

## РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЙ СОЛНЕЧНОГО ЗАТМЕНИЯ 24 ДЕКАБРЯ 1973 г. В ГАВАНЕ НА ВОЛНАХ 2.0 И 4.5 см

*М. Н. Кайдановский, Н. Г. Петерова, Р. Родригес*

По наблюдениям солнечного затмения 24 XII 1973 на поляриметре Гаванской радиоастрономической станции приводится одномерное распределение яркости для двух локальных источников, сопровождавших биполярные группы пятен  $S_p=175$  и 670 м. д. п.). Установлено, что основная часть излучения сосредоточена в источниках, расположенных над головными и хвостовыми пятнами группы. Определены спектральная плотность излучения, степень поляризации и размеры этих источников. Утверждается, что источник над головными пятнами имеет главным образом магнитотормозную природу излучения, в то время как источник хвостовой части группы в основном обязан своим происхождением тормозному излучению тепловых электронов. Показано, что только над крупными пятнами на волнах  $\lambda > 4$  см область излучения лежит в короне, где температура достигает  $(2\div 3)\cdot 10^6$  °К. На более коротких волнах, а также в случае мелких пятен излучение локального источника формируется в переходном слое между хромосферой и короной.

From the observations of the December 24, 1973 solar eclipse with the polarimeter of the Havana Radioastronomical Station there presented the one-dimensional distribution of brightness for two local sources accompanying the bipolar groups of spots ( $S_p=175$  and 670 millionth parts of hemisphere). It is found that most of the radiation is concentrated in the sources above the head and tail spots of the group. The spectral density of radiation, the degree of polarisation, and the dimensions of these sources are determined. It is asserted that the source above the head spots has mainly the synchrotron nature of radiation, while the source of the tail part of the group is mainly due by its origin to the synchrotron radiation of thermal electrons. It is shown that only above large spot at  $\lambda > 4$  cm the radiation region lies in the corona where the temperature amounts to  $(2\div 3)\cdot 10^6$  °K. At shorter wavelengths and in the case of small spots the radiation of the local source is formed between the chromosphere and the corona.

Наблюдения затмений, как известно, весьма эффективно используются в качестве одного из методов исследований радиоизлучения Солнца начиная с самых первых шагов солнечной радиоастрономии [1] и до настоящего времени. Метод солнечных затмений применяется для изучения атмосферы спокойного Солнца и, главным образом, физических условий в источниках  $S$ -компоненты, связанных с активными образованиями на Солнце. Многие из принципиально важных результатов, касающихся оценки электронной температуры и концентрации, величины магнитного поля и распределения этих параметров с высотой над фотосферой, были впервые установлены или существенным образом уточнены при наблюдении солнечных затмений (см. например [2—4]).

Учитывая ценность затменных наблюдений, следует считать, что поляриметр Гаванской радиоастрономической станции (ГРС) [5] оказался удачно расположенным. За семь лет работы этого инструмента, в обычное время ведущего регулярную службу потоков и всплесков в сантиметровом диапазоне волн [6], с его помощью проведены наблюдения пяти солнечных затмений: 11 IX 1969, 7 III 1970, 10 VII 1972, 24 XII 1973 и 13 XII 1974 г. Для исследования активной атмосферы Солнца пригодными оказались три из них; затмение 11 IX 1969, 7 III 1970 и 24 XII 1973. Результаты наб-

людений первых двух затмений опубликованы в [7, 8]. В настоящей работе приводятся результаты исследования локальных источников (л. и.)  $S$ -компоненты радиоизлучения Солнца по наблюдениям затмения 24 XII 1973.

**Обстоятельства затмения и его наблюдений.** Астрономические обстоятельства затмения 24 XII 1973 в Гаване для исследования л. и. были достаточно благоприятными. Несмотря на то что на 1974 г. приходился (согласно прогнозу) самый глубокий минимум текущего (20-го) цикла солнечной активности, в день затмения на Солнце имелось 4 группы пятен, две из которых, причем наиболее крупные, попадали в зону покрытия (рис. 1). В месте наблюдения ( $i = +82^{\circ}28'W$ ,  $\varphi = +23^{\circ}05'N$ ) затмение началось практически при восходе Солнца, поэтому удалось зарегистрировать только открытие л. и., принадлежавших этим группам пятен.

