

ГЕОСИНХРОННЫЕ ПЕРЕСЕЧЕНИЯ МАГНИТОПАУЗЫ 29-31 ОКТАБРЯ 2003 ГОДА

А.В. Дмитриев, А.В. Суворова

*НИИ Ядерной Физики, Московский Государственный Университет им. Ломоносова
Москва*

В период 29-31 октября 2003 г. идентификация геосинхронных пересечений магнитопаузы (ГПМ) проведена по магнитным данным КА серии GOES и плазменным данным КА серии LANL. Показано, что большую часть времени размер дневной магнитосферы был сильно уменьшен под воздействием очень высокого давления, связанного с высокими скоростями и плотностями плазмы солнечного ветра, а также вследствие больших отрицательных значений V_z компоненты межпланетного магнитного поля (ММП). В течение десятков часов подсолнечная магнитопауза находилась глубоко внутри геосинхронной орбиты. Во время главной фазы и в максимуме сильных геомагнитных бурь, произошедших в рассматриваемый период, дневная магнитосфера характеризуется сильной асимметрией утро-вечер, так что ее размер в послеполуденном секторе существенно превышает размер в предполуденном секторе. Геомагнитные возмущения утром 30 и 31 октября 2003 г. сопровождаются глобальными магнитосферными пульсациями с периодом 5-10 мин и большой амплитудой (до 0.8 R_e).

1. Введение

Во время сильных возмущений в солнечном ветре (СВ) граница магнитосферы, магнитопауза, на дневной стороне может пересекать геосинхронную орбиту, т.е. расстояние от земли до носовой точки магнитопаузы уменьшается от $R \sim 11$ радиусов земли (R_e) при нормальных условиях до $R < 6.6 R_e$. Т.о. характерный линейный размер дневной магнитосферы может уменьшаться в более чем полтора раза, а объем – более чем в 4 раза. Хорошо известно [1], что геосинхронные пересечения магнитопаузы (ГПМ) вызваны высокими давлениями СВ P_{sw} и/или большими отрицательными значениями V_z компоненты межпланетного магнитного поля (ММП). Детальные исследования динамики дневной магнитопаузы вблизи геосинхронной орбиты [2, 3, 4] показывают, что P_{sw} и V_z являются основными ведущими параметрами, однако их воздействие на дневную магнитосферу реализуется по-разному. В первом приближении давление солнечного ветра вызывает компрессию всей магнитосферы как целого, поэтому P_{sw} можно рассматривать как масштабный параметр, пропорционально уменьшающий линейные размеры всей дневной магнитосферы по степенному закону с показателем $\sim 1/6$. Магнитный эффект V_z остается пока еще не до конца выясненным, и исследование его характеристик ведется в основном эмпирическим путем.

К настоящему времени известны следующие особенности динамики дневной магнитосферы в зависимости от ММП V_z . Дневная магнитопауза приближается к земле при повороте ММП на юг, т.е. когда V_z становится отрицательным. Однако с ростом величины южного ММП до некоторой величины (~ 20 нТл) наступает «насыщение», и уменьшение размеров дневной магнитосферы практически прекращается [5, 6, 7, 8]. При этом давление СВ, требуемое для ГПМ, оказывается в несколько раз меньше, чем при

положительном Bz . Условия в СВ, необходимые для ГПМ в ближайшей к земле “перигейной” точке, могут быть представлены следующим выражением [3]:

$$P_{sw} = 21 - \frac{16.2}{1 + \exp\{0.2(Bz - 2.)\}} \quad (1)$$

Из этого выражения легко получить, что для больших положительных Bz давление СВ, необходимое для ГПМ, составляет $P_{sw}=21$ нПа, а в режиме насыщения при больших отрицательных $Bz < -20$ нТл для ГПМ требуется давление $P_{sw} \sim 5$ нПа. В режиме насыщения величина Bz практически не играет роли и эффекты от $Bz = -25$ нТл и $Bz = -50$ нТл не отличаются, т.е. динамикой магнитопаузы главным образом управляет давление СВ. Важным следствием эффекта насыщения Bz является существование «порогового» значения давления СВ для ГПМ. В выражении (1) это пороговое значение составляет $P_{sw}=4.8$ нПа. Меньшего давления будет уже не достаточно, чтобы «толкнуть» магнитопаузу на геосинхронную орбиту.

Другим важным свойством динамики магнитопаузы во время ГПМ является асимметрия утро-вечер [1, 2, 9], которая практически отсутствует при положительном Bz и довольно велика при большом отрицательном Bz [4]. Для асимметричной магнитопаузы область, наиболее близкая к земле, смещается к утру так, что при очень большом отрицательном Bz ее местное время около 1000LT. При этом требуемое для ГПМ давление СВ вблизи вечернего фланга (1700LT) в три раза больше, чем давление вблизи утреннего фланга (700LT): $P_{sw} \sim 30$ нПа и $P_{sw} \sim 10$ нПа, соответственно. Одним из наиболее вероятных явлений, ответственных за асимметрию утро-вечер, рассматривается мощный асимметричный кольцевой ток, развивающийся во время магнитных бурь [4, 9]. Поэтому заметную асимметрию магнитопаузы можно ожидать на главной фазе и в максимуме сильных магнитных бурь [2].

В данной работе проведен анализ ГПМ для экстремально возмущенного периода 29-31 октября 2003. К сожалению, за этот период либо отсутствуют данные с космических аппаратов (КА) по плазме солнечного ветра, либо вызывает сомнения правильность показаний приборов. В этом смысле идентификация ГПМ чрезвычайно важна для оценки реальных размеров дневной магнитосферы. Более того ГПМ могут оказаться полезны для модельного восстановления характеристик плазмы СВ по имеющимся данным о динамике ММП. В настоящей работе проводится идентификация геосинхронных пересечений магнитопаузы с помощью КА серий GOES и LANL, и исследуются условия в плазме солнечного ветра и ММП. Полученные данные позволяют сделать модельную оценку давления и плотности СВ в периоды ГПМ.

