ТЕМНЫЕ ТОЧКИ, НАБЛЮДАЕМЫЕ НА ФОТОСФЕРЕ СОЛНЦА, И ПОДСЧЕТ ИНДЕКСА СОЛНЕЧНЫХ ПЯТЕН

Тлатов А.Г.^{1,2}, Тлатова К.А.¹, Илларионов Е.А.³

¹*Кисловодская Горная астрономическая станция ГАО РАН, Кисловодск, Россия*

²*Калмыцкий государственный университет, Элиста, Россия*

³*Московский государственный университет, Москва, Россия*

DARK POINTS OBSERVED IN THE SUN PHOTOSPHERE AND SUNSPOT INDEX CALCULATION

Tlatov A.G.^{1,2}, Tlatova K.A.¹, Illarionov E.A.³

¹*Kislovodsk mountain astronomical station of the Pulkovo observatory, Kislovodsk, Russia*

²*Kalmyk State University, Elista, Russia*

³*MSU, Moscow*

A large number of dark areas of small size can be allocated on modern satellite observations of the Sun in a “continuum” with high spatial resolution, as well as on observations at high-quality high-altitude observatories. These areas have no penumbra, have a contrast of 2-20% and are similar to solar pores. The characteristic area of such structures is $0.3 \div 5$ mhs or a diameter of $0.5 \div 5$ mm. The number of such points can be several hundred in one image. The nature of such formations remains unclear.

We performed allocation of the dark objects with a contrast of at least 2% of the quiet Sun level on the HMI/SDO observations in the continuum for the period 05.2010–05.2019. It is shown that the number of dark points with an area of less than 5 mhs, in which the magnetic field is not significant and is less than $|B| < 30$ G accounts for 60 to 80% of the total number of this size structures. This means that they are not associated with magnetic activity. The existence of such structures can significantly affect the calculation of the sunspot index, since such structures can be mistaken for pores.

DOI: 10.31725/0552-5829-2019-391-394

Введение

Солнечные пятна проявляются на фотосфере как области с пониженной температурой и излучением. Солнечное пятно выглядит как часть фотосферы с существенно меньшей яркостью, чем окружающие участки. Регулярные солнечные пятна состоят из темной тени, окруженной более светлой полутенью. При переходе от тени к полутени в фотосфере интенсивность излучения меняется почти скачкообразно. Внутри полутени она приблизительно постоянна, а внутри тени, как правило, уменьшается к центру ядра. Тень в среднем занимает 15–25% от площади пятна. Яркость тени составляет 5–15% яркости фотосферы, в зависимости от длины волны, но не зависит от размеров тени [1].

Помимо регулярных пятен существуют поры [1] и переходные пятна. Порами называются мелкие солнечные пятна, не имеющие полутени. Их диаметр составляет от 1" до 5" или $\sim 0.7\text{--}3.5$ Мм, что соответствует пло-

щади $\sim 0.4\text{--}4$ мдп [1]. Поры встречаются как индивидуальные образования, так и в составе групп пятен. Время жизни пор составляет несколько часов, но в составе группы пятен они могут существовать до нескольких суток. По данным наблюдений Кисловодской Горной станции, поры имеют максимум значения распределения площади $S_{\text{por}} \sim 3.6$ мдп ($d \sim 3.7''$), пятна $S_{\text{sp}} \sim 120$ мдп ($d \sim 30''$) [2]. Переходные пятна, как правило, имеют площадь в диапазоне $20\text{--}100$ мдп и занимают промежуточное положение между порами и регулярными пятнами, поскольку их полутень не до конца сформирована [2, 3].

В данной работе мы выполнили выделение темных структур на фотосфере по данным наблюдений космической обсерватории HMI/SDO за период 05.2010–05.2019 и показываем, что большое число таких структур не связано с магнитной активностью. Следовательно, это может вносить ошибки в подсчет индекса солнечных пятен.

Обработка наблюдательных данных

Для анализа мы использовали данные обсерватории HMI/SDO измерений интенсивности с экспозицией 45 сек., на момент времени близкий к 5:00 UT. Данные магнитного поля подбирались на тот же момент времени, чтобы наиболее точно совместить измерения интенсивности и магнитных полей.

Для сравнительного анализа характеристик темных объектов необходимо знать типичные распределения контраста для пятен и пор. В работе [2] представлены характеристики пор и пятен по данным синоптических наблюдений Кисловодской астрономической станции. Мы воспользовались рядом Кисловодска для определения типичных значений контраста. Таким образом, для выделения пор и темных точек необходимо выделение объектов с контрастом в несколько процентов. Для выделения темных точек на изображениях HMI/SDO необходимо убрать потемнения к краю и другие возможные неоднородности интенсивности на диске. Процедура устранения потемнения к краю и созданию диска фоновой интенсивности I_{fon} была следующей.

