

И.В. Кузьменко

## РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЙ РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ СОЛНЦА НА ЧАСТОТЕ 2,8 ГГц В УАФО ЗА 2002–2004 гг.

### 1. УТОЧНЕНИЕ ЗНАЧЕНИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОГО КАЛИБРОВОЧНОГО КОЭФФИЦИЕНТА

Принцип приема радиоизлучения и описание измерительной аппаратуры радиотелескопа РТ-2 приведены в [2]. Об ошибках определения антенной температуры и о предварительных результатах наблюдений было сказано в [1]. Однако в связи с оцифровкой наблюдений в последние годы стало возможным проводить более точные расчеты значений радиопотока и сравнивать наблюдения в УАФО с данными других станций.

Результатом калибровок в начале и конце наблюдений являлось определение потока радиоизлучения Солнца в относительных единицах (антенной температуры  $T_a$ ). Вычисления проводились по общепринятой методике, где в качестве эталона используется излучение черного тела в термостате. При обработке «вручную» они состояли в том, что измеренное значение «Солнце–фон» в миллиметрах на ленте самописца умножалось на калибровочный коэффициент

$$k_0 = \frac{T_{CH}}{|ноль - фон|}.$$

Здесь  $T_{CH}$  – температура согласованной нагрузки, «фон» – радиоизлучение неба, *ноль* – нуль аппаратуры; величина радиоизлучения неба относительно нуля отрицательна, Солнца – положительна. Поскольку радиоизлучение неба мало, значение «ноль – фон» (на ленте в миллиметрах) соответствует значению температуры «нагрузки» модулятора  $T_{CH}$  в кельвинах (на одном входе – сигнал с антенны, на другом – излучение этой нагрузки). Антенную температуру от Солнца можно найти по формуле:

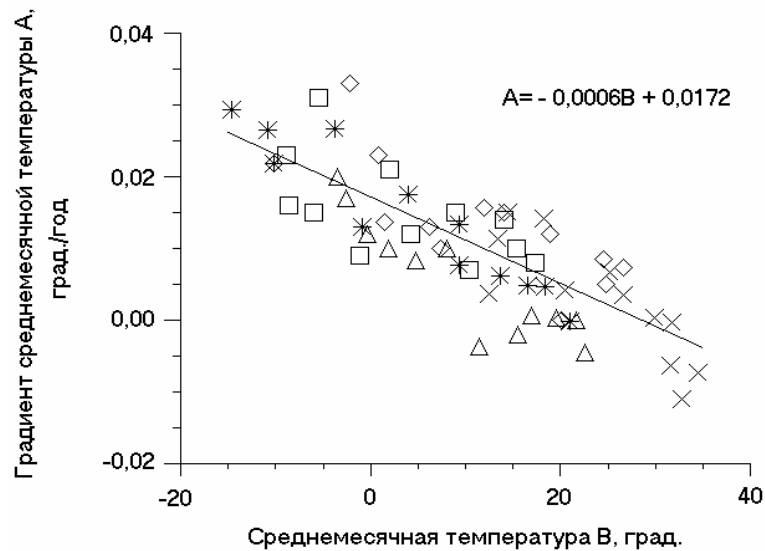


Рис.3. Зависимость коэффициентов линейной регрессии А (показателя потепления) от многолетней среднемесячной температуры В по данным метеостанций Владивостока (звездочки), Ташкента (ромбы), Одессы (треугольники), Санкт-Петербурга (квадраты), Лахора (крестики)

