

УДК 533.951

А. В. Агапитов^{1,2}, О. К. Черемных²

¹Київський національний університет імені Тараса Шевченка

²Інститут космічних досліджень Національної академії наук України і Національного космічного агентства України, Київ

Генерація сонечним ветром собственных УНЧ-мод магнитосфери Землі

Надійшла до редакції 27.11.07

Досліжується проникнення в магнітосферу Землі МГД-збурень, що виникають при взаємодії ударної хвилі в сонячному вітрі з магнітопаузою. На основі вимірювань параметрів плазми сонячного вітру (KA Wind, ACE, Cluster), магнітного поля магнітосфери (KA Polar, Goes10, Geotail) і магнітного поля на поверхні Землі (база даних Intermagnet) встановлено, що такі збурення поширяються у вигляді швидких магнітозвукових хвиль. Їхне поширення супроводжується генерацією власних магнітосферних мод з частотами, що відповідають частотам геомагнітних пульсацій Рс3-Рс5. Останні спостерігаються у магнітоспряженіх точках на поверхні Землі. За супутниковими даними оцінено просторовий масштаб силової трубки, в якій коливання генеруються з однією і тією ж частотою. Встановлено, що в екваторіальній області внутрішньої магнітосфери просторовий масштаб «силової трубки» складає 2000—4000 км. Виявлено, що залежно від напрямку поширення швидкої магнітозвукової хвилі можуть збуджуватися або торoidalні альвенівські моди, або полоїdalні моди, які є гібридом альвенівських і повільних магнітозвукових мод. Проведене дослідження свідчить про те, що енергетична дія зовнішнього широкосмугового джерела, яким є ударна хвиля в сонячному вітрі, фактично зводиться до перекачування енергії сонячного вітру в енергію власних коливань магнітосфери. Такі події можуть розглядатися як можливий механізм генерації власних УНЧ-мод магнітосфери Землі.

ВВЕДЕНИЕ

Теоретические исследования [2, 7, 10, 11, 15, 17, 25 и др.] указывают на возможность возникновения в магнитосфере Земли собственных торOIDальных альвеновских и полоидальных волн, представляющих собой гибрид полоидальных альвеновских мод и медленных магнитозвуковых мод. Частоты этих колебаний лежат в диапазоне от единиц миллигерц до гирочастоты ионов (во внешних областях магнитосферы порядка 1 Гц). То, что наблюдаемые колебания являются собственными модами магнитосферы, подтверждается наличием экспериментально наблюдавших выделенных частот магнитосферных осцилляций — 1.2—1.4, 2.0—2.2, 2.5—2.8, 3.2—3.6 мГц (CMS-частот) [2, 25, 26]. Теоретические исследования предсказывают зависимость

частоты собственных колебаний от магнитной широты при наземных наблюдениях. Экспериментальные же наблюдения свидетельствуют о независимости частоты колебаний от геомагнитной широты [4, 6]. Такие свойства волновой активности обычно объясняют наличием внешнего квазимонохроматического источника генерации возмущений. В то же время имеет место зависимость периодов колебаний от магнитной широты, что проявляется на больших временных отрезках измерений. Например, в условиях умеренной геомагнитной активности на широтах порядка 70° преобладающий период пульсаций Рс5 составляет 2 мГц, а на широтах 60° — около 3 мГц.

Общепризнанным механизмом генерации собственных колебательных мод магнитосферы является неустойчивость Кельвина — Гельмгольца

ца, развивающаяся на магнитопаузе [10, 15, 23, 25]. В соответствии с этим механизмом волна с поверхности магнитопаузы проникает внутрь магнитосферы. Если частота поверхностной волны совпадает с собственной частотой магнитосферных волн, то имеет место увеличение амплитуды возмущений [4]. О справедливости этого механизма свидетельствует также то обстоятельство, что направление вращения вектора поляризации волн различно на широтах выше и ниже амплитудного максимума [4, 25].

В качестве возможного механизма генерации магнитосферных волн также рассматриваются квазипериодические изменения динамического давления солнечного ветра [14, 22]. При колебаниях параметров солнечного ветра с частотами, близкими к собственным частотам магнитосферного резонатора, в ряде случаев наблюдается корреляция с возмущениями магнитного поля в магнитосфере. В частности, в работе [14] при сравнении измерений спектральных плотностей колебаний магнитного поля на борту космических аппаратов «Wind», «Goes-8» и находящегося в зоне каспа «Polar» была установлена прямая связь по крайней мере некоторых из этих событий с периодическими изменениями динамического давления солнечного ветра. В работе [26] отмечалось совпадение вида периодического сигнала на станциях Ла-Аквила (исправленная магнитная широта 36.2°), Терра Нова Бэй (Terra Nova Bay, Антарктида, м. ш. -80.0°) и «Goes-9» 11 января 1997 г. с видом возмущений в солнечном ветре.

Отмеченные выше механизмы хорошо объясняют наблюдаемую на Земле независимость частоты колебаний от магнитной широты. При этом они не отвечают на вопрос: возможно ли одновременное возбуждение собственных колебаний с отличающимися частотами на разных геомагнитных оболочках, и какие колебания при этом реализуются? Этот вопрос становится особенно актуальным с точки зрения происхождения пульсаций Рс5, поскольку до сих пор вопрос о механизмах их генерации остается открытым. Если предположить, что эти пульсации являются собственными колебаниями магнитосферы, то их генерация может происходить под воздействием внешнего источника с достаточно широким спектром частот. В качестве такого источника могут выступать быстрые из-

менения динамического давления солнечного ветра, связанные с распространением быстрых ударных волн [16, 18, 19, 21]. Ниже мы проанализируем этот механизм подробнее на материалах синхронных измерений космических аппаратов в солнечном ветре и в магнитосфере Земли.