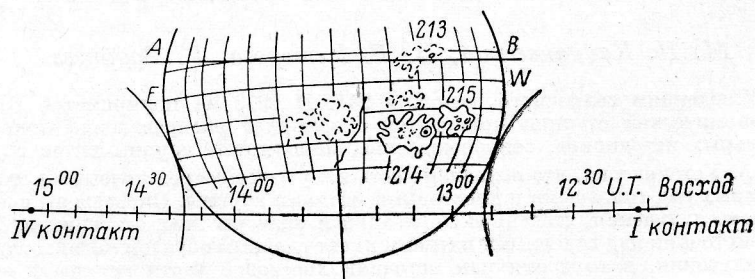


Рис. 1. Траектории центра Луны относительно Солнца в день затмения 24 XII 1973.

Положение пятен, их нумерация и контуры флоккулов даны согласно бюллетеню «Солнечные данные», 1973, № 12. Линия АВ указывает границу покрытия Солнца Луной.

Наблюдения затмения 24 VII 1973 в отличие от предыдущих затмений на поляриметре ГРС были выполнены на двух волнах — 2.0 и 4.5 см. На обеих волнах производился анализ круговой поляризации излучения, т. е. фиксировались параметры Стокса  $I$  и  $V$ .

Принцип совмещения поляризационных облучателей на одном зеркале, а также технические характеристики поляриметра ГРС на обеих волнах приведены в [5].

При наблюдениях затмения 24 VII 1973 использовался известный метод квазиулевого приема сигналов. Накануне дня затмения, исходя из имевшихся в нашем распоряжении сведений о площади покрывавшихся групп пятен и учитывая результаты статистического исследования л. и. [9], мы предвычислили ожидаемые затменные кривые и составили программу наблюдений. Величина раскомпенсации на обеих волнах не превышала  $\pm 11\%$ , что позволило более чем на порядок уменьшить флуктуации регистрируемого сигнала (до 0.1—0.2% от полного сигнала Солнца), вызванные плаванием коэффициента усиления приемников.

Атмосферные условия наблюдений были хорошие. Несмотря на то что в период открытия активных областей высота Солнца над горизонтом была сравнительно невелика ( $h_{\odot} \approx 13 \div 20^{\circ}$ ), флуктуации атмосферного происхождения составляли 0.3% от внезатменного Солнца на волне 4.5 см и  $\sim 0.4\%$  на волне 2.0 см, что для Гаваны следует считать удовлетворительным.

Обработка затменных кривых выполнялась способом, указанным в [7], т. е. сглаживались кривые и вычислялись их производные. Поскольку качество записей на волне 2.0 см было несколько хуже, чем на волне 4.5 см, при обработке наблюдений на этой волне пришлось увеличить интервал усреднения  $\Delta t$ . Если на волне 4.5 см оптимальным оказался  $\Delta t = 32^{\circ}$ , что для наиболее сильного л. и. группы пятен № 214 соответствует разрешаю-

щей способности  $\theta=9''$ , то на волне 2.0 см интервал  $\Delta t=64^s$ , что отвечает  $\theta=18''$ .

На рис. 2 и 3 представлены сглаженные затменные кривые и их производные в период открытия двух наиболее крупных групп пятен: № 214 —  $S_p=670$  м. д. п. и № 215 —  $S_p=175$  м. д. п. Пунктиром указана производная кривая покрытия диска Солнца равномерной яркости радиусом  $R=1.06 R_\odot$ .