других парниковых газов. Учитывая продолжительность межвекового и внутривекового циклов, в ближайшее время следует ожидать начала похолодания.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Даценко Н.М., Монин А.С., Берестов А.А., Иващенко Н.Н., Сонечкин Д.М. О колебаниях глобального климата за последние 150 лет // Доклады академии наук. 2004. Т.399. № 2. С. 253-256.
2. Дергачев В.А., Распопов О.М. Долговременные процессы на Солнце, определяющие тенденцию изменения солнечного излучения и поверхностной земной температуры // Геомагнетизм и аэрономия. 2000. Т.40, № 3. С. 9–14.
3. Крамынин А.П., Кузьменко И.В. О характере потепления климата // Солнечная активность и ее влияние на Землю. Владивосток: Дальнаука, 2004. С. 88–97. (Тр. УАФО; т.8, вып.8).

$$T_a = k_0 \cdot (\text{Солнце} - \text{фон}).$$

Так как модулятор находится внутри термостатированного ящика, стабильность  $T_{CH}$  определяется точностью термостата. Ошибка определения антенной температуры  $T_a$  не превышает 4–5% [1].

Определив среднее за день наблюдений значение  $T_a$ , можно найти значение калиброванного радиопотока в СЕП:

$$Z = K \cdot T_a.$$

Калибровочный коэффициент  $K$  определяется относительно значений радиопотока станции Penticton [3], которые взяты в качестве эталона из-за их абсолютной калибровки. Уравнение регрессии (по оси абсцисс – значения антенной температуры в УАФО, по оси ординат – значения радиопотока в СЕП на ст. Penticton) имеет вид

$$S_{Penticton} = K \cdot T_a + C.$$

Между значениями радиопотока  $Z$  и  $S_{Penticton}$  могут существовать различия, поскольку среднее значение на ст. Penticton дается для 20:00 UT, а в УАФО – для 03:00 UT. При сдвиге значений радиопотока ст. Penticton на сутки относительно значений ст. УАФО коэффициент корреляции повышается, а ошибка определения коэффициентов регрессии становится меньше. На *рис.1,а* показаны кривые значений радиопотока в СЕП для станций Penticton и УАФО за август 2004 г., на *рис.1,б* – те же кривые со сдвигом на сутки. Уравнения линейной регрессии соответственно имеют вид  $S_{Penticton} = (0,21 \pm 0,01) \cdot T_a + (0,4 \pm 5,4)$  и  $S_{Penticton} = (0,21 \pm 0,01) \cdot T_a - (1,0 \pm 4,5)$ .

При расчете коэффициентов линейной регрессии за каждый месяц ошибки в определении  $C$  чаще всего оказываются больше самого коэффициента, поэтому величины  $C$  не являются статистически значимыми. Но если делать расчеты с большим числом данных (например, за год), то можно получить достоверные значения  $K$  и  $C$  (табл. 1). В качестве примера зависимость значений радиопотока  $S_{Penticton} = f(T_a)$  за 2004 г. (со сдвигом значений на сутки) приведена на *рис.2*.

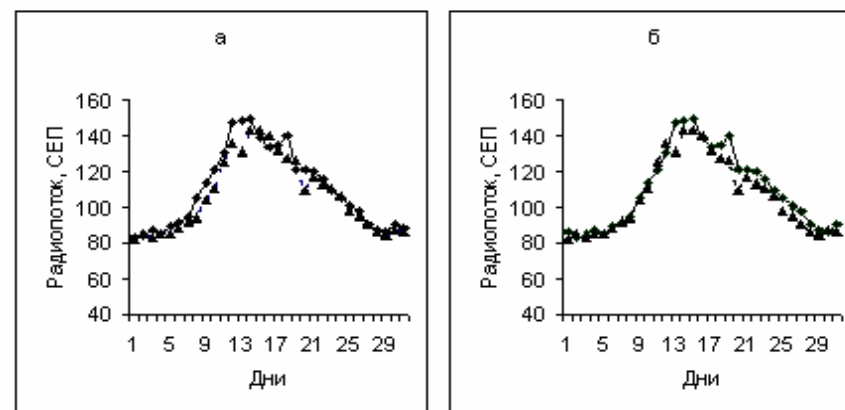


Рис.1. Кривые значений радиопотока для станций Penticton (сплошная линия) и УАФО (пунктир) за август 2004 г. (а), и то же при взаимном сдвиге на сутки (б)

