

## ДИНАМИКА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ТОКОВ И ФОТОСФЕРНЫХ ТЕЧЕНИЙ ПЛАЗМЫ, НАБЛЮДАЕМАЯ В ПРОЦЕССЕ РАЗВИТИЯ НЕЭРУПТИВНОЙ СОЛНЕЧНОЙ ВСПЫШКИ

И.Н. Шарыкин, В.М. Садыков, С. Варгас Домингез, А.Г. Косовичев

### DYNAMICS OF ELECTRIC CURRENTS AND PHOTOSPHERIC PLASMA FLOWS OBSERVED DURING A NON-ERUPTIVE SOLAR FLARE

I.N. Sharykin, V.M. Sadykov, S. Vargas Dominguez, A.G. Kosovichev

Не эруптивная солнечная вспышка GOES класса M1.0, произошедшая 12 июня 2014 г. в 21:01 UT, наблюдалась новым оптическим телескопом NST/BBSO с помощью приборов BFI (фильтр TiO) и VIS (H $\alpha$ ). Отсутствие эрупции магнитного волокна говорит о неприменимости стандартной модели эруптивной солнечной вспышки к данному событию. Наличие наблюдательных данных NST с высоким пространственным разрешением (вплоть до 0.09 угл. сек.) и неэруптивная природа события являются главными критериями отбора данной солнечной вспышки. Целью работы является исследование роли физических процессов в нижней атмосфере в инициации и развитии вспышечного процесса в выбранной солнечной вспышке. На основе данных HMI/SDO установлено, что с солнечной вспышкой связана перестройка фотосферных течений и уменьшение величины электрических токов, сконцентрированных около линии инверсии полярности магнитного поля. По данным наблюдений NST показано расширение магнитного жгута, расположенного в области фотосферных течений. Представленные наблюдательные данные свидетельствуют о том, что вспышечное энерговыделение связано с физическими процессами в нижней части солнечной атмосферы.

We present the case-study of the non-eruptive solar flare of 12 June, 2014 which was observed by the New Solar Telescope (NST) in Big Bear Solar Observatory using the TiO and H-alpha filters. The absence of eruption of the magnetic flux rope excludes the scenario of the standard model of the eruptive solar flare. We selected this solar flare due to its non-eruptive nature and availability of the high spatial resolution (up to 0.09 arcsec) NST observations. The main scope of the work is to investigate a role of the physical processes in the lower solar atmosphere for the selected solar flare. Basing on HMI/SDO observations, we show that flare energy release is connected with redistribution of the photospheric flows and decreasing electric currents, concentrated near the magnetic field polarity inversion line. According to the NST observation we found magnetic flux rope expansion in the region of the intensified photospheric flows. Presented observational data argue for connection between physical process in the lower solar atmosphere and initiation of the selected solar flare.

#### Содержание

Согласно стандартной модели [Magara et al., 1996; Tsuneta, 1997], солнечные вспышки возникают в результате эрупции магнитного жгута. Ниже жгута формируется квазивертикальный токовый слой, который отождествляется с областью первоначального вспышечного энерговыделения. В токовом слое происходит магнитное пересоединение, сопровождающееся нагревом плазмы до нескольких десятков МК и ускорением электронов до ультрарелятивистских скоростей. Однако стандартная модель применима только к эруптивным солнечным вспышкам. Существуют события, которые не могут быть объяснены в рамках данной модели. В частности, первоначальное энерговыделение солнечных вспышек может происходить в плотных слоях солнечной атмосферы [Fletcher et al., 2011; Sharykin et al., 2015], и в качестве вспышечного триггера могут выступать физические процессы в этих слоях. Исследование вспышечного энерговыделения на уровне фотосферы и хромосферы представляет особый интерес для физики Солнца, так как физические процессы, происходящие в частично ионизованной плазме, являются слабо исследованными.

Основной целью работы является исследование роли физических процессов, происходящих в нижних слоях солнечной атмосферы, в инициации солнечных вспышек. В рамках этой задачи было выбрано не эруптивное событие SOL2014-06-12T21:12 класса M1.0, наблюдавшееся наземным оптическим телескопом NST в составе обсерватории BBSO. Ранее солнечная вспышка рассматривалась в работе

[Sadykov et al., 2015], где исследовалось хромосферное испарение по данным наблюдений ультрафиолетовой обсерватории IRIS и рентгеновской обсерватории RHESSI.

В работе используются изображения, получаемые оптическим телескопом NST [Goode et al., 2012], которые характеризуются очень высоким пространственным разрешением (~100 км). Также используются данные о магнитном поле и скоростях (по лучу зрения) плазмы на уровне фотосферы, полученные прибором HMI/SDO [Scherrer et al., 2012].

На рис. 1 приведены изображения NST, полученные с помощью приборов VIS (линия H $\alpha$ , 6563±0.8 Å) и BFI (фильтр TiO, 7057 Å). Изображения в фильтре TiO показывают расширение магнитоплазменного жгута (рис. 1, желтый пунктирный контур). В области жгута, вспышечное энерговыделение проявляется в виде лент, наблюдаемых в «крыльях» На линии (средняя и нижняя панель рис. 1).

По векторным магнитограммам HMI/SDO рассчитана плотность электрических токов (методика расчета см. в [Sharykin et al., 2015]). На рис. 2 показано, что после солнечной вспышки плотность электрических токов уменьшается, что может указывать на их диссипацию. Также показано, что в области жгута, наблюдаемого на изображениях, сделанных с помощью фильтра TiO, есть течения плазмы. Область данных течений постепенно вытягивается вдоль линии инверсии магнитного поля.

Динамика течений наглядно показана на рис. 3, где приводятся распределения скоростей (правая панель) плазмы в разные моменты времени (течение

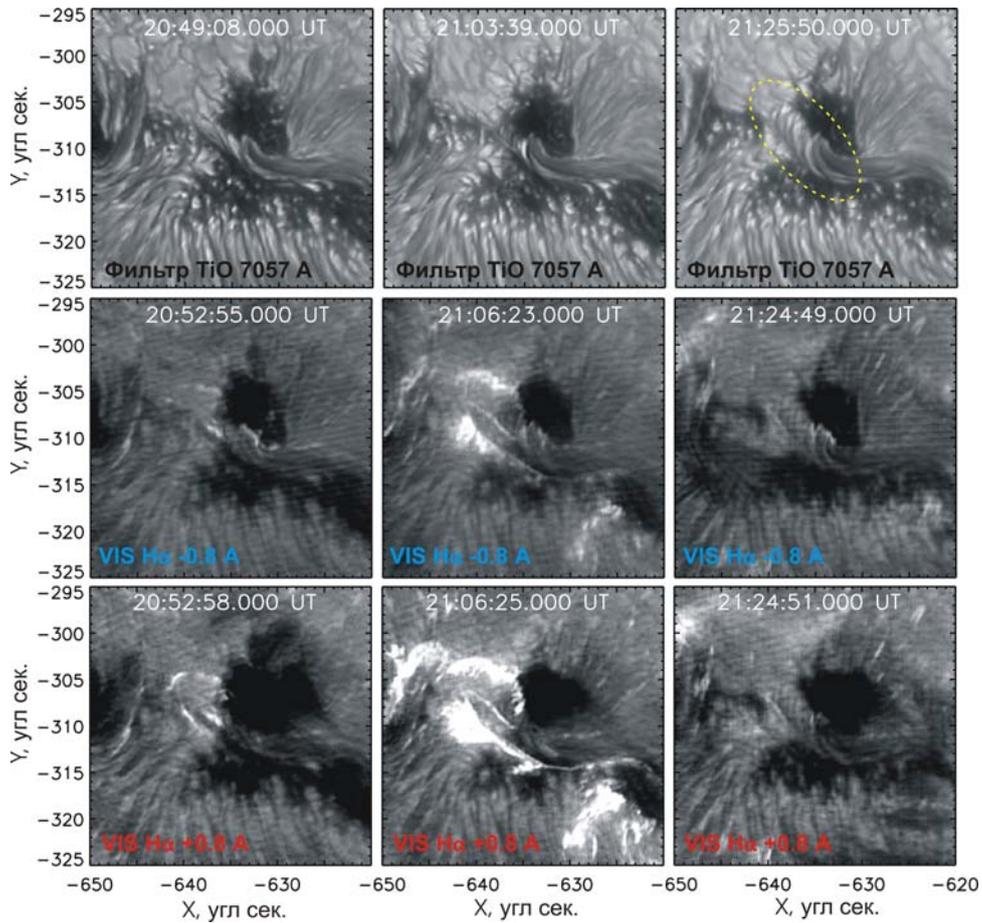


Рис. 1. Динамика вспышечной области по данным наблюдений телескопа NST/BBSO. Желтым пунктирным контуром обозначена область, где наблюдается скрученный жгут.

