

УДК 550.385.37

ГЛОБАЛЬНАЯ ДИНАМИКА ГЕОМАГНИТНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ В НАЧАЛЬНУЮ ФАЗУ МАГНИТНОЙ БУРИ 05.04.2010 г.

© 2013 г. О.В. Козырева

Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, г. Москва, Россия

По данным глобальной сети наземных магнитометров исследовано пространственное распределение длиннопериодных геомагнитных пульсаций диапазона $Pc5$ (2–7 мГц) в начальную фазу магнитной бури 05.04.2010 г., которая характеризовалась большим (до 15 нПа) динамическим давлением и большой (>800 км/с) скоростью солнечного ветра. Исследуемые пульсации были глобальными – они наблюдались в области, обширной и по долготе (от ранних утренних до вечерних часов MLT), и по широте (от полярных до экваториальных широт).

Обнаружено, что наиболее интенсивные пульсации регистрировались в утреннем секторе 06–08 MLT на геомагнитных широтах $67\text{--}69^\circ$; в послеполуденном секторе максимум интенсивности $Pc5$ -пульсаций отмечался на более низких широтах – $63\text{--}64^\circ$. Анализ фазовых характеристик показал, что $Pc5$ -пульсации, постепенно усиливаясь, распространялись от полудня на утреннюю и вечернюю стороны. Отмечено, что амплитуда пульсаций в утреннем секторе в 3–4 раза превышала амплитуду в послеполуденном.

$Pc5$ -пульсации были зарегистрированы и на геостационарных спутниках *GOES* 11 и 12, находившихся в исследуемый период времени в утреннем секторе магнитосферы. Спектральный анализ пульсаций, наблюдавшихся одновременно в магнитосфере и на земной поверхности, продемонстрировал совпадение частотных максимумов в их спектрах.

Ключевые слова: магнитная буря, геомагнитные пульсации.

Введение

Начальная фаза магнитной бури, как правило, связана с подходом к магнитосфере Земли неоднородности солнечного ветра с высокой концентрацией плазмы. Источниками таких неоднородностей с плотной плазмой могут быть как выбросы корональной массы (*CME*-бури), преобладающие в годы максимума солнечной активности, так и “корографирующие области взаимодействия”, образующиеся в результате взаимодействия разноразностных потоков солнечного ветра (*CIR*-бури).

Для начальной фазы *CME*-бурь характерно возбуждение длиннопериодных геомагнитных пульсаций диапазона $Pc5$ -6 ($T \sim 5\text{--}20$ мин) с наибольшей амплитудой в утреннем секторе полярной шапки [Козырева, Клейменова, Шотт, 2004; Козырева, Клейменова, 2008, 2009]. Как показано в работе [Козырева, Клейменова, 2010], основное различие геомагнитных $Pc5$ -пульсаций во время *CIR*- и *CME*-бурь связано с интенсивностью колебаний и широтным положением максимума активности волн ультранизкой частоты (*ULF*-волн) – во время *CIR*-бурь амплитуда волн диапазона $Pc5$ в несколько раз ниже, и они наблюдаются на более высоких широтах.

В ряде работ (см., например, [Клейменова и др., 1996; Pilipenko et al., 2001; Козырева, Клейменова, Ватерманн, 2005]) было показано, что в начальную фазу больших магнитных бурь возможно возбуждение длиннопериодных геомагнитных пульсаций в глобальном масштабе. Так, в работах [Клейменова и др., 1996, 1998; Schott et al., 1998] сообщается о наблюдениях в начальную фазу бури 24.03.1991 г. квазимонохроматических колебаний с периодами 8–10 мин ($f \sim 1.5\text{--}2.0$ мГц), очень малым волновым числом ($m \approx 1$) и

синхронными волновыми пакетами. Колебания были глобальными – они наблюдались от высоких широт до экваториальных; их наибольшие амплитуды отмечались в послеполуночные часы. Одновременно в утреннем секторе магнитосферы регистрировались квазишумовые колебания в полосе частот $\sim 2.5\text{--}3.5$ МГц с $m \approx 3\text{--}5$ и некогерентными в пространстве волновыми пакетами [Клейменова и др., 1998].

В другой из названных выше работ описаны глобальные геомагнитные пульсации диапазона $Pc5$, наблюдавшиеся в начальную фазу умеренной магнитной бури 16.04.1999 г., характеризующейся высоким (до 20 нПа) динамическим давлением солнечного ветра [Козырева, Клейменова, Ватерманн, 2005]. Пульсации наблюдались не только в полярной шапке, но и во всей магнитосфере и имели одинаковые дискретные спектры.

Задача данной работы – анализ длиннопериодных геомагнитных пульсаций и возмущений в начальную фазу умеренной магнитной бури 05.04.2010 г.

Данные и результаты анализа

Данные межпланетного магнитного поля и солнечного ветра

Умеренная ($Dst_{\min} \approx -75$ нТл) магнитная буря 05–07.04.2010 г. была вызвана приходом к Земле выброса корональной массы. При внезапном начале бури, зафиксированном 05.04.2010 г. в 08:26 UT, одновременно был отмечен скачок плотности солнечного ветра с 4 до 8 см^{-3} и его скорости с 550 до 750 км/с (далее момент внезапного начала бури будем именовать моментом SC , как это принято в англоязычных публикациях).

Отличительной особенностью анализируемой бури было то, что она развивалась на возмущенном фоне – на фазе восстановления предшествующей слабой магнитной бури 31.03–04.04.2010 г., которая была вызвана высокоскоростным потоком солнечного ветра. В течение нескольких суток скорость солнечного ветра превышала 500 км/с. На станциях сети обсерваторий *IMAGE* 05.04.2010 г. в интервале 04–08 UT (т.е. до момента SC) наблюдались $Pc5$ -пульсации как в авроральных, так и в полярных широтах.

На рис. 1, *A* представлены графики вариаций параметров солнечного ветра (плотности N_p – график 1; скорости V – график 2) и трех компонент межпланетного магнитного поля – B_x , B_y , B_z (графики 4, 5, 6), построенные с использованием данных одноименной базы *OMNI* (http://nssdcftp.gsfc.nasa.gov/spacecraft_data/omni/). В этом же столбце приведен график вариаций расстояния до подсолнечной точки дневной магнитопаузы R , вычисленный из условия баланса давления солнечного ветра и магнитного поля Земли (график 3).

