

УДК 550.385

## СВОЙСТВА ДНЕВНЫХ ДЛИННОПЕРИОДНЫХ ПУЛЬСАЦИЙ, ВОЗБУЖДАЕМЫХ ИМПУЛЬСАМИ ДАВЛЕНИЯ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА

<sup>1,2</sup>Ю.Ю. Клибанова, <sup>1</sup>В.В. Мишин, <sup>1,3</sup>Б. Цэгмед

## PROPERTIES OF DAY TIME LONG PERIOD PULSATIONS GENERATED BY IMPULSES OF SOLAR WIND PRESSURE

<sup>1,2</sup>J.J. Klibanova, <sup>1</sup>V.V. Mishin, <sup>1,3</sup>B. Tsegmed

По данным двух сетей канадских станций, а также вне- и внутримангнитосферных спутников исследуются длиннопериодные геомагнитные пульсации, наблюдаемые в дневное время после импульсов динамического давления солнечного ветра (СВ). Показано, что существует тенденция связи направлений распространения и поляризации геомагнитных пульсаций, а также изменения их амплитуды в азимутальном направлении. Исследуется также связь спектра колебаний в СВ, магнитосфере и на Земле.

Under data of two webs of the Canadian stations, and also of satellites outside of and inside the magnetosphere we research longperiod geomagnetic pulsations observed in daytime after impulses of the solar wind dynamic pressure. It is shown, that there is a tendency of connection of directions of propagation and polarizations of geomagnetic pulsations, and also change of their amplitude in the azimuth direction. Connection of a spectrum of oscillations in the solar wind, the magnetosphere and on the Earth is also explored.

### Введение

Низкочастотные геомагнитные пульсации, наблюдаемые в дневное время, могут быть обусловлены проникновением волн из СВ, развитием МГД-неустойчивостей Кельвина–Гельмгольца и Рэлея–Тейлора на границе магнитосферы за счет ее обтекания и ее резких перемещений под действием импульсов динамического давления [Mishin, 1993], а также раскачкой вынужденных колебаний границы под действием колебаний СВ или магнитослоя [Parkhomov et al., 2003].

Настоящая работа посвящена исследованию пульсаций, возбуждаемых резкими изменениями давления СВ и ММП. Их распространение происходит с дневной стороны на ночную, в обе стороны от полудня: на запад и на восток [Соловьев и др., 2005]. В магнитоспокойное время точка их разбегания может смещаться от местного полудня: в вечернюю сторону при направлении ММП вдоль паркерской спирали или в утреннюю сторону при ортоспиральном направлении ММП [Korotova et al., 2002].

В данной работе рассмотрены два события: одно с умеренной активностью во время мгновенного импульса (SI) и второе – на фоне мгновенного начала бури (SSC).

### Данные наблюдений параметров СВ и геомагнитных пульсаций

Рассмотрим событие 16 июля 2005 г., обусловленное слабым импульсом СВ, не вызвавшим магнитосферную бурю.

На фронте скорость СВ составила  $\approx 420$  км/с, изменение концентрации  $n_1/n_2 \leq 1.5$  и ММП было слабым. ММП  $B_z$  стала положительной за 40 мин до прихода фронта. Перед фронтом зарегистрированы два предварительных импульса (в 16:53 UT и 17:03 UT). Значение  $AE$ -индекса в среднем 320 нТл.

Пульсации с устойчивой поляризацией наблюдались интервале 17:04–17:09 UT. На станциях DAWS, FSMI и FSIM (сеть CARISMA) поляризация была направлена против часовой стрелки, а на станциях

RABB и GILL изменила свое направление на противоположное. Смена поляризации наблюдалась и на станциях сети CANMOS: на ст. VIC с левым вращением, на станциях OTT и STJ – с правым (рис. 1, а). Из рис. 2, а видно, что вдоль параллели  $67^\circ$  волна «разбегается» от ст. GILL (10:06 MLT) на утро (к ст. DAWS) и на вечер (к ст. PBQ). Амплитуда равномерно нарастает в обе стороны от точки разбегания по направлению распространения волны. На параллели  $54^\circ$  пульсации распространяются от ст. OTT в 17:06:10 UT к ст. VIC (на утро) и ст. STJ (на вечер, рис. 2, а), амплитуда равномерно увеличивается от ст. OTT в направлениях на утро и на вечер. По данным сайта OMNI азимутальный угол наклона фронта, отсчитываемый от направления на Солнце против часовой стрелки, был равен ( $\phi = 53^\circ$ ). Точка касания его с магнитопаузой совпадает с местом разбегания пульсации (10:06 MLT, рис. 3, а), что соответствует представлениям [Korotova et al., 2002].