2. Условия в межпланетной среде

В период 29-31 октября 2003 г. параметры межпланетного пространства измерялись на КА ACE и SOHO в точке либрации L1 и на КА Geotail вблизи дневной магнитосферы. КА Wind находился далеко в хвосте магнитосферы. Определение точных значений параметров плазмы солнечного ветра и ММП для данного интервала довольно затруднительно вследствие ряда обстоятельств. Во-первых, в это время межпланетное пространство было заполнено экстремально интенсивными потоками солнечных космических лучей, которые оказывают на работу бортовых приборов очень сильное негативное воздействие. Во-вторых, экстремально возмущенные условия в солнечном ветре, такие как очень большие скорости и плотности плазмы, могли оказаться вне динамического диапазона нормальной работы плазменных детекторов. Как результат, в настоящий момент отсутствуют данные по плазме СВ с КА ACE. Экспериментальные данные по плазме СВ и ММП, использованные в данной работе, сведены в Таблице 1. Для анализа геомагнитной возмущенности на средних широтах используется 1-мин H-SYM

индекс (<http://swdcwww.kugi.kyoto-u.ac.jp/aeasy/index.html>), который является аналогом часового Dst индекса.

На Рисунке 1 сравниваются скорость и плотность солнечного ветра, полученные на КА Geotail и SOHO в период 29-31 октября 2003. Заметим, что с ~ 700 UT 30 окт. по 1100UT 31 окт. КА Geotail покидает межпланетную среду и заходит в переходный слой и в магнитосферу. В это время он показывает очень низкую скорость и плотность плазмы. Однако в то время, когда Geotail находится в межпланетной среде 29-30 окт., его показания очень сильно отличаются от показаний КА SOHO. Таким образом, использование плазменных данных для солнечного ветра в данный период представляется затруднительным.

В отличие от плазменных данных, измерения ММП на различных КА более-менее согласуются. Пример сравнения компонент ММП, измеренных на КА Geotail и ACE в 1530-1730UT 29 окт., показан на Рисунке 2. Временной профиль ММП с КА ACE сдвинут для наилучшего согласия на время задержки $dT=14$ мин. Видна высокая корреляция временных профилей, измеренных на КА Geotail в непосредственной близости от земной магнитосферы ($X \sim 20R_E$) и на КА ACE на расстоянии $X=230R_E$. Важно отметить, что такая же хорошая корреляция между ACE и Geotail наблюдается практически для всего исследуемого периода. Т.о. искажающее воздействие флуктуаций на магнитные данные Geotail можно считать не существенным и использовать эти данные для анализа ММП.

Если принять время задержки dT равным времени прямого пролета солнечного ветра от ACE до Geotail в предположении о радиальном переносе "вмороженных" в плазму структур, то с его помощью можно восстановить скорость солнечного ветра за исследуемый интервал, которая показана на Рисунке 4. Отметим, что в период с 930UT 30 окт. по 500UT 31 окт., когда КА Geotail находился в магнитосфере, оценки времени задержки проводились грубо по ковариациям магнитного поля в хвосте магнитосферы с быстрыми вариациями ММП, поэтому в данный период времени ошибки в определении скорости СВ достаточно велики. В остальное время точность приведенных оценок скорости СВ ограничена рядом следующих факторов. Во-первых, для экспериментальных данных с 16-сек и 1-мин разрешением точность определения временных сдвигов составляет около 1 мин. Во-вторых, есть вероятность прохождения сильно наклоненных фронтов или сильных флуктуаций в направлении распространения солнечного ветра. Однако эти эффекты можно считать относительно малыми, на что указывают два обстоятельства: источником возмущения в СВ является почти центральное событие на солнце и высокие корреляции временных профилей компонент ММП, измеренных на расстоянии более $200R_E$ с небольшим отклонением КА от линии солнце-земля ($\sim 30R_E$). Другими словами, наклоны межпланетных фронтов можно считать относительно небольшими, либо сильно наклоненные структуры вряд ли могут быть длительными (несколько часов) в этом событии, и ими в первом приближении можно пренебречь. Наши оценки скорости не противоречат другим косвенным данным, полученным в это время. Т.о. профиль восстановленной скорости можно считать определенным достаточно точно с ошибкой $\sim 10\%$, и в первом приближении он может быть использован для дальнейших оценок параметров плазмы СВ.

3. Идентификация ГПМ

Комплексная методика по идентификации ГПМ и привязки к ним характеристик плазмы СВ и ММП с минутным разрешением разработана и детально описана в [3]. Как уже упоминалось выше, особенность исследуемого интервала в том, что использование экспериментальных данных по плазме СВ представляется затруднительным. Поэтому мы проводим привязку в несколько упрощенном виде, что, однако, не сильно понижает ее точность, вследствие большого числа ГПМ, наблюдаемых одновременно несколькими геостационарными спутниками. Геосинхронные пересечения магнитопаузы

идентифицировались с использованием магнитных данных, полученных на КА серии GOES и LANL (Таблица 1).

Пример идентификации ГПМ с помощью магнитных данных GOES-10 представлен на Рисунке 4. В период с 2130UT до 2300UT 30 октября 2003 г. геосинхронный спутник движется от полудня к вечеру на GSM широте $\text{Lat} \sim 16^\circ$. До 2240UT GOES-10 находится в переходном слое и измеряет магнитное поле, компоненты которого очень сильно отличаются от геомагнитного поля: северо-южная компонента H_r и B_z компонента в GSM либо отрицательные, либо слабые положительные. Обращает на себя внимание хорошая корреляция B_z и B_y компонент в GSM, измеренных на GOES и ACE, который находится в межпланетной среде на расстоянии $\sim 230R_e$ от земли. Временной профиль ММП, измеренный на ACE, сдвинут на 24 мин для наилучшего совмещения его с временным профилем, измеренным на GOES. В 2226UT ММП поворачивается от южного к северному, и за ним точно следует B_z компонента поля на GOES. Несмотря на то, что B_z и H_r имеют положительные значения, GOES все еще находится в переходном слое. Пересечение магнитопаузы и вход в магнитосферу наблюдаются в 2240UT, когда корреляция B_z , измеряемого на GOES-10 с B_z ММП нарушается, а H_r практически выравнивается с полным магнитным полем H , что характерно для подсолнечной области магнитосферы. Выход GOES-10 из переходного слоя объясняется несколькими факторами, действующими одновременно: движением спутника к флангу, ростом его GSM широты и, по-видимому, падением давления СВ, которое проявляется как небольшое уменьшение (~ 20 нТл) величины H -SYM индекса на фоне северного ММП.