Из рисунка следует, что в начальную фазу бури (08:30–22:00 UT) скорость солнечного ветра достигала ~ 800 км/с, плотность составляла 15 см^{-3} ; в компонентах межпланетного магнитного поля наблюдались сильные флуктуации: $B_x \sim +10 \dots -8$ нТл, $B_y \sim +15 \dots -20$ нТл, $B_z \sim -15 \dots +15$ нТл. Следует отметить, что и до, и после момента SC B_z -компонента межпланетного магнитного поля была направлена на юг ($B_z < 0$), что привело к поступлению значительной энергии из солнечного ветра в магнитосферу Земли. Главная фаза бури началась в 22:00 UT.

В начальную фазу бури отмечались существенные вариации плотности солнечного ветра на фоне его большой (> 750 км/с) скорости; динамическое давление солнечного ветра около 12:00 UT составило 16 нПа (рис. 1, *B*). Такое усиление динамического давления привело к “поджатию” магнитосферы – расстояние до подсолнечной точки уменьшилось до $7 R_E$ (см. рис. 1, *A*, график 3).

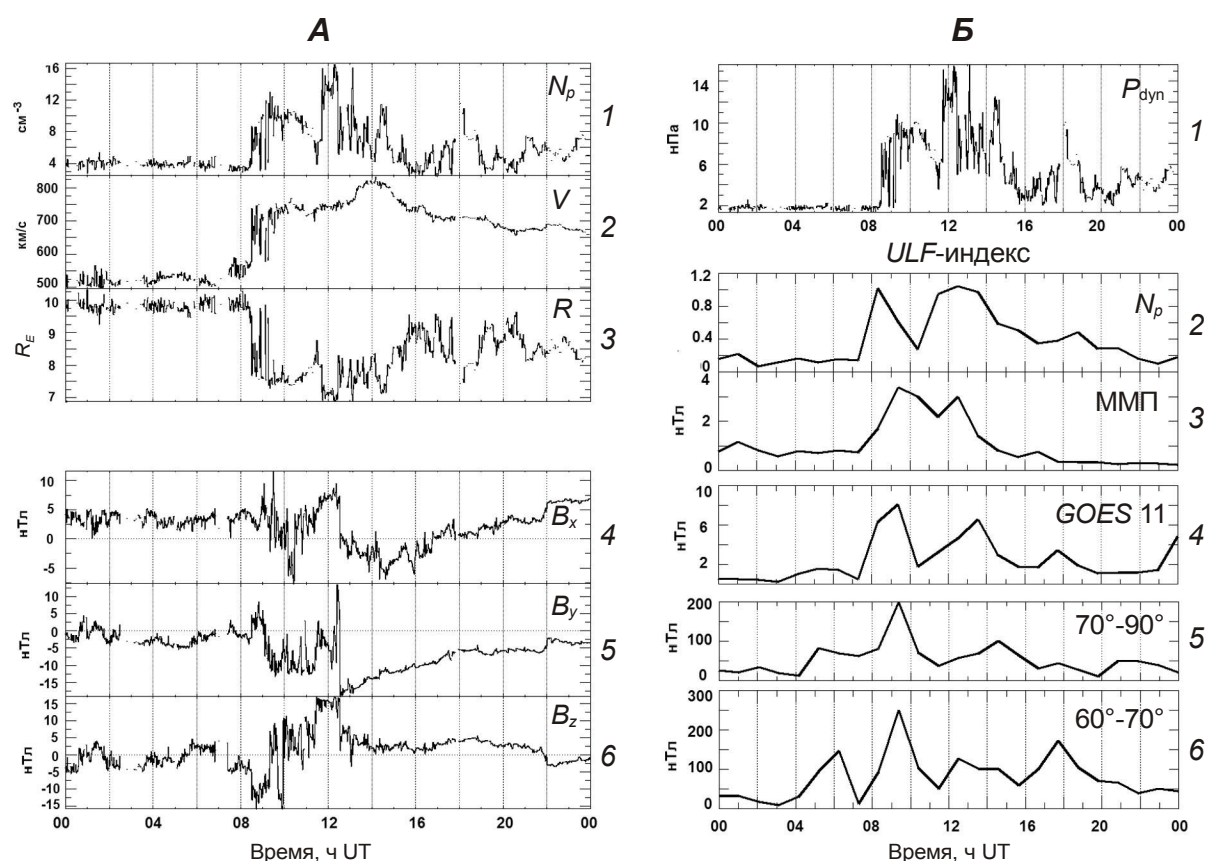


Рис. 1. А – вариации плотности N_p (1), скорости V (2), расстояния до подсолнечной точки дневной магнитопаузы R (3), компонент межпланетного магнитного поля B_x , B_y , B_z (4–6). Б – вариации динамического давления P_{dyn} (1) и ULF -индекса волновой активности в плотности солнечного ветра N_p (2), в межпланетном магнитном поле ММП (3), во внутренней магнитосфере GOES 11 (4), на земной поверхности в долготном секторе 03–18 MLT в полярных (5) и авроральных широтах (6)

Оценка уровня ультранизкочастотной (ULF) волновой активности

Предварительная оценка ультранизкочастотной волновой активности в диапазоне 2–7 МГц проводилась с использованием ULF -индекса [Kozyreva et al., 2007], позволяющего дать количественную оценку уровня флуктуации сигнала в заданном диапазоне частот. ULF -индекс для плотности солнечного ветра N_p и межпланетного магнитного поля был рассчитан по одноминутным данным базы OMNI, для внутренней магнитосферы – по одноминутным данным спутника GOES 11. Наземные ULF -индексы для полярных (70–90°) и авроральных широт (60–70°) были рассчитаны в долготном секторе 03–18 MLT (рис. 1, Б). Для сопоставления на рис. 1, Б приводится график вариаций динамического давления солнечного ветра по одноминутным данным базы OMNI (график 1). Можно видеть, что первый общий максимум в вариациях ULF -индекса, отмечаемый в 08:30–09:30 UT, связан с внезапным началом бури¹. Второму общему максимуму, наблюдаемому в ~12–14 UT, соответствует максимум динамического давления солнечного ветра. В 17–18 UT прослеживается еще один максимум в вариациях наземного ULF -индекса в авроральных широтах; в это же время отмечается усиление волновой активности во внутренней магнитосфере на GOES 11 и в плотности солнечного ветра.

В дальнейшем названные интервалы 12–14 UT и 17–18 UT рассматриваются более подробно.

¹ В данной работе геомагнитные возмущения, вызываемые внезапным началом бурь, не рассматриваются.