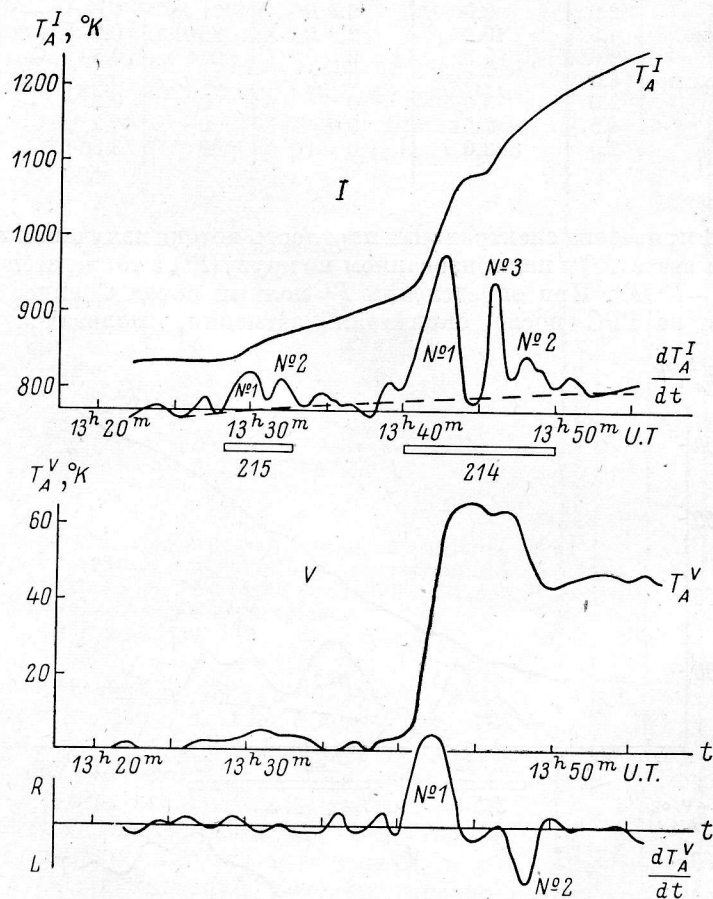


Рис. 2. Участок затменной кривой, полученной на волне 4.5 см в каналах I и V.

Под каждой кривой представлена ее производная. Интервал усреднения  $\Delta t=32$  сек.

**Результаты наблюдений.** Анализ затменных кривых и сопоставление с оптическими данными показали, что обе группы пятен сопровождались л. и. Исходя из наших наблюдений на каждой волне, можно определить спектральную плотность излучения, степень поляризации, размеры и высоту области излучения над фотосферой для всего л. и. в целом и для отдельных его деталей, поскольку в обоих случаях удалось зарегистрировать тонкую структуру области излучения. Кроме того, располагая данными на двух волнах, мы можем составить представление о характере спектра в этом диапазоне (2.0—4.5 см).

Результаты обработки для л. и. группы пятен № 214 представлены в табл. 1 и 2.

ТАБЛИЦА 1

Деталь	$\lambda$ , см	$F^I$ , $10^{-22}$ Вт/(м <sup>2</sup> ·Гц)	$F^V$ , $10^{-22}$ Вт/(м <sup>2</sup> ·Гц)	$P$ , %	$\theta^I$ , угл. мин.	$\theta^V$ , угл. мин.	$T_B$ , $10^6$ °К
Весь источник	2.0	19.5	6.4 R	33 R	3.5	—	—
	4.5	14.0	1.8 R	13 R	2.8	—	—
Деталь 1	2.0	9.0	6.4 R	71 R	1.0	—	0.2
Головное пятно	4.5	10.0	2.5 R	25 R	0.7	0.7	2.5
Деталь 2	2.0	5.5	0	0	0.5	—	0.5
Хвостовое пятно	4.5	1.5	0.7 L	51 L	0.6	0.3	0.4
Деталь 3	2.0	3.0	0	0	0.2	—	1.1
	4.5	2.5	0	0	0.2	—	5.2
Флоккул	2.0	2.0	0	0	3.5	—	—

В табл. 1 приведена спектральная плотность потока излучения в неполяризованном свете ( $F^I$ ) и поляризованном по кругу ( $F^V$ ), а также степень поляризации  $P = F^V/F^I$ . При определении  $F^I$  полный поток Солнца, согласно измерениям на ГРС после окончания затмения, полагался равным

