

## СПЕКТР ДЛИННОПЕРИОДНЫХ ГЕОМАГНИТНЫХ ПУЛЬСАЦИЙ ВО ВРЕМЯ СОБЫТИЙ КЛАССОВ SI И SSC

<sup>1,2</sup>Ю.Ю. Клибанова

## SPECTRUM OF LONG-PERIOD GEOMAGNETIC PULSATIONS DURING SI AND SSC EVENTS

<sup>1,2</sup>Yu.Yu. Klibanova

Исследуются дневные длиннопериодные геомагнитные пульсации во время внезапных импульсов (SI) и мгновенных начал бурь (SSC), обусловленные резкими перепадами динамического давления солнечного ветра (СВ) и межпланетного поля. Используются данные сетей IMAGE (Европа), CARISMA, CANMOS (Канада) и азиатских геомагнитных станций Иркутск (Россия), Мемамбетсу и Какиока (Япония). Проведен спектральный анализ колебаний в диапазоне частот 1–6 мГц. Обнаружено, что колебания, возбуждаемые резкими фронтами SSC в диапазоне частот 2.3–2.8 мГц, наблюдаются глобально на высоких и средних широтах по всем долготам, но с максимумом амплитуды на дневной стороне. В этом диапазоне МГД-колебания в СВ отсутствуют. Более слабые изменения давления на фронте импульсов SI вызывают генерацию колебаний локально, а именно не на всех, а только на отдельных станциях.

We study daytime long-period geomagnetic pulsations caused by sharp changes in the solar wind (SW) dynamic pressure and interplanetary magnetic field during sudden impulses (SI) and sudden storms commencements (SSC). We use data of networks IMAGE (Europe), CARISMA, CANMOS (Canada) and Asian stations Irkutsk (Russia), Memambetsu and Kakioka (Japan). Spectral analysis of the oscillations within 1–6 mHz frequency range is made. Oscillations excited by sharp SSC fronts within 2.3–2.8 mHz frequency range are found to be observed globally at high and midlatitudes through all longitudes but with the maximum amplitude at the day side. MHD waves in SW are absent in this range. More weak pressure changes on the SI impulse front cause local response in pulsations not at all stations, but only at some of them.

### Введение

В данной работе анализировались спектры колебаний геомагнитного поля в диапазоне частот 1–6 мГц на Земле, в СВ и магнитосфере, вызванных импульсами динамического давления и межпланетного магнитного поля (ММП), которые могут быть двух видов: внезапные импульсы SI, не сопровождающиеся усилением геомагнитной активности и мгновенные начала бурь SSC. Спектры колебаний в рассматриваемом диапазоне частот выделены с помощью полосового цифрового фильтра на основе алгоритма [Marget, 1979].

### Спектральный анализ данных и обсуждение

Проведен спектральный анализ колебаний геомагнитного поля с устойчивой поляризацией в течение каждого из четырех событий, обусловленных набеганием фронта неоднородности СВ, которые различаются величиной перепада плотности и уровнем геомагнитной активности (см. подробное описание событий в работе [Мишин и др., 2013]).

Рассмотрим сначала колебания, обусловленные двумя SI, не вызвавшими магнитосферную бурю.

В первом событии 15.08.2005 г. зарегистрированы геомагнитные пульсации в интервале времени 20:10–20:18 UT. Их начало зафиксировано на несколько минут раньше ожидаемого геомагнитного отклика на прохождение фронта неоднородности СВ орбиты Земли. На фронте ММП поворачивает на юг ( $B_z = -2$  нТл), при этом динамическое давление СВ  $P_d$  почти не меняется, концентрация имеет значение  $n \approx 6 \text{ см}^{-3}$ , радиальная скорость СВ  $V_x \approx 530 \text{ км/с}$ , авроральная активность была слабой: индекс AE изменялся от 56 до 66 нТл. Низкочастотный максимум спектральной мощности (рис. 1) в СВ был получен по магнитным данным спутника ACE ( $224R_E$ ,  $-0.5R_E$ ,  $11R_E$  (GSE)) в диапазоне частот 1.8–2 мГц. Этот максимум не вызвал отклика ни на одной станции сетей CARISMA ( $\Phi = 67^\circ$ ) и CANMOS ( $\Phi = 54^\circ$ ).

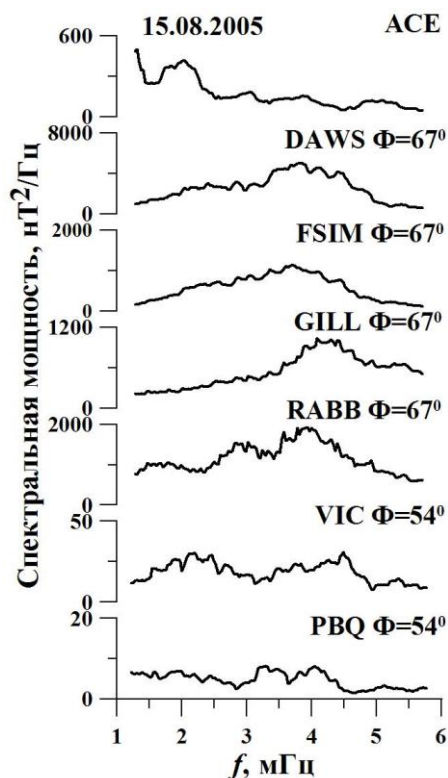


Рис. 1. Спектральная мощность колебаний магнитного поля в СВ (на спутнике ACE) и на наземных канадских обсерваториях для события SI-класса 15.08.2005 г.

Отклик на Земле на другие более слабые максимумы спектра колебаний в СВ на частотах 3 и 5.1 мГц был замечен только на отдельных станциях.

Во втором событии 16.07.2005 г. геомагнитные пульсации наблюдаются в интервале времени 17:04–17:09 UT. Эффект прохождения фронта неоднородности СВ орбиты Земли зарегистрирован в 17:06 UT. На фронте SI имеется скачок  $P_d$ , хотя радиальная скорость СВ меняется слабо от 400 до 420 км/с, но

значение концентрации частиц увеличивается в полтора раза от 8 до 12 см<sup>-3</sup>. Приход фронта вызвал кратковременное понижение *AE*-индекса от 326 до 288 нТл. Перед фронтом неоднородности в СВ зарегистрированы два предварительных импульса в 16:53 и 17:03 UT (скачки концентрации СВ от 7 до 9 см<sup>-3</sup>. По данным спутника ACE (230R<sub>E</sub>, -36R<sub>E</sub>, 23 R<sub>E</sub> (GSE)) в СВ был выделен низкочастотный максимум 1.5 мГц на фоне слабого общего уровня спектральной мощности (рис. 2), который нашел отклик на всех станциях параллели Φ=54° (CANMOS). Пик с максимальными значениями спектральной мощности проявился на всех станциях сети CARISMA, но не на всех станциях сети CANMOS в диапазоне частот 2.3–2.8 мГц. В СВ максимум спектра для этих частот не наблюдается.

Следующие два рассматриваемых события характеризуются более сильным скачком *P<sub>d</sub>* на фронте SSC.

В событии 14.06.2005 г. SSC зарегистрировано в 18:35 UT по наземным данным. Геомагнитные пульсации наблюдаются в интервале времени 18:33–18:40 UT. На фронте SSC значение концентрации увеличивается вдвое от 7 до 14 см<sup>-3</sup>, радиальная скорость СВ меняется от 448 до 500 км/с за 40 мин до прихода фронта *z*-компонента ММП повернулась на юг (*B<sub>z</sub>*=-1.5 нТл). Индекс авроральной активности анализируемого диапазона пульсаций возрастает от 63 до 209 нТл. Усиление спектра мощности в СВ по данным спутника ACE (244R<sub>E</sub>, 32.5R<sub>E</sub>, 11R<sub>E</sub> (GSE)) на частотах порядка 2 мГц не вызвало отклика ни на одной станции на Земле (рис. 3). В диапазоне частот 2.3–2.8 мГц наблюдается четкий спектральный максимум на всех канадских станциях, а в СВ колебания в этой полосе отсутствуют. Это говорит о наличии глобальных колебаний магнитосферы с частотой 2.5 мГц. Такие колебания, скорее всего, обусловлены большим перепадом динамического давления на фронте SSC, поскольку взрывные суббуревые процессы в хвосте не успели развиваться [Мишин и др., 2013]. В СВ и на станциях DAWS, FSIM, GILL, VIC и MMB наблюдается спектральный максимум в диапазоне частот 3.3–3.5 мГц. В хвосте на спутнике Geotail такие колебания не обнаружены.