Данные наблюдений на геостационарных спутниках GOES

Для анализа использовались данные геостационарных спутников *GOES 11* и *GOES 12*, которые 05.04.2010 г. были удалены друг от друга по долготе на расстояние 20° (географическая долгота положения *GOES 11* – 245° в.д., *GOES 12* – 265° в.д.). В 12:00 UT оба спутника находились в раннем утреннем секторе магнитосферы: *GOES 11* – 04:20 MLT, *GOES 12* – 05:40 MLT; в 17:00 UT спутники оказались в предполуденном секторе: *GOES 11* – 09:20 MLT, *GOES 12* – 10:40 MLT.

В двух выбранных для детального анализа интервалах на спутниках наблюдались значительные флуктуации всех компонент поля. На рис. 2 представлены вариации H_p -, H_n - и H_e -компонент магнитного поля на спутниках *GOES 11* и *GOES 12* в интервале 11–14 UT. Компонента H_p направлена перпендикулярно плоскости орбиты спутника на север, H_e – по линии спутник–Земля, H_n – перпендикулярно H_p и H_e на восток.

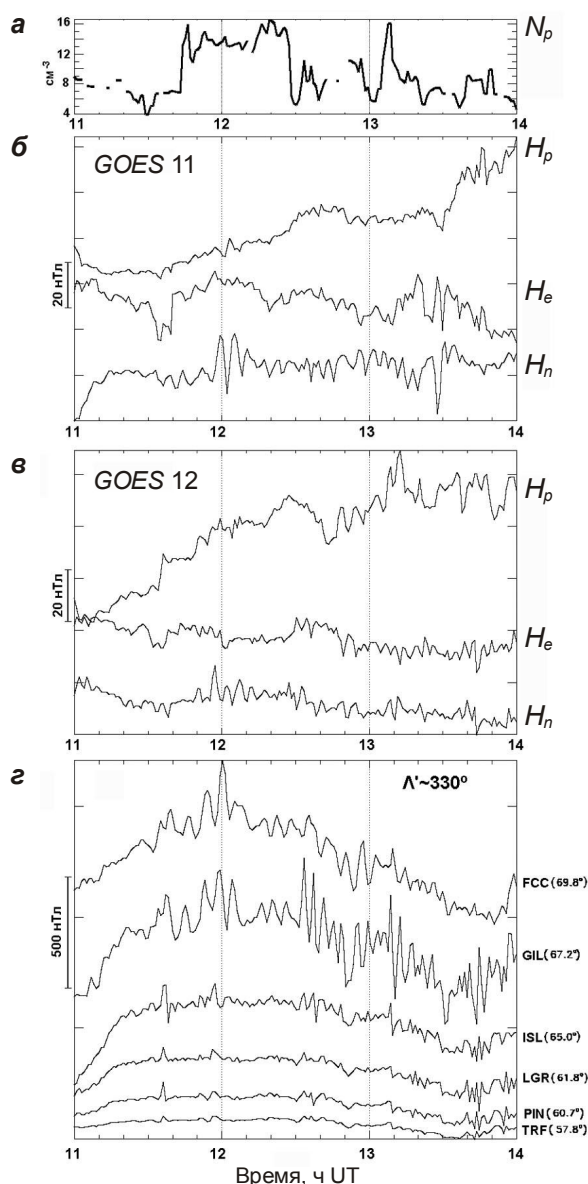


Рис. 2. Вариации плотности солнечного ветра N_p (а), трех компонент магнитного поля на спутниках *GOES 11*, *12* (б, в) и X-компоненты магнитного поля на наземных обсерваториях, расположенных вдоль геомагнитного меридиана 330° в.д. (з). Латинские буквы справа на фрагменте з – коды станций, в скобках – геомагнитная широта станций

Данные наземных наблюдений

Для анализа использовались данные 160 наземных магнитных станций, входящих в глобальную сеть *INTERMAGNET*, канадскую сеть магнетометров *CARISMA* и расположенных на скандинавском профиле *IMAGE*.

Магнитограммы станций, расположенных вдоль магнитного меридиана $\Lambda' \sim 330^\circ$, проходящего вблизи проекции спутника *GOES* 12 на земную поверхность приведены на рис. 2, *г*. На них видны всплески низкочастотных колебаний, наиболее интенсивные на станции *GIL* (67°).

Спектральный анализ (рис. 3) показал наличие четкого максимума на частоте ~ 4 мГц в спектрах вариаций плотности солнечного ветра N_p , H_n - и H_e -компонент магнитного поля, наблюдаемого на геостационарных спутниках *GOES* 11, 12, а также в спектрах X -компонент наземных станций, расположенных на геомагнитном меридиане $\Lambda' \sim 330^\circ$ (рис. 3, *г*). Подобные максимумы отмечаются и на других авроральных станциях ($\Phi = 63\text{--}69^\circ$), находящихся на меридианах вблизи и после полудня (рис. 3, *д*), а также на среднеширотных и экваториальных станциях (рис. 3, *е*). Анализ широтного распределения спектрального максимума амплитуды $Pc5$ -пульсаций на меридиональных профилях $\Lambda' \sim 330^\circ$ и $\Lambda' \sim 110^\circ$ показал, что резонансное усиление амплитуды в утреннем секторе (~ 06 MLT) наблюдалось на широте 67 ($f \sim 4.2$ мГц), а в послеполуденном (~ 16 MLT) на более низкой широте ~ 64 ($f \sim 3.8$ мГц). На указанных широтах наблюдалась также смена фазы колебаний¹.

