. 2, в этот день на Солнце наблюдалось несколько ЛИ. В северо-западной части на самом крае диска отмечалось повышенное радиоизлучение от зашедшей группы пятен. В южной полусфере находились три источника, связанные с группами пятен NOAA 8665, 8662, 8657 (по нумерации SGD), из которых наиболее сильным был ЛИ, располагавшийся вблизи центрального меридиана. Этот ЛИ явился главным объектом при наблюдениях на РТ-22 КраО данного затмения.

В табл. 3 представлены результаты измерения интенсивности излучения ЛИ активной области NOAA 8662 на основе трехдневных наблюдений на РТ-22 КраО в коротковолновой части см-диапазона длин волн. Интегральные значения степени поляризации радиоизлучения всего ЛИ за 11 августа

1999 г. находились в пределах 0.4—1 % в диапазоне $\lambda\lambda = 2.0\text{...}3.5$ см, причем разного знака поляризации (на волнах $\lambda\lambda = 3.5$ и 2.0 см — R , а на волне 2.3 см — L). На волне $\lambda = 2.8$ см поляризация излучения не зарегистрировалась по техническим причинам.

МЕТОДИКА ОБРАБОТКИ

Исследование активных областей включает в себя определение астрофизических параметров микроволнового излучения Солнца: потоков радиоизлучения, яркостных температур, спектральных индексов, степени поляризации локальных источников, а также их временных и пространственных изменений. Усредненная по радиоисточнику яркостная температура определялась нами следующим образом. Антенная температура T_a связана с плотностью потока радиоизлучения S_n (если пренебречь поглощением радиоизлучения атмосферой) следующей формулой:

$$T_a = S_n A / 2kg, \quad (1)$$

где A — эффективная площадь антенны, k — постоянная Больцмана, g — коэффициент, учитывающий соизмеримость угловых размеров диаграммы направленности (ДН) антенны и источника, который необходимо определить. Плотность потока S_n связана с яркостной температурой T_y , усредненной по источнику с телесным углом Ω_n , соотношением

$$S_n = 2kT_y \Omega_n / \lambda^2. \quad (2)$$

Подставляя значение из (2) в (1), получим

$$T_a = T_y g \lambda^2 / \Omega_n A. \quad (3)$$

Значения эффективной площади представлены в табл. 2. Величина антенной температуры радиоисточника T_a определяется по сканам с учетом значений антенных температур от спокойного Солнца на отдельных длинах волн, которые нами неоднократно измерялись. Значения Ω_n и g , входящие в формулу (3), определялись двумя способами. Коэффициент g в первом случае вычислялся по формуле, полученной из известного выражения:

$$g = 1 + (\Omega_n / \Omega_a)^2, \quad (4)$$

где Ω_a и Ω_n — ширины ДН антенны и источника по уровню 0.5. Эта формула справедлива для источников с гауссовым распределением радиояркостности и при гауссовой аппроксимации ДН, в предположении, что ДН имеет круговую симметрию. Это предположение в нашем случае выполняется достаточно точно (см. табл. 2).

Второй способ [3], позволяющий оценить g при произвольном распределении радиояркостности по источнику, но при известных его угловых размерах, применялся нами при вычислении интегральных параметров радиоизлучения локального источника.

При расчетах потоков, степени поляризации, спектральных индексов, магнитных полей на уровнях генерации радиоизлучения Солнца учитывались соотношения шкал и калибровочных уровней в каналах I и V , коэффициенты просачивания сигналов [4].

Значение потока вычислялись из следующего выражения:

$$S_n = S_{n0} I_n / I_0 g, \quad (5)$$

где I_n и I_0 — уровни источника и спокойного Солнца, $S_{n0} = 8.63, 7.80, 7.63, 7.38$ СЕП для $\lambda\lambda 3.5, 2.8, 2.3$ и 2.0 см.