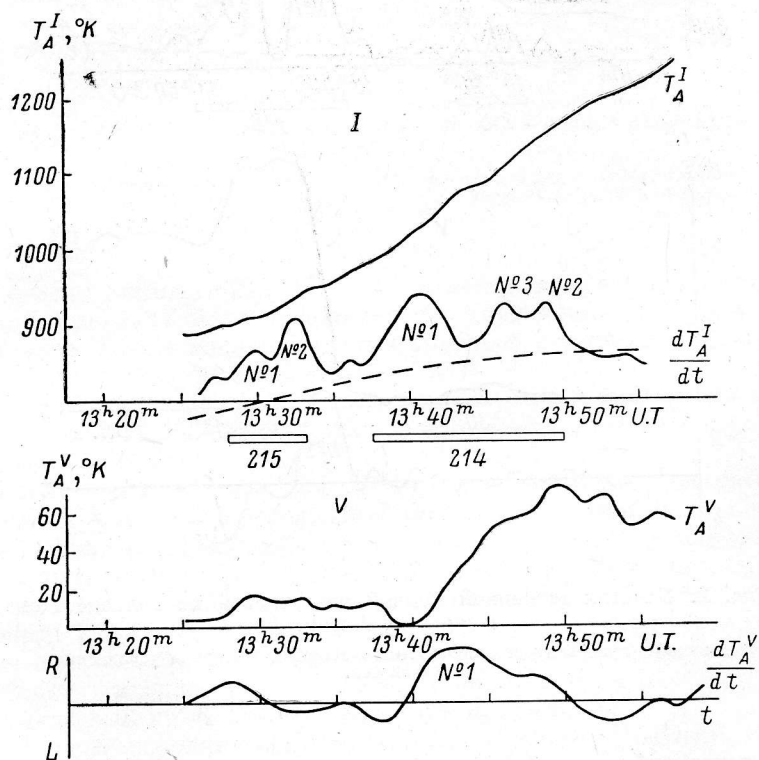


Рис. 3. Участок затменной кривой, полученной на волне 2.0 см.  
Интервал усреднения  $\Delta t = 64$  сек.

$170 \cdot 10^{-22}$  Вт/(м<sup>2</sup>·Гц) на волне 4.5 см и  $550 \cdot 10^{-22}$  Вт/(м<sup>2</sup>·Гц) на волне 2.0 см. Размеры  $\theta^I$  всей области излучения л. и. и флоккула в табл. 1 даны по нулевому уровню излучения, а для деталей 1, 2 и 3 — по  $0.5 \partial T_A^I / \partial t$ . Яркостные температуры  $T_B$  вычислены в предположении круговой симметрии области излучения, диаметр которой равен  $\theta^I$ .

В табл. 2 приведены моменты контактов лунного края с различными деталями л. и. группы пятен № 214. Табл. 2 иллюстрируется рис. 4. На этом

рисунке вид группы пятен № 214 дан согласно снимку, полученному на ГРС в  $14^h 30^m$  У. Т. Положение краев Луны приведено к моменту получения снимка путем введения поправок в координаты центра Луны, учитывающих вращение Солнца. Расчет поправок выполнен А. Н. Коржавиным.

На рис. 5 представлен спектр отдельных деталей л. и. группы пятен № 214. Здесь же указан спектральный индекс  $n$ .

Для группы пятен № 215, имевшей сравнительно небольшую площадь, также удалось зафиксировать тонкую структуру принадлежавшего ей л. и. В табл. 3 приведены параметры этого л. и.

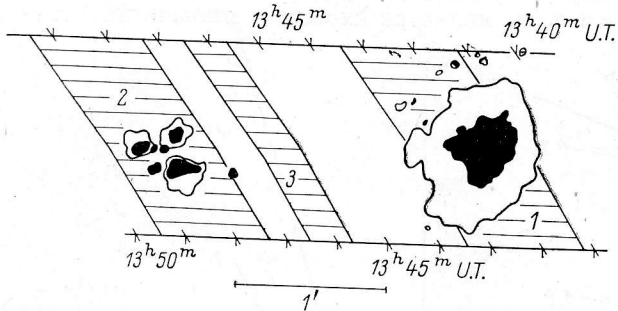


Рис. 4. Положение лунного края в момент контакта с различными деталями источника неполяризованного излучения группы пятен № 214 на волне 4.5 см в период открытия этой группы.

Спектр излучения л. и. группы пятен № 215 представлен на рис. 6. Рис 7 демонстрирует положение всей области излучения л. и. на волне 4.5 см относительно группы пятен.

В связи с тем, что спектр является одной из основных характеристик л. и., представляет интерес исследование л. и., в частности, и во время солнечных затмений методом, предложенным в [10], который позволяет определять наклон спектра. Очевидно, располагая независимыми наблюдениями на двух волнах, мы можем получить разность затменных кривых, которая будет характеризовать наклон спектра в диапазоне 2.0—4.5 см. На рис. 8 представлены результаты таких вычислений. Полученная кривая может быть полезной при сравнении с результатами определения наклона спектра в более узком диапазоне.