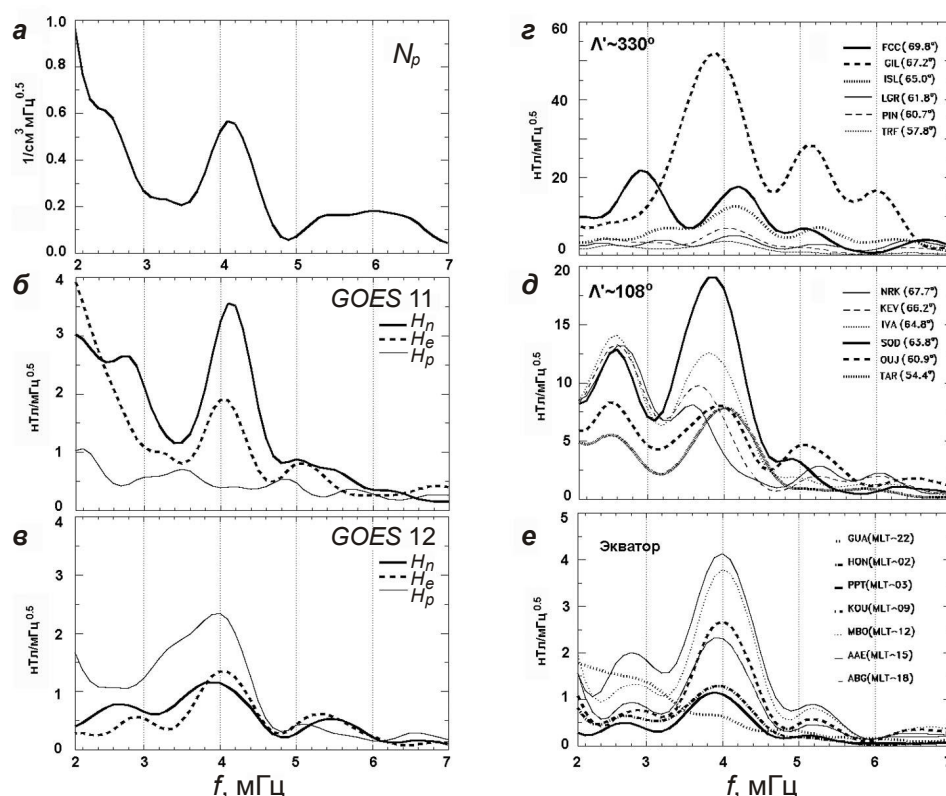


Рис. 3. Спектры колебаний в интервале 13:00–13:30 UT в плотности солнечного ветра (*а*), в магнитосфере на спутнике *GOES* 11, 12 (*б*, *в*) и на земной поверхности для высокоширотных станций, расположенных вдоль геомагнитных меридианов 330° (*г*) и 110° (*д*), и экваториальных станций (*е*)

¹ Графики этих колебаний в данной статье не приводятся.

Для исследования азимутального распространения $Pc5$ -пульсаций колебания были отфильтрованы в полосе 3.5–4.5 мГц, т.е. вблизи основного спектрального максимума. Анализ фазовых характеристик показал, что $Pc5$ -пульсации, постепенно усиливаясь, распространялись от полудня в утреннюю и вечернюю стороны. Определение азимутальных характеристик колебаний проводилось для двух пар станций, разнесенных по долготе в утреннем и послеполуденном секторах: станции SNQ и GIL ($\Phi' \sim 67^\circ$, $\Delta\Lambda = 25^\circ$) – в утреннем; станции DON и SOD ($\Phi' \sim 64^\circ$, $\Delta\Lambda = 12.5^\circ$) – в послеполуденном. Колебания на станции SNQ , расположенной к востоку от станции GIL , наблюдались раньше в среднем на 30 с; колебания на станции DON , расположенной к западу от станции SOD , – раньше на 20 с. Азимутальные волновые числа $m = (360/\Delta\Lambda) \cdot (\Delta t/T)$ для периода колебаний $T = 250$ с ($f = 4$ мГц) составили для первой пары ~ 1.7 , для второй – ~ 2.3 .

По результатам спектрального анализа были построены карты глобального распределения интенсивности пульсаций диапазона $Pc5$ (2–5 мГц) на земной поверхности для двух интервалов времени – 13–13:30 UT и 17–18 UT (рис. 4). Можно видеть, что в обоих временных интервалах геомагнитные пульсации наблюдались в обширной области как по долготе (от ранних утренних до вечерних часов MLT), так и по широте. Наиболее интенсивные пульсации прослежены в утреннем секторе 06–08 MLT на широтах 68 – 70° в первом временном интервале и 66 – 67° во втором интервале; в послеполуденном секторе максимум пульсаций отмечался на более низких широтах – 63 – 64° .

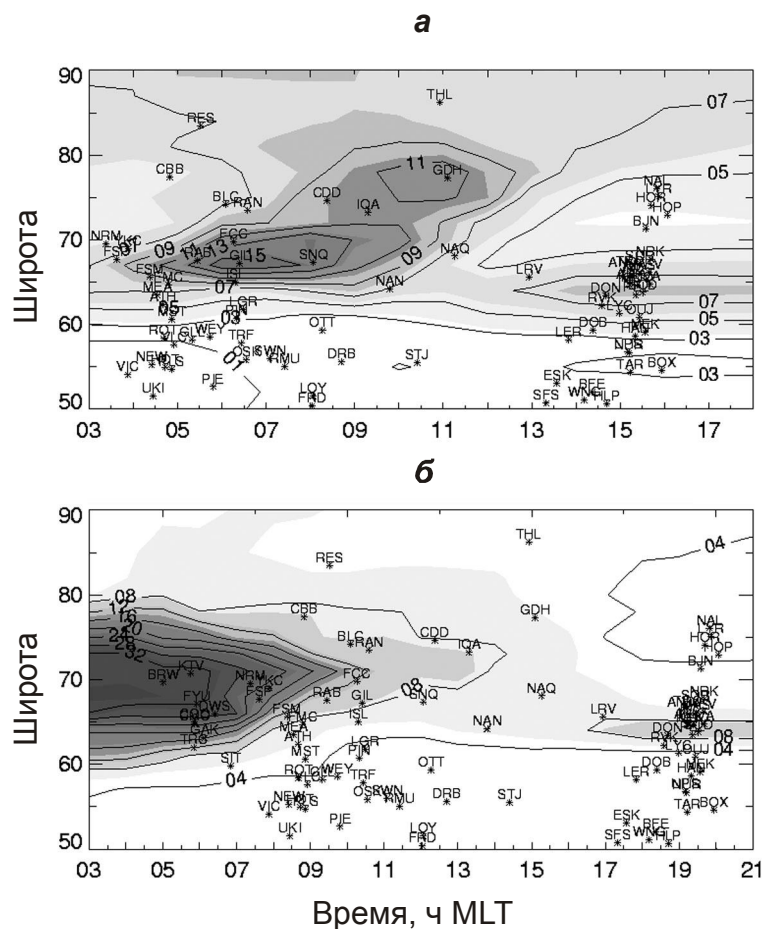


Рис. 4. Карты глобального распределения на земной поверхности интенсивности пульсаций в диапазоне 2–5 мГц для интервалов времени 13–13:30 UT (а) и 17–18 UT (б). Звездочками отмечено положение станций; буквы – коды станций

На рис. 5 приведены магнитограммы X -компонент магнитного поля, зафиксированных станциями, расположенными на меридиональных профилях в трех секторах: утреннем (*а*), предполуденном (*б*) и вечернем (*в*). На всех профилях четко прослеживается всплеск низкочастотных пульсаций в 17–18 UT.