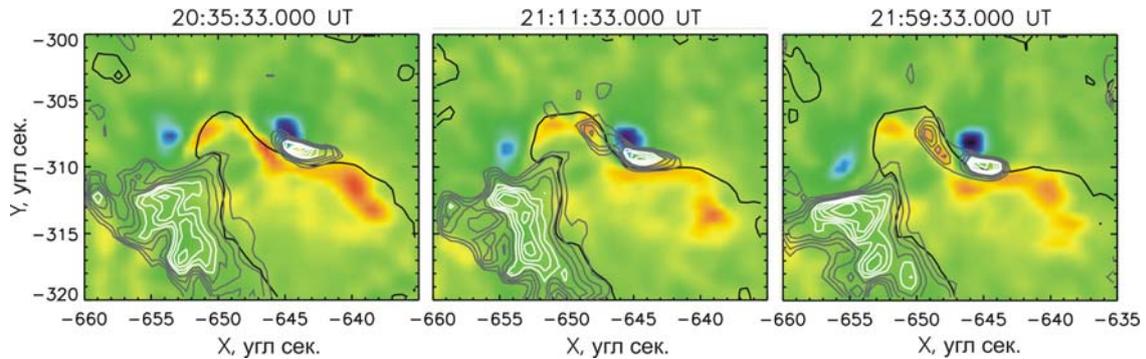


Рис. 2. Динамика скоростей течений (по лучу зрения) и электрических токов (цветная подложка) во вспышечной области по данным наблюдений телескопа HMI/SDO. Черным цветом показана линия инверсии полярности магнитного поля. Восходящие и нисходящие течения, соответственно, показаны белыми и серыми контурами.

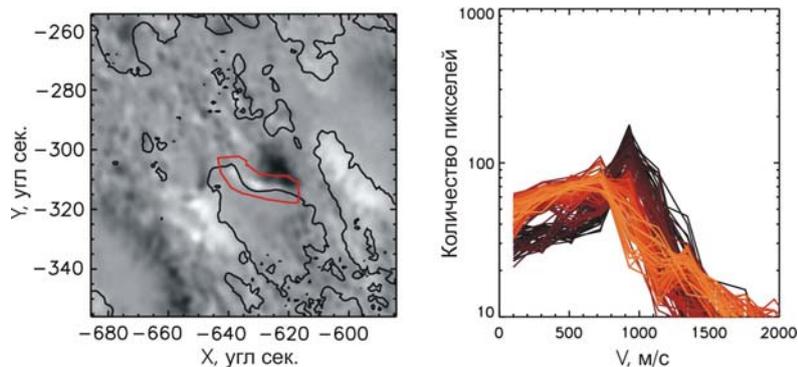


Рис. 3. На левой панели на доплерограмме HMI/SDO черным цветом показана линия инверсии полярности магнитного поля, а красным область, где были рассчитаны распределения доплеровских скоростей (правая панель) в разные моменты времени. Временная динамика распределения скоростей показана разными цветами (от черного к оранжевому).

времени обозначается разными цветами), рассчитанных в области, ограниченной красным контуром, указанным на левой панели. Резкое изменение формы распределения скоростей течений соответствует по времени исследуемой вспышке.

Приведенные результаты наблюдений показывают, что со вспышечным процессом связана перестройка системы фотосферных течений и электрических токов вблизи линии инверсии полярности магнитного поля. Причем данная перестройка на уровне фотосферы сопровождалась расширением магнитоплазменной структуры, наблюдаемой с помощью телескопа NST. Возможно, что область первоначального энерговыделения в исследуемом событии находится в нижних слоях солнечной атмосферы, а не в короне, как предполагается в рамках стандартной модели эруптивной солнечной вспышки.

#### *СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ*

Fletcher L., Dennis B.R., Hudson H.S., et al. An Observational Overview of Solar Flares // *Space Sci. Rev.* 2011. V. 159. P. 19.

Goode P.R., Cao W. The 1.6 m Off-Axis New Solar Telescope (NST) in Big Bear // *Second ATST-EAST Meeting: Magnetic Fields from the Photosphere to the Corona.* 2012. V. 463. P. 357.

Magara T., Mineshige S., Yokoyama T., Shibata K. Numerical Simulation of Magnetic Reconnection in Eruptive Flares // *Astrophys. J.* 1996. V. 466. P. 1054.

Sadykov V.M., Vargas-Dominguez S., Kosovichev A.G., et al. Analysis of IRIS and NST observations of the 12.06.2014 flare event // *Astrophys. J.* 2015. V. 805. P. 167.

Scherrer P.H., Schou J., Bush R.L., et al. The Helioseismic and Magnetic Imager (HMI) Investigation for the Solar Dynamics Observatory (SDO) // *Solar Phys.* 2012. V. 275. P. 207.

Sharykin I.N., Kosovichev A.G., Zimovets I.V. Energy Release and Initiation of Sunkquake in C-class Flare // 2014. Eprints arXiv: 1405.5912.

Tsuneta S. Moving Plasmoid and Formation of the Neutral Sheet in a Solar Flare // *Astrophys. J.* 1997. V. 483. P. 507.

*Институт космических исследований РАН, Москва, Россия*