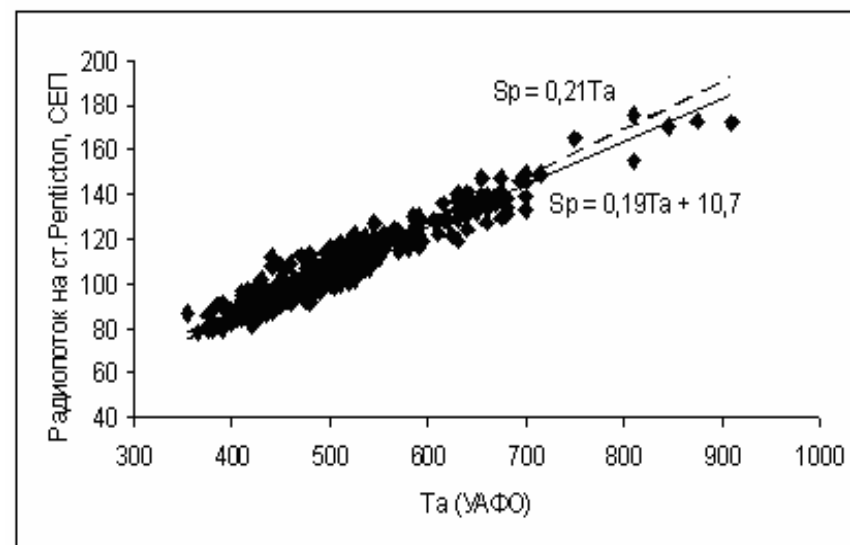


Рис.2. Зависимости  $S_{Penticton} = K \cdot T_{a(УАФО)} + C$  (сплошная линия) и  $S_{Penticton} = K \cdot T_{a(УАФО)}$  (пунктир) за 2004 г.

Если же принять  $C = 0$  и рассчитать значения  $K$  при прохождении линии линейной регрессии через нуль за каждый месяц, то этот коэффициент будет мало изменяться не только в течение года, но и на протяжении нескольких лет. Кроме того, ошибка в определении  $K$  будет меньше (табл.1).

Таблица 1

Коэффициенты линейной регрессии  $K$  и  $C$  ( $S_{Penticton} = K \cdot T_A + C$ )

| Год  | $K$               | $C$            | $K$ (при $C = 0$ ) |
|------|-------------------|----------------|--------------------|
| 2002 | $0,187 \pm 0,003$ | $11,8 \pm 2,9$ | $0,200 \pm 0,001$  |
| 2003 | $0,198 \pm 0,003$ | $6,1 \pm 2,2$  | $0,208 \pm 0,001$  |
| 2004 | $0,191 \pm 0,003$ | $10,7 \pm 1,6$ | $0,211 \pm 0,001$  |

Величины  $K$  не остаются постоянными в течение года, а имеют сезонные вариации (рис.3). Хорошо видно, что максимальные отклонения от среднего значения приходится на март–апрель ( $K > K_{ср.}$ ) и на октябрь ( $K < K_{ср.}$ ). Эти изменения находятся в пределах 5 %-й ошибки (как и точность определения антенной температуры  $T_a$ ), поэтому при расчетах их можно не принимать во внимание. Аппроксимирующие кривые каждый год получаются разными, что является причиной ежегодных сезонных изменений  $K$ , сказать пока трудно.

Таким образом, после уточнения относительного калибровочного коэффициента относительно ст. Penticton в настоящее время он принят равным 0,2.

Можно сравнить результаты наших наблюдений с данными ближайших станций, например Hiraiso [5]. Прием радиоизлучения на этой станции производится на той же частоте и в тот же промежуток времени, что и у нас, однако там также применяется относительная калибровка. Коэффициенты линейной регрессии между значениями антенной температуры  $T_a$  в УАФО и радиопотока (в СЕП) на ст. Hiraiso за 2003 и 2004 гг. приведены в табл. 2, коэффициенты корреляции соответственно равны 0,99 и 0,95.