ВОЛНОВАЯ РЕАКЦИЯ МАГНИТОСФЕРЫ НА ВОЗМУЩЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА

Динамическое давление солнечного ветра — параметр, определяющий активность магнитосферы и ее размеры. Известно, что увеличение этого давления приводит к увеличению токов на магнитопаузе, что, в свою очередь, приводит к увеличению магнитного поля в магнитосфере при уменьшении ее размеров и приближении подсолнечной точки к Земле. При этом магнитопауза является источником генерации нескольких типов УНЧ-волн [15, 23]. Сжатие (или расширение) плазмы, начавшееся на магнитопаузе, распространяется через магнитосферу со скоростью быстрой магнитозвуковой волны [5, 8, 23]. Поскольку на дневной стороне магнитосферы гидростатическое давление плазмы мало, скорость распространения быстрой магнитозвуковой волны практически совпадает с альвеновской скоростью в магнитосфере (от 400 до 10000 км/с). Поэтому магнитозвуковой фронт в магнитосфере может опережать ударную волну в солнечном ветре, скорость которой обычно составляет 400—800 км/с. В частности, время распространения возмущения от магнитопаузы до земной поверхности составляет примерно 1—3 мин, что согласуется со средней альвеновской скоростью 600—1000 км/с. Именно такое время регистрируется наземными станциями при импульсных возмущениях на магнитопаузе [5, 19].

В теоретической модели неоднородной магнитосферы с прямыми силовыми линиями магнитного поля и двумя идеально проводящими ионосферами, в которой анализируется распространение быстрой магнитозвуковой волны по перек магнитного поля, дисперсионное уравнение содержит сингулярность, возникающую при совпадении периода волны с периодом собственной альвеновской моды, распространяющейся

вдоль силовой линии [23]. Эта сингулярность является ответственной за генерацию альвеновской волны на резонансной силовой линии.

Для того чтобы на магнитопаузе сформировался резкий магнитозвуковой импульс с достаточно широким спектром частот, характерный временной масштаб изменений параметров солнечного ветра должен быть меньше времени распространения МГД-возмущения в границах магнитосферы (порядка 10 мин) [19, 23]. Такой временной масштаб характерен для быстрых ударных волн в солнечном ветре, при наблюдении которых динамическое давление солнечного ветра может измениться на порядок и более за десятки секунд.

В данной работе на примере трех событий, которые произошли 10 и 13 января и 13 апреля 2001 г., проанализировано взаимодействие магнитосферы с быстрыми ударными волнами в солнечном ветре. Временное поведение динамического давления солнечного ветра по измерениям космического аппарата «Wind» представлено на рис. 1, на котором виден скачок динамического давления, обусловленный увеличением плотности плазмы и скорости потока. Скачок

динамического давления одновременно характеризовался увеличением магнитного поля, что свидетельствует о быстрой ударной волне. Время регистрации ударной волны в солнечном ветре и магнитозвукового импульса в магнитосфере и соответствующие положения космических аппаратов приведены в таблице. С помощью тайминг-методики [24] и метода минимума вариаций магнитного поля [24] были определены такие параметры ударных волн, как скорость распространения, наклон нормали к оси X_{GSE} и радиусы кривизны поверхностей на орбите Земли. Ниже приведены характеристики магнитозвукового фронта (скорость, амплитуда, направление распространения) и особенности генерации собственных магнитосферных колебательных мод (локализация, частота и поляризация) в зависимости от наклона ударной волны при взаимодействии с поверхностью магнитопаузы.

На рис. 2 показаны положения космических аппаратов 13 апреля 2001 г. в 7:30 UT и последовательные положения фронта ударной волны в солнечном ветре и магнитозвукового импульса в магнитосфере. Видно, что космические аппараты ACE, «Wind» и «Cluster» [9]

Время регистрации прохождения ударной волны КА, значения составляющих радиуса-вектора R КА в системе GSE (в радиусах Земли) и составляющих нормали n к поверхности фронта ударной волны, определенные методом минимума вариаций магнитного поля

КА	UT	R_x/R_E	R_y/R_E	R_z/R_E	n_x/R_E	n_y/R_E	n_z/R_E
13 апреля 2001 г.							
ACE	07:13:18	221.7	-6.6	-20.4	-0.73	0.44	0.51
«Wind»	07:23:15	4.2	-263.5	-1.13	-0.56	0.64	0.53
«Polar»	07:33:09	7.5	-2.65	1.38	0.09	0.98	-0.19
«Cluster»	07:33:39	14.67	-12.93	1.54	-0.51	0.50	0.7
«Goes-10»	07:33:39	-6.32	-1.16	1.6	-0.44	0.86	0.25
10 января 2001 г.							
ACE	15:19:28	241.03	10.13	18.59	-0.84	-0.43	0.34
«Wind»	16:09:05	0.33	247.1	-17.5	-0.95	-0.1	0.29
«Polar»	16:19:40	1.41	8.81	1.98	-0.26	0.55	0.79
«Cluster»	16:17:26	13.08	14.53	0.78	-0.93	-0.21	-0.30
«Goes-10»	16:19:20	1.36	6.45	-0.55	-0.88	-0.47	-0.09
«Geotail»	16:21:17	-6.73	-27.44	3.69	-0.87	0.48	0.06
13 января 2001 г.							
ACE	01:42:05	221.7	-6.6	-20.4	-0.96	-0.22	0.16
«Wind»	02:25:45	4.2	-263.5	-1.13	-0.98	-0.02	0.29
«Polar»	02:19:36	7.5	-2.65	1.38	-0.04	-0.09	-0.99
«Goes-10»	02:18:32	-6.32	-1.16	1.6	-0.83	-0.12	-0.54
SOHO	01:50:13	194.62	-54.12	13.81	—	—	—

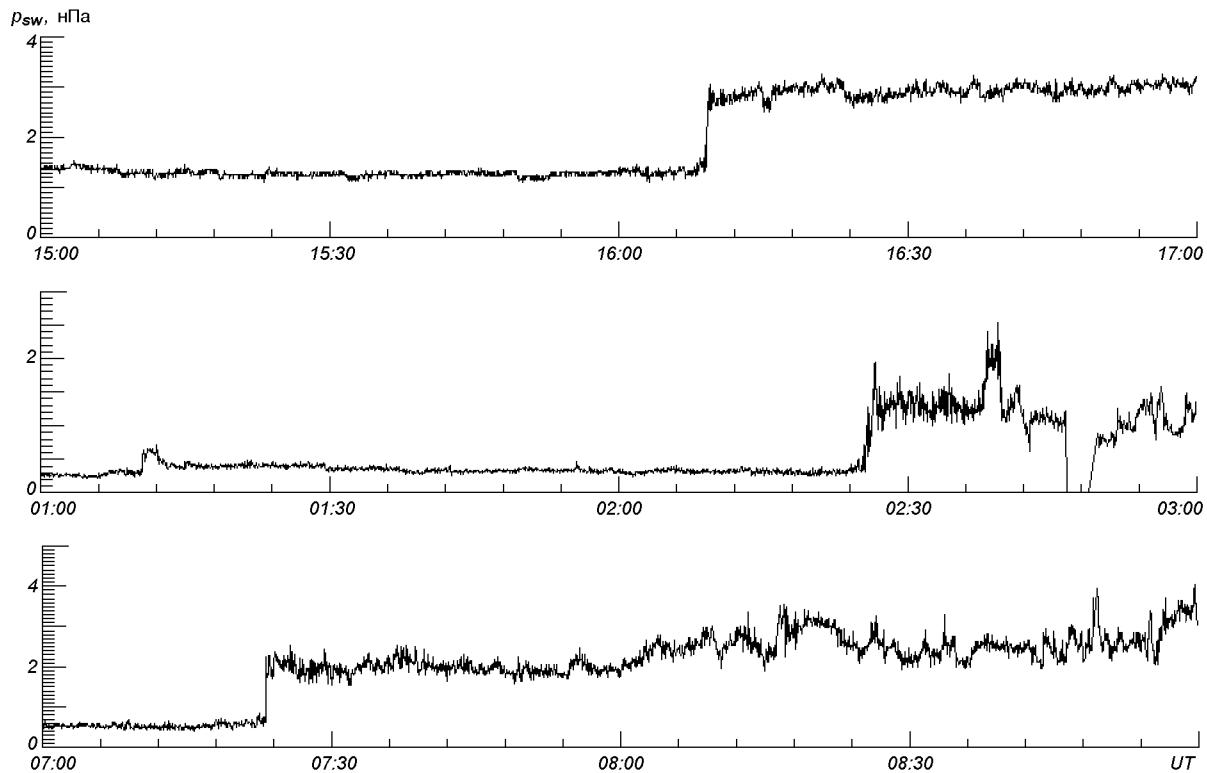


Рис. 1. Динамическое давление солнечного ветра 10.01.2001, 13.01.2001 и 13.04.2001 соответственно. Наблюдается прохождение быстрой ударной волны со скачком скорости, магнитного поля и плотности плазмы

проводили измерения в солнечном ветре, а «Polar» и «Goes-10» — в магнитосфере Земли в дневном и ночном секторах соответственно. По сравнению с размерами магнитосферы поверхность фронта ударной волны можно считать плоской, поскольку ее радиус кривизны составляет 450—500 радиусов Земли. Ориентация фронта ударной волны в 8:24 UT показана пунктиром, а в 9:20 UT штрих-пунктиром, по измерениям космического аппарата ACE.

Событие 13 апреля 2001 г. характеризовалось сильной изменчивостью параметров солнечного ветра. Ударная волна подошла к магнитопаузе с нормалью $[-0.73, 0.44, 0.51]$ по данным ACE и с нормалью $[-0.56, 0.64, 0.53]$ по данным «Wind», что соответствует углу падения на магнитосферу порядка 50° . Здесь и ниже все наблюдаемые величины приведены в системе координат GSE. В результате возмущения магнитопаузы была сгенерирована проникающая в магнито-

сферу быстрая магнитозвуковая волна. Характерными наблюдательными особенностями этой волны являются одновременное увеличение гидростатического давления плазмы и давления магнитного поля, а также поляризация волны — квазипоперечное распространение относительно магнитного поля. Космический аппарат «Polar» зарегистрировал прохождение быстрого магнитозвукового возмущения в 7:33 UT. Направление распространения фронта магнитозвуковой волны практически совпадало с осью Y_{GSE} : компоненты нормали к фронту $[0.09, 0.98, -0.19]$. Ударная волна привела к генерации на утреннем фланге магнитопаузы вторичного источника магнитозвуковой волны. Поскольку в магнитосфере магнитозвуковая волна распространялась быстрее, чем фронт ударной волны в солнечном ветре, то магнитозвуковая волна от точки первого взаимодействия магнитопаузы с фронтом ударной волны пришла во внутренние области магнито-

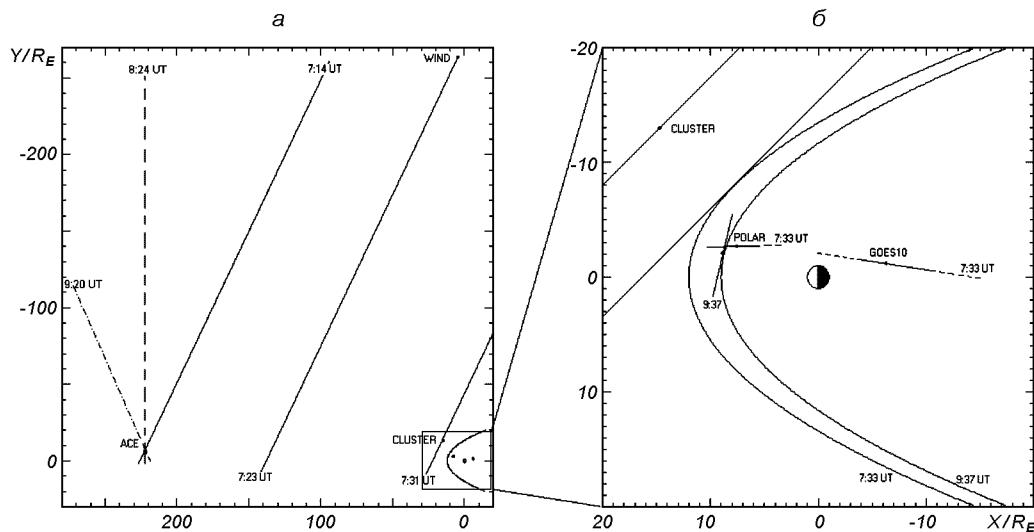


Рис. 2. Положения КА ACE, «Wind», «Cluster», «Polar», «Goes-10» в моменты регистрации SI 13.04.2001 г. Указаны моменты прохождения ударной волны. Фронт ударной волны в различные моменты времени восстановлен на основе тайминг-методики [24]

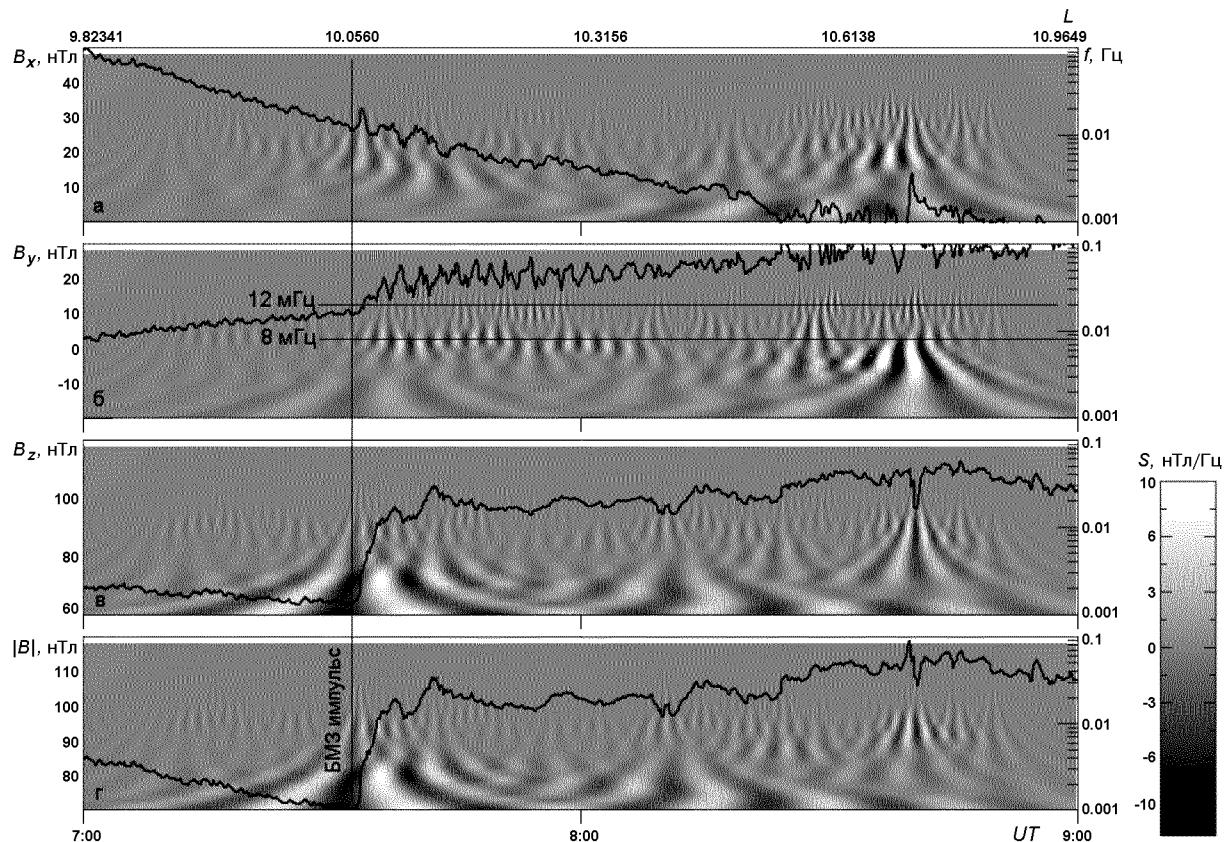


Рис. 3. Вейвлет-спектры составляющих магнитного поля и модуля поля в системе GSE. Сплошные линии — измерения «Polar» 13.04.2001 г. На верхней шкале приведен параметр Мак-Илвайна L

