

УДК 523.164 32

О ЗАВИСИМОСТИ ПОЛЯРИЗОВАННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ЛОКАЛЬНЫХ ИСТОЧНИКОВ НА СОЛНЦЕ ОТ СТАДИИ РАЗВИТИЯ АКТИВНОЙ ОБЛАСТИ

Ш. Б. Ахмедов, Н. Г. Петерова

Наблюдениями установлено [1], что степень поляризации локальных источников (ЛИ) медленно меняющейся (s) компоненты радиоизлучения Солнца зависит от длины волны, меняясь в диапазоне от 3 до 10 см в несколько раз (от 30 до 10% соответственно). Этот вывод, получивший широкое распространение, сделан на основе весьма немногочисленных наблюдений без указания типа активной области, ЛИ которой обладает указанной выше степенью поляризации. Исследования последних лет [2, 3] показали, что многие характеристики излучения ЛИ испытывают значительные изменения в процессе развития соответствующей ему группы пятен, и поэтому прежний подход к изучению ЛИ как статического образования уже не является удовлетворительным. В большой мере это относится и к поляризованному излучению, которое, как выяснилось [4, 5], в широких пределах меняется при переходе от одной группы пятен к другой. Установлено, что, как правило, суммарная степень поляризации ЛИ для сильно развитых групп пятен уменьшается по сравнению со слабыми, причем в [5] высказывается предположение о том, что и отдельные детали сильных ЛИ также менее поляризованы, чем детали слабых. Оказалось, что на волне 9,0 см степень поляризации ЛИ, принадлежащих группам пятен с малыми площадями ($S_p < < 100$ м. д. п.), может достигать 25%, приближаясь по своему значению к величинам, регистрируемым на коротких волнах (3 ÷ 4 см). Таким образом, имеются некоторые основания полагать, что обычно отмечаемый большой разрыв в величине степени поляризации ЛИ на границах сантиметрового диапазона присущ не всем ЛИ или не во всех стадиях его развития. Сведения о соотношении степеней поляризации на разных волнах в зависимости от развитости активной области могут способствовать пониманию проблемы выхода магнитного поля пятен в атмосферу Солнца и образования ЛИ s -компоненты.

В настоящей работе ставится задача проследить изменение поляризованного излучения ЛИ с развитием соответствующей ему группы пятен. Для этой цели использованы материалы одновременных наблюдений круговой поляризации солнечного радиоизлучения с помощью Большого Пулковского радиотелескопа (БПР) на двух волнах 4,4 и 9,0 см. В рассмотрении участвуют 3 группы пятен: одна с маленькой площадью ($S_p \approx 50 \div 100$ м. д. п.), другая со средней ($S_p \approx 400$ м. д. п.) и третья с большой ($S_p \approx 1000$ м. д. п.). Такой выбор материала обусловлен тем, что процесс развития очень трудно проследить на примере одной активной области, ибо, как правило, на поляризованное излучение ЛИ влияет еще ряд причин, например, условия распространения, направленность и т. д. Поэтому из временной эволюции указанных

выше групп пятен взяты такие периоды, когда мешающие воздействия посторонних факторов отсутствуют.

Сведения о поляризованном излучении этих ЛИ, а также некоторые данные об оптических характеристиках соответствующих им групп пятен приведены в таблице. Легко видеть из таблицы, что при переходе

Таблица 1

№ группы	Дата	Класс	S_p , м. д. п. всей группы	$\frac{P(4,4)^*}{P(9,0)}$	$\frac{F(4,4)}{F(9,0)}$
438 (1970)	26.09	<i>J</i>	45	0,7	1,7
	27.09	<i>J</i>	110	0,8	1,2
	03.10	<i>C</i>	50	0,6	0,6
	04.10	<i>C</i>	100	0,3	1,0
432 (1970)	27.09	<i>H</i>	480	2,8	1,8
	28.09	<i>H</i>	430	4,6	1,4
	30.09	<i>H</i>	310	5,3	1,2
	03.10	<i>H</i>	400	7,9	0,7
396 (1970)	31.08	<i>H</i>	1170	18,2	0,9
	01.09	<i>E</i>	1310	11,3	1,4
	02.09	<i>E</i>	1010	10,1	1,2
	03.09	<i>E</i>	970	7,7	1,2
	04.09	<i>E</i>	1150	8,0	1,8

* Во всех случаях знак суммарной поляризации на обеих волнах совпадает.

от малых групп пятен к большим отношение степеней поляризации меняется почти на порядок, причем, так как интегральные потоки излучения на этих волнах оказались сравнимы $\left(\frac{F(4,4)}{F(9,0)} < 2\right)$, то можно ска-

зать, что примерно на порядок отличаются и отношения потоков поляризованного излучения для сильных и слабых ЛИ. Следует отметить, что в случае малых пятен поляризованное излучение ЛИ на более длинной волне оказывается даже интенсивнее, чем на короткой,—почти вдвое. Указанный результат ранее не отмечался, это, по-видимому, связано с тем, что исследование слабых ЛИ представляет некоторые трудности по сравнению с более сильными. С другой стороны, очень сильные ЛИ, принадлежащие группам пятен с площадью $S_p > 1000$ м. д. п., довольно редко встречаются на Солнце даже в период максимума солнечной активности. Оба эти фактора, по всей вероятности, явились причиной того, что ранее исследовались в основном ЛИ групп пятен с умеренной площадью (100 м. д. п. $< S_p < 1000$ м. д. п.). Согласно результатам, полученным в настоящей работе, для таких ЛИ степени поляризации на длинной и короткой волнах сантиметрового диапазона действительно отличаются в несколько раз.