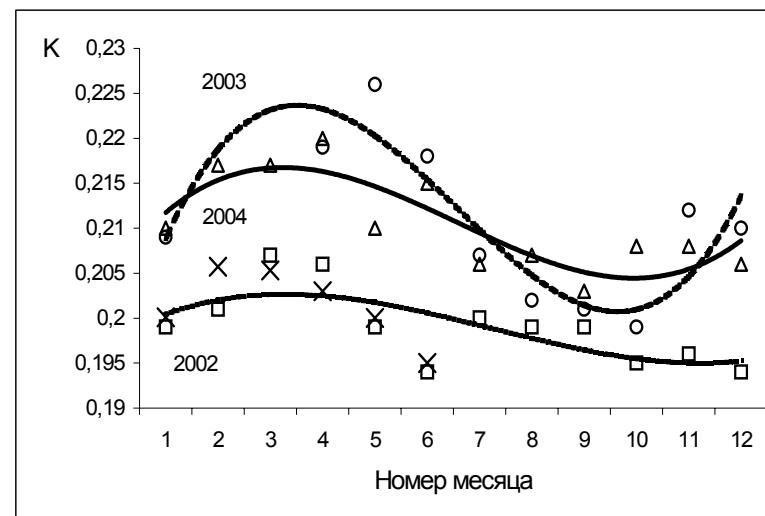


Рис.3. Изменения относительного калибровочного коэффициента  $K$  и аппроксимирующие их кривые за 2002 (квадратики, пунктирная линия), 2003 (кружки, штриховая линия), 2004 гг. (треугольники, сплошная линия) и за первую половину текущего 2005 г. (крестики)

Таблица 2

Коэффициенты линейной регрессии  $K$  и  $C$  ( $S_{Hiraiso} = K \cdot T_A + C$ )

| Год  | $K$               | $C$           | $K$ (при $C=0$ )  |
|------|-------------------|---------------|-------------------|
| 2003 | $0,201 \pm 0,002$ | $1,4 \pm 1,4$ | $0,203 \pm 0,001$ |
| 2004 | $0,198 \pm 0,003$ | $6,1 \pm 2,2$ | $0,208 \pm 0,001$ |

## 2. АВТОМАТИЗАЦИЯ ОБРАБОТКИ НАБЛЮДЕНИЙ

После того как данные наблюдений стало возможным записывать в компьютерный файл, была создана программа на языке IDL для их автоматической обработки. Формула для вычисления значений калиброванного радиопотока в СЕП имеет вид:

$$z = (sky + (x - zero)) \cdot k_0 \cdot 0,2,$$

где  $x$  – исходный массив данных,  $sky$  – значение “ $\theta$ -фон”,  $zero$  – величина аппаратного нуля в файле,  $k_0 = T_{CH}/sky$ .

Следует отметить, что значения радиопотока, полученные по двум калибровкам, отличаются друг от друга в пределах 5 %-й ошибки. Причина этого скорее всего, в ошибках наведения и гидирования телескопа. В табл. 3 приведены значения радиопотока в СЕП за неделю наблюдений в августе 2004 г. Если же проводить измерения потока за каждый час от начальной калибровки (как это делалось при обработке вручную), то величина радиопотока, полученная к концу дня, оказывается гораздо меньше величины, рассчитанной по второй калибровке.