В работе [3] введены два параметра RI и RE для идентификации ГПМ с помощью плазменных данных LANL, которые являются отношениями плотности к температуре для тепловых ионов и низкоэнергичных электронов, соответственно. В магнитосфере плотности тепловых ионов и электронов низки, а температуры высоки по сравнению с переходным слоем. В результате, когда LANL выходит из магнитосферы в переходный слой, отношения RI и RE возрастают как минимум на два порядка величины, достигая десятков и сотен. Интервал 29-31 октября 2003 г. имеет важную отличительную особенность: он сопровождается экстремально высокими потоками энергичных частиц солнечного происхождения. В результате температуры ионов и электронов в переходном слое существенно повышены по сравнению с нормальными условиями, и отношения RI и RE возрастают в переходном слое не так сильно, на один-два порядка величины. Рисунок 5 демонстрирует пример идентификации ГПМ с помощью геосинхронного спутника 1991-080 в период 1800-2000UT 29 окт 2003. Одновременно с параметрами RI и RE приводятся магнитные данные GOES-10 и КА Geotail, который в это время находится в межпланетной среде на расстоянии $X \sim 20R_e$. Геосинхронные спутники 1991-080 и GOES-10 движутся в утреннем секторе, причем GOES опережает LANL приблизительно на 2 часа. Вследствие этого GOES-10 находится ближе к полудню и наблюдает несколько ГПМ в период с 1800 до 1820UT, после чего надолго входит в переходный слой, о чем свидетельствует очень большое отрицательное значение H_r . LANL 1991-080 в первый раз выходит в переходный слой в 1831UT, где отношение RI возрастает более, чем на порядок. Несколько последующих ГПМ в 1903UT, 1912UT, 1935UT и в 1953UT, по-видимому, вызваны вариациями давления СВ, поскольку величина отрицательной B_z компоненты ММП очень велика ($B_z \sim -25$ нТл) и слабо варьирует. Заметим, что давление СВ не уменьшается очень сильно, поскольку GOES-10, находящийся на ~ 2 часа ближе к полудню продолжает оставаться в переходном слое. В данном случае представляется возможным оценить возможные пределы давления СВ, что мы и сделаем в дальнейшем в разделе «Обсуждение».

В результате было идентифицировано более 50 интервалов, когда геосинхронные спутники находились вне магнитосферы в переходном слое (магнитоионовые интервалы), которые представлены на Рисунке 6. По времени их можно разбить на 3 группы, когда магнитопауза находилась внутри геосинхронной орбиты практически непрерывно.

Основные характеристики этих групп представлены в Таблице 2. Как видно из Рисунка 6 и Таблицы 2, два первых интервала сопровождались сильными геомагнитными возмущениями, вызванными очень большими значениями отрицательной V_z компоненты ММП на фоне высоких скоростей СВ.

4. Волновые структуры

Временная граница второго интервала ГПМ в ~ 700 UT 31 октября несколько размыта вследствие появления так называемых «волновых» структур, в которых определить точно положение магнитопаузы относительно спутника достаточно проблематично. Пример такой «волновой» структуры в ~ 0430 - 1000 UT 31 окт. 2003 г. показан на Рисунке 7. В вариациях H-SYM индекса хорошо видны гармонические колебания с периодом, плавно увеличивающимся от 5 мин в начале интервала до ~ 10 мин в конце. С вариациями H-SYM хорошо коррелируют параметры RI и RE, измеряемые на LANL-97A в полдень и в вечернем секторе. Амплитуда вариаций RI и RE очень велика, что указывает на множественные пересечения спутником магнитопаузы. Аналогичная волновая структура наблюдается в вечерние и ночные часы (>19 LT) на GOES-10 с 700UT до 735UT.

Заметим, что ММП, измеряемое на ACE в это время, ведет себя совершенно иначе и не демонстрирует никаких волновых вариаций. Такие хорошо коррелированные колебания, не связанные с вариациями параметров СВ, являются проявлением глобальных магнитосферных пульсаций, которые неоднократно наблюдались во время геомагнитных возмущений, сопровождаемых сильными возрастаниями давления СВ [3, 10, 11].

Поскольку глобальные магнитосферные пульсации наблюдаются одновременно на разных LT спутниками 1994-084 и LANL-97A, мы можем оценить амплитуду колебаний дневной магнитопаузы, связанных с этими пульсациями. Таблица 3 содержит исходные данные и соответствующие оценки амплитуды колебаний магнитопаузы при разных LT, которые проводятся следующим образом. Для пары геосинхронных спутников, которые наблюдают ГПМ во время колебаний магнитопаузы, определяется их положение (LT), а также соответствующее значение V_z компоненты ММП. Мы оцениваем давление СВ, требуемое для наблюдаемых ГПМ, по аппроксимациям из работы [2] для отрицательных V_z и по данным Рисунка 8 из работы [4] для $V_z > 0$. Корень шестой степени из отношения давлений СВ пропорционален отношению расстояний R_1/R_2 до магнитопаузы для данного местного времени. Положив $R_2 = 6.6 R_e$ и зная отношение расстояний, мы можем оценить амплитуду колебаний магнитопаузы, которая требуется, чтобы оба геосинхронных спутника наблюдали ГПМ. Т.о. мы получаем, что амплитуда колебаний магнитопаузы вблизи полудня составляет $dR \sim 0.3 R_e$ и растет с удалением от него до $dR \sim 0.8 R_e$. Такие значения не противоречат амплитуде $dR \sim 1 R_e$ полученной в работе [3] для послеполуденного сектора с помощью прямых наблюдений вариации давления СВ.

Заметим, что глобальные магнитосферные пульсации с большими амплитудами от 0.3 до $\sim 0.8 R_e$ и с периодами в несколько минут вполне могут быть мощным источником резонансного неадиабатического (с нарушением III адиабатического инварианта) ускорения частиц радиационных поясов земли (РПЗ), имеющих близкие периоды азимутального дрейфа. В первую очередь такими частицами являются электроны с энергией около 1 МэВ во внешней магнитосфере.