Обнаруженная здесь зависимость степени поляризации ЛИ от величины соответствующей ему группы пятен нуждается в подтверждении, ибо она получена на основе анализа суммарной степени поляризации. Несмотря на то, что, как правило, даже в сложной группе пятен преобладают по площади пятна одной магнитной полярности, в связи с чем ее ЛИ дает поляризованное излучение преимущественно одного знака, все же для окончательного суждения о наличии подмеченной зависимости нужны наблюдения с высоким разрешением, особенно на длинных волнах сантиметрового диапазона. С этой целью можно обратиться к результатам затменных наблюдений. Однако в данном случае они

будут обладать тем недостатком, что их эпизодичность не даст возможности установить, в какой мере влияли посторонние факторы, воздействие которых на поляризованное излучение ЛИ можно выявить только в результате более длительных наблюдений.

Согласно результатам затменных наблюдений [6], имеется несколько случаев, когда поток поляризованного излучения на волне 8,0 см превышает поток на 3,2 см, достигая для некоторых ЛИ—в 4 раза, причем все это касается слабых групп пятен или деталей, соответствующих слабо развитым частям группы. Поскольку таких случаев несколько, то можно полагать, что хотя бы часть из них свободна от влияния условий распространения или направленности излучения. На основании этого можно считать, что результаты затменных наблюдений подтверждают наличие зависимости степени поляризации ЛИ от величины группы пятен. В силу этого результата исследований суммарной степени поляризации при отыскании этой зависимости во многих случаях следует признать имеющими физический смысл и годными для интерпретации.

При рассмотрении затменных наблюдений обнаружилась интересная особенность поляризованного излучения, ранее не отмеченная (несмотря на то, что она хорошо видна из наблюдений, полученных довольно давно [7]). Эта особенность заключается в том (см. также [8]), что поляризованные детали, принадлежащие основным в группе ядрам, дают меньший вклад в общее излучение ЛИ, чем детали, соответствующие мелким пятнам и порам. Указанную особенность можно проследить на любой волне от 3 до 10 см.

В настоящей работе по указанным выше причинам нами был использован квазидинамический подход при исследовании развития поляризованного излучения активной области: из жизни разных групп выделены моменты устойчивого состояния, соответствующие разным этапам развития активного центра от поры до группы большой площади. Для понимания вопроса о развитии интересно было бы исследовать также процесс возникновения и окончательного распада группы пятен. Ранее в [9] было показано, что на волне 9,0 см до появления и после исчезновения пятен и пор во флоккульных полях поляризованное излучение с точностью до $1 \div 2\%$ отсутствует. Возникает оно лишь при наличии пятен и пор, причем анализ наблюдений на волнах 4,4 и 9,0 см свидетельствует о том, что это может происходить как одновременно (с точностью до суток) на обеих волнах, так и с опозданием на одни сутки для коротковолнового излучения по сравнению с длинноволновым. Аналогично в некоторых случаях поляризованное излучение на волне 4,4 см вследствие распада активного центра исчезает на сутки раньше, чем на волне 9,0 см.

При интерпретации представленных здесь наблюдательных фактов будем считать, что ответственным за поляризованное излучение ЛИ является магнитофорозной механизм. С этой точки зрения отсутствие поляризованного излучения над флоккулами свидетельствует о том, что магнитные поля в атмосфере Солнца над ними менее 400 э. С возникновением поры или пятен выносятся сильное магнитное поле в горячие области и появляется поляризованное излучение. Отставание в развитии коротковолнового излучения по сравнению с длинноволновым говорит о том, что процесс образования ЛИ может быть и довольно длительным. На основе только наших наблюдений трудно установить, с чем связано такое запаздывание. Причиной тому может быть как медленное проникновение поля пятна в атмосферу Солнца, так и длительный процесс нагревания области генерации поляризованного излучения. Выбор между этими причинами, по-видимому, может быть сделан путем просчета некоторой модели, что выходит за рамки данной работы.

На основе полученных здесь наблюдательных фактов создается впечатление, что на ранней стадии своего развития (или угасания) преобладает длинноволновое поляризованное излучение. В рамках магнитотормозного механизма излучения это может быть связано с целым рядом причин. В самом деле, легко получить, что отношение потоков поляризованного излучения на волнах 4,4 и 9,0 см определяется как

$$\frac{F_2}{F_1} = 4 \frac{\text{grad } T_2}{\text{grad } T_1} \frac{\Delta h_2}{\Delta h_1} \left(\frac{B_2}{B_1} \right)^2,$$

где «1», «2» — индексы, относящиеся к параметрам для волны 9,0 и 4,4 см соответственно, $\text{grad } T$ — градиент температур в области генерации поляризованного излучения, Δh — разница высот между вторым и третьим гирорезонансными уровнями, B — размер источника поляризованного излучения.