Сопоставление результатов наблюдений солнечного затмения 24 XII 1973, полученных на ГРС, с результатами других наблюдений этого же затмения [11, 12] показывает, что в тех случаях, когда такое сопоставление правомерно, величина спектральной плотности потока излучения, степень поляризации и размеры л. и. совпадают с точностью 10—30%.

ТАБЛИЦА 2

$\lambda$ , см	Открытие детали 1 (головное пятно)				Открытие детали 2 (хвостовое пятно)				Открытие детали 3	
	Начало		Конец		Начало		Конец		Начало	Конец
	I	V	I	V	I	V	I	V	I	I
2.0	$13^h 39^m 00^s$	$13^h 41^m 00^s$	$13^h 42^m 12^s$	$13^h 48^m 20^s$	$13^h 47^m 42^s$	$13^h 49^m 12^s$	$13^h 48^m 44^s$	$13^h 45^m 45^s$	$13^h 46^m 42^s$	
4.5	$13^h 41^m 42^s$	$13^h 40^m 48^s$	$13^h 43^m 28^s$	$13^h 43^m 18^s$	$13^h 47^m 22^s$	$13^h 49^m 33^s$	$13^h 47^m 36^s$	$13^h 45^m 42^s$	$13^h 46^m 32^s$	

Примечание. Время всемирное.

ТАБЛИЦА 3

Деталь	$\lambda$ , см	$F^I$ , $10^{-22}$ Вт/(м <sup>2</sup> · гц)	$P$ , %	$\theta^I$ , угл. мин.	$T_B$ , $10^6$ °К
Весь источник	2.0	9.0	—	1.4	—
	4.5	3.5	4 R	1.2	—
Деталь 1	2.0	3.0	—	0.4	0.5
	4.5	2.5	11 R	0.5	1.0
Деталь 2	2.0	6.0	—	0.4	0.6
Хвостовое пятно	4.5	1.0	14 L	0.4	0.5

Примечание. Использованы те же обозначения и предположения, что и в табл. 1.

**Обсуждение результатов.** Наблюдения солнечного затмения 24 XII 1973 еще раз показали, что л. и. является сложным многокомпонентным

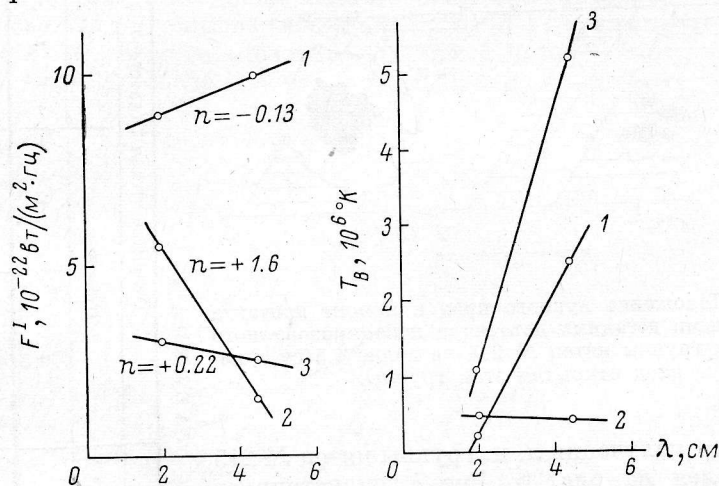


Рис. 5. Спектр плотности потока излучения и яркостных температур отдельных деталей л. и. группы пятен № 214. 1 и 2 — источники, принадлежащие головной и хвостовой деталям л. и. соответственно, 3 — межпятенной детали.

образованием, отдельные детали которого имеют резко отличающиеся друг от друга свойства. На примере исследованных здесь двух л. и. видно,

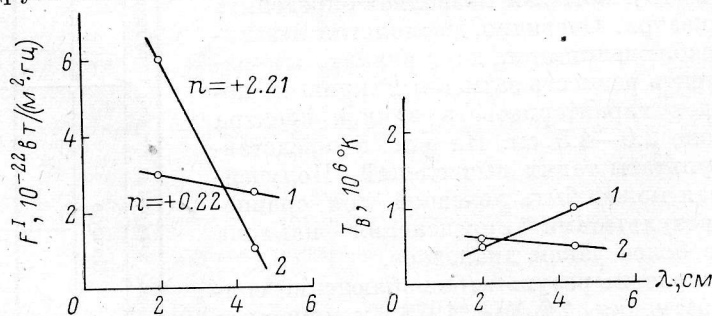


Рис. 6. То же, что и на рис. 5, для л. и. группы пятен № 215.