5. Обсуждение

В период 29-31 октября 2003 г. идентифицировано более 50 магнитошисовых интервалов для геосинхронных спутников серий GOES и LANL. Магнитошисовые интервалы составляют три довольно длительных временных промежутка, когда магнитопауза находилась внутри геосинхронной орбиты практически постоянно (Таблица 2). Распределение магнитошисовых интервалов по местным временам демонстрируют

асимметрию в 1830-1930UT 29 окт. (L1), 0020-0210UT 30 окт. (L7) и 2230-2330UT 30 окт. (L4), когда в утреннем секторе ($<900\text{LT}$) геосинхронные спутники находятся в переходном слое, а в вечернем секторе ($>14\text{LT}$), симметрично относительно полудня, мантиошисовые интервалы не наблюдаются. Такая асимметрия свидетельствует об асимметрии утро-вечер дневной магнитосферы, которая подходит к земле ближе в утреннем, чем в вечернем секторе. Асимметрия связана с развитием мощного асимметричного кольцевого тока и, следовательно, характерна для дневной магнитосферы при сильно возмущенных условиях на главной фазе и в максимуме сильных геомагнитных бурь [2, 4, 9].

Обращает на себя внимание довольно большое количество ГПМ, наблюдаемых вблизи флангов ($<8\text{LT}$ и $>1500\text{LT}$), что указывает на очень большое давление СВ, вызывающее сильное сжатие дневной магнитосферы, в особенности для положительных V_z . Используя аппроксимации из работы [2] для отрицательных V_z и данные Рисунка 8 из работы [4] для $V_z > 0$, мы можем оценить экстремальные давления СВ, необходимые для ГПМ для каждого из трех интервалов (Таблица 2). Зная оценки скорости и давлений, мы можем оценить плотность СВ.

В момент прихода ударной волны в 0612UT 29 окт. 2003 г. КА 1994-084 наблюдал ГПМ на 1552LT при $V_z = -33.5$ нТл и скорости СВ ~ 1800 км/с, что соответствует давлению СВ не менее $P_{sw} \sim 15$ нПа и плотности $D > 3$ см⁻³. Заметим, что утром 29 окт. в течение длительного мантиошисового интервала для КА 1994-084 ММП несколько раз поворачивался на север, так что V_z достигал больших положительных значений. При этом в 0738UT спутник находился в области 1720LT, и давление СВ должно было составлять не менее $P_{sw} \sim 70$ нПа и $D \sim 10$ см⁻³ при $V \sim 2000$ км/с. С 900UT до 1030UT данных по геосинхронным спутникам на дневной стороне нет, поэтому говорить об условиях в СВ в этот период не представляется возможным. Следующее ГПМ зарегистрировано в 1038UT на КА 1990-095 при 805LT. V_z был большим положительным и $V \sim 2000$ км/с, что дает давление СВ не менее $P_{sw} \sim 55$ нПа и $D > 8$ см⁻³. В дальнейшем согласно наблюдениям ГПМ на GOES-10 давление СВ начинает падать до $P_{sw} \sim 40$ нПа ($V \sim 2200$ км/с и $D \sim 5$ см⁻³) в 1315UT. После $\sim 14\text{UT}$ происходит быстрое падение давления СВ, которое проявляется в отрицательной вариации H-SYM на фоне главным образом положительных значений V_z , что связано как с падением скорости так и плотности СВ. Действительно, в 1633UT GOES-10, находящийся вблизи полудня (1146LT), покидает переходный слой, при этом $V_z \sim 5$ нТл и скорость $V \sim 1600$ км/с, что соответствует давлению СВ $P_{sw} \sim 7$ и плотности $D \sim 1.6$ см⁻³. Однако, затем давление СВ снова повышается и уже в 1855UT КА 1990-095 наблюдает ГПМ на 1620LT при скорости $V \sim 1300$ км/с, что соответствует $P_{sw} \sim 17$ нПа и $D \sim 6$ см⁻³. Такая картина некоторым образом напоминает временной профиль давления СВ, полученный по данным Geotail (Рисунок 1), однако его абсолютные значения в десятки раз меньше наших оценок. Такое несоответствие вызвано, по-видимому, некорректными данными по скорости СВ. Сравнение наших оценок с данными КА SOHO показывает, что у него очень сильно занижены показания плотности СВ.

Аналогичным образом оцениваются давления и плотности СВ для остальных ГПМ из трех рассматриваемых временных промежутков. Можно вкратце сказать, что в конце первого промежутка $\sim 700\text{UT}$ 30 окт. давление СВ достигало 20 нПа, что при $V \sim 900$ км/с соответствует плотности плазмы СВ ~ 15 см⁻³. Максимальные давления СВ (~ 60 нПа) во время второго промежутка наблюдались утром 31 окт., когда КА 1994-084 и LANL-97A наблюдали ГПМ в вечернем секторе ($>1600\text{LT}$), и при скорости $V \sim 1100$ км/с им соответствует $D \sim 30$ см⁻³. Во время третьего промежутка максимальное давление $P_{sw} \sim 65$ нПа оценивается по ГПМ, который наблюдал КА GOES-12 в $\sim 1200\text{UT}$ ($\sim 700\text{LT}$) при положительных V_z и скорости СВ ~ 960 км/с, что соответствует $D \sim 40$ см⁻³.

6. Выводы

1. Большую часть времени в период 29-31 октября 2003 г. размер дневной магнитосферы был сильно уменьшен под воздействием очень высокого давления СВ (до 70 нПа и более) и/или больших отрицательных значений B_z компоненты ММП, так что подсолнечная магнитопауза находилась глубоко внутри геосинхронной орбиты в течение длительного времени.

2. Динамика ГПМ во время данного события подтверждает ранее полученный вывод о том, что во время главной фазы и в максимуме сильных геомагнитных бурь дневная магнитосфера имеет заметную асимметрию утро-вечер и ее размер в послеполуденном секторе существенно превышает размер в предполуденном секторе.

3. Геомагнитные возмущения утром 30 и 31 октября 2003 г. сопровождаются глобальными магнитосферными пульсациями с периодом 5-10 мин, которые вызывают колебания магнитопаузы с амплитудой $\sim 0.3 R_e$ в подсолнечной области и $\sim 0.8 R_e$ в послеполуденном секторе ($\sim 1400LT$).

