

УДК 523.98

## ГОРИЗОНТАЛЬНАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ ТЕЧЕНИЙ ФОТОСФЕРНОЙ ПЛАЗМЫ ПРИ ВЫХОДЕ АКТИВНЫХ ОБЛАСТЕЙ НА СОЛНЦЕ

А.И. Хлыстова

## THE HORIZONTAL COMPONENT OF PHOTOSPHERIC PLASMA FLOWS DURING THE EMERGENCE OF ACTIVE REGIONS ON THE SUN

A.I. Khlystova

Анализируется динамика горизонтальных фотосферных течений в местах выхода магнитных полей активных областей на Солнце по данным SOHO/MDI. Рассматриваются активные области, возникающие на краю солнечного диска.

The dynamics of the horizontal photospheric flows is analyzed at places where magnetic fields of solar active regions emerge with data SOHO/MDI. Active regions emerging on the edge of the solar disk are considered.

### Введение

До сих пор горизонтальные скорости фотосферных течений, сопровождающие выход активных областей, оценивались косвенно. Отслеживание перемещений отдельных магнитных элементов дало значения горизонтальных скоростей от 0.1 до 1.8 км/с [Frazier, 1972; Schoolman, 1973; Barth, Livi, 1990; Strous, Zwaan, 1999; Otsuji et al., 2011]. Григорьев и др. (2009) определили скорости расхождения внешних границ фотосферного магнитного потока в активной области NOAA 10488. Значения скоростей уменьшались по мере выхода магнитных полей и в конце первого часа достигали 2–2.5 км/с, а через два с половиной часа составили 0.3 км/с.

В рамках данного исследования проводится анализ горизонтальной составляющей доплеровских скоростей в первые часы выхода активных областей на фотосферном уровне Солнца.

### Данные

В работе использовались магнитограммы и доплерограммы полного диска Солнца в фотосферной линии NiI 6768 Å и изображения в континууме SOHO/MDI [Scherrer et al., 1995]. Временное разрешение магнитограмм и доплерограмм 1 мин, изображений в континууме – 96 мин. Пространственное разрешение данных 4", размер пикселя соответствует 2". При обработке доплерограмм для устранения вклада дифференциального вращения Солнца и других факторов, искажающих сигнал скорости, применялась методика, описанная в работе [Григорьев и др., 2007]. На доплерограммах SOHO/MDI отрицательные значения соответствуют синему доплеровскому сдвигу (движение вещества к наблюдателю), положительные – красному доплеровскому сдвигу (движение вещества от наблюдателя).

Из временной последовательности данных выделялась область выхода магнитных полей с учетом ее смещения вследствие солнечного вращения. Точное пространственное совмещение данных достигалось за счет выделения фрагментов с одинаковыми координатами из магнитограмм, доплерограмм и изображений в континууме, полученных в одно время.

### Анализ объектов исследования

Рассматриваются активные области, возникающие вблизи лимба (см. таблицу). В таблице приведены (в столбцах): 1 – номер активной области в

каталоге NOAA; 2 – время начала возникновения активной области; 3 – координаты в начале появления активной области (рассматриваемые объекты расположены в разных секторах солнечного диска); 4 – гелиоцентрический угол, рассчитывается как  $\theta = \arcsin(r/R)$ , где  $r$  – расстояние от центра диска до места выхода активной области,  $R$  – радиус Солнца; 5 – полный магнитный поток (модуль магнитного потока) в максимуме развития активной области; 6 – скорость роста магнитного потока в первые 12 ч выхода магнитных полей; 7 – значение минимальной скорости в первые 12 ч выхода активной области; 8 – значение максимальной скорости в первые 12 ч выхода активной области.

### Результаты

Рассматриваемые активные области (см. таблицу) возникают в разных секторах солнечного диска, имеют разные пространственные масштабы, но морфология горизонтальных скоростных структур в первые часы выхода магнитных полей схожа. Наблюдается усиление отрицательных доплеровских скоростей на видимой линии раздела полярностей и положительных доплеровских скоростей в удаленном от центра диска полусе, при этом области разного знака скорости примыкают друг к другу (рис. 1–4).

AR 9037: скоростная структуры достигает пространственных размеров 35", существует около 10 ч (рис. 1); экстремальные значения доплеровских скоростей составили –1534 и 1540 м/с.

AR 8635: максимальный размер скоростной структуры достиг 30", время ее существования около 7 ч (рис. 2); экстремальные значения доплеровских скоростей составили –1408 и 1657 м/с.