Интегральная степень поляризации определялась из равенства

$$\rho = (R - L)/(R + L) = S_V/S_I \quad (6)$$

как отношение сигналов в каналах поляризации и интенсивности в предположении, что размеры источников в поляризованном и полном излучении совпадают. В данном случае это отношение потоков поляризованного компонента радиоизлучения и полной интенсивности. Величина спектрального индекса по потоку оценивалась по формуле

$$\alpha_s = [\ln(S_{\lambda 1}/S_{\lambda 2})]/[\ln(\lambda 1/\lambda 2)]. \quad (7)$$

Яркостная температура фрагментов ЛИ вычислялась из соотношения

$$T_{яф} = S_{иф}\lambda^2/2k\Omega_{иф} + T_{я0}, \quad (8)$$

где $S_{иф}$ — приращение потока, измеренное по ступенкам на кривых радиозатмения, $\Omega_{иф}$ — угловой размер излучаемого фрагмента. $T_{я0}$ — яркостная температура спокойного Солнца, $k = 1.38 \cdot 10^{-23}$ Вт/(К·Гц).

$$\Omega_{иф} = 4\pi \sin^2(\theta/4), \quad (9)$$

где θ — угловой размер источника. Величина спектрального индекса по яркостной температуре оценивалась по формуле

$$\alpha_T = [\ln(T_{я1}/T_{я2})]/[\ln(f2/f1)]. \quad (10)$$

По степени поляризации ρ и абсолютной величине α_T оценивалось среднее значение магнитного поля из выражения

$$B \approx 0.0356\rho f/|\alpha_T \cos\varphi|, \quad (11)$$

где f в ГГц, B в Тл. Следует заметить, что это выражение справедливо при определенных условиях распространения волн и при предположении о преимущественном вкладе теплового тормозного механизма. В нашем случае угол φ между направлением магнитного поля и лучом зрения не учитывается, так как равенство $|\cos\varphi| \approx 1$ выполняется, поскольку группа пятен NOAA 8662 находилась вблизи центрального меридиана. Точность измерения степени поляризации — около 0.3 %, без учета ошибок калибровки и паразитных эффектов. Согласно [5] при такой точности измерения степени поляризации минимальная определяемая величина продольной составляющей магнитного поля в области излучения будет около $3 \cdot 10^{-4}$ Тл.

Окончательным этапом обработки было вычисление производных от кривых радиозатмений. Как известно [6], производные dS/dt представляют собой одномерное распределение радиояркостности по ЛИ, причем площади под кривыми пропорциональны плотности потока радиоизлучения ЛИ. В некоторых случаях проводилась процедура усреднения оригинальных данных методом скользящего среднего.

ЗАКРЫТИЕ И ОТКРЫТИЕ ЛОКАЛЬНОГО ИСТОЧНИКА

На рис. 3 приведены кривые изменений потока на волне $\lambda = 3.5$ см в интенсивности (вверху) и поляризованном излучении (внизу), соответствующие интервалам времени, в течение которых происходило закрытие (слева) и открытие (справа) ЛИ диском Луны. По оси ординат отложена плотность потока радиоизлучения. Перепады на кривых, обозначенные цифрами, соответствуют закрытию и открытию оптических образований согласно рис. 1.