Литература

1. Rufenach, C. L., R. F., Jr. Martin, and H. H. Sauer, A study of geosynchronous magnetopause crossings, *J. Geophys. Res.*, 94, 15,125, 1989.
2. Кузнецов С.Н., Суворова А.В., Форма магнитопаузы вблизи геостационарной орбиты, *Геомаг. и Аэрон.*, том 37, 1, 1997.
3. Suvorova, A.V., A. V. Dmitriev, J.-K. Chao, and M. F. Thomsen, Y.-H. Yang, Necessary conditions for the geosynchronous magnetopause crossings, *J. Geophys. Res.*, 2003 (submitted).
4. Dmitriev A.V., A.V. Suvorova, J.-K. Chao, Y.-H. Yang, Dawn-dusk asymmetry of geosynchronous magnetopause crossings, *J. Geophys. Res.*, 2003JA010171, 2004 (accepted)
5. Kuznetsov, S. N., and A. V. Suvorova, Solar wind magnetic field and plasma during magnetopause crossings at geosynchronous orbit, *Adv. Space Res.*, 22, 1, 63, 1998.
6. Shue, J.-H., P. Song, C. T. Russell, J. T. Steinberg, J. K. Chao, G. Zastenker, O. L. Vaisberg, S. Kokubun, H. J. Singer, T. R. Detman, and H. Kawano, Magnetopause location under extreme solar wind conditions, *J. Geophys. Res.*, 103, 17691, 1998.
7. Dmitriev, A. V., and A. V. Suvorova, Three-dimensional artificial neural network model of the dayside magnetopause, *J. Geophys. Res.*, 105, 18,909, 2000.
8. Yang, Y.-H., J. K. Chao, A. V. Dmitriev, C.-H. Lin, and D. M. Ober, Saturation of IMF B_z influence on the position of dayside magnetopause, *J. Geophys. Res.*, 108(A3), 1104, doi:10.1029/2002JA009621, 2003.
9. Itoh, K., and T. Araki, Analysis of geosynchronous magnetopause crossings, Proc. of Solar Terrestrial Predictions Workshop, Hitachi, 26-29, 1996.
10. Korotova, G. I., and D. G. Sibeck, Generation of ULF magnetic pulsations in response to sudden variations in solar wind dynamic pressure, in *Solar Wind Sources of Magnetospheric Ultra-Low-Frequency Waves*, edited by M. J. Engebretson, K. Takahashi, M. Scholer, pp. 265-271, AGU Geophysical Monograph 81, 1994.

11. Huang, C.-S.; J. C. Foster, G. D. Reeves, J. Watermann, J. H. Sastri, K. Yumoto, P. Song, Global magnetospheric-ionospheric oscillations initiated by a solar wind pressure impulse, *J. Geophys. Res.* *108*(A6), 1232, doi:10.1029/2002JA009465, 2003.

Таблица 1. Эксперименты и данные, использованные в работе.

КА	Код	Параметр	Разрешение	Источник данных
ACE	AC	ММП	16 сек	http://www.srl.caltech.edu/ACE/
SOHO	SO	Плазма СВ	1 час	http://umtof.umd.edu/pm/crn/
Geotail	GE	Плазма СВ ММП	1 мин 1 мин	http://cdaweb.gsfc.nasa.gov/ http://cdaweb.gsfc.nasa.gov/
GOES-10	G0	Маг. поле	1 мин	http://cdaweb.gsfc.nasa.gov/
GOES-10	G2	Маг. поле	1 мин	http://cdaweb.gsfc.nasa.gov/
1990-095	L0	Плазма	1.5 мин	http://cdaweb.gsfc.nasa.gov/
1991-080	L1	Плазма	1.5 мин	http://cdaweb.gsfc.nasa.gov/
1994-084	L4	Плазма	1.5 мин	http://cdaweb.gsfc.nasa.gov/
LANL-97A	L7	Плазма	1.5 мин	http://cdaweb.gsfc.nasa.gov/

Таблица 2. Экстремальные характеристики длительных магнитошисовых интервалов 29-31 окт. 2003.

Время	КА	H-SYM, нТл	Bz, нТл	V, км/с	Psw, нПа	D, см ⁻³
600UT 29 окт. – 700UT 30 окт.	G0,G2,L0, L1,L4, L7	-350	-50	2400	~70	~10
1700UT 30 окт. – 700UT 31 окт.	G0,G2,L0, L1,L4, L7	-400	-40	1400	~65	~30
1100UT – 1300UT 31 окт.	G2,L0	-100	0	1000	~65	~40

Таблица 3. Характеристики глобальных пульсаций магнитосферы с периодом 5-10 мин.

Время	КА	LT	Bz, нТл	Psw, нПа	R1/R2	dR, Re
0115UT 30 окт.	1994-084 LANL-97A	1100 0809	-15	4.5 6.	1.05	0.32
0500UT 31 окт.	1994-084 LANL-97A	1443 1155	14	40 20	0.89	0.72
0730UT 31 окт.	1994-084 LANL-97A	1712 1424	15	66 31	0.88	0.78

Подписи к рисункам

Рис. 1 Сравнение параметров плазмы СВ, измеренных вблизи земли на КА Geotail (сплошные кривые) и в точке либрации L1 на КА SOHO (штриховые линии) 29-31 окт. 2003 г. На панелях представлены (сверху вниз): индекс низкоширотной геомагнитной активности H-SYM, скорость, плотность и давление СВ. На нижней панели показаны координаты КА Geotail в GSM: расстояние вдоль оси X (сплошная линия) и перпендикулярно ей (штриховая линия).

Рис. 2 Пример сравнения компонент ММП, измеренных вблизи земли на КА Geotail (сплошные кривые) и в точке либрации L1 на КА ACE (штриховые линии) в 1530-1730UT 29 окт. 2003 г. На верхней панели показаны координаты КА Geotail в GSM: расстояние вдоль оси X (сплошная линия) и перпендикулярно ей (штриховая линия). Далее на панелях представлены (сверху вниз): индекс низкоширотной геомагнитной активности H-SYM, V_x , V_y , V_z компоненты ММП и его абсолютная величина V .

Рис. 3 Временной профиль скорости солнечного ветра, восстановленный по магнитным данным пары спутников ACE - Geotail 29-30 октября 2003 г.