что структура л. и. в основном тождественна структуре группы пятен, т. е. главные детали структуры хорошо ассоциируются с пятнами группы. Это свойство структуры л. и. в данном случае проявляется особенно наглядно, ибо «галло», на фоне которого, согласно [4, 7, 8], обычно наблю-

даются яркие детали л. и., здесь выражено довольно слабо у обоих л. и., его амплитуда в распределении яркости составляет  $< 20\%$  амплитуды детали, связанной с головной частью группы.

Наиболее очевидна интерпретация излучения, генерируемого деталью 1, генетически принадлежащей головному пятну группы № 214. Для этого источнику характер спектра и поляризации вполне соответствует нашим представлениям о магнитотормозном излучении. Однако только на волне 4.5 см область, ответственная за поляризованное излучение, практически совпадает по положению и размерам с источником неполяризованного излучения, который в свою очередь по протяженности близок к размерам полутени главного пятна. Принимая это во внимание, излучение детали 1 на волне 4.5 см можно считать полностью обусловленным излучением тепловых электронов на гармониках гирочастоты и оценить электронную температуру второго ( $s=2$ ) и третьего ( $s=3$ ) гирорезонансного уровней. По нашим расчетам,  $T_e(s=2)=1.9 \cdot 10^6$ , а  $T_e(s=3)=3.1 \cdot 10^6$  °К.

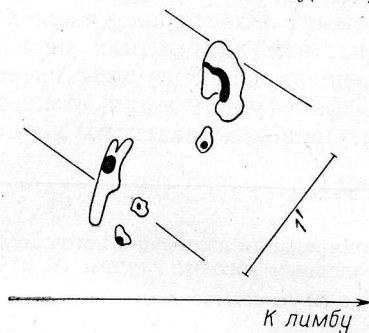


Рис. 7. Границы области излучения л. и., сопровождавшего группу пятен № 215, на волне 4.5 см.

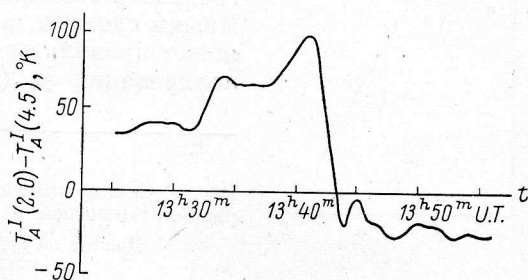


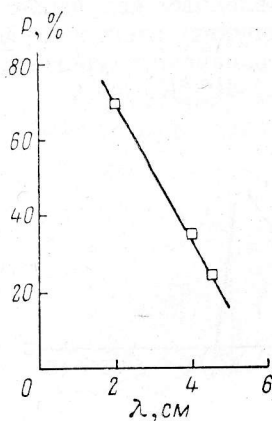
Рис. 8. Разность затменных кривых, полученных в канале интенсивности на волнах 2.0 и 4.5 см. Интервал усреднения  $\Delta t = 64$  сек.

На волне  $\lambda=2.0$  см области генерации поляризованного и неполяризованного излучения для детали 1 группы № 214 довольно существенно смещены относительно друг друга. Интересно отметить при этом, что источник неполяризованного излучения на этой волне шире, чем на волне  $\lambda=4.5$  см (табл. 2). Если на волне  $\lambda=4.5$  см протяженность детали 1 (по крайней мере, по одной координате) практически совпадает с размерами полутени главного пятна группы № 214, то на волне 2.0 см излучение дает и область, непосредственно примыкающая к головному пятну с западной стороны группы. Характерно, что в целом распределение яркости по детали 1 на волне 2.0 см почти равномерное, т. е. отсутствует увеличение яркости в районе тени головного пятна, как этого следовало бы ожидать. Этот факт уже отмечался в некоторых случаях и при наблюдениях на Большом пулковском радиотелескопе (БПР) в диапазоне 2 см [13] и был интерпретирован в рамках тепловых механизмов излучения.