AR 8536: наблюдаемая скоростная структура устойчиво существует на протяжении 13 ч, достигая размеров 25" (рис. 3); значения максимальных отрицательных и положительных доплеровских скоростей составили –1699 и 1556 м/с соответственно.

AR 9064: скоростная структура достигает пространственных размеров 20", существует около 4 ч (рис. 4); экстремальные значения доплеровских скоростей составили –1525 и 1654 м/с.

Во всех рассматриваемых объектах скоростная структура формируется в начале выхода магнитных полей, занимает протяженную область и присутствует несколько часов. Наблюдаемые организованные течения связаны непосредственно с выходом активных

1	2	3	4	5	6	7	8
NOAA	Дата и время	Координаты	$\theta$	$\Phi$ , Мкс	$d\Phi/dt$ , Мкс/ч	$V_{min}$ , м/с	$V_{max}$ , м/с
09037	2000.06.10 – 06:08 UT	N21E59 B0(+0.4) (NE)	$61^\circ$	$1.39 \times 10^{22}$	$1.17 \times 10^{20}$	-1534	1540
08635	1999.07.14 – 12:13 UT	N42W47 B0(+4.2) (NW)	$57^\circ$	$>2.97 \times 10^{21}$	$9.50 \times 10^{19}$	-1408	1657
08536	1999.05.06 – 00:51 UT	S24E65 B0(-3.7) (SE)	$66^\circ$	$>1.12 \times 10^{22}$	$1.13 \times 10^{20}$	-1699	1556
09064	2000.06.26 – 11:16 UT	S21W46 B0(+2.4) (SW)	$51^\circ$	$3.55 \times 10^{21}$	$1.63 \times 10^{20}$	-1525	1654

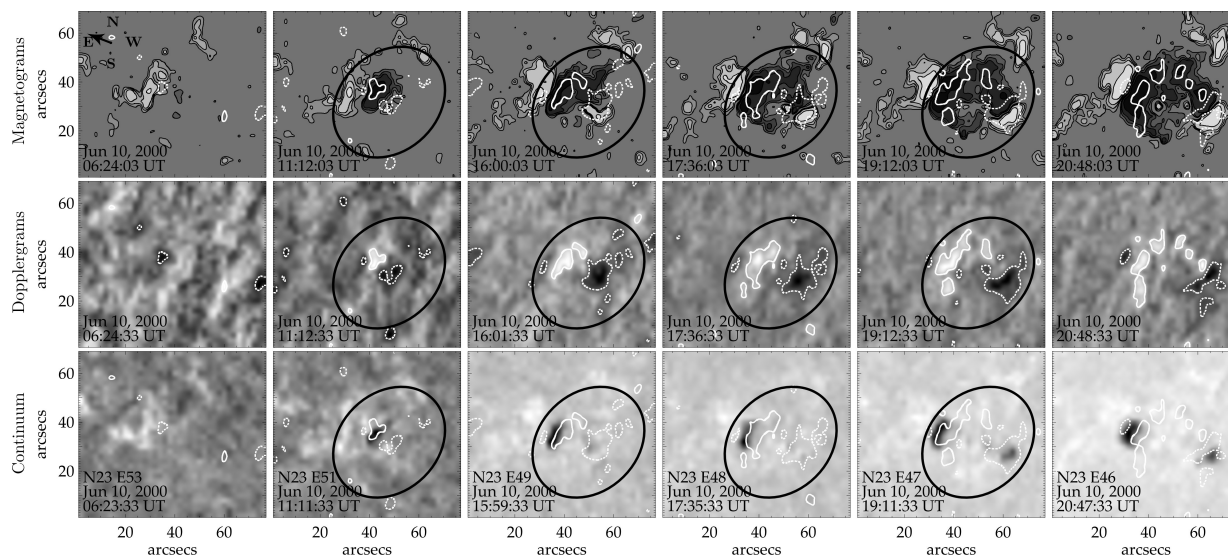


Рис. 1. Активная область NOAA 09037 (возникает в секторе NE). На доплерограммы, магнитограммы (изолинии  $\pm 60, 100, 150, 300$  Гс) и изображения в континууме наложены изолинии доплеровской скорости. Белая штриховая линия соответствует  $-500$  м/с (движение вещества к наблюдателю), белая сплошная линия соответствует  $+500$  м/с (движение вещества от наблюдателя). Овалом обозначено место формирования скоростной структуры. В левом верхнем углу показана ориентация изображения, стрелка указывает направление луча зрения на выходящий магнитный поток.