Рис. 4 Пример идентификации ГПМ по магнитным измерениям на GOES-10 в 2100-2300UT 30 окт. 2003 г. На панелях представлены (сверху вниз): H-SYM индекс низкоширотной геомагнитной активности; горизонтальная магнитная компонента H_p (сплошная кривая) и полное магнитное поле H (пунктирная кривая), измеренные на КА GOES-10; компоненты V_z , V_y , V_x магнитного поля в GSM, измеренные на GOES-10 (сплошные кривые) и на ACE (пунктирные кривые); абсолютное значение магнитного поля H , измеренное на GOES-10 (сплошные кривые), и V , измеренное на ACE (пунктирные кривые), GSM широта (Lat) и местное время GOES-10 (LT). Вертикальные штриховые и пунктирные линии указывают, соответственно, начало и конец магнитошисовых интервалов. Для GOES-10 компоненты магнитного поля V_z и V_y разделены на 10, компонента V_x разделена на 5.

Рис. 5 Пример идентификации ГПМ по плазменным данным КА 1991-080 в 1800-2000UT 29 окт. 2003 г. На панелях представлены (сверху вниз): H-SYM индекс низкоширотной геомагнитной активности; отношения плотности к температуре для тепловых ионов (RI, сплошная кривая) и электронов (RE, пунктирная кривая) по данным КА 1991-080; горизонтальная магнитная компонента H_p (сплошная кривая) и полное магнитное поле H (пунктирная кривая), измеренные на КА GOES-10; компоненты V_z , V_y , V_x магнитного поля в GSM, измеренные на GOES-10 (сплошные кривые) и на Geotail (пунктирные кривые); местное время 1991-080 (сплошная прямая) и GOES-10 (пунктирная кривая). Вертикальные штриховые и пунктирные линии указывают, соответственно, начало и конец магнитошисовых интервалов. Для GOES-10 компоненты магнитного поля V_z и V_y разделены на 10, компонента V_x разделена на 5.

Рис. 6 Динамика магнитосферы и параметров солнечного ветра в период 29-31 октября 2003 г. На панелях показаны (сверху вниз): индекс низкоширотной геомагнитной активности H-SYM; V_z компонента ММП по данным ACE; скорость солнечного ветра, восстановленная по времени запаздывания прихода структур ММП от ACE до Geotail;

динамика LT-распределения магнитошисовых интервалов (жирные черные прямые) и волновых событий (жирные серые прямые).

Рис. 7 Глобальные магнитосферные пульсации с 5-10 мин периодом, наблюдаемые в течение 6 часов с 400UT до 1000UT 31 окт. 2003. На панелях представлены (сверху вниз): H-SYM индекс низкоширотной геомагнитной активности; отношения плотности к температуре для тепловых ионов (RI, сплошная кривая) и электронов (RE, пунктирная кривая) по данным КА LANL-97A; горизонтальная магнитная компонента H_p (сплошная кривая) и полное магнитное поле H (пунктирная кривая), измеренные на КА GOES-10; компоненты B_z , B_y , B_x магнитного поля в GSM, измеренные на GOES-10 (сплошные кривые) и на ACE (пунктирные кривые); местное время LANL-97A (сплошная прямая) и GOES-10 (пунктирная кривая). Вертикальные пунктирные и штриховые линии указывают, соответственно, начало и конец магнитошисовых интервалов. Для GOES-10 компоненты магнитного поля B_z и B_y разделены на 10, компонента B_x разделена на 5.



Рис. 1

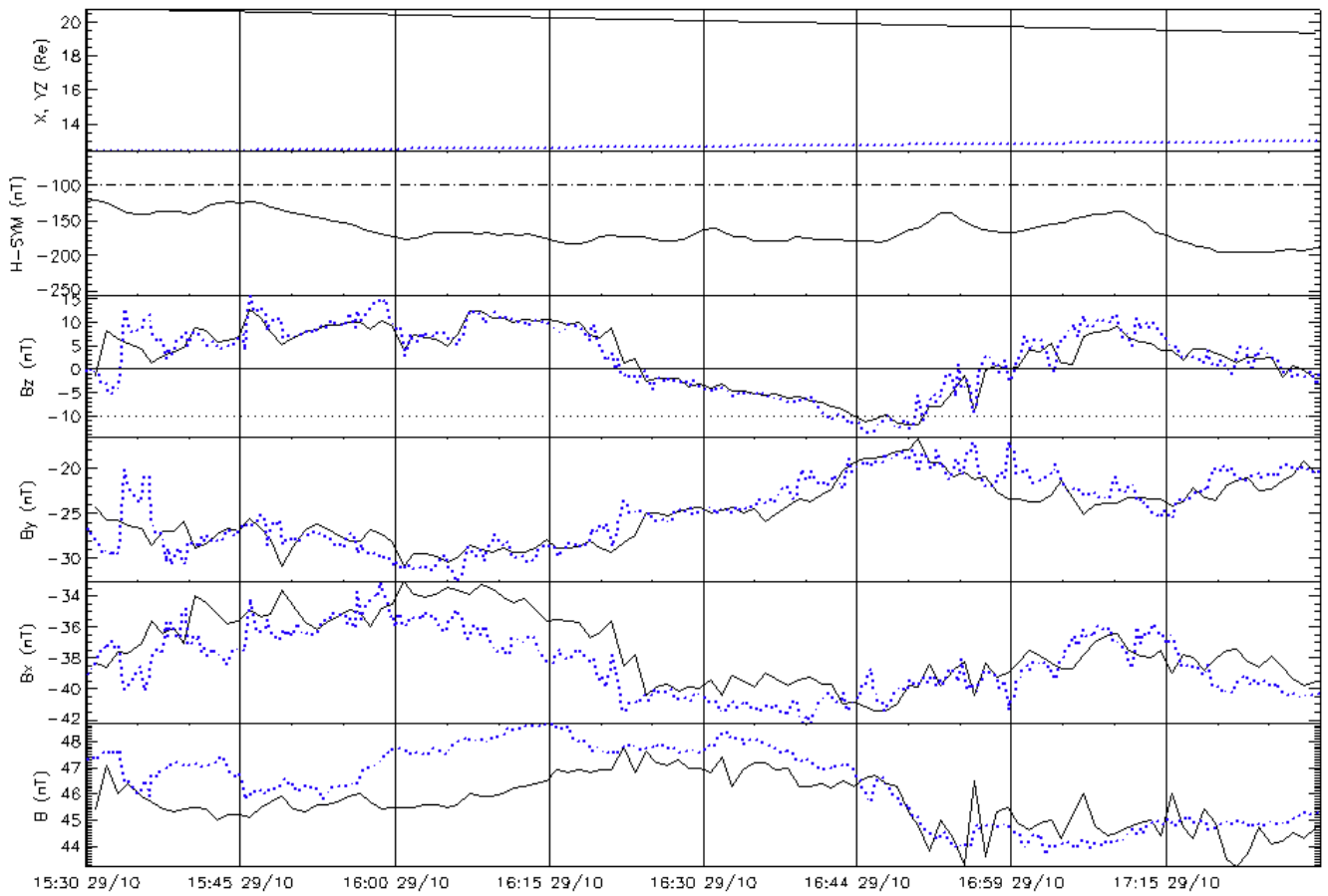


Рис. 2.

