

# РЕАКЦИЯ МАГНИТОСФЕРЫ НА СКАЧОК ДАВЛЕНИЯ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ НАПРАВЛЕНИЯ ПОВОРОТА МЕЖПЛАНЕТНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ФРОНТЕ УДАРНОЙ ВОЛНЫ

<sup>1</sup>Е.С. Беленькая, <sup>1</sup>И.И. Алексеев, <sup>2</sup>Р. Клауэр

## THE MAGNETOSPHERE RESPONSE TO SOLAR WIND PRESSURE JUMP DEPENDING ON DIRECTION OF THE INTERPLANETARY MAGNETIC FIELD ROTATION ACROSS THE SHOCK FRONT

E.S. Belenkaya, I.I. Alekseev, C.R. Clauer

Обычный отклик магнитосферы на скачок динамического давления солнечного ветра на низких широтах на поверхности Земли представляет собой внезапное возрастание геомагнитного поля одновременно на всех долготах. Однако этот отклик зависит от условий в межпланетном магнитном поле (ММП). В работе показано, что обычный отклик магнитосферы осуществляется, например, при повороте  $B_z$  ММП от нуля к югу. При повороте  $B_z$  от нуля к северу может возникнуть усиление направленного на север низкоширотного геомагнитного поля ночью и его ослабление (или даже поворот к югу) днем.

A usual magnetosphere response to jump of the solar wind dynamic pressure in the low latitudes on the Earth's surface is an abrupt increase of the geomagnetic field at all longitudes at a time. However, this response depends on conditions in the interplanetary magnetic field (IMF). This study shows that a usual magnetosphere response takes place when the IMF  $B_z$  turns from zero to the south. When this component turns from zero to the north, the low-latitude geomagnetic field directed to the north may intensify at night and decay (or even turn to the south) by day.

### Обычный отклик на скачок динамического давления солнечного ветра

Внезапное возрастание динамического давления солнечного ветра вызывает сжатие магнитосферы, которое проявляется в глобальном усилении магнитного поля. В частности, обычно на низких широтах на поверхности Земли увеличивается направленное на север поле. В работе [1] показано, что направленные на север магнитные возмущения, возникающие в результате сжатия магнитосферы, оказываются более сильными на дневной стороне Земли, чем на ночной. Мы рассматриваем магнитные возмущения длительностью от 5 мин до одного часа. К ним не относятся короткоживущие колебания, связанные с гидромагнитными волнами сжатия.

Типичный отклик магнитосферы рассчитывался нами для 4 августа 1999 г. По данным спутника ACE, находящегося вверх по потоку в точке либрации L1, внезапное возрастание динамического давления солнечного ветра с одновременным поворотом от  $B_z \sim 0$  к югу было зарегистрировано в 01:15 UT. Наземные магнитометры на низких и средних широтах измерили соответствующие возмущения в 02:22 UT – одновременно на всех долготах усилилось направленное на север магнитное поле.

Расчеты проводились по аппроксимационным формулам, полученным при использовании параболической модели магнитосферы [2]. Наибольший вклад в магнитные возмущения, связанные со скачком давления, дают токи магнитопаузы:  $\Delta B_{\text{mp-noon}} = 20.6$  нТл днем и  $\Delta B_{\text{mp-night}} = 15.7$  нТл ночью. Магнитные возмущения токов хвоста:  $\Delta B_{\text{t-noon}} = -3$  нТл днем и  $\Delta B_{\text{t-night}} = -4.7$  нТл ночью. Суммарное возмущение магнитного поля на Земле составило  $\Delta B_{\text{noon}} = 20.6 - 3 = 17.6$  нТл днем и  $\Delta B_{\text{night}} = 15.7 - 4.7 = 11$  нТл ночью. Для сопоставления с результатами расчетов данные измерений наземного магнитного поля исправлялись с учетом диамагнетизма токов внутри Земли (вводился коэффи-

циент 1/1.3). При этом измеренные возмущения составили 15.3 нТл днем и 9.3 нТл ночью. Таким образом, с точностью до ~2 нТл численные расчеты магнитного поля возмущенных токовых систем описывают наблюдения.

### Необычный отклик на скачок динамического давления солнечного ветра

Как нами было показано ранее [3], при повороте на фронте межпланетной ударной волны ММП к северу от почти горизонтального направления возникает необычный отклик магнитного поля на низких широтах на поверхности Земли. Продемонстрируем это на примере события 24 сентября 1998 г.

Использовались данные по ММП и параметрам солнечного ветра, полученные на ИСЗ WIND. Регистрировался скачок давления солнечного ветра одновременно с поворотом ММП к северу. Возмущения магнитного поля на низких широтах носили асимметричный по долготе характер: ночью они были направлены на север, днем – на юг. Такую необычную реакцию на сжатие магнитосферы мы объяснили возникновением трехмерной токовой системы, связанной с образованием NBZ-токов при северном ММП, которую назвали переходной. Эта токовая система состоит из продольных токов NBZ и токов зоны 1, а также педерсеновских токов замыкания на ионосфере в области открытых силовых линий. В течение примерно 30–40 мин токи растекания по области замкнутых силовых линий практически отсутствуют, и на Земле в силу нарушения теоремы Фукушима может быть измерено магнитное поле переходной токовой системы.

Магнитное возмущение, вызванное сжатием магнитосферы, составило на экваторе Земли по модельным расчетам 20.6 нТл. Магнитное поле переходной токовой системы 24 сентября 1998 г. на экваторе Земли было порядка  $B_{\text{ter } z} = \pm 36.8$  нТл («+»

ночью, «–» днем) при силе тока в системе  $J = 3$  МА. Измеренные на экваторе Земли значения магнитных возмущений с учетом диамагнетизма токов внутри Земли составили  $-16.6$  нТл днем и  $+50$  нТл ночью. Эти значения можно представить как сумму однородного поля  $+16.7$  нТл, описывающего возмущения постоянно существующих магнитосферных токовых систем, и асимметричного поля  $\pm 32$  нТл («+» ночью, «–» днем), имитирующего поле переходной токовой системы. Таким образом, получено хорошее согласие с наблюдениями.

#### Заключение

При повороте ММП от  $B_z \sim 0$  к  $B_z < 0$  на низких широтах на Земле происходит глобальное возрастание направленного к северу магнитного поля. При повороте ММП от  $B_z \sim 0$  к  $B_z > 0$  на экваторе Земли возникают магнитные возмущения, направленные к северу ночью и к югу днем.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Mead G.D. Deformation of the geomagnetic field by the solar wind // J. Geophys. Res. 1964. V. 69. P. 1181.
2. Clauer C.R., Alexeev I.I., Belenkaya E.S., Baker J.B. Special features of the September 24–27, 1998 storm during high solar wind dynamic pressure and northward interplanetary magnetic field // J. Geophys. Res. 2001. V. 106, Is. A11. P. 25695–25712.
3. Belenkaya E.S., Alexeev I.I., Clauer C.R. Field-aligned current distribution in the transition current system // J. Geophys. Res. 2004. V. 109, Is. A11, CiteID A11207. doi:10.1029/2004JA010484.

<sup>1</sup>Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д.В. Скобельцына, МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва

<sup>2</sup>Политехнический институт Вирджинии и Государственный университет Брадлея, Блэксбург, VA 24061, США