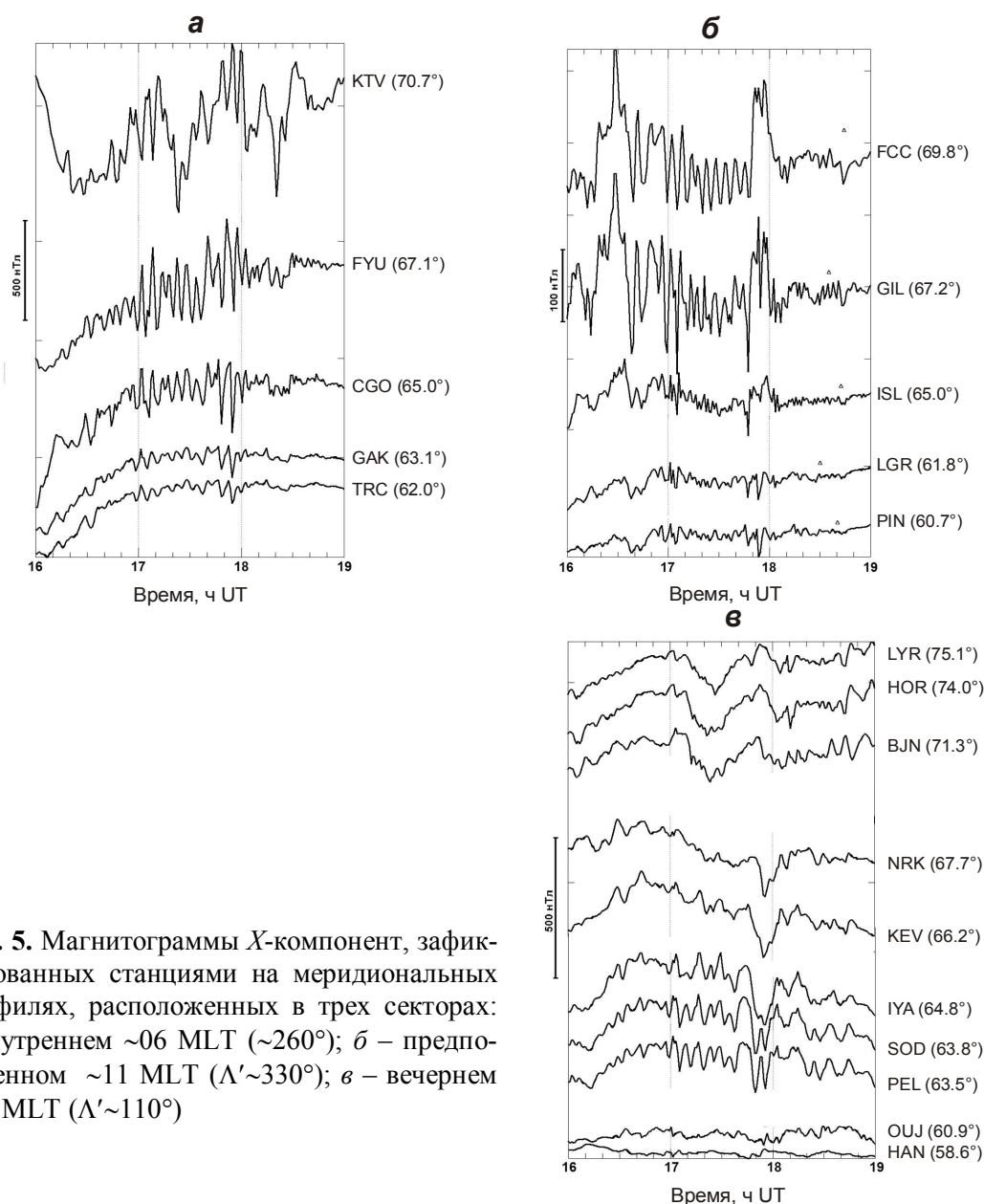


Рис. 5. Магнитограммы X -компонент, зафиксированных станциями на меридиональных профилях, расположенных в трех секторах: *а* – утреннем ~ 06 MLT ($\sim 260^\circ$); *б* – предполуденном ~ 11 MLT ($\Lambda' \sim 330^\circ$); *в* – вечернем ~ 20 MLT ($\Lambda' \sim 110^\circ$)

Результаты спектрального анализа для двух получасовых интервалов 17:00–17:30 UT и 17:35–18:05 UT представлены на рис. 6. Видно, что в 17:00–17:30 UT (рис. 6, *а*) в спектре вариаций плотности солнечного ветра отмечался максимум на частоте ~ 2.5 мГц. В спектре H_p - и H_n -компонент магнитного поля, измеренного на геостационарном спутнике *GOES-12*, который находился в предполуденном секторе магнитосферы ~ 11 MLT, наблюдались два пика – на частоте ~ 2.5 и ~ 3.5 мГц. Подобные пики четко видны в спектрах X -компоненты наземных станций, причем не только на меридиональном профиле $\Lambda' \sim 260^\circ$ (~ 06 MLT) (см. рис. 6), но и на других меридиональных профилях в дневном и послеполуденном секторах (на рисунке не показано). Следует отметить, что в спектрах экваториальных станций максимум на частоте ~ 2.5 мГц в три раза больше, чем на частоте ~ 3.5 мГц.