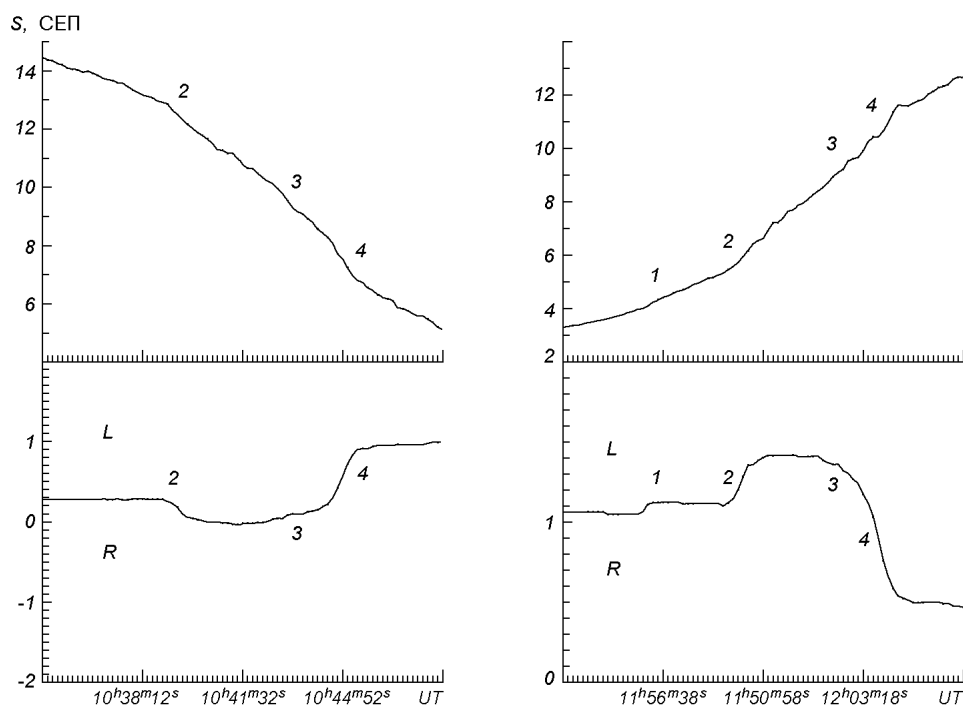


Рис. 3. Кривые изменения потока радиоизлучения от участка на Солнце с АО NOAA 8662, охваченной диаграммой направленности телескопа, на волне $\lambda = 3.5$ см во время закрытия (слева) и открытия (справа) локального источника диском Луны. Наверху — изменения потока в интенсивности, внизу — в поляризации. Номерами обозначены фрагменты радиоисточника (см. рис. 1). R, L — знаки круговой поляризации источников повышенного радиоизлучения

Поскольку наибольший размер группы пятен составлял около $3'$, а на этой волне диаграмма антенны равна $6'$, то можно обнаружить все составляющие ЛИ, связанные с отдельными пятнами. Положение и размеры источников поляризованного излучения наилучшим способом определяются по моментам их закрытия и открытия диском Луны. Для подтверждения этого обратимся к нижним кривым, на которых четко проявляются закрытие и открытие фрагментов 1, 2, 3 и 4 ЛИ. Причем фрагменты 1 и 2 были поляризованы по левому кругу, а фрагменты 3, 4 — по правому. Соответствующие им неоднородности на кривых закрытия и открытия в интенсивности легко отождествляются.

Измененные по этим кривым размеры фрагментов ЛИ в поляризованном излучении несколько превышают размеры теней пятен. На обеих кривых радиозатмений фрагментов ЛИ в поляризованном излучении отмечаются неоднородности с угловыми размерами $4-8''$, располагающиеся между фрагментами 2 и 4, которые можно отнести к открытию пор или мелкоструктурных элементов магнитного поля.

По аналогичной методике обрабатывались данные наблюдений интенсивности и поляризации на волнах $\lambda\lambda$ 2.8, 2.3 и 2.0 см. Результаты вычислений параметров ЛИ по формулам (6)–(11) представлены в табл. 4. Здесь указаны моменты начала и конца закрытия и открытия фрагментов ЛИ, измеренные по затменным кривым в интенсивности (I) и в поляризации (V), причем для фрагмента 1 эти моменты определялись по данным на волне $\lambda = 3.5$ см (на рис. 3 не показаны). При вычислении яркостных