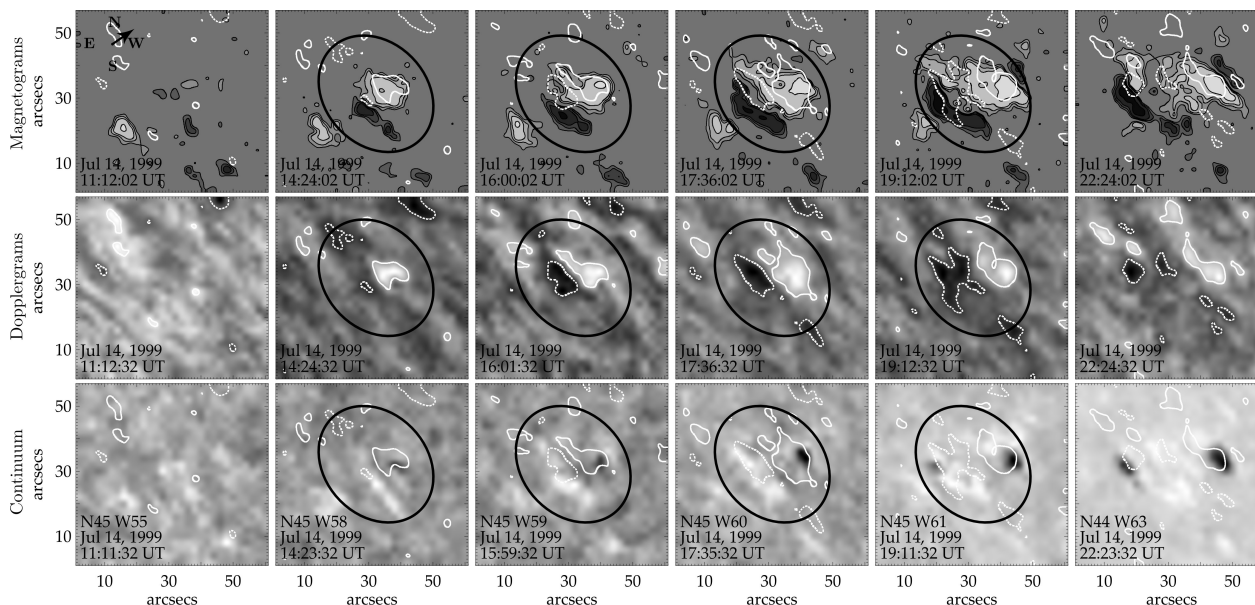


Рис. 2. Активная область NOAA 08635 (возникает в секторе NW). Обозначения такие же, как на рис. 1.

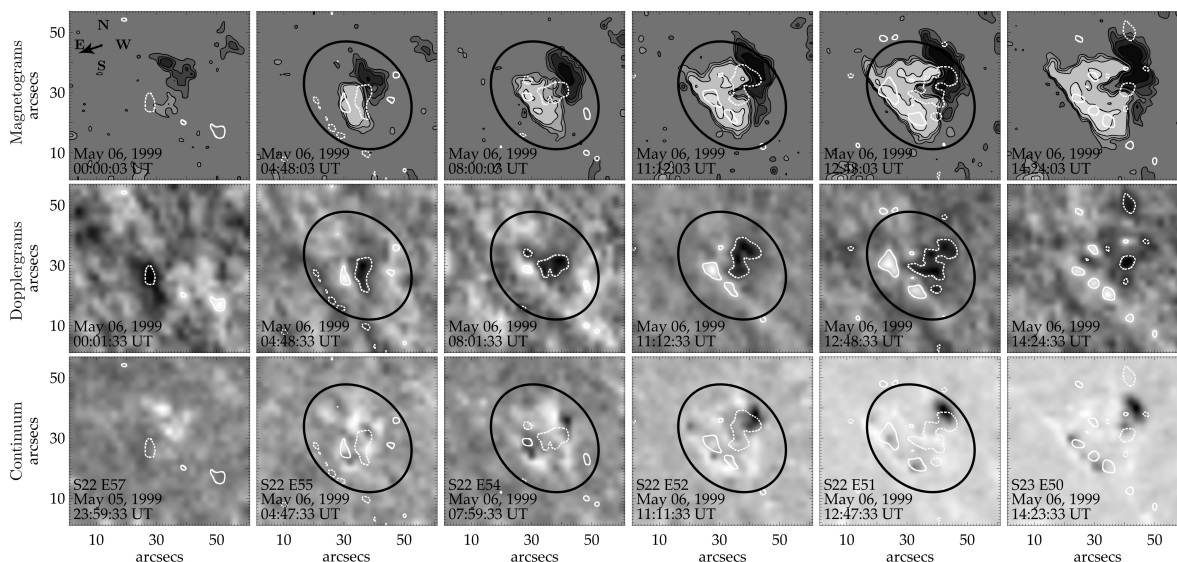


Рис. 3. Активная область NOAA 08536 (возникает в секторе SE). Обозначения такие же, как на рис. 1.