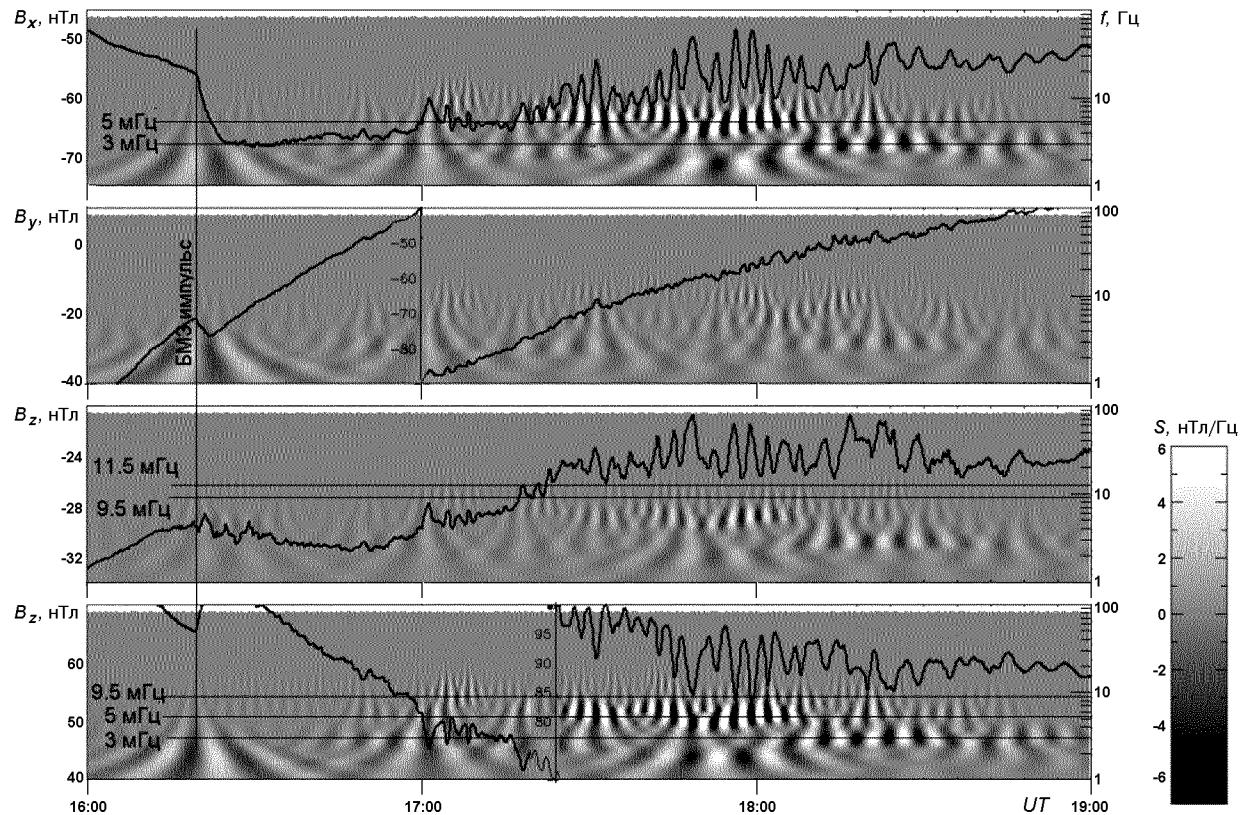


Рис. 4. Вейвлет-спектры GSE компонентов магнитного поля по измерениям «Polar» 10.01.2001 г., на фоне показаны частотно-временные контурные диаграммы их вейвлет-спектров

сферы быстрее, чем от подсолнечной точки магнитосферы. В результате фронт магнитозвуковой волны поменял направление распространения по сравнению с направлением распространения ударной волны, а угол между нормалью и осью X_{GSE} увеличился. Изменение направления распространения подтверждается измерениями космического аппарата «Goes-10», который находился в ночном секторе (таблица). Сразу же после прохождения быстрого магнитозвукового возмущения в магнитометрических измерениях космического аппарата «Polar» наблюдался волновой процесс с частотами порядка 8 и 11–12 мГц в течение 35–40 мин.

На рис. 3 представлены вейвлет-спектры, рассчитанные методом неортогонального вейвлет-преобразования Морле для дискретных рядов [3]. Видно, что в 7:33 UT 13.04.2001 г. регистрировалось импульсное возмущение магнитного

поля во всех компонентах. Момент прохождения магнитозвукового импульса показан вертикальной линией. После прохождения быстрого магнитозвукового возмущения в Y_{GSE} -компоненте магнитного поля (рис. 3, б) наблюдалось квазипериодическое возмущение, представляющее собой сумму линейно поляризованных колебаний с двумя периодами 80 и 125 с. Соответствующие частоты показаны на рис. 3 горизонтальными линиями. Амплитуды возмущений были 1.5–2 и 5–6 нТл соответственно. Для магнитной оболочки с параметром Мак-Илвайна $L = 10$, на которой наблюдались возмущения, период основной альвеновской моды ($n = 1$) лежал в интервале 250–300 с. Поэтому наблюдаемые колебания с периодами 80 и 125 с можно интерпретировать как вторую и третью гармоники альвеновской моды. Вектор возмущения магнитного поля имел направление [0.15537, 0.95650,

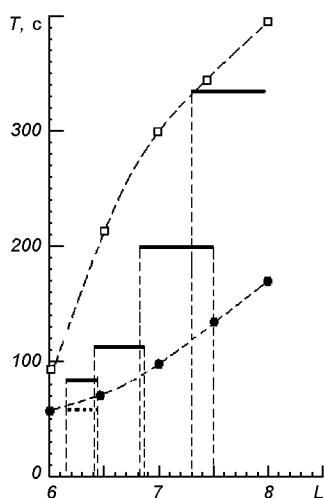


Рис. 5. Зависимость периода наблюдаемых на КА «Polar» 13 января 2001 г. колебаний от геомагнитной оболочки. Квадратики — полоидальные моды, точки — тороидальные моды

