

УДК 523.947

Изменение яркости короны с высотой по данным наблюдений телескопа SOHO/EIT–171Å в период 1996 – 2002 гг.

А.Г. Тлатов, В.И. Макаров

Главная Астрономическая обсерватория РАН, Россия

Поступила в редакцию 1 октября 2003 г.

Аннотация. Проведен анализ распределения яркости солнечной короны, наблюдаемой в диапазоне жесткого УФ излучения на длине волны 171 Å. Рассмотрено изменение яркости короны на высотах 1.01 – 1.2 R радиуса Солнца в период 1996 – 2002 гг. Показано, что распределение яркости короны на различных высотах зависит от фазы цикла активности. На высотах более 1.10 R корона достигает наибольшей яркости в эпоху максимума активности. Внутренняя корона на высотах менее 1.05 R в области образования пятен максимальна на фазе минимума активности. Возможно, это связано с изменением структуры источников внутренней короны. В минимуме активности диффузный характер свечения УФ короны обусловлен магнитными полями перемешанной полярности. В максимуме активности на высотах $r > 1.10R$ и выше основной вклад дают арочные структуры над биполярными источниками. Над униполярными магнитными областями большой площади эмиссия короны понижена.

VARIATIONS OF CORONA BRIGHTNESS WITH THE HEIGHT IN OBSERVATIONS OF SOHO/EIT–171Å IN 1996 – 2002, *by A.G. Tlatov, V.I. Makarov.* An analysis of coronal brightness with the height in the wave band 171 Å was carried out. A change of corona brightness on the heights 1.01 – 1.2 R was found for 1996 – 2002. It was shown that the distribution of corona brightness on the different heights depends on phase of the solar cycle. On the heights more than 1.10 R the solar corona reaches the most brightness in the epoch of the maximum activity. The internal corona on the heights less than 1.05 R (the latitudes of the sunspots emerge) has maximum brightness in the minimum activity. Probably, this is connected with a change of the sources structure of the internal corona. In the minimum activity the diffusion nature of the UV corona is connected with the magnetic field of mixed polarity. In the maximum activity the main contribution gives the arched structures of the bipolar sources on the heights 1.10 R and more. Above of the unipolar magnetic field of the larger areas the corona emission is reduced.

Ключевые слова: солнце, солнечная корона, цикл активности

1 Введение

Регулярные наблюдения Солнца в диапазоне жесткого УФ излучения на борту космической солнечной обсерватории SOHO дают возможность исследования структуры солнечной короны на различных фазах развития 23-го цикла активности. Корональные структуры, наблюдаемые телескопом EIT имеют различные особенности, что, обусловлено существованием различных источников

свечения короны, формируемых солнечным магнитным полем (Дере и др., 2000). Над обширными областями солнечной фотосферы присутствует “диффузионное” свечение короны. Наибольшую площадь диффузионная корона имеет в эпоху минимума и спада активности. Области диффузионной короны присутствуют на всех широтах Солнца. С началом активности, биполярные структуры магнитных полей формируют арочные структуры, имеющие яркость, существенно большую чем диффузионная корона, но занимают меньшую площадь и локализованы в области пятнообразования. Также в короне можно выделить локальные яркие источники, не имеющие корональные арки, а также области пониженной эмиссии, видимые как темные области. Таким образом, корона представляется сложным многокомпонентным объектом, свойства которой зависят от фазы цикла активности. Исследования свойств на разных фазах цикла по данным наблюдений телескопа EIT проведено в работе (Беневоленская, Косовичев, Шерер, 2001). В этой работе показано, что области повышенной яркости короны присутствуют на широтах, где существуют солнечные пятна, а также в полярных областях. Дрейф волокон связанный со сменой знака глобального магнитного поля сопровождается уменьшением корональной эмиссии. В тоже время анализ проведен путем усреднения свечения короны по диску Солнца, поэтому не содержит информацию о распределении короны с высотой.

В данной работе проведен анализ распределения яркости короны измеряемой над солнечным лимбом на различных фазах солнечной активности.