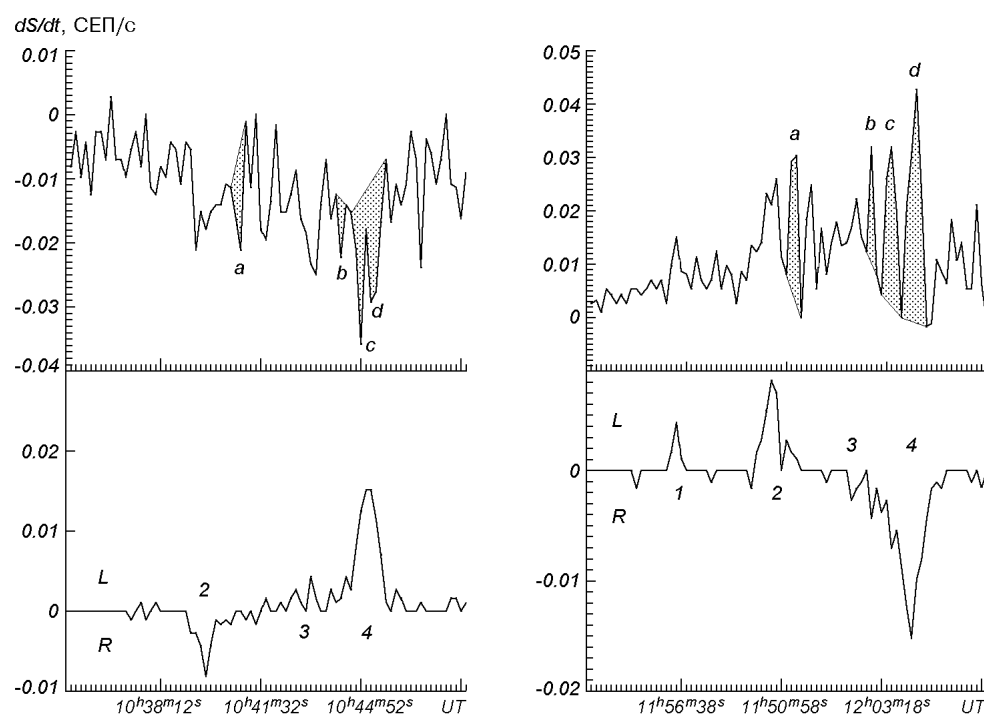


Рис. 4. Производные затменных кривых на волне 3.5 см. *a, b, c, d* — некоторые локальные распределения радиояркости в источниках, располагавшихся над порами и мелкими пятнами. Остальные обозначения — такие же, как на рис. 3

температур ядер размеры излучающих фрагментов брались по оптическим данным (размеры теней пятен).

На рис. 4 представлены результаты вычислений производной от кривых закрытия и открытия на волне $\lambda = 3.5$ см. Одномерное распределение радиояркости ЛИ в полной интенсивности — наверху, а в поляризации — внизу. Обозначения фрагментов такие же, как и на рис. 3. На кривых производных интенсивности некоторые малоразмерные фрагменты источников обозначены буквами *a, b, c, d*. Из сопоставления с оптическими данными (рис. 1) следует, что эти источники связаны с мелкими пятнами и порами, располагавшимися вблизи полутеней пятен 2 (*a*) и 4 (*b*), и в пределах полутени 4 — *c, d*. Угловые размеры этих мелкоструктурных элементов составляют 8—16".

Оценка величины магнитных полей по площадям под кривыми производных для отдельных фрагментов показала, что на уровне излучения на волне $\lambda = 3.5$ см магнитные поля в радиоисточниках *a, b, c, d* равны 0.067, 0.024, 0.021, 0.034 Тл соответственно.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Результаты обработки спектрально-поляризационных наблюдений затмения 11 августа 1999 г. совместно с некоторыми оптическими данными позволяют оценить параметры магнитного поля короны над мелкими пятнами и порами. Высоты радиоизлучения источников можно будет оценить после координатных измерений изучаемой группы пятен.

В работе [11] Н. В. Стешенко показал, что напряженность магнитным полем мелких пятен (диаметр 6—12") на 0.02—0.03 Тл выше, чем средняя