Таблица 3

Значения радиопотока в СЕП за неделю наблюдений в июне 2004 г.

| Дата       | I калибровка | II калибровка | Значение радиопотока к концу дня |
|------------|--------------|---------------|----------------------------------|
| 01.08.2004 | 87,7         | 83,2          | 78,1                             |
| 02.08.2004 | 87,4         | 83,5          | 81,0                             |
| 03.08.2004 | 88,1         | 86,9          | 80,2                             |
| 04.08.2004 | 86,4         | 86,4          | 80,3                             |
| 05.08.2004 | 88,4         | 85,0          | 80,2                             |
| 06.08.2004 | 88,7         | 89,8          | 84,5                             |
| 07.08.2004 | 94,6         | 95,2          | 89,1                             |

Было выяснено, что величина уменьшения радиопотока за день примерно равна увеличению значения  $sky$ . Следовательно, при незначительном изменении величин потока, вычисленных по двум калибровкам, причиной постепенного уменьшения потока в течение дня может быть изменение величины  $sky$  и, соответственно, калибровочного коэффициента  $k_0$ . Поэтому следует проводить интерполяцию этих величин, а также изменяющейся за день величины компенсации, а иногда и значения аппаратного нуля.

Тогда формула для вычисления калиброванного радиопотока будет иметь вид:

$$z = (sky\_int + (x - zero\_int)) \cdot k_0\_int \cdot 0,2,$$

где  $sky\_int$ ,  $zero\_int$ ,  $k_0\_int$  – интерполированные по двум калибровкам значения « $\theta$ -фон», аппаратного нуля и калибровочного коэффициента.

Таким образом, при вычислениях по этой формуле величина потока к концу наблюдений оказывается такой же, как и вычисленная по второй калибровке.

Для получения более точных средних значений радиопотока за каждый час желательно проводить еще одну калибровку в середине наблюдений. Исследования показали, что при стабильной работе аппаратуры разница между величинами потока, полученными по двум калибровкам, составляет  $\approx 2$  СЕП по сравнению с величинами, рассчитанными по трем калибровкам, т. е. ошибка вычисления находится в пределах 1-2 %. Если же аппаратура работает нестабильно, то тем более необходимо проводить дополнительную калибровку, иногда и не одну.

Итак, после оцифровки наблюдений стало возможным производить более точные расчеты средних значений радиопотока за каждый час, что нельзя было сделать при обработке вручную.

### 3. О РЕЗУЛЬТАТАХ НАБЛЮДЕНИЙ РАДИОВСПЛЕСКОВ

Сравнение результатов наблюдений радиовсплесков с данными мировой сети [4] показало, что интенсивности небольших всплесков на частотах, близких к частоте 2804 МГц, на разных станциях приблизительно одинаковы. Однако этого нельзя сказать о мощных радиовсплесках, наблюдавшихся в 2003 и 2004 гг.. В УАФО было зарегистрировано 11 таких всплесков, максимумы которых наблюдались при переключении аттенюатора с -10 на -20 дБ и -30 дБ. Данные о максимальной интенсивности этих всплесков на разных станциях приведены в табл. 4. Иногда их значения близки, иногда же – значительно отличаются друг от друга. Данные ст. Hiraiso часто отсутствуют, а при сравнении с данными других станций следует учитывать разницу в частотах. Ведь, как видно из табл. 4, даже при наблюдениях на одной и той же частоте разные станции дают различные величины максимальной интенсивности всплесков.