2 Обработка наблюдательных данных

Исходными данными служили ежедневные наблюдения телескопа SOHO/EIT на длине волны 171 Å. Для определения яркости короны необходимо провести калибровку яркости изображений. В общем случае, необходимо принимать во внимание разное время экспозиции, пропускание оптических фильтров и чувствительность различных элементов CCD матрицы. Однако стандартной процедуры не достаточно для калибровки яркости изображений. Поэтому для компенсации вариаций яркости в дальнейшем анализе был применен метод калибровки по центральной части солнечного диска. Были опробованы различные варианты компенсации вариации средней яркости. К таким методикам можно отнести добавление постоянной величины $D = \langle I_d \rangle - I_d$, отличающей текущую яркость от средней за весь период наблюдений. Другим методом было проведение анализа в относительных единицах к текущей яркости диска $I = I/I_d$. Также вычислялась относительная яркость короны на разных высотах $I_r = I_{r1}/I_{r0}$.

Приводимые ниже результаты, в целом, оказались одинаковыми для различных методов калибровки, а также в ее отсутствии, но с разными уровнем шума. Для измерения интенсивности короны первоначально проводилось наложение гелиографической сетки на изображение с учетом угла P . Далее проводилось определение интенсивности на фиксированных высотах с шагом 2 по полярному углу. Таким образом, для каждой выбранной высоты за каждый день наблюдений формировалась таблица данных интенсивности, а также проводилось измерение яркости солнечного диска I_d внутри круга, ограниченного значением радиуса $0.8R$. По полученным данным формировались среднемесячные значения. В периоды отсутствия наблюдений данные интерполировались.

На рис. 1, 2 представлены широтно-временные диаграммы изменения яркости короны на высотах $r = 1.01, 1.05, 1.10$ и $1.20R$ в период 1996.5 – 2002 гг. Данные представлены в единицах яркости диска по данным наблюдений телескопа EIT–171 Å. Обращает на себя внимание различное поведение низкой $r < 1.05R$ и высокой $r > 1.07R$ короны.

В области средних и низких широт Солнца широтное распределение яркости высокой короны имеет характерную структуру бабочек, связанную с активностью пятен. Относительная яркость низкой короны максимальна на фазах минимума и спада активности солнечных пятен. На фазе максимума активности низкая корона на средних широтах имеет небольшую относительную яркость. На высотах $r < 1.05R$ в период 2000 года, т.е. в эпоху, близкую к максимуму активности солнечных пятен корона EIT–171 имеет относительный минимум яркости. Спустя год после прохождения максимума активности яркость короны на низких высотах значительно увеличивается, образуя вторичный максимум.