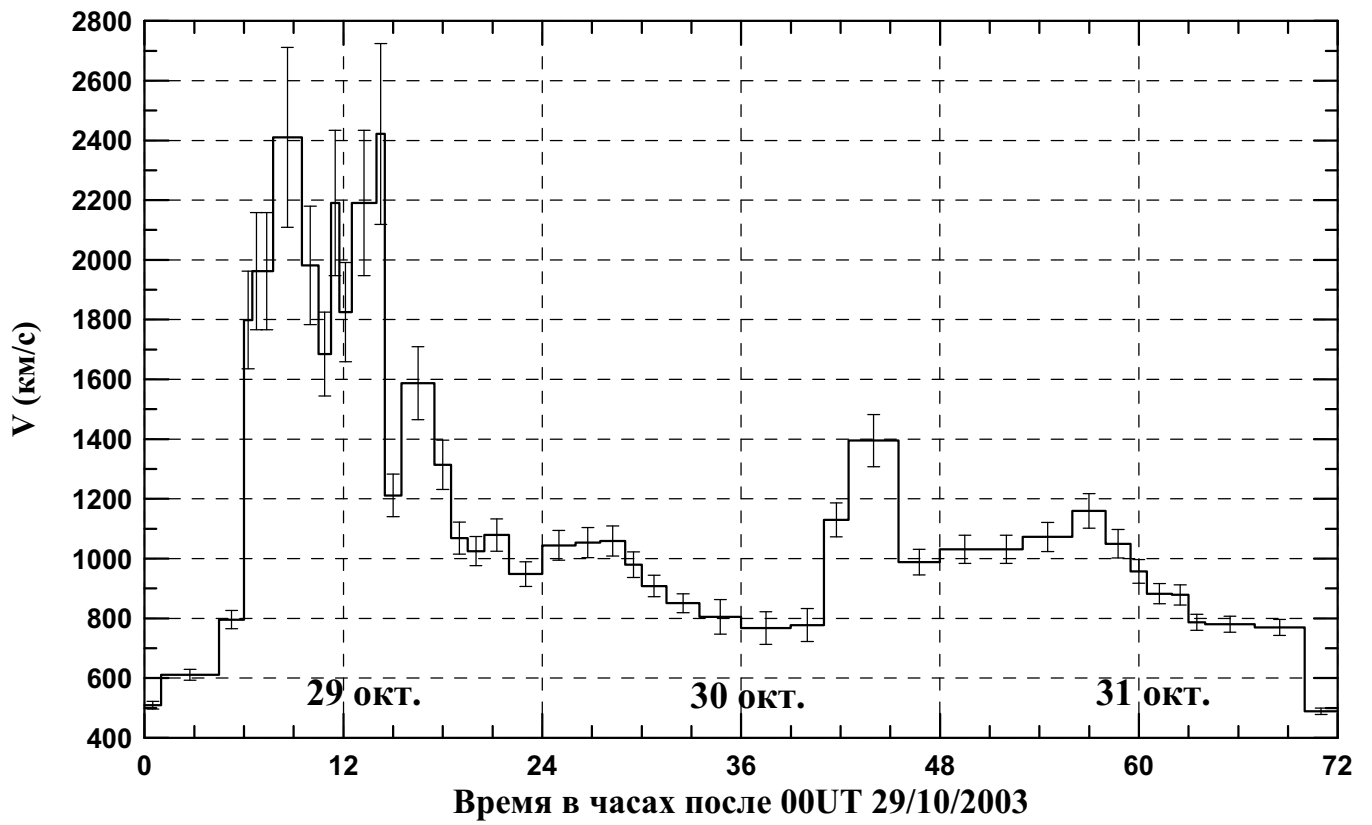


Рис. 3. Зависимость скорости солнечного ветра от времени, восстановленная по магнитным данным пары спутников ACE - Geotail 29-30 октября 2003 г.