Таблица 4. Параметры локального источника

Параметр		Фрагменты ЛИ			
		1	2	3	4
Закрытие, УТ (I)	начало	10 ^h 34 ^m 00 ^s	10 ^h 39 ^m 05 ^s	10 ^h 42 ^m 40 ^s	10 ^h 44 ^m 30 ^s
	конец	10 35 20	10 40 05	10 43 20	10 45 20
Открытие, УТ (I)	начало	11 55 55	11 58 40	12 02 10	12 03 10
	конец	11 56 30	11 59 40	12 02 40	12 04 30
Средний поток (I), СЕП	3.5 см	0.43	0.69	0.36	0.94
	2.8 см	0.33	0.61	0.38	0.49
	2.3 см	0.28	0.51	0.52	0.80
	2.0 см	0.20	0.28	0.55	0.84
Закрытие, УТ, -V ($\lambda = 3.5$ см)	начало	—	10 40 00	10 43 30	10 45 30
	конец	—	10 40 50	10 44 20	10 46 30
Открытие	начало	11 55 50	11 59 00	12 01 50	12 03 10
	конец	11 56 10	11 59 40	12 02 30	12 04 20
Размеры ЛИ	(I)	0.3'	0.4'	0.28'	0.42'
	(V)	0.13'	0.28'	0.27'	0.38'
$T_{\text{я}}$ (I), 10 ⁵ К	3.5 см	3.38	3.04	3.17	3.73
	2.8 см	1.70	1.74	2.18	1.30
	2.3 см	1.01	1.2	1.24	0.9
	2.0 см	2.59	0.48	1.63	1.12
$T_{\text{я}}$ ядер (I), 10 ⁶ К	3.5 см	1.75	0.60	0.34	0.45
	2.8 см	0.86	0.34	0.23	0.15
ρ , %	3.5 см	30 (L)	37 (L)	22 (R)	81 (R)
Спектр. индекс по потоку	3.5—2.8 см	1.18	0.56	-0.25	2.96
	2.3—2.0 см	2.43	4.29	-0.4	-0.35
B , Тл		0.028	0.043	0.038	0.049

напряженность поля самых мелких пор. Напряженность магнитного поля около 0.10—0.12 Тл является минимальной в пятнах или порах.

Известно, что появление во флоккульном поле маленьких пятен и пор, напряженность магнитного поля которых на уровне фотосферы превышает 0.1 Тл, приводит к магнито-тормозному излучению вышележащих слоев солнечной атмосферы, вследствие чего сразу же наблюдается поляризованное излучение локальных источников микроволнового излучения.

Полученные нами результаты по измерениям магнитного поля над мелкими пятнами и порами в какой-то степени подтверждают более ранние наблюдения структуры ЛИ на РТ-22 КраО во время затмений [7—9]. Однако имеется ряд трудно объяснимых особенностей. Обращает на себя внимание то, что излучение фрагмента 3 (группа пор) имеет правополяризованную составляющую. Так как он локализован над группой пор с S-полярностью, то его излучение следует ожидать левополяризованным, что соответствовало бы преобладанию необыкновенной волны в его излучении. По-видимому, поле над порами имеет более сложный характер, чем это следует из общепринятых моделей. Об этом же свидетельствует отличительный характер спектра этого фрагмента в диапазоне $\lambda\lambda = 2.0...3.5$ см (табл. 4).

Согласно рис. 3, 4 и табл. 4 поляризованное по кругу излучение частично локализовано также в отдельных компонентах, размеры которых близки к размерам компонентов в интегральном излучении. В то же время обращает на себя внимание также отличие размеров ЛИ в полной интенсивности и в поляризации при открытии и закрытии компонента 4 (мелкие пятна с полутенью) данной группы пятен. Если в интегральном излучении разрешаются два источника размерами около 8", то в поляризованном излучении эти источники как бы имеют общую магнитную структуру. Согласно нашим результатам [8] источники поляризованного излучения

располагаются ниже в атмосфере Солнца, следовательно, это — вышележащие неполяризованные источники.

Таким образом, можно сделать следующие выводы, касающиеся источников радиоизлучения группы пятен NOAA 8662, наблюдавшихся на Солнце 11 августа 1999 г.

1. Впервые измерены магнитные поля мелкоструктурных образований в переходной зоне и нижней короне Солнца, располагавшихся над мелкими пятнами и порами. Значения магнитных полей находятся в пределах 0.03—0.05 Тл. Степень поляризации радиоизлучения составляла 30—80 %. Знак поляризации излучения ядер мелких пятен соответствовал преимущественному излучению необыкновенной волны.

2. Спектр источников над мелкими пятнами — падающий, т. е. поток уменьшался с уменьшением длины волны — спектральный индекс положительный. В то же время для источников над порами спектральный индекс отрицательный. Спектр радиоизлучения хвостового пятна и группы пор (фрагмента 4) имеет излом, что свидетельствует о наложении двух типов излучения.

3. Значения яркостных температур мелкоструктурных элементов 10^5 — 10^6 К являются характерными для тех слоев атмосферы Солнца, где генерируется излучение в коротковолновой части сантиметрового диапазона. Размеры радиоизлучающих элементов близки к оптическим размерам (пятно + полутень).