Согласно наблюдениям на БПР [14], спектр степени поляризации излучения л. и. имеет максимум в диапазоне  $\sim 3.0$  см. В случае детали 1 группы пятен № 214 этот максимум, по-видимому, смещен к 2.0 см (рис. 9), и можно предположить, что степень поляризации на этой волне действительно максимальна, т. е. близка к 100%, если учесть несовпадение областей поляризованного и неполяризованного излучений. Таким образом, на волне 2.0 см магнитотормозное излучение было определяющим для некоторой области рассматриваемого источника, однако в целом картина излучения на этой волне сложнее.

Что касается излучения, связанного с хвостовой частью группы, то в обоих случаях (группы № 214 и 215) его параметры (спектр, поляризация) не противоречат представлению о том, что это тормозное излучение

тепловых электронов. Примечательно, что интенсивность излучения этой детали (№ 2) для обеих групп практически совпадает, несмотря на то что площадь пятен различается более чем в 2 раза [ $S_p^{xp}$  (гр. 215) = 185,  $S_p^{xp}$  (гр. 214) = 85 м. д. п.]. Это также может свидетельствовать о том, что доля гирорезонансного излучения в этих областях несущественна, особенно в случае группы № 215. Для группы № 214 часть излучения детали 2 на волне 4.5 см следует отнести все же на счет магнитотормозного излучения. Действительно, для оптически толстого источника, каким была деталь 2, слишком высока степень поляризации. На волне 4.5 см для части источника ( $\theta \approx 0.3$ ) она, по-видимому, приближалась к 100%. В связи с этим обращает на себя внимание тот факт, что степень поляризации излучения



на волне 4.5 см, связанного с хвостовой частью группы № 214, выше, чем для головной части. В рамках магнитотормозной теории излучения это может означать, что источник излучения над крупными пятнами лежит в области более низкого градиента температуры, чем для мелких пятен. Иными словами, в пределах одной группы пятен может проявляться эффект уменьшения степени поляризации у л. и. наиболее развитых групп

Рис. 9. Спектр степени поляризации излучения источника, располагавшегося над головным пятном группы № 214. Данные на волне 4.0 см заимствованы из [11].

пятен класса F, который был установлен статистическими исследованиями [9].

Оценка высоты области генерации микроволнового излучения л. и. может быть сделана только на волне 4.5 см для детали 1 группы пятен № 214, поскольку в этом случае мы имеем достаточно надежное отождествление источника с головным пятном группы. Формальное сопоставление центров тяжести источника и пятна дает отрицательное значение высоты, ибо источник радиоизлучения оказывается смещенным к востоку относительно пятна, расположенного в западном полушарии Солнца. Аналогичный результат на волне  $\lambda=4$  см при наблюдении этого же источника был получен А. Н. Коржавиным и др. [11]. В [11] выдвинуто предположение о том, что источник радиоизлучения над крупными пятнами не находится на оси пятна, а сильно наклонен к востоку, более чем на  $30-40^\circ$ . Отсутствие радиальности расположения исключает возможность измерять высоту с достаточной точностью, однако можно оценить эту величину в некоторых предположениях, в частности учитывая указанный выше наклон. Оказалось, что на волне 4.5 см в этом случае высота источника над головным пятном группы № 214 не должна превышать 10 тыс. км.

Анализ показывает, что высота источника, связанного с хвостовыми пятнами группы № 214, также должна быть невелика.

Небольшие значения высот, которые последнее время часто наблюдаются различными авторами, снимают трудности, стоявшие раньше перед магнитотормозной гипотезой излучения л. и.

Особое место в результатах наблюдений солнечного затмения 24 XII 1973 на ГРС занимает деталь 3 группы пятен № 214. Этот источник не имел очевидного отождествления ни с каким образованием на фотосфере, и, кроме того, его излучение оказалось короткоживущим. Поэтому обсуждение возможной природы излучения этого источника требует дополнительных исследований, что будет выполнено отдельно.



**Выводы.** 1. Структура л. и., принадлежащего биполярной группе пятен, хорошо отражает структуру группы, т. е. основная доля излучения сосредоточена в источниках, расположенных над головными и хвостовыми пятнами группы.

2. Характер спектра и поляризации излучения, размер и высота источников над фотосферой свидетельствуют о том, что излучение источника, соответствующего головной части группы, является преимущественно излучением электронов на гармониках гирочастоты в сильных магнитных полях пятен, в то время как в излучении источника хвостовой части группы преобладает тормозное излучение тепловых электронов.