–0.24690]. Возмущенная составляющая магнитного поля была направлена вдоль вектора скорости распространения быстрой магнитозвуковой волны с компонентами [0.15523, 0.96347, –0.21824] с точностью до 5°. Угол между вектором возмущения магнитного поля и вектором невозмущенного геомагнитного поля составлял $90 \pm 10^\circ$, что также свидетельствует о том, рассматриваемое возмущение является возмущением альвеновского типа. Поскольку возмущение было перпендикулярно как к магнитному полю, так и радиусу-вектору положения космического аппарата, то наблюдаемое возмущение можно классифицировать как тороидальную альвеновскую моду.

Событие 10 апреля 2001 г. характеризовалось существенно меньшим изменением параметров солнечного ветра, чем рассмотренное выше. В 16:19:40 UT 10.01.2001 г. регистрировалось импульсное возмущение всех трех компонентов магнитного поля. На рис. 4 этот момент времени отмечен вертикальной линией. После прохождения быстрого магнитозвукового возмущения космический аппарат «Polar» в течение трех часов регистрировал периодические процессы на различных магнитных оболочках. В компонентах X_{GSE} и Z_{GSE} магнитного поля наблюдались ква-

зипериодические возмущения, на последовательно изменяющихся частотах 11.5, 9.5, 5 и 3 мГц с амплитудами 1, 1.5–2, 4–5 и 3–4 нТл соответственно. С помощью метода минимума вариаций магнитного поля возмущения в волне было показано, что поляризация колебаний линейная. Частоты колебаний приведены на рис. 4 и обозначены горизонтальными линиями. Зависимость наблюдаемых частот от параметра Мак-Илвайна приведена на рис. 5. Сплошными линиями представлены частоты полоидальных мод, а штриховыми — частота тороидальной альвеновской моды. Необходимо отметить, что полоидальные моды представляют собой гибрид первых полоидальных альвеновских мод и медленных магнитозвуковых мод. То, что в полоидальных модах есть медленный магнитный звук, подтверждается поведением возмущенного гидростатического давления и возмущенного давления магнитного поля, которые находятся в противофазе, что характерно для медленного магнитного звука [1, 27, 28]. Космический аппарат «Polar» последовательно проходил от магнитной оболочки с параметром Мак-Илвайна $L = 6$ до оболочки с $L = 8$. При этом наблюдалось дискретное изменение частоты колебаний. С учетом линейной поляризации возмущений приведенная на рис. 5 зависимость находится в хорошем соответствии с полученной ранее в работах [2, 7, 12, 13, 17] зависимостью периодов собственных колебаний от геомагнитной широты и расчетанным периодом альвеновской волны.

Собственные магнитосферные колебания наблюдались и 13 января 2001 г. при взаимодействии магнитосферы с быстрой ударной волной в солнечном ветре. Космические аппараты «Polar» и «Goes-10» в это время находились в утреннем секторе магнитосферы (таблица). На обоих космических аппаратах после прохождения быстрого магнитозвукового возмущения наблюдались периодические возмущения.

Космический аппарат «Polar» зафиксировал линейно поляризованные колебания с частотой 10 мГц и амплитудой 1–1.5 нТл. Направление вектора возмущения магнитного поля [0.04312, 0.17563, 0.98351] совпадало с направлением распространения быстрого магнитозвукового возмущения с точностью до 7°. Угол между фоновым магнитным полем и возмущенным составлял $94 \pm 7^\circ$. Поскольку модуль магнитного поля не