Предполагая, что магнитное поле пятен имеет дипольный характер, можно оценить вклад некоторых составляющих в этой формуле. Такая оценка была произведена, опираясь на [1, 10]. Было получено, что для пятна, магнитное поле которого в основании 2500 ÷ 3000 э,

$$\frac{\Delta h_2}{\Delta h_1} \approx 1, \quad \text{а} \quad \left(\frac{B_2}{B_1} \right)^2 \approx \frac{1}{2}.$$

Таким образом,

$$\frac{F_2}{F_1} \approx 2 \frac{\text{grad } T_2}{\text{grad } T_1},$$

и в указанных выше предположениях преобладание длинноволнового излучения для слабых ЛИ означает, что градиент температур в области генерации этого излучения выше, чем в области генерации коротковолнового излучения. Разница в градиенте температур в отдельных случаях может достигать почти порядка величины.

Принимая во внимание известную температурную зависимость при переходе от хромосферы к короне [11], можно составить качественное представление о развитии поляризованного излучения ЛИ. При появлении магнитного поля пятна в области растущих температур попадают прежде всего гирорезонансные слои, ответственные за длинноволновую радиацию, в то время как коротковолновые уровни могут находиться в области постоянных температур (тогда коротковолновое излучение отсутствует) либо в области слабого роста температур (тогда в значительной мере преобладает длинноволновое излучение). Затем по мере роста магнитного поля группы пятен более высокие длинноволновые уровни перемещаются в корону, где яркостные температуры гирорезонансных уровней выравниваются, в связи с чем уменьшается поляризованное излучение на этих волнах, а области генерации коротковолнового излучения оказываются в районе значительного роста температур. В эту же схему хорошо укладывается и тот факт, что ЛИ больших пятен на данной волне дают меньший вклад в поляризованное излучение, чем ЛИ малых пятен. Это может означать, что чем крупнее пятно, тем ниже опускается корона над ним, в связи с чем, по всей вероятности, поляризованное излучение у таких ЛИ в длинноволновой части спектра отсутствует. Следует отметить, что об опускании короны здесь можно говорить лишь условно, ибо без измерения высот ЛИ нельзя отличить этот процесс от подъема поля.

Предложенная здесь интерпретация не является единственной. Не исключено, что магнитное поле пятен не представимо дипольной моделью. В этом случае уже нельзя не учитывать, например, возможного

влияния соотношения размеров ЛИ поляризованного излучения на разных волнах, которое может меняться в связи с развитием группы пятен и давать наблюдаемую разницу в величине поляризованного излучения. Если это так, то при постоянном градиенте температур у малых пятен источники поляризованного излучения на длинных волнах должны быть много больше по размерам, чем на коротких.

Для того, чтобы устранить некоторую неопределенность интерпретации, исследование развития активного центра необходимо было бы дополнить надежными сведениями о величине температур в области генерации поляризованного излучения, а также сведениями о высоте этих областей. Как известно, такие данные получаются пока только эпизодически во время солнечных затмений, и они еще недостаточны для исследования процессов развития. Наиболее эффективными для решения этой задачи, по-видимому, могут быть наблюдения на РАТАН-600, который позволит с высоким разрешением осуществить слежение за развитием активной области, сочетая его с одновременными наблюдениями магнитных полей оптическими методами на разных уровнях в атмосфере Солнца.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. В. Железняков, Радиоизлучение Солнца и планет, изд. Наука, М., 1964, стр. 95.
2. Ш. Б. Ахмедов, В. Н. Боровик и др., Солнечные данные, № 2, 62 (1966).
3. Ш. Б. Ахмедов, Солнечные данные, № 11, 67 (1971).
4. Г. Б. Гельфрейх, Н. Г. Петерова, Астрон. ж., 47, 689 (1970).
5. Ш. Б. Ахмедов, Изв. высш. уч. зав.—Радиофизика, 16, № 9, 1388 (1973).
6. Н. Такака, Т. Какиита, Rep. Ionos. Res. Japan, 12, 273 (1958).
7. Д. В. Корольков, Н. С. Соболева, Солнечные данные, № 1, 140 (1957).
8. Н. Г. Петерова, Ш. Б. Ахмедов, Астрон. ж., 50, 1220 (1973).
9. Ш. Б. Ахмедов, Н. В. Деделова, Солнечные данные, № 12, 56 (1972).
10. Е. Я. Злотник, Астрон. ж., 45, 310; 45, 585 (1968).
11. G. Newkirk, Astrophys. J., 133, 983 (1961).

Ленинградский филиал
Специальной астрофизической обсерватории
АН СССР

Поступила в редакцию
10 ноября 1972 г.