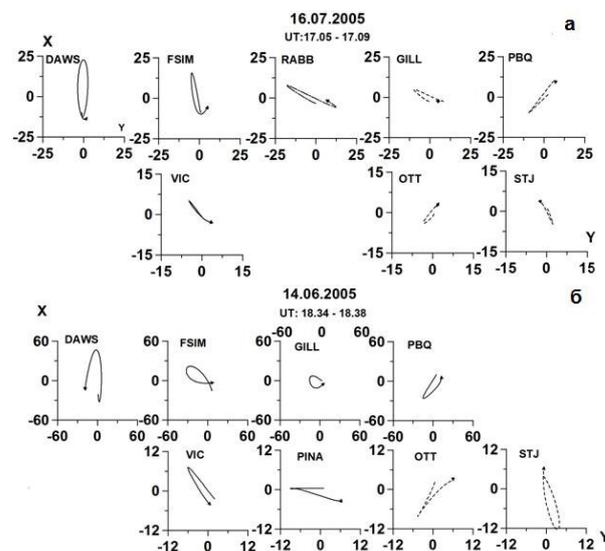


Рис. 1. Направление вращения вектора поляризации для двух событий: 16.07.2005 г. (а) и 14.06.2005 г. (б).

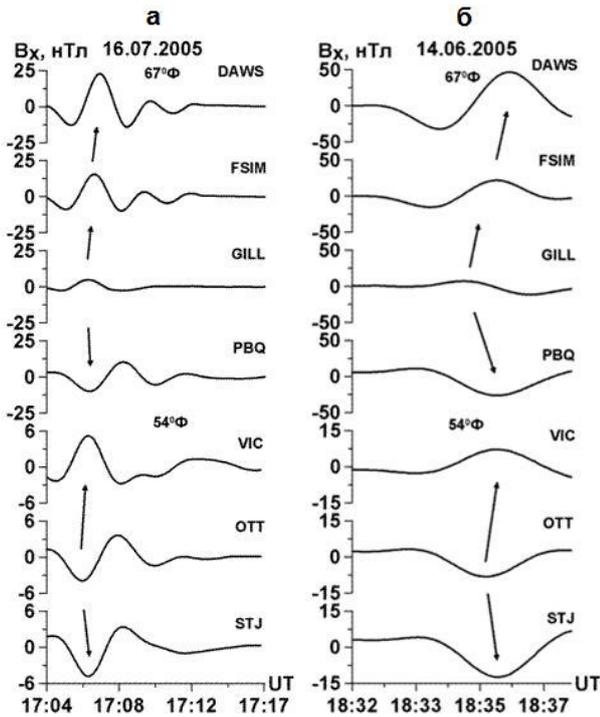


Рис. 2. Вариации  $B_x$ -компоненты по данным наземных канадских обсерваторий. Черными стрелками показано направление распространения геомагнитных пульсаций для событий 16.07.2005 г. (а) и 14.06.2005 г. (б).

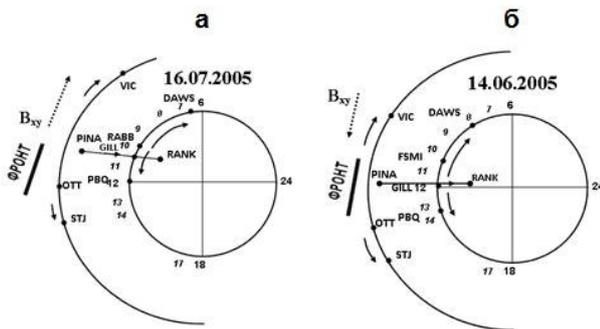


Рис. 3. Направления в плоскости  $(x, y)$  фронта импульса (жирная линия), вектор ММП (пунктирная стрелка), и направление распространения геомагнитных пульсаций (сплошные стрелки) для событий 16.07.2005 (а) и 14.06.2005 (б).

Рассмотрим более сильный импульс СВ 14 июня 2005 г.: в 18:35 UT наблюдалось мгновенное начало бури (SSC), связанное с приходом ударной волны [Нишида, 1980]. На ее фронте наблюдались резкие изменения основных параметров ММП и СВ. Концентрация увеличилась вдвое, скорость СВ составила  $V_x=440$  км/с. Величина  $AE$ -индекса достигла значения 332 нТл. Геомагнитные пульсации с устойчивой поляризацией наблюдались в интервале времени 18:33–18:40 UT. В данном случае на параллели сети станций CARISMA ( $67^\circ$ ) поляризация на всех станциях была направлена одинаково – против часовой стрелки. На более протяженной сети CANMOS (на параллели  $54^\circ\Phi$ ) поляризация изменила свое направление вблизи ст. OTT (рис. 1, б). Из рис. 2, б видно, что вдоль параллели DAWS–PBQ волна «разбегалась» от ст. GILL (полдень, 11:49 MLT) на утро (к ст. DAWS) и на вечер (к ст. PBQ). При этом

амплитуда равномерно нарастала в обе стороны от точки разбегания, по направлению распространения волны. На среднеширотных станциях пульсации также распространялись с нарастанием амплитуды от ст. OTT (13:40 MLT) к ст. VIC (на утро) и ст. STJ (на вечер) в соответствии с направлением вращения вектора поляризации.

Ударный фронт распространялся почти радиально, и разбегание волн происходило практически симметрично от полудня (рис. 3, б).

### Спектральные характеристики

Проведен спектральный анализ вариаций магнитного поля в СВ, магнитосфере и на Земле в диапазоне частот 1–5 мГц.