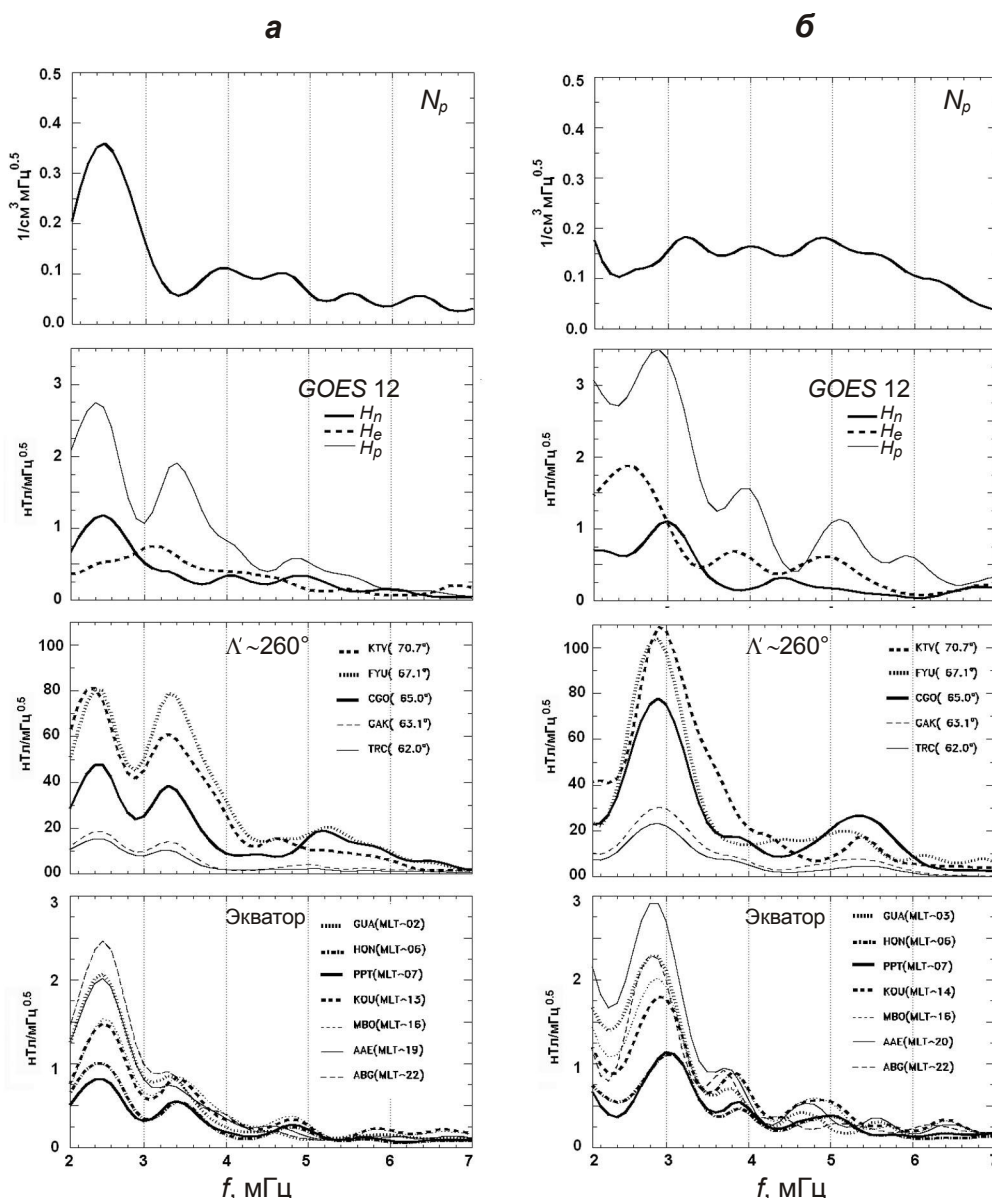


Рис. 6. Спектры колебаний для получасовых интервалов 17:00–17:30 UT (а) и 17:05–18:05 UT (б)

В интервале 17:05–18:05 UT в спектре вариаций плотности солнечного ветра нет четких максимумов, однако в спектре H_p - и H_n -компонент на GOES 12 наблюдался спектральный максимум на частоте ~ 2.5 МГц, который также виден в спектрах X -компоненты наземных станций, в том числе и экваториальных.

Обсуждение результатов

Рассмотрим основные отличительные черты начальной фазы магнитной бури 05.04.2010 г.

Анализируемая магнитная буря развивалась на возмущенном фоне – ей предшествовала геомагнитная активность, вызванная высокоскоростным потоком солнечного ветра. Скорость солнечного ветра до начала магнитной бури, превышавшая 500 км/с, способствовала возбуждению геомагнитных пульсаций диапазона Pc5 в 05–07 UT в авроральных и полярных широтах, о чем свидетельствует первое возрастание ULF -индекса (см. рис. 1, б, графики 5, 6).

Внезапное начало бури произошло при отрицательных значениях B_z -компоненты межпланетного магнитного поля. До начала бури эта компонента в течение часа была отрицательной (-5 нТл), в момент SC ее значение скачком уменьшилось с -5 нТл до -13 нТл, после чего в течение следующего часа оставалось низким (до -15 нТл). Таким образом, в течение двух часов выполнялось условие $B_z < 0$, что способствовало передаче энергии из солнечного ветра в магнитосферу Земли с накоплением в ее хвосте.

После момента SC при $B_z < 0$ и высоком динамическом давлении солнечного ветра наблюдалась интенсивная магнитосферная суббуря (>2000 нТл) в большом долготном секторе – от вечера до полудня (рис. 7). Как видно на рисунке (станция BRW , ~ 21 MLT), эта суббуря началась в ~ 09 UT в вечернем секторе и быстро распространилась в восточном направлении в утренний сектор вплоть до полудня. Однако на полуденном меридиане суббуря наблюдалась только в полярных широтах ($> 71^\circ$).

Возбуждение отрицательной магнитной бухты сразу после внезапного сжатия магнитосферы межпланетными скачками давления (в момент SC или при внезапном импульсе SI) обсуждалось во многих работах (см. например, [Schieldge, Siscoe, 1970; Kawasaki et al., 1971; Kokubun et al., 1977; Shue, Kamide, 2001; Zhou, Tsurutani, 2001; Liou et al., 2004]). Для обозначения таких бухт был предложен термин “бухты сжатия”; механизм их возбуждения окончательно не установлен.

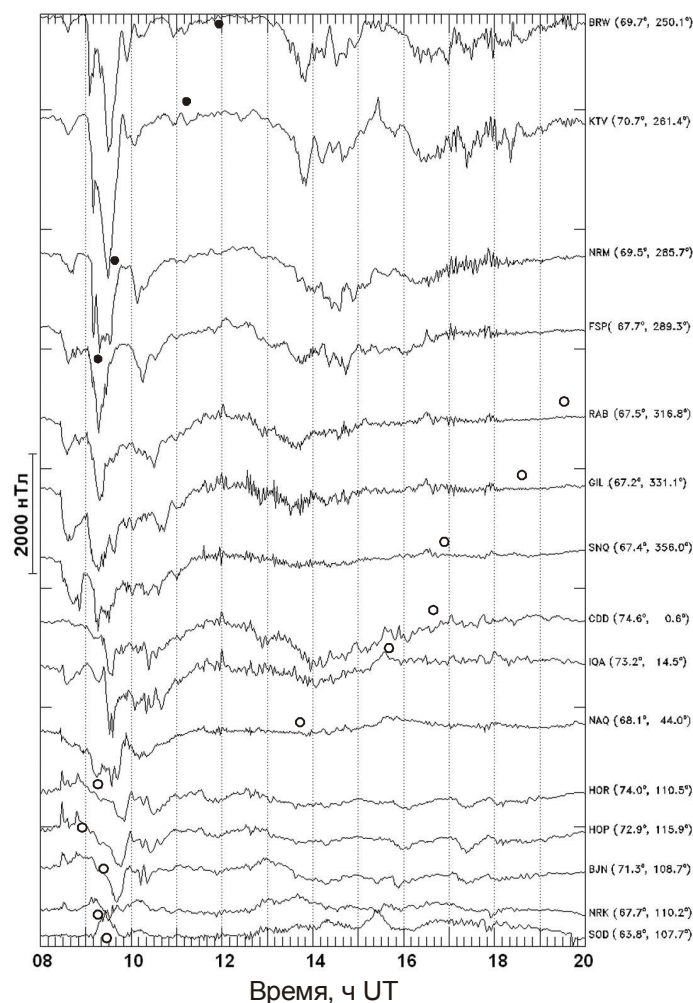


Рис. 7. Магнитограммы X -компонент магнитного поля, зафиксированные высокоширотными станциями; кружок с заливкой – местная геомагнитная полночь, без заливки – местный геомагнитный полдень