3. Оценки электронной температуры показывают, что второй и третий гируровни на волне  $\lambda=4.5$  см ( $H \approx 800-1200$  гс) над крупными пятнами ( $S_p > 500$  м. д. п.) находятся уже в тех областях короны, где ее температура достигает максимальных значений ( $2-3 \cdot 10^6$  °К). На волне  $\lambda=2.0$  см магнитотормозное излучение л. и. формируется в более низких слоях, скорее всего, в переходном слое между хромосферой и короной, где градиент температуры значительно превышает корональные значения. Последнее заключение справедливо и для излучения источников на волне 4.5 см, расположенных над мелкими пятнами ( $S_p \approx 60$  м. д. п.).

Авторы выражают свою глубокую признательность коллективу наблюдателей ГРС, принимавших участие в наблюдениях затмения. Кроме того, авторы благодарны Ю. Л. Кокорину и Л. А. Алферовой за помощь в наблюдениях и их обработке, а также Г. Б. Гельфрейху за интерес к работе и ценные советы.

#### Список литературы

1. Covington A. E. — Nature, 1947, 159, p. 405.
2. Такака Н., Какимута Т. — Rep. Ionosph. Space Res. Japan, 1958, 12, p. 273.
3. Корольков Д. В., Соболева Н. С., Гельфрейх Г. Б. Исследование локальных областей радиоизлучения Солнца в сантиметровом диапазоне длин волн. — Изв. ГАО, 1960, 164, с. 81—113.
4. Радиоастрономические наблюдения солнечного затмения 20 мая 1966 г. М., «Наука», 1972.
5. Астрахан М. И., Гольнев В. Я., Петерова Н. Г., дель Позо Э., Сорна С., Сото Ф. Поляриметр Гаванской радиоастрономической станции. — Солнечные данные, 1974, № 9, с. 74—79.
6. Гельфрейх Г. Б., Кинёнес Х. А., Коржавин А. Н., Перес Х., Сантос Х., Сид М. А. Служба радиоизлучения Солнца на волне 4.5 см на Гаванской радиоастрономической станции. — Солнечные данные, 1974, № 9, с. 80—87.
7. Гельфрейх Г. Б., Коржавин А. Н., Перес Х., Петерова Н. Г., Сид М. А. Результаты поляризационных наблюдений солнечного затмения 11 сентября 1969 г. на волне 4.5 см в Гаване. — Солнечные данные, 1974, № 9, с. 93—100.
8. Кинёнес Х. А., Коржавин А. Н., Петерова Н. Г., Сантос Х. Наблюдение солнечного затмения 7 марта 1970 г. на поляриметре Гаванской радиоастрономической станции на волне 4.5 см. — Солнечные данные, 1975, № 3, с. 87—96.
9. Петерова Н. Г. О зависимости свойств локальных источников S-компоненты радиоизлучения Солнца на волне 4.4 см от структуры соответствующих им групп пятен. — Астрофиз. исслед. (Изв. САО), 1974, 6, с. 39—54. Исследование круговой поляризации источников S-компоненты радиоизлучения Солнца по наблюдениям с высоким разрешением. — Астрофиз. исслед. (Изв. САО), 1975, 7, с. 134—147.
10. Дравских А. Ф. Спектральные особенности развития всплесков радиоизлучения Солнца в сантиметровом диапазоне волн. — Изв. ГАО, 1960, № 164, с. 128—138.
11. Korzhavin A. N., Agreola J. I., Leon V. S., Timofeyeva G. M. — Boletin del Instituto de Tanantzintla, 1974, 1, N 2, p. 55.
12. Богод В. М., Еникеев Р. И., Нагнибеда В. Г. Радионаблюдения солнечного затмения 24 декабря 1973 г. — Солнечные данные, 1976, № 1, с. 66—70.
13. Богод В. М., Коржавин А. Н. О некоторых особенностях излучения локальных источников Солнца в диапазоне 2.3—2.7 см. — Астрофиз. исслед. (Изв. САО), 1975, 7, с. 121—134.
14. Ахмедов Ш. Б., Боровик В. Н., Ихсанова В. Н., Нагнибеда В. Г. О локальных источниках радиоизлучения Солнца по наблюдениям в Пулково в марте 1970 г. — Астрон. ж., 1976, 53, с. 812—821.