Во время события 16 июля 2005 г. (рис. 4, а) в СВ был выделен низкочастотный максимум 1.5 мГц на фоне слабого общего уровня спектральной мощности. На более высоких частотах в СВ слабые спектральные пики на частотах 2.6 и 3.5 мГц нашли отклик в колебаниях в ближнем хвосте на спутнике GEOTAIL (и только) на станциях параллели  $54^\circ$  – на слегка более низких частотах 2.2 и 3.1 мГц. Вероятно, из-за слабого перепада динамического давления на фронте глобальных колебаний (на всех станциях одновременно на одной частоте) не наблюдалось.

В SSC 14.06.2005 (рис. 4, б) усиление спектра мощности в полосе низких частот 1.3–1.6 мГц в СВ (на спутнике WIND) вызвало отклик только на станциях (DAWS, VIC и OTT), а на частотах порядка 2 мГц не было отклика ни на одной станции. В диапазоне 2.4–2.6 мГц в СВ колебаний не было, а на всех канадских станциях наблюдался спектральный максимум. Это говорит о наличии глобальных колебаний магнитосферы с частотой 2.5 мГц.

### Выводы

Показано, что свойства дневных длиннопериодных пульсаций, обусловленных импульсами СВ, соответствуют механизму возбуждения фронтом импульса поверхностных колебаний магнитопаузы. Регистрируемые при этом пульсации имеют короткий период устойчивой поляризации (порядка нескольких

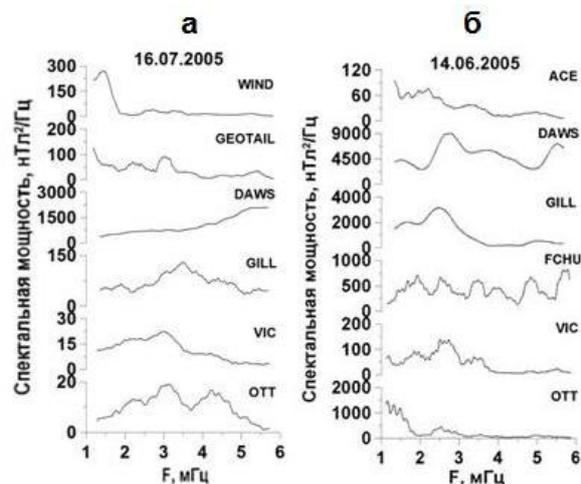


Рис. 4. Спектральная мощность колебаний в СВ (на спутниках ACE и WIND) и на наземных канадских обсерваториях для событий 16.07.2005 г. (а) и 14.06.2005 г. (б).

колебаний), а точка «разбегания», т. е. смены направления распространения в азимутальном направлении, смещается от полудня в зависимости от направления фронта неоднородности (импульса СВ).

Направление поляризации пульсаций меняется в соответствии с направлением распространения. Амплитуда пульсаций нарастает по направлению их распространения. Развитие геомагнитной активности может изменять это направление, например, вследствие генерации волн на ночной стороне и их распространения на дневную.

Спектральный анализ показал, что фронты с достаточно большим перепадом давления сопровождаются развитием не только бурь, но и начинающихся за несколько минут до SSC длиннопериодных пульсаций с неизменной по широте частотой (порядка 2.5 мГц). Такие глобальные пульсации могут быть проявлением радиальных колебаний магнитосферы [Пархомов и др., 2003].

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ №№ 08-05-90207 Mong, 10-05-00661, 11-05-00278-а.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Нишида А. Геомагнитный диагноз магнитосферы. М.: Мир, 1980. 299 с.

Пархомов П.А., Мишин В.В., Пашинин А.Ю. и др. Особенности магнитосферного отклика на импульсы давления в солнечном ветре по синхронным наблюдениям на Земле и на спутнике // Геомаг. аэрон. 2003, Т. 43, № 1. С. 23–31.

Соловьев С.И., Моисеев А.В., Енgebретсон М., Юмото К. Влияние ориентации межпланетного магнитного поля на формирование и распространение внезапного геомагнитного импульса // Там же. 2005. Т. 45, № 3. С. 373–385.

Korotova G.I., Sibeck D.G., Singer H.J., Rosenberg T.J. Tracking transient events through geosynchronous orbit and in the high – latitude ionosphere // J. Geophys. Res. 2002. V. 107, N A11. P. 1345. doi:10.1029/2002JA009477.

Mishin V.V. Accelerated motions of the magnetopause as a trigger of the Kelvin-Helmholtz instability // Ibid. 1993. V. 98, N 12. P. 21365–21372.

Parkhomov V.A., Mishin V.V., Pashinin A.Yu. Geomagnetic pulsations caused by the magnetopause oscillation (comparison of spacecraft and geomagnetic observations) // Adv. Space Res. 2003. V. 31, N 5. P. 1177–1182.

<sup>1</sup>Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск

<sup>2</sup>Иркутская государственная сельскохозяйственная академия, Иркутск

<sup>3</sup>Исследовательский центр астрономии и геофизики АН Монголии, Улаан-Баатар