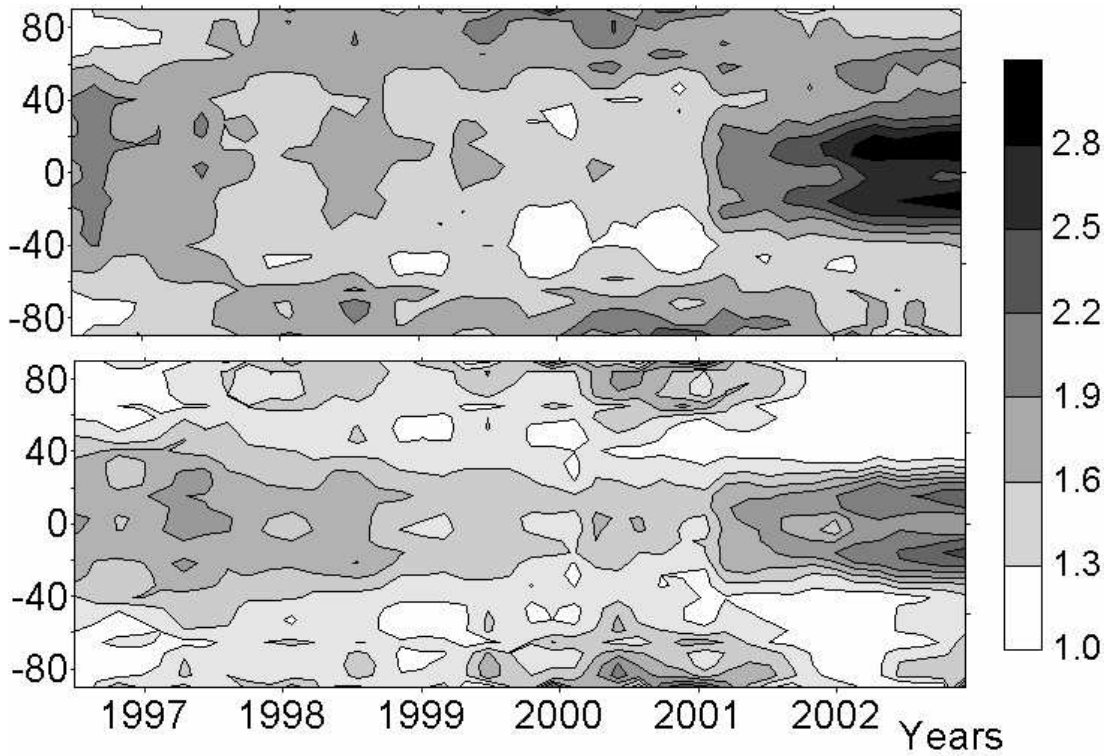


Рис. 1. Яркость короны на высотах $R = 1.01, 1.05R_{\odot}$ по данным наблюдений SOHO/EIT-171Å, представленная в единицах яркости солнечного диска