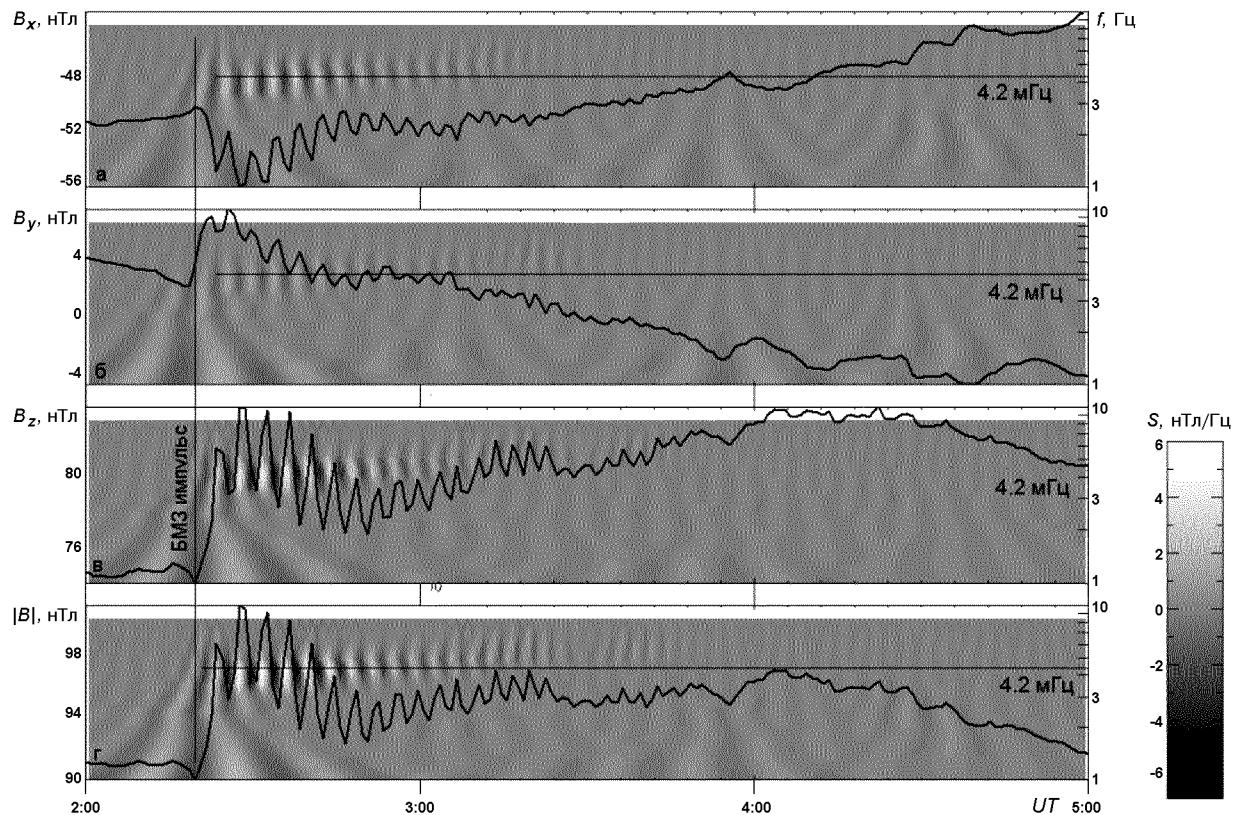


Рис. 6. Компоненты магнитного поля по измерениям «Goes-10» 13.01.2001 г. в системе GSE, а также контурные диаграммы их вейвлет-спектров. В 16:19:40 UT регистрируется возмущение магнитного поля во всех компонентах. После этого в составляющей Z_{GSE} наблюдаются колебания с периодом 90—100 с. Амплитуда возмущений 5 нТл

возмущался, поэтому наблюдаемое возмущение может быть интерпретировано как возмущение альвеновского типа. Одновременно в магнитометрических измерениях «Goes-10» регистрировались линейно поляризованные колебания с частотой 5—6 мГц, амплитудой 4—5 нТл. Вектор возмущения имел направление $[-0.62943, -0.09562, 0.77115]$. Угол между векторами возмущенного и фонового магнитного поля равен $6 \pm 5^\circ$. Таким образом, наблюдалась волна сжатия с возмущением магнитного давления и давления плазмы. Поскольку увеличение магнитного давления сопровождалось уменьшением давления плазмы, то возмущение можно интерпретировать как медленный магнитный звук. Колебания с тем же периодом (рис. 6) были зафиксированы на поверхности Земли магнитометрической станцией Минук (Meapook), которая на-

ходится вблизи точки, магнитосопряженной с положением «Goes-10». Наблюдения колебаний с одинаковым периодом и волновой формой одновременно в магнитосопряженных точках позволяет сделать вывод, что наблюдаемые возмущения являются собственными магнитосферными модами.

Выводы

Проведенное исследование показало, что воздействие быстрых ударных волн в солнечном ветре на магнитопаузу приводит к генерации быстрых магнитозвуковых возмущений, распространяющихся внутрь магнитосферы с альвеновской скоростью.

Быстрые магнитозвуковые возмущения при

распространении генерируют собственные колебательные моды магнитосферы УНЧ-диапазона.

В зависимости от угла падения фронта быстрого магнитозвукового возмущения на магнитную силовую линию, генерируются либо альвеновские тороидальные колебания, либо колебания, представляющие собой гибрид полоидальной альвеновской волны и медленной магнитозвуковой волны. Частоты последних лежат ниже 10 Гц. Периодические возмущения магнитного поля регистрируются в магнитосопряженных точках на поверхности Земли, что является свидетельством того, что эти возмущения являются собственными модами магнитосферы.

Таким образом, взаимодействие быстрых ударных волн солнечного ветра с магнитосферой может рассматриваться как один из возможных каналов переноса энергии из солнечного ветра в ионосферу.

We thank the CSDSweb and NASA SSC services for providing the WIND, ACE, GEOTAIL, GOES10 and POLAR data. We highly appreciate the CLUSTER Active Archive for the opportunity to use the spacecraft data and INTERMAGNET (International Real-time Magnetic Observatory Network) archive for ground based magnetometric data. This research was partially supported by CRDF №UKP2-2644-KV-05 grant.

1. Агапитов А. В. Распространение Ps 6 волновых пакетов в хвосте магнитосферы Земли после магнитной суббури // Космічна наука і технологія.—2004.—10, № 5/6.—С. 117—121.
2. Агапитов А. В., Парновский А. С., Черемных О. К. Спектр поперечно-мелкомасштабных возмущений во внутренней магнитосфере Земли // Кинематика и физика небес. тел.—2006.—22, № 6.—С. 387—401.
3. Добеши И. Десять лекций по вейвлетам. — Ижевск, 2001.—464 с.
4. Клейменова Н. Г. Геомагнитные пульсации // Модель космоса. — М.: «Университет. Книжный дом», 2007.—Т. 1.—872 с.
5. Нишида А. Геомагнитный диагноз магнитосферы. — М.: Мир, 1980.—299 с.
6. Пудовкин М. И., Распопов О. М., Клейменова Н. Г. Возмущения электромагнитного поля Земли. Ч. 2. Короткопериодные колебания геомагнитного поля. — Л.: ЛГУ, 1976.—271 с.
7. Agapitov A. V., Cheremnykh O. K., Parnowski A. S. Ballooning perturbations in the inner magnetosphere of the Earth: spectrum, stability and eigenmode analysis // Adv. Space Sci.—2008.—41, N 10.—P. 1682—1687.