В работах [Schieldge, Siscoe, 1970; Kawasaki et al., 1971; Kokubun et al., 1977; Zhou, Tsurutani, 2001] показано, что вероятность появления бухт увеличивается при наличии предшествующей магнитной активности и отрицательных значениях B_z -компоненты межпланетного магнитного поля, что и наблюдалось в анализируемой буре. Подобные бухтообразные возмущения в начальную фазу бурь прослеживались и ранее, например при магнитных бурях 21.02.1994 г. [Клейменова и др., 2000] и 15.05.2005 г. [Козырева, Клейменова, 2007].

Плотность солнечного ветра резко увеличилась в 11:35 UT; одновременно резко до +17 нТл возросла B_z -компонента межпланетного магнитного поля, а B_y -компонента стала отрицательной. Увеличение динамического давления солнечного ветра до 16 нПа привело к “поджатию” дневной магнитосферы примерно до $7R_E$. Такие условия в солнечном ветре и межпланетном магнитном поле привели к генерации в магнитосфере $Pc5$ -пульсаций, наблюдаемых на земной поверхности в глобальном масштабе.

Глобальные $Pc5$ -пульсации, как и “классические” утренние, регистрировались после суббури, которая в рассматриваемом случае занимала большой сектор – от вечера до полудня. Возникновение суббурь характерно для главной фазы магнитных бурь, но в исследуемом случае сильная суббуря отмечена в начальную фазу.

Как уже отмечалось, рассматриваемые глобальные $Pc5$ -пульсации наблюдались при скорости солнечного ветра, превышающей 700 км/с. При больших скоростях режим обтекания магнитосферы солнечным ветром существенно меняется. При скорости менее 500 км/с неустойчивость Кельвина–Гельмгольца локализована на границе раздела магнитосфера–магнитослой. При скорости более 500 км/с граница раздела магнитосфера–солнечный ветер становится свертотражающей, т.е. магнитосферные МГД-моды усиливаются при взаимодействии с движущейся поверхностью [Mann, Wright, 1999; Mann et al., 1999]. В этом случае колебания не локализованы на границе, и происходит возбуждение магнитосферного волновода, образуемого магнитопаузой и точкой отражения внутри магнитосферы [Wright, 1994]. Для возбуждения волновода необходимо начальное возмущение конечной амплитуды, которое может создаваться скачками давления солнечного ветра [Pilipenko et al., 2010]. В анализируемой буре, как это видно на рис. 2, каждый всплеск геомагнитных пульсаций – результат резкого изменения плотности солнечного ветра, т.е. возбуждение колебаний стимулировалось скачками плотности.

С другой стороны, скачки давления солнечного ветра вызывают смещение магнитопаузы, увеличивая инкремент неустойчивости Кельвина–Гельмгольца [Mishin, 1993]. В работе [Гульельми, Потапов, Клайн, 2010] высказывается предположение, что комбинированная неустойчивость Рэлея–Тейлора–Кельвина–Гельмгольца, по-видимому, играет роль в возбуждении глобальных $Pc5$ -пульсаций, наблюдаемых при погружении магнитосферы Земли в высокоскоростной поток солнечной плазмы.

Выводы

В начальную фазу умеренной магнитной бури 05.04.2010 г. при большом динамическом давлении и большой скорости солнечного ветра одновременно в магнитосфере и на земной поверхности были обнаружены всплески волновой геомагнитной активности диапазона $Pc5$ (2–7 мГц).

Установлено, что анализируемые $Pc5$ -пульсации были глобальными – они занимали обширную как по долготе (от ранних утренних часов до вечерних часов MLT), так и по широте (от полярных широт до экваториальных) область. Наиболее интенсивные пульсации наблюдались в утреннем секторе 06–08 MLT на геомагнитных широтах 67–69°; в послеполуденном секторе максимум амплитуд колебаний отмечался на более низких широтах – 63–64°. Результаты спектрального анализа амплитуд и фаз $Pc5$ -пульсаций свидетельствуют о резонансной природе анализируемых волн. При этом

резонансное усиление амплитуды в утреннем секторе наблюдалось на более высоких широтах (67°), чем в вечернем (64°).

Показано, что *Pc5*-пульсации, постепенно усиливаясь, распространялись от полудня на утреннюю и вечернюю стороны, что позволяет интерпретировать генерацию этих колебаний как результат развития неустойчивости Кельвина–Гельмгольца на флангах магнитосферы. Амплитуды колебаний на утренней стороне Земли в 3–4 раза превышали амплитуды на вечерней.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (гранты № 12-05-01030, 12-05-98522) и Программы № 7 ОНЗ РАН.