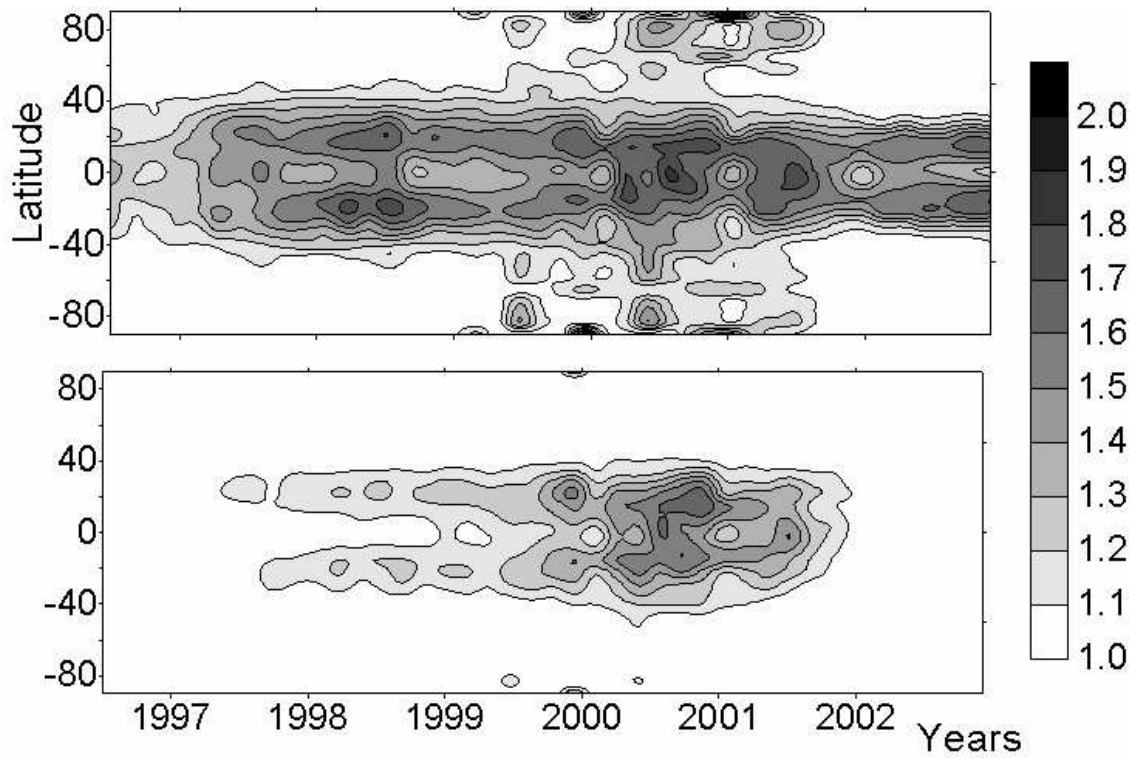


Рис. 2. Относительная яркость короны на высотах $1.10R_{\odot}, 1.20R_{\odot}$

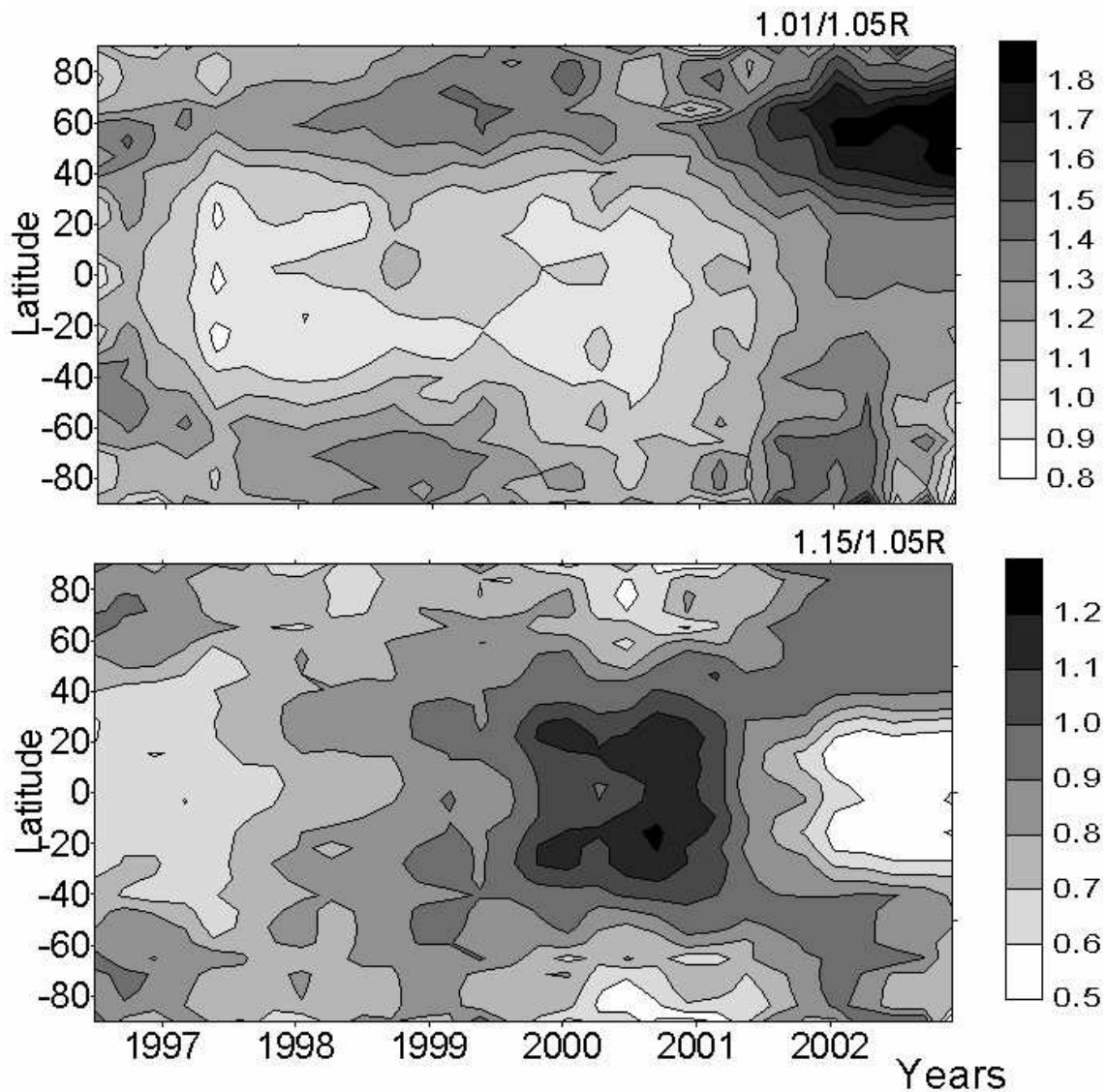


Рис. 3. Отношение интенсивности короны на высотах а) $1.01R/1.05R$ и б) $1.15R/1.05R$

С высотой уменьшение относительной яркости короны в годы максимума активности меняется на ее увеличение. Высота $r = 1.07R$ является, очевидно, переходной областью, в которой корона имеет относительную яркость примерно одинаковую на разных фазах развития цикла активности. Выше этой величины, яркость короны напрямую становится зависимой от уровня активности Солнца. На высотах $r = 1.15R$ и более корона имеет максимум в годы максимума 23-го цикла активности. Следует обратить внимание, что яркость короны северного и южного полушария в период 2000 – 2001 годов максимальна в области экватора.