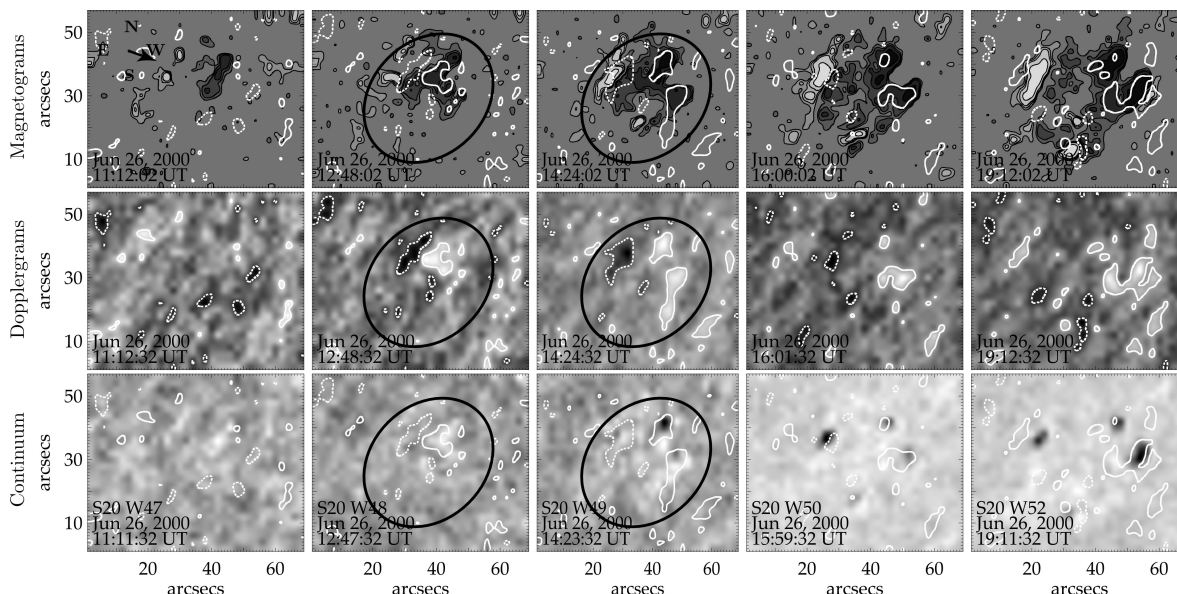


Рис. 4. Активная область NOAA 09064 (возникает в секторе SW). Обозначения такие же, как на рис. 1.

областей, их нет в окружающих регионах. Скорости, сопровождающие выход магнитных полей, существенно превосходят скорости конвективных течений. Скорости конвективных течений спокойного Солнца на разном расстоянии от центра диска по данным SOHO/MDI приведены на рис. 2 в работе [Хлыстова, 2011].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Григорьев В.М., Ермакова Л.В., Хлыстова А.И. Динамика лучевых скоростей и магнитного поля в фотосфере Солнца при возникновении мощной активной области NOAA 10488 // Письма в *Астрономический журнал*. 2007. Т. 33, № 11. С. 858–862.  
 Григорьев В.М., Ермакова Л.В., Хлыстова А.И. Появление магнитного потока на солнечной поверхности и рождение активных областей // *Астрономический журнал*. 2009. Т. 86, № 9. С. 935–944.

Хлыстова А.И. Закономерности, связанные с появлением активных областей на уровне фотосферы Солнца // *Настоящий сборник*. 2011. С. 117–119.  
 Barth C.S., Livi S. H. B. Magnetic bipoles in emerging flux regions on the Sun // *Mexicana Astron. Astrof.* 1990. V. 21. P. 549–551.  
 Frazier E.N. The magnetic structure of arch filament systems // *Sol. Phys.* 1972. V. 26. P. 130–141.  
 Scherrer P.H., Bogart R.S., Bush R.I., et al. The solar oscillations investigation – Michelson Doppler Imager // *Sol. Phys.* 1995. V. 162. P. 129–188.  
 Schoolman S.A. Videomagnetograph Studies of Solar magnetic fields. II. Field changes in an active region // *Sol. Phys.* 1973. V. 32. P. 379–388.  
 Strous L.H., Zwaan C. Phenomena in an emerging active region. II. Properties of the dynamic small-scale structure // *Astrophys. J.* 1999. V. 527. P. 435–444.

*Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск*