

УДК 523.62.726

ГЕОМАГНИТНЫЕ ПУЛЬСАЦИИ И ОСЦИЛЛЯЦИИ ДЛЯ МАГНИТНОЙ БУРИ 15 МАЯ 2005 г.

В.Б. Белаховский, В.К. Ролдугин

GEOMAGNETIC PULSATIONS AND OSCILLATIONS FOR THE MAGNETIC STORM ON MAY 15, 2005

V.B. Belakhovsky, V.K. Roldugin

На основе наземных и спутниковых данных исследованы колебания магнитного поля в диапазоне от геомагнитных пульсаций Pc5 (150–600 с) до колебаний магнитного поля порядка часа для магнитной бури 15 мая 2005 г. Рассмотрен вопрос влияния сжатия магнитосферы при увеличении давления солнечного ветра и пересоединения на развитие длиннопериодных пульсаций. На спутнике GOES-12 и на станциях, расположенных вблизи проекции его силовой линии, наблюдаются биения порядка 80 мин, наложенные на регулярные Pc5 пульсации. Предполагается, что наблюдаемые биения связаны с колебаниями хвоста магнитосферы.

On the basis of ground-based and satellite data geomagnetic oscillations are examined in the range from Pc5 geomagnetic pulsations (150–600 s) to geomagnetic oscillations of about one hour for the magnetic storm of May 15, 2005. The question is examined about the influence of the magnetosphere compression when increasing solar wind pressure, as well as of reconnection on the development of long period pulsations. On the GOES-12 satellite and at the stations located near its force line, beatings of about 80 min superposed on regular Pc5 pulsations are detected. We suppose that these beatings are associated with the magnetotail oscillations.

Введение

Известно, что приход фронта высокого давления солнечного ветра вызывает сжатие магнитосферы и событие SC (sudden commencement). Также известно, что SC сопровождается появлением длиннопериодных геомагнитных пульсаций в диапазоне Pc5 (150–600 с) [1]. [2] пульсации Pc5, связанные с SC, выделены в отдельный класс Psc5.

Возмущения в магнитосфере происходят не только при ее сжатии, но и при пересоединении силовых линий во время прихода магнитного облака. Возможность генерации Pc5 пульсаций в результате пересоединения силовых линий (flux transfer events) обсуждается в [3]. В [4] было показано, что не только радиальная скорость и плотность протонов, но и B_z -компонента влияет на частоту появления пульсаций Pc5 на Земле. На основе анализа магнитных данных за 10 лет сети CANOPUS найдено, что северное направление B_z -компоненты способствует развитию пульсаций Pc5 в большей степени, чем южное. Наблюдения на спутниках GOES [5] дали несколько отличающийся результат: интенсивность Pc5 незначительно выше при южном направлении B_z .

Вопрос о соотношении влияния ММП и давления, а также о том, какой знак B_z в большей степени способствует развитию пульсаций, остается открытым. Важность вопроса состоит в том, что развитие неустойчивости Кельвина–Гемгольца более ожидаемо при сжатии магнитосферы, чем при пересоединении силовых линий. Исследуемая в данной работе магнитная буря 15 мая 2005 г. характерна тем, что в течение нескольких часов можно проследить последовательно три события: SSC, изменение знака B_z -компоненты на отрицательный и изменение знака B_z -компоненты на положительный.

Характеристики околоземного пространства

Наземные станции 15 мая 2005 г. в 02:38 UT зарегистрировали SC-событие, вызванное приходом ударной волны. Этот день был сильно возмущенным: D_{st} -индекс достиг значения -260 нТл, K_p -индекс равнялся 9, A_E -индекс -2000 нТл. На рис. 1 показаны

давление солнечного ветра и B_z -компонента магнитного поля по данным спутника WIND, который располагался с дневной стороны магнитосферы в точке с координатами $x=210R_e$, $y=84R_e$, $z=28R_e$ в системе GSM. На фронте ударной волны примерно в 02:10 UT значение давления солнечного ветра достигало 35 нПа, а B_z -компонента ММП равнялась $+30$ нТл. В 05:30 UT наблюдается резкий скачок B_z от $+30$ до -40 нТл, а в 08:18 UT произошла смена знака B_z от -20 до $+10$ нТл. Эти три характерных момента видны на показаниях наземных обсерваторий и геостационарных спутников GOES с запаздыванием около 30 мин. На рис. 1 они отмечены вертикальными точечными линиями.

Соотношение влияния давления и пересоединения на развитие Pc5-пульсаций

Для исследования влияния давления солнечного ветра и пересоединения на развитие Pc5 пульсаций нами был использован анализ исходных наземных магнитных данных и их спектров. На рис. 2 показаны отфильтрованные данные H -компоненты для трех характерных времен, полученные с $g\text{v}j\text{om}$ -фильтром высоких частот с обрезанием для периодов больше 17 мин. Видно, что первые два события, SC и B_{z-} , способствовали генерации длиннопериодных пульсаций, а третье событие, B_{z+} , не оказало существенного влияния на их развитие – только на станциях Bettles и Macquarie Island, находящихся в вечернем секторе MLT, интенсивность колебаний возросла. Проанализированы также спектры, полученные с помощью быстрого фурье-преобразования, для трех вышеназванных моментов (рис. 3). Продолжительность интервала обработки составила 100 мин, отсчитываемых от характерного времени. После SC возникли полигармонические пульсации во всех секторах MLT. После же B_{z-} появились достаточно сильные пульсации в утреннем и вечернем секторах MLT. По сравнению с вызванными SC, спектры пульсаций после B_{z-} имеют более монохроматичный вид с частотой примерно 1.5 мГц. Таким образом, можно заключить, что первые два события, SC и B_{z-} , существенно влияют на появление длиннопериодных

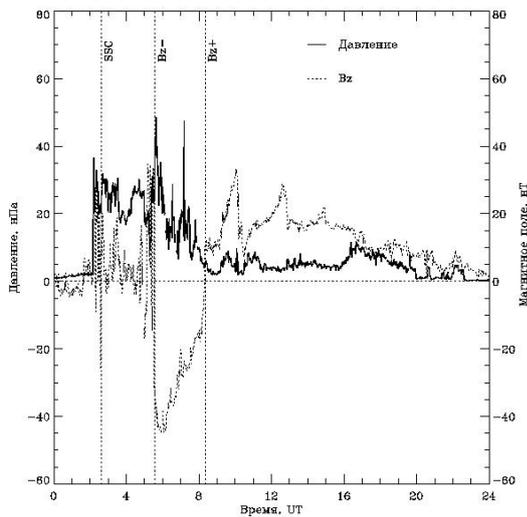


Рис. 1. Динамическое давление солнечного ветра и B_z -компонента ММП на спутнике WIND 15 мая 2005 г.

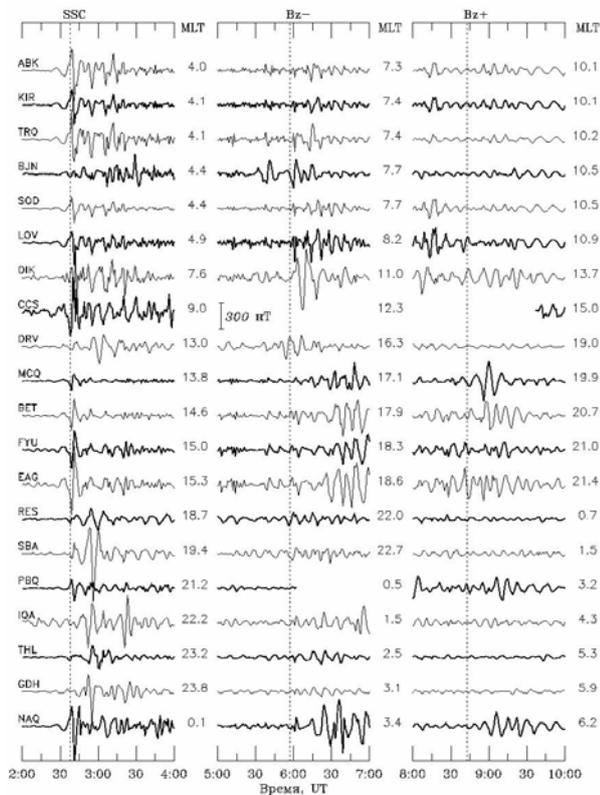


Рис. 2. Фильтрованные H -компоненты наземных станций для SC, B_z , B_{z+} .

риодных пульсаций, а B_{z+} на развитие пульсаций не влияет.

Рс5 пульсации на GOES-12

На верхней панели рис. 4 показаны регулярные Рс5-пульсации в «азимутальной» hn -компоненте магнитного поля на спутнике GOES-12, пропущенные через фильтр ВЧ. На нижней панели представлены z -компоненты после фильтрации по данным пяти станций в Канаде и Гренландии, расположенных вблизи проекции силовой линии GOES-12 на Землю: Godhavn ($\Phi=75.4^\circ$), Iqaluit (72.4°), PBQ (65.3°), Narsarsuaq (65.9°) и Fort Churchill (68.6°). Видно, что эти пульсации в магнитосфере, как и на Земле, начались в момент B_z .

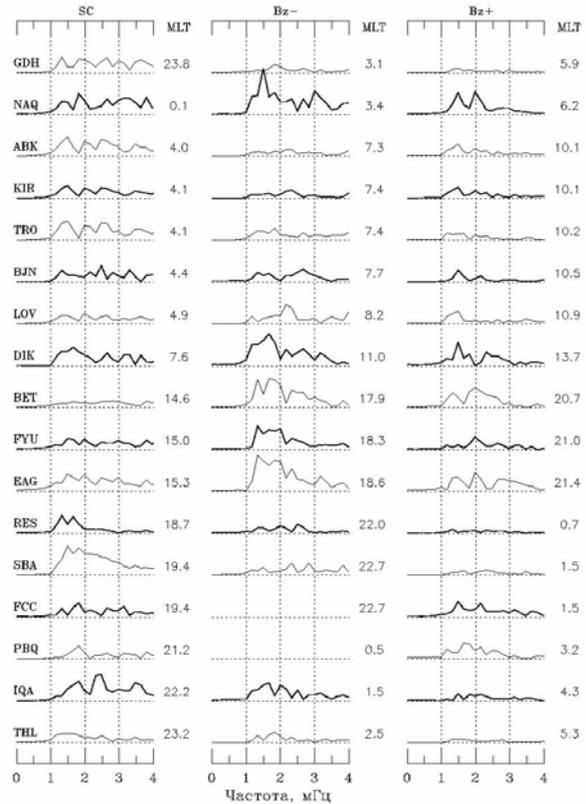


Рис. 3. Спектры H -компонент наземных станций для SC, B_z , B_{z+} .

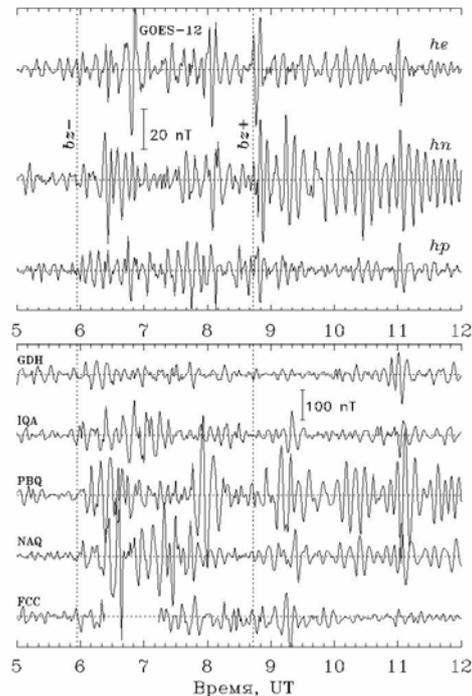


Рис. 4. Пульсации магнитного поля на спутнике GOES-12 (вверху) и в z -компоненте на наземных станциях (внизу).

Ближе всего к силовой линии находится станция PBQ, и на ней амплитуда Рс5 максимальна, а дальше всех – Godhavn, и там амплитуда минимальна. На всех станциях преобладает та же периодичность, что и в hn -компоненте. В то же время не наблюдается корреляции пульсаций на GOES с колебаниями магнитного поля на WIND. Отсюда напрашивается

вполне логичный вывод о внутримангнитосферном механизме генерации этих интенсивных пульсаций в главную фазу магнитной бури 15 мая 2005 г.

Анализируя рис. 4, можно заметить одно интересное явление: на 8-минутные колебания Pc5 налагаются длинные 60-минутные биения, особенно хорошо заметные на станции РВQ. Мы предполагаем, что они связаны с собственными колебаниями хвоста, предсказанными Ершковым и Нусиновым [6, 7]. В пользу этого свидетельствует двугорбый вид спектра на многих станциях для интервала B_z+ (см. рис. 3). Наличие двух максимумов в спектре не обязательно означает существование двух гармоник на этих частотах. Они возникают и при модуляции относительно высокочастотных колебаний длиннопериодными; максимумы в спектре в таком случае будут соответствовать сумме и разности частот. Например, на ст. Narsarsuaq в спектре присутствуют два пика на частотах 1.6 и 2.0 мГц. Эти частоты могут возникнуть при умножении частот 1.8 и 0.2 мГц, иными словами, при модуляции колебаний с периодом 9 мин гармоникой с периодом 80 мин, что близко значениям на рис. 3.

Выводы

В ходе развития интенсивной магнитной бури 15 мая 2005 г. геомагнитные осцилляции с периодами от нескольких минут до 15 мин возбуждались как при сжатии магнитосферы при SC, так и при смене знака B_z -компоненты ММП с положительного на отрицательный. Изменение знака B_z на положительный на большинстве наземных станций на ход осцилляций не повлияло.

Геомагнитные пульсации Pc5 имели внутримангнитосферное происхождение.

Для данного события обнаружено наложение 60–80-минутных колебаний на пульсации Pc5 на GOES-12 и наземных станциях, близких к проекции его силовой линии. Предполагается, что они связаны с колебаниями хвоста магнитосферы.

Выполнение работы поддержано грантом РФФИ 06-05-64374 и Программой Президиума РАН № 16.

2. Saito T., Matsushita S. Geomagnetic pulsations associated with sudden commencement and sudden impulses // *Planet. Space Sci.* 1967. V. 15. N 3. P. 573–589.

3. Gillis E.J., Speiser T.W., Rijnbeek R., et al. Do flux transfer events cause long-period micropulsations in the dayside magnetosphere? // *J. Geophys. Res.* 1987. V. 92. N A6. P. 5820–5826.

4. Baker G.J., Donovan E.F., Jackel B.J. A comprehensive survey of auroral latitude Pc5 pulsations characteristic // *J. Geophys. Res.* 2003. V. 108. N A10. P. 1384–1397.

5. Sanny J, Judnick D., Moldwin M.B., et al. Global profiles of compressional ultralow frequency wave power at geosynchronous orbit and their response to the solar wind. // *J. Geophys. Res.* 2007. V. 112. N A5. DOI 10.1029/2006JA012046.

6. Ершкович А.И. О собственных колебаниях магнитного хвоста Земли // *Космические исследования.* 1969. Т. 7. № 6. С. 944–947.

7. Нусинов А.А. Влияние плазменного слоя на собственные колебания хвоста магнитосферы // *Космические исследования.* 1971. Т. 9. № 4. С. 615–617.

Полярный геофизический институт КНЦ РАН, Анапты

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тверская Л.В., Хорошева О.В. О природе источника пакетов затухающих длиннопериодных пульсаций // *Геомагнетизм и аэронавигация.* 1982. Т. 22, № 5. С. 824–830.