Литература

- Гульельми А.В., Потапов А.С., Клайн Б.Н. Комбинированная неустойчивость Рэлея–Тейлора–Кельвина–Гельмгольца на магнитопаузе // Солнечно-земная физика. 2010. Вып. 15. С.24–27.
- Клейменова Н.Г., Козырева О.В., Зайцев А.Н., Одинцов В.И. Геомагнитные пульсации *Pc5* на глобальной сети обсерваторий в магнитную бурю 24 марта 1991 г. // Геомагнетизм и аэрономия. 1996. Т. 36, № 1. С.52.
- Клейменова Н.Г., Козырева О.В., Биттерли М., Шотт Ж.-Ж., Виланте У., Франсия П., Бест А. Два типа дневных длиннопериодных геомагнитных пульсаций диапазона *Pc5* на средних широтах в сильную бурю // Геомагнетизм и аэрономия. 1998. Т. 38, № 1. С.61.
- Клейменова Н.Г., Козырева О.В., Биттерли М., Шотт Ж.-Ж. Длиннопериодные (1–6 мГц) геомагнитные пульсации в начальную фазу большой магнитной бури 21 февраля 1994 г. // Геомагнетизм и аэрономия. 2000. Т.40, № 4. С.16–25.
- Козырева О.В., Клейменова Н.Г., Шотт Ж.Ж. Геомагнитные пульсации начальной фазы магнитной бури // Геомагнетизм и аэрономия. 2004. Т. 44, № 1. С.37–46.
- Козырева О.В., Клейменова Н.Г., Ватерманн Ю. Геомагнитные пульсации диапазона *Pc5* при большом динамическом давлении солнечного ветра в начальную фазу магнитной бури (16 апреля 1999 г.) // Геомагнетизм и аэрономия. 2005. Т.45, № 5. С.613–623.
- Козырева О.В., Клейменова Н.Г. Геомагнитные пульсации и магнитные возмущения в начальную фазу сильной магнитной бури 15 мая 2005 г. // Геомагнетизм и аэрономия. 2007. Т. 47, № 4. С.501–511.
- Козырева О.В., Клейменова Н.Г. Оценка уровня дневной волновой геомагнитной активности во время магнитных бурь с помощью нового ULF индекса // Геомагнетизм и аэрономия. 2008. Т. 48, № 4. С.511–519.
- Козырева О.В., Клейменова Н.Г. Вариации ULF-индекса геомагнитных пульсаций во время сильных магнитных бурь // Геомагнетизм и аэрономия. 2009. Т. 49, № 4. С.446–459.
- Козырева О.В., Клейменова Н.Г. Вариации ULF-индекса дневных геомагнитных пульсаций во время рекуррентных магнитных бурь // Геомагнетизм и аэрономия. 2010. Т. 50, № 6. С.799–809.
- Kawasaki K., Akasofu S.-I., Yasuhara F., Meng C.-I. Storm sudden commencements and polar magnetic substorms // J. Geophys. Res. 1971. V. 76. P.6781–6789.
- Kozyreva O., Pilipenko V., Engebretson M.J., Yumoto K., Watermann J., Romanova N. In search of a new ULF wave index: Comparison of *Pc5* power with dynamics of geostationary relativistic electrons // Planet. Space Sci. 2007. doi:10.1016/j.pss.2006.03.013
- Kokubun S., McPherron R. L., Russell C. T. Triggering of substorms by solar wind discontinuities // J. Geophys. Res. 1977. V. 82. P.74–86.
- Liou K., Newell P.T., Meng C.-I., Wu C.-C., Lepping R.P. On the relationship between shock-induced polar magnetic bays and solar wind parameters // J. Geophys. Res. 2004. V. 109. A06306. doi:10.1029/2004JA010400.
- Mann I.R., Wright A.N. Diagnosing *Pc5* magnetospheric waveguide mode excitation mechanisms // Geophys. Res. Lett. 1999. V. 26. P.2609. (doi:10.1029/1999GL900573).

- Mann I.R., Wright A.N., Mills K., Nakariakov V.M. Excitation of magnetospheric waveguide modes by magnetosheath flows // J. Geophys. Res. 1999. V. 104. P.333. (doi:10.1029/1998JA900026).
- Mishin V.V. Accelerated motions of the magnetopause as a trigger of the Kelvin–Helmholtz instability // J. Geophys. Res. 1993. V. 98. P.21365–21371. (doi:10.1029/93JA00417).
- Pilipenko V.A., Kleimenova N.G., Kozyreva O.V., Engebretson M.J., Rasmussen O. Global ULF wave activity during the May 15, 1997 magnetic storm // J. Atmos. Solar-Terr. Phys. 2001. V. 63. P.489–501.
- Pilipenko V., Kozyreva O., Belakhovsky V., Engebretson M.J., Samsonov S. Generation of magnetic and particle Pc5 pulsations during the recovery phase of strong magnetic storms // Proc. R. Soc. A. 2010. doi: 10.1098/rspa.2010.0079/.
- Schieldge J.P., Siscoe G.L. A correlation of the occurrence of simultaneous sudden magnetospheric compressions and geomagnetic bay onsets with selected geophysical indices // J. Atmos. Terr. Phys. 1970. V. 32. P.1819–1830.
- Schott J., Kleimenova N.G., Bitterly J., Kozyreva O.V. The strong Pc5 geomagnetic pulsations in the great magnetic storm of March 24, 1991 // Earth Planets Space. 1998. V. 50. P.101–106.
- Shue J.-H., Kamide Y. Effects of solar wind density on auroral electrojets // Geophys. Res. Lett. 2001. V. 28. P.2181–2184.
- Zhou X., Tsurutani B.T. Interplanetary shock triggering of nightside geomagnetic activity: Substorms, pseudobreakups, and quiescent events // J. Geophys. Res. 2001. V. 106. P.18.957–18.967.

Сведения об авторе

КОЗЫРЕВА Ольга Васильевна – ведущий научный сотрудник, Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН. 123995, ГСП-5, Москва, Д-242, ул. Большая Грузинская, д. 10, стр. 1. Тел.: 7 (499) 254-30-68. E-mail: kozyreva@ifz.ru

GLOBAL DYNAMICS OF GEOMAGNETIC DISTURBANCES IN THE INITIAL PHASE OF MAGNETIC STORM OF APRIL 5, 2010

O.V. Kozyreva

Schmidt Institute of Physics of the Earth, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Abstract. Using the global network of ground-based magnetometers, the spatial distribution of long-period geomagnetic pulsations of range of Pc5 (2–7 mHz) has been investigated in the initial phase of magnetic storm of April 5, 2010, which was characterized by high dynamic pressure (up to 15 PPA) and high speed solar wind (> 800 km/s). It is shown that Pc5 pulsations observed in a large area in longitude (from early morning until evening hours MLT) as well as in latitude (from polar to equatorial latitudes) had a global character. It was found that the most intense pulsations were recorded in the 06–08 MLT morning sector at geomagnetic latitudes 67–69°, while in the afternoon sector maximum Pc5 pulsations were observed at lower latitudes 63–64°. The analysis of phase characteristics showed that the Pc5 pulsations propagated from noon to morning and to evening sectors, gradually growing stronger. The amplitude of pulsations in the morning sector was 3–4 times higher than in the afternoon. Pc5 pulsations were also recorded on geostationary satellites GOES 11 and 12, which were in the morning sector of the magnetosphere during observations. Spectral analysis of Pc5 pulsations observed simultaneously in the magnetosphere (GOES 11 and 12) and on the Earth's surface showed a coincidence of frequency peaks in the spectra of their pulsations.

Keywords: magnetic storm, geomagnetic pulsation.