00001

GOAC03103021

dT(min)= 024

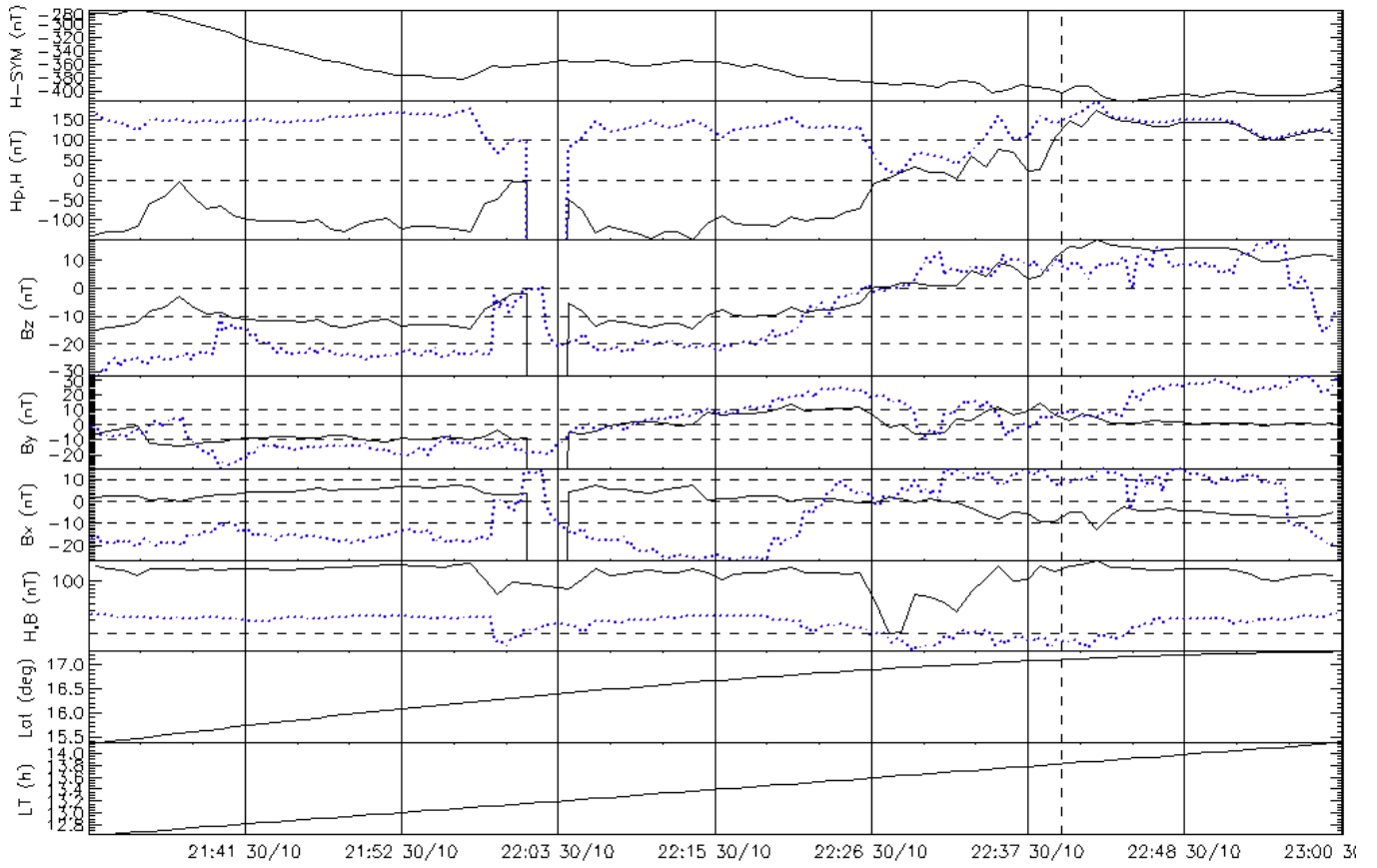


Рис. 4.

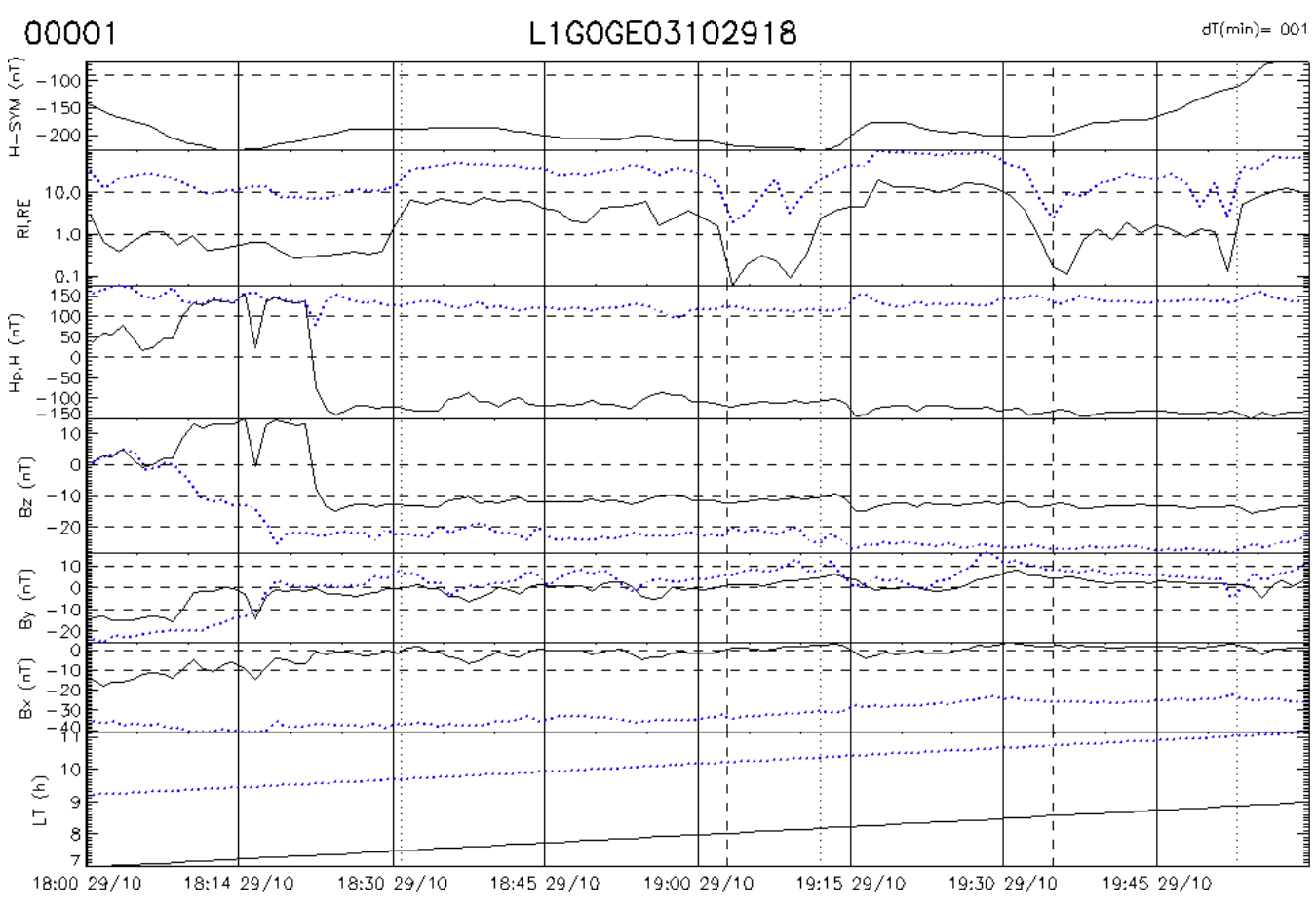


Рис. 5.