В рассмотренных двух событиях слабый перепад динамического давления СВ не вызвал глобального отклика в анализируемом диапазоне частот колебаний геомагнитного поля на Земле.

SSC 06.04.2000 г. зафиксировано по наземным данным в 16:40 UT. Геомагнитные пульсации наблюдаются в интервале времени 16:36–16:44 UT. На фронте SSC значение концентрации частиц увеличивается втрое от 9 до 26 см<sup>-3</sup>, радиальная скорость СВ меняется от 380 до 530 км/с. *B<sub>y</sub>*-компонента ММП усиливается от -5 до -16 нТл. Индекс авроральной активности в 16:39 UT *AE*=182 нТл, а в 16:44 *AE*=899 нТл. Перед основным фронтом в СВ зарегистрированы два предварительных усиления концентрации частиц до значений *n*=21 и *n*=17 см<sup>-3</sup>. В СВ по данным спутника WIND (55R<sub>E</sub>, 39R<sub>E</sub>, -6R<sub>E</sub> (GSE)) выделены несколько хорошо различимых пиков спектральной мощности на частотах 1.7, 3.1, 4.6 мГц, которые не проявились глобально на назем-

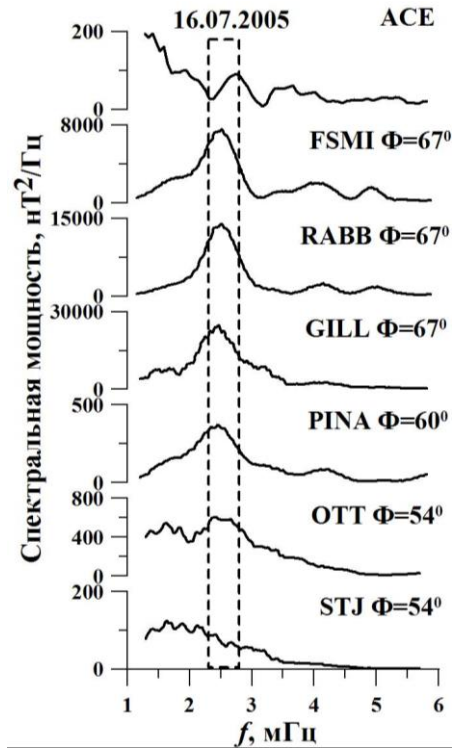


Рис. 2. Спектральная мощность колебаний магнитного поля в СВ (на спутнике ACE) и на наземных канадских обсерваториях для события SI класса 16.07.2005 г.

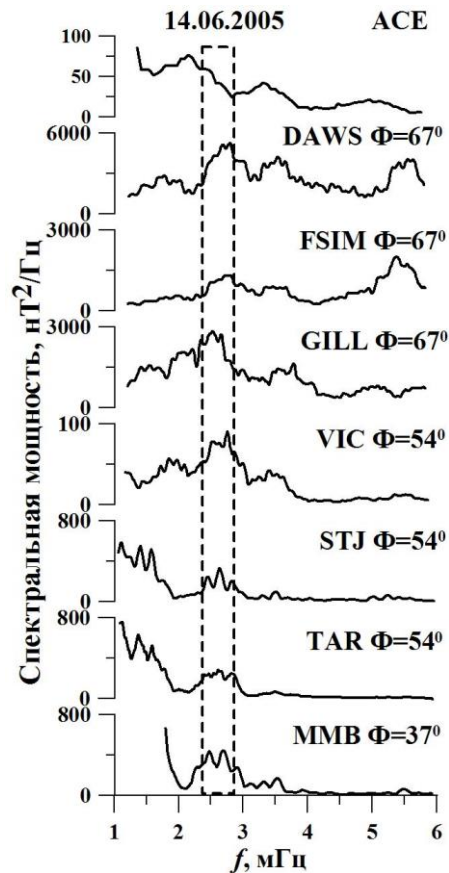


Рис. 3. Спектральная мощность колебаний магнитного поля в СВ (на спутнике ACE) и на Земле по данным канадской сети, сети IMAGE и японской станции MMB для события 14.06.2005 г. во время SSC.

ных станциях (рис. 4). В диапазоне частот 2.3–2.8 мГц наблюдаются максимум спектральной мощности

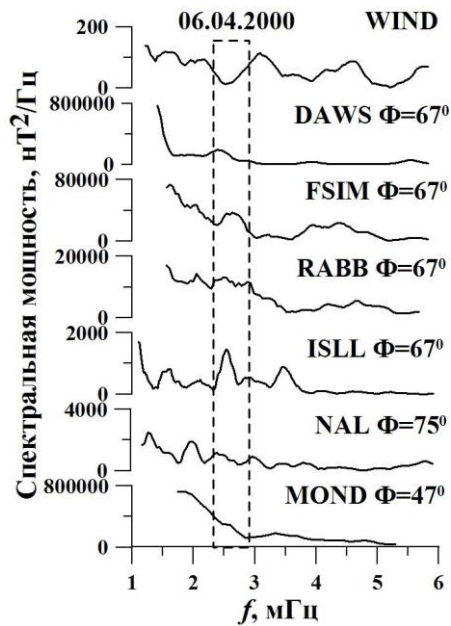


Рис. 4. Спектральная мощность колебаний магнитного поля в СВ (на спутнике WIND) и на Земле по данным сетей CARISMA и IMAGE, а также иркутской станции MOND во время супербури 06.04.2000 г.

на большинстве наземных станций параллели  $\Phi=67^\circ$  (CARISMA), сети IMAGE, а также небольшой по значению пик на ст. MOND, а в СВ колебания в этой полосе отсутствуют. Это также свидетельствует о наличии глобальных колебаний магнитосферы с частотой 2.5 мГц, раскачка которых не была связана с проникновением колебаний из СВ. В данном событии колебания геомагнитного поля начинаются на 4 мин раньше SSC. Начало их генерации, по-видимому, было вызвано импульсами давления СВ, зарегистрированными перед фронтом. Эти колебания похожи на глобальные радиальные колебания, отмеченные в работе [Пархомов и др., 1998].

#### Выводы

Проведенный анализ показал, что во время SSC происходит генерация дневных длиннопериодных пульсаций на высоких и средних широтах по всем долготам всех рассмотренных станций в диапазоне частот 2.3–2.8 мГц. Такие колебания представляют собой радиальные колебания дневной магнитосферы с максимальным значением амплитуды на дневной стороне. Слабые изменения давления на фронте импульсов SI не вызывают глобальных колебаний на Земле.

Автор выражает благодарность J. Mann и членам команды за геомагнитные данные сетей CARISMA и CANOPUS, а также обладателям информации за возможность использования данных мировой сети Kyoto World Data Center for Geomagnetism, сети INTERMAGNET, IMAGE, геомагнитной станции MOND (Иркутск), NASA CDAWEB за возможность использования данных о параметрах плазмы и магнитного поля, измеренных на спутниках WIND, ACE, Geotail. Автор выражает благодарность В.В. Мишину за руководство работой и Б. Цэгмэду за помощь в проведении расчетов.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ № 12-05-91159-ГФЕН\_a, № 13-05-92219-Монг\_a.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Мишин В.В., Клибанова Ю.Ю., Цэгмэд Б. Влияние наклона фронта неоднородности солнечного ветра на свойства вызванных им длиннопериодных геомагнитных пульсаций // Косм. иссл. 2013. Т. 51, № 2. С. 107–118.

Marmet P. New digital filter for analysis of experimental data // Rev. Sci. Instrum. 1979. V. 50, N 1. P. 79–83.

Parkhomov V.A., Mishin V.V., Borovik L.V. Long-period geomagnetic pulsations caused by the solar wind negative pressure impulse on 22.03.1979 (CDAW-6) // Annales Geophysicae. 1998. V. 16, N 2. P. 134–139.

Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск, Россия  
Иркутская государственная сельскохозяйственная академия, Иркутск, Россия