Таблица 4

| Дата       | Тип<br>(в скобках –<br>для LEAR и<br>PALE) | Максимальная интенсивность всплесков (в СЕП) на станциях |          |                       |                       |                       |                       |
|------------|--|--|----------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
|            |  | VORO (2804 МГц)  |          | HIRA<br>(2800<br>МГц) | PEKG<br>(2840<br>МГц) | LEAR<br>(2695<br>МГц) | PALE<br>(2695<br>МГц) |
|            |  | По записи<br>самописца                                   | По<br>ПК |                       |                       |                       |                       |
| 28.05.2003 | 47GB(48C)                                  | 1230,0   | 1506,5   | –                     | 1945,0                | 1600,0                | 1700,0                |
| 29.05.2003 | 47GB(48C)                                  | 650,0  | 710,4    | –                     | 679,4                 | 730,0                 | 810,0                 |
| 02.06.2003 | 47GB(48C)                                  | 553  | 590      | –                     | –                     | 620                   | 690                   |
| 15.06.2003 | 47GB(48C,<br>49GB)                         | 765  | 922      | 940                   | –                     | 860                   | 1100                  |
| 17.06.2003 | 47GB(48C)                                  | 1695   | 1597,2   | 1785,0                | 2299,6                | –                     | 2100,0                |
| 24.10.2003 | 47GB(48C)                                  | 546  | 565,6    | –                     | –                     | 490                   | 630                   |
| 26.10.2003 | 47GB(48C)                                  | 3800   | 3236     | 2670                  | 4517,9                | 4000                  | –                     |
| 20.11.2003 | 47GB<br>(49GB)                             | 720  | 652      | –                     | –                     | 750                   | 740                   |

При обработке наблюдений в УАФО по записи на ленте самописца определить максимальную интенсивность мощных всплесков можно было достаточно приблизительно. Предполагалось, что после восстановления профиля всплеска в цифровом виде это можно будет сделать гораздо точнее. Однако и здесь существуют трудности в определении коэффициентов ослабления аттенюатора. На рис. 4 приведены графики зависимости этих коэффициентов при различных переключениях для спокойного Солнца. В течение нескольких дней (в конце марта 2004 г.) эти значения специально определялись в начале и конце наблюдений. Можно видеть, что при переключении аттенюатора с -10 на -20 дБ зависимость линейная, коэффициент ослабления равен 10,3, при переключениях же с -20 на -30 дБ разброс значений оказывается большим, т. е. этот коэффициент может значительно изменяться изо дня в день.

Также следует отметить, что коэффициенты ослабления при переключении аттенюатора во время всплесков могут оказаться значительно больше, чем для спокойного Солнца, поэтому необходимо вычислять их непосредственно во время всплеска. Иногда при резком увеличении потока корректно определить этот коэффициент достаточно трудно, поэтому значения максимальной интенсивности всплесков, определенные по записи самописца и по данным компью-

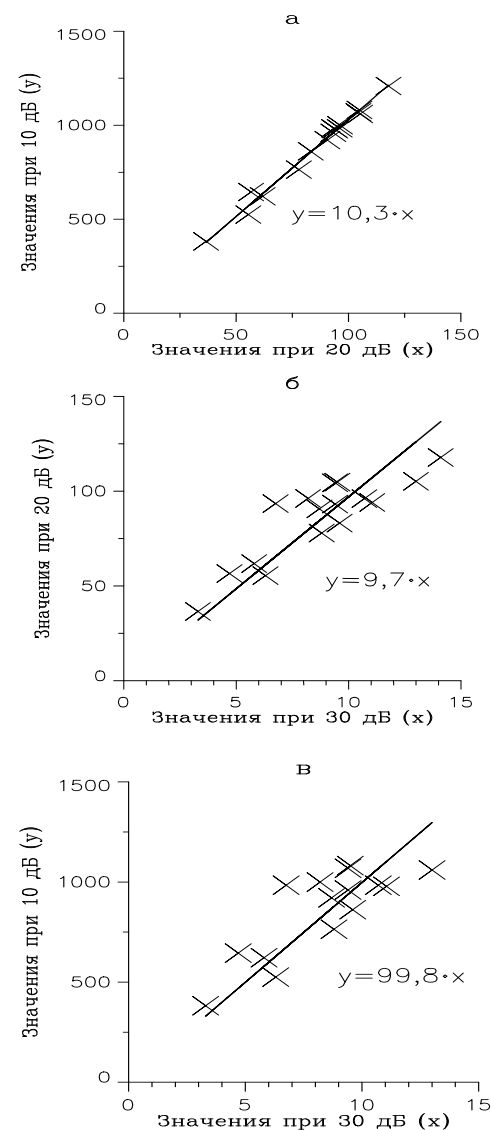


Рис. 4. Зависимости между измеренными значениями радиопотока спокойного Солнца при переключениях коэффициента ослабления аттенюатора с -10 дБ на -20 дБ (а), с -20 дБ на -30 дБ (б) и с -20 дБ на -30 дБ (в)

терного файла, приведенные в табл. 4, могут отличаться друг от друга на 4–15 %.