На высоких широтах выше $\theta > 50$ также присутствуют локальные максимумы. Наибольшую яркость полярная корона проявляет на высотах $r < 1.07R$ в период 1998 – 2001 г., т.е. непосредственно перед достижением высокоширотным поясом волокон полюсов. Такая особенность увеличения яркости короны по данным наблюдений телескопа EIT отмечалась и в работе (Беневоленская и др., 2001). Вместе с тем на высотах $r = 1.07, 1.10R$ максимальная яркость полярной короны наблюдается

в период 2001 – 2002 годов, что свидетельствует о том, что свечение короны связано непосредственно с существованием высокоширотных нейтральных линий.

3 Обсуждение

Различное поведение яркости низкой и высокой короны в течение 23-го цикла активности говорит о различных механизмах формирования интенсивности короны с высотой. Очевидно, что высокая корона ($r > 1.10R$), видимая в линии 171Å формируется в основном за счет арочных структур. В свою очередь высота арок связана с особенностями биполярных групп, над которыми они формируются. В максимуме цикла эти арки поднимаются на максимально возможную высоту. Характер яркости в разных полушариях Солнца на этих высотах, показывает одновременность локальных максимумов и перекрытие экватора, в области которого активность отсутствует. Это может свидетельствовать о перезамыкании арок северного и южного полушарий.

Диффузионная корона, вероятно, формируется другими механизмами. Сам характер свечения приводит к выводу, что этот вид короны формируется под действием мелкомасштабной составляющей фотосферного магнитного поля, занимающего обширные участки на диске Солнца. Эти области составлены из локальных источников небольшого размера различной полярности. Такое распределение магнитных полей отмечалось при анализе данных магнитографа MDI (Тлатов, Макаров, 2000а) для областей размером $S < 300$ мдп.

Важную информацию о характеристике солнечной короны может дать представление отношение интенсивности короны на разных высотах. На рис. 3а) и б) представлено отношение среднемесячной интенсивности короны на высотах $r = 1.01R$ и $r = 1.15R$ к интенсивности короны на высоте $r = 1.05R$. Относительно короны на высоте $1.05R$ низкая корона показывает увеличение относительной яркости в высокоширотных областях. В максимуме активности, значительная часть фотосферы может быть занята униполярными магнитными площадками большой площади, над которыми диффузная корона отсутствует.

Корона на высотах больших, чем $1.05R$ представлена в основном арочными структурами, свойственными максимуму активности. Отношение интенсивности короны здесь может быть полезной при оценке высот арочных структур. На отношении интенсивности корон $1.15/1.05$ можно отметить также и дрейфы в направлении от полюсов к экватору до максимума цикла активности и от экватора к полюсам после максимума активности. Подобное различное поведение низкой и высокой короны отмечалось в работе (Тлатов, Макаров, 2002б).

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ N 03-02-16091 и 02-02-16035.

Литература

- Аучер, Хасслер и др. (Auchere F., Hassler D.M., Slater D.C., Woods T.N.) // Solar Phys. 2001. V. 202. P. 269.
- Беневоленская, Косовичев, Шерер (Benevolenskaya E.A., Kosovichev A.G., Sherer P.H.) // Astroph. J. 2001. V. 554. P. 107L.
- Дере, Мосес, Далабудинир и др. (Dere K.P., Moses J.D., Delaboudiniere J.-P. et al.) // Solar Phys. 2000. V. 195. P. 13.
- Тлатов А.Г., Макаров В.И. // Солнечная актив. и косм. лучи после смены знака магн. поля Солнца / Ред. Макаров В.И., Обридко В.Н., 2002. Пулково. С. 476.
- Тлатов А.Г., Макаров В.И. // Солнечная актив. и косм. лучи после смены знака магн. поля Солнца / Ред. Макаров В.И., Обридко В.Н., 2002б. Пулково. С. 524.