Наблюдения затмения Солнца 11 августа 1999 г. позволили не только подтвердить ряд ранних результатов [6—8], но и получить некоторые дополнительные сведения о локальных источниках на Солнце. Здесь наибольший интерес, на наш взгляд, представляет обнаружение тонкой структуры источников неполяризованного и поляризованного излучения, а так же их связи с магнитными полями мелких пятен и пор.

Авторы благодарны П. В. Матвееву и А. Н. Бабину за обеспечение наблюдений на АФР-2, а также А. Н. Коржавину за предоставление программы расчета эфемерид затмения.

1. Баранов Н. В., Миронов М. А., Никитин П. С., Цветков Л. И. Модернизированный поляриметрический комплекс сантиметровых волн и его применение для наблюдений Солнца // Кинематика и физика небес. тел.—1998.—14, № 1.—С. 89—96.
2. Баранов Н. В., Будзиновская И. А., Цветков Л. И. Результаты анализа двумерных радиокарт Солнца за период 1990—1997 г. // Кинематика и физика небес. тел.—1998.—14, № 6.—С. 531—536.
3. Бачурин А. Ф., Дворяшин А. С., Ерюшев Н. Н., Цветков Л. И. Связь изменений радиояркости Солнца с холмами магнитного поля и флоккулами в период минимума солнечной активности // Изв. Крым. астрофиз. обсерватории.—1981.—64.—С. 152—162.
4. Гранат А. Д., Цветков Л. И. Наблюдения солнечных областей и всплесков на волнах 3.5, 2.8, 2.25 и 1.95 см // Изв. Крым. астрофиз. обсерватории.—1993.—88.—С. 85—96.
5. Гельфрейх Г. Б. О возможности измерения слабых магнитных полей Солнца по радиоастрономическим наблюдениям // Астрон. циркуляр.—1972.—№ 699.—С. 3—5.
6. Гельфрейх Г. Б., Коржавин А. Н., Шемякин Г. Ф. Результаты поляризационных наблюдений солнечного затмения 20 мая 1966 г. на волнах 2 и 4.9 см // Радиоастрономические наблюдения солнечного затмения 20 мая 1966 г. — М.: Наука, 1972.—С. 50—67.
7. Домнин С. Л., Ефанов В. А., Корсенский В. А. и др. Структура локального источника на Солнце по наблюдениям затмения при помощи РТ-22 КАО АН СССР в интегральном и циркулярно-поляризованном излучении на волне 1.35 см // Изв. Крым. астрофиз. обсерватории.—1978.—58.—С. 35—39.
8. Ерюшев Н. Н., Цветков Л. И. О геометрии локальных источников на Солнце по наблюдениям затмения 22 сентября 1968 года // Изв. Крым. астрофиз. обсерватории.—1972.—44.—С. 112—121.
9. Ефанов В. А., Моисеев И. Г., Нестеров Н. С. Структура активной области на волне 1.35 см по затменным наблюдениям 15 декабря 1982 г. // Изв. Крым. астрофиз. обсерватории.—1985.—71.—С. 100—103.

10. *Матвеев П. В., Юровский Ю. Ф.* Координаты оптических образований на диске Солнца во время затмения 29 апреля 1976 г. // Солнеч. данные.—1977.—№ 5.—С. 86—93.
11. *Стешенко Н. В.* Магнитные поля мелких солнечных пятен и пор // Изв. Крым. астрофиз. обсерватории.—1967.—37.—С. 21—28.
12. *Kundu M. R.* Highlights of microwave solar research with large sidereal arrays // Proc. of Symp. on Nobeyama Radio-Heliograph.—26–28 Nov.—1990.—P. 35—40.
13. *Nokajima H. and Radioheliograph Group.* A new Radioheliograph of Nobeyama // Proc. of Symp. on Nobeyama Radioheliograph.—26–28 Nov. 1990.—P. 3—15.
14. *Solar Geophysical Data.*—1999.—N 662.—P. 54, 84, 59.

Поступила в редакцию 13.04.00