8. Andreeva K., Prech L. Propagation of interplanetary shocks into the Earth's magnetosphere // Adv. Space Res.—2007.—40, N 12.—P. 1871—1880.
9. Balogh A., Carr C. M., Acuca M-H., et al. The Cluster magnetic field investigation: Overview of in-flight performance and initial results // Ann. geophys.—2001.—19.—P. 1207—1217.
10. Chen L., Hasegawa A. A theory of long-period magnetic pulsations: 1. Stady state exitation of field line resonant // J. Geophys. Res.—1974.—79.—P. 1024—1032.
11. Cheng C. Z., et al. Magnetohydrodynamic Theory of Field Line Resonances in the Magnetosphere // J. Geophys. Res.—1993.—98, N A7.—P. 11339—11347.
12. Denton R. E., Gallagher D. L., Determining the mass density along magnetic field lines from toroidal eigenfrequencies // J. Geophys. Res.—2000.—105.—P. 27717—27725..
13. Denton R. E., Lessard M. R., Anderson R., et al. Determining the mass density along magnetic field lines from toroidal eigenfrequencies: Polynomial expansion applied to CRESS data // J. Geophys. Res.—2001.—106.—P. 29915.—29924.
14. Kepko, L., Spence H. E. Observations of discrete, global magnetospheric oscillations directly driven by solar wind density variations // J. Geophys. Res.—2003.—108, N A6.—P. 1257—1271.
15. Kivelson M. G. ULF waves from ionosphere to the outer planets // AGU Monograph. N 169 / Eds K. Takahashi, P.-J. Chi. — IGPP Publ., 2006.—N 6264.—P. 11—30.
16. Korotova G. I., Sibeck D. G., Singer H. J., Rosenberg T. J. Multipoint observations of transient event motion through the ionosphere and magnetosphere
17. Leonovich A. S. Mazur V. A. A theory of transverse small-scale standing Alven waves in an axially symmetric magnetosphere // Planet. Space Sci.—1993.—41, N 9.—P. 697—717.
18. Hudson M. K., Denton R. E., Lessard M. R., et al. A study of Pc-5 ULF oscillations // Ann. geophys.—2004.—22.—P. 289—302.
19. Petrinec S. M., Yumoto K., Lühr H., et al. The CME event of February 21, 1994: Response of the magnetic field at the Earth's surface // J. Geomagn. and Geoelec.—1996.—48.—P. 1341—1379.
20. Pilipenko V. A. ULF waves on the ground and in space // J. Atmos. Terr. Phys.—1990.—52, N 12.—P. 1193—1209.
21. Saito T., Matsushita S. Geomagnetic pulsations associated with sudden commencements and sudden impulses // Planet. Space Sci.—1967.—15.—P. 573—587.
22. Sibeck D. G. Pressure pulses and cavity mode resonances in multiscale processes in the Earth's magnetosphere: from Interball to CLUSTER // NATO Sci. Ser.—2003.—P. 95—110.
23. Southwood D. J., Kivelson M. G. The Magnetohydrodynamic response of the magnetospheric cavity to changes in solar wind pressure // J. Geophys. Res.—1990.—95, N A3.—P. 2301—2309.
24. Sonnerup B. U. O., Scheible M. Minimum and maximum variance analysis. in analysis methods for multi-spacecraft data / Eds G. Paschmann, P. W. Daly. — Noordwijk, Netherlands: ESA Publ. Div., 1998.—1850 p.
25. Takahashi K. ULF waves: 1997 IAGA division 3 reporter review // Ann. geophys.—1998.—16.—P. 787—803.

26. Villante U., Francia P., Lepidi S. Pc5 geomagnetic field fluctuations at discrete frequencies at a low latitude station // Ann. geophys.—2001.—19.—P. 321—325.
27. Zhu X., Kivelson M. Compressional ULF Waves in the Outer Magnetosphere. 1. Statistical Study // J. Geophys. Res.—1994.—99, N A1.—P. 19451—19467.
28. Zhu X., Kivelson M. Compressional ULF Waves. 2. Case Study // J. Geophys. Res.—1994.—99, N A1.—P. 241—252.

**THE GENERATION OF INHERENT ULF MODES
IN THE EARTH'S MAGNETOSPHERE BY SOLAR WIND**

A. V. Agapitov, O. K. Cheremnykh

A study of Pc-5 magnetic pulsations using some data from the ACE, Wind, Polar Cluster, Geotail and Goes-10 spacecraffts and ground-based magnetic field measurements from the Intermagnet

archive was carried out. Solar wind in the Earth's orbit is a quasi-stationary formation with tangential discontinuous, fast and slow shock waves. We accentuate our study on geomagnetic pulsations associated with sudden storm commencements (SSC) and sudden impulses (SI). The disturbances of magnetopause surface produce the fast MHD wave front which penetrates into the magnetosphere. Pulsations associated with fast waves were detected on spacecraffts and on the Earth's surface with the same frequency. Pulsations excitation can be considered as one of energy transport mechanisms from solar wind to the ionosphere. Frequencies of detected pulsations depend on geomagnetic latitude and approximately correspond to the toroidal alfvénic mode. Pulsations with different frequencies were observed simultaneously on different magnetic latitudes. The existence of spectral maxima after wideband fast MHD waves propagation testify the magnetosphere property to select particular spectral peaks and to produce Pc3-5 pulsations with expressed periodicities. The Earth's magnetosphere is assumed to be the resonance system for hydromagnetic waves excited due to the shocks outside the magnetosphere.