Таким образом, для повышения точности определения коэффициентов ослабления и правильного восстановления профиля радиовсплеска в цифровом виде необходимо провести калибровку аттенюатора.

Автор выражает благодарность сотрудникам ИСЗФ В.В. Гречневу и В.Г. Занданову, а также сотруднику УАФО Б.А. Капустину, без советов и внимания которых данная работа не была бы сделана.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Андреев Н.Ю., Занданов В.Г., Михалина Ф.А. «Предварительные результаты наблюдений радиоизлучения Солнца в дециметровом диапазоне в Уссурийской астрофизической обсерватории» // Глобальные вариации Солнца и физика активных областей. Владивосток: Дальнаука, 1993. С. 3-13.
2. «Измеритель параметров антенн модуляционный». Техническое описание и инструкция по эксплуатации. Альбом 1. 1987. С. 34-104.
3. [ftp://ftp.ngdc.noaa.gov/STP/SOLAR\\_DATA/SOLAR\\_RADIO/FLUX/](ftp://ftp.ngdc.noaa.gov/STP/SOLAR_DATA/SOLAR_RADIO/FLUX/).
4. [ftp://ftp.ngdc.noaa.gov/STP/SOLAR\\_DATA/SOLAR\\_RADIO/BURSTS/PDF\\_Tables/](ftp://ftp.ngdc.noaa.gov/STP/SOLAR_DATA/SOLAR_RADIO/BURSTS/PDF_Tables/).
5. <http://sunbase.nict.go.jp/solar/denpa/hirasDB/>.

*В.Г. Лоцицкий<sup>1</sup>, Д.Г. Коломиец<sup>1</sup>*

## ОСОБЕННОСТИ РАСЩЕПЛЕНИЯ ЗЕЕМАНОВСКОЙ $\pi$ -КОМПОНЕНТЫ ЛИНИИ FeI 630,25 нм В СПЕКТРАХ СОЛНЕЧНЫХ ПЯТЕН И ВСПЫШЕК

### ВВЕДЕНИЕ

Эффект расщепления зеемановской  $\pi$ -компоненты линии FeI 630,25 нм в спектре солнечных пятен впервые обнаружен А.Б. Северным [20]. Тогда этот эффект был объяснен существенной неоднородностью магнитного поля пятна, учитывая, что в однородном магнитном поле  $\pi$ -компонента должна быть (теоретически) нерасщепленной. Позже другие исследователи выявили новые важные особенности этого эффекта, и наиболее полно они описаны в монографии В.Н. Обридко [17]. Им отмечено, что эффект сводится к расщеплению  $\pi$ -компоненты обычного зеемановского триплета на две подкомпоненты, смещенные относительно центра линии, что не удается объяснить возможными инструментальными эффектами (инструментальная поляризация, рассеянный свет и т. п.). Основные характерные особенности этого явления таковы.

1. Величина расщепления  $\pi$ -компоненты, полученная по большому количеству индивидуальных измерений, составляет 1–2 пм (т. е. 10–20 мÅ).
2. Величина этого расщепления не зависит от знака магнитной поляризации, определенной по  $\sigma$ -компонентам.
3. Знак расщепления  $\pi$ -компоненты, как правило, противоположен знаку поля, определенного по  $\sigma$ -компонентам.

---

<sup>1</sup> Астрономическая обсерватория Киевского национального университета им. Тараса Шевченко, ул. Обсерваторная, 3, Киев, 04053, Украина.