После нормализации интенсивности выполнялась процедура выделения темных объектов на диске Солнца с контрастом не менее некоторой пороговой величины $t_{\text{hr}} = 2\%$ от интенсивности фона. Кластеры точек пониженной интенсивности запоминались в виде структур. Это позволяло определить координаты, площадь, средний контраст и другие параметры кластера. Также проводилось измерение магнитного поля. Для этого выбиралось измерение магнитного поля, проведенное в тот же момент времени и с такой же экспозицией.

Результаты обработки данных

На рис. 1 представлены среднемесячные значения выделенных темных структур их числа и площадей. Данные были разделены в зависимости

от размера и интенсивности магнитного поля. Общее число и площадь структур максимальна в эпоху максимума и уменьшается в эпоху минимума. Большая часть структур связана с магнитным полем. Вместе с тем, имеются структуры, в которых магнитное поле незначительно. Для этого мы выделили структуры, в которых среднее магнитное поле по абсолютному значению менее 30 G. Если общее число темных структур составляет около $200 \div 250$, то количество элементов, в которых магнитное поле мало N_{NB} , составляет $N_{NB} = 100 \div 150$. Количество структур с малым магнитным полем максимально в эпоху минимума активности и уменьшается в эпоху максимума активности. Вероятно, это связано с тем, что в максимуме активности растет площадь, занятыми активными областями, в которых магнитные поля значительны.

Рис. 1. Среднемесячные значения выделенных темных структур их числа (слева) и площади (справа). Данные были разделены в зависимости от размера и интенсивности магнитного поля.

Рис. 2. Зависимость между контрастом темных элементов и величиной магнитного поля B_{max} в активных областях (слева) и вне активных областей (справа).

В нашем анализе контраст выделенных темных элементов превышал 2%. На рис. 2 представлены зависимости контраста и максимальных значений магнитного поля, отдельно вблизи активных областей и вне их.

Для разделения областей мы считали, что если темный элемент находился на расстоянии менее 8 градусов по долготе и 5 градусов по широте от центра активной области, то это элемент АО. Если больше этих значений, то элемент находится вне АО. Из рис. 2 видно, что в диапазоне контраста $2 \div 20\%$ существует две области значений для магнитного поля. Элементы в которых магнитное поле достигает $300 \div 500$ G и более очевидно связано с магнитными структурами в АО. Но также существует достаточно большое число темных элементов, в которых контраст значительный, а магнитное поле не существенно. Вблизи значений контраста $\sim 15\%$ существует локальный максимум распределений.

Выводы

Мы выполнили анализ темных элементов, выделенных в интенсивности в континууме по данным наблюдений HMI/SDO и сопоставили эти элементы с магнитным полем, измеренным в тот же момент времени. Оказалось, что существует достаточно много, ~ 100 единиц на на диске Солнце, элементов площадью $0.3 \div 5$ мдп или диаметр $0.5 \div 5$ Мм, контрастом $\sim 2 \div 20\%$, имеющих слабые магнитные поля и, по видимому, не связанные с магнитной активностью. Эти элементы, которые можно назвать “черными точками”, могут ошибочно приниматься за солнечные поры.

Существование черных точек должно учитываться при подсчете индекса солнечных пятен, поскольку они могут быть ложно приняты за солнечные поры. Особенно это важно при анализе изображений с хорошим пространственным разрешением, таких как спутниковые наблюдения и наблюдения на высокогорных обсерваториях. Переход к подсчету индекса солнечных пятен на таких изображениях, особенно с применением автоматических методов обработки может существенно повлиять на стабильность рядов индексов солнечных пятен.

Работа выполнена при поддержке проекта РФФИ 18-02-00098 –а и проекта РНФ N 15-12-20001.

Литература

1. Витинский Ю.И., Конецкий М, Куклин Г.В. Статистика пятнообразовательной деятельности Солнца. – М.: Наука, 1986.
2. Tlatov, A.G., Vasil'eva, V.V., Makarova, V.V., Otkidychev, P.A. // Solar Phys., 2014, 289.
2. Tlatov, A, Riehoainen, A., Tlatova, K. // Sol. Phys., 2019, 294, 45.
3. Tlatov, A.G., Pevtsov, A.A. // Solar Phys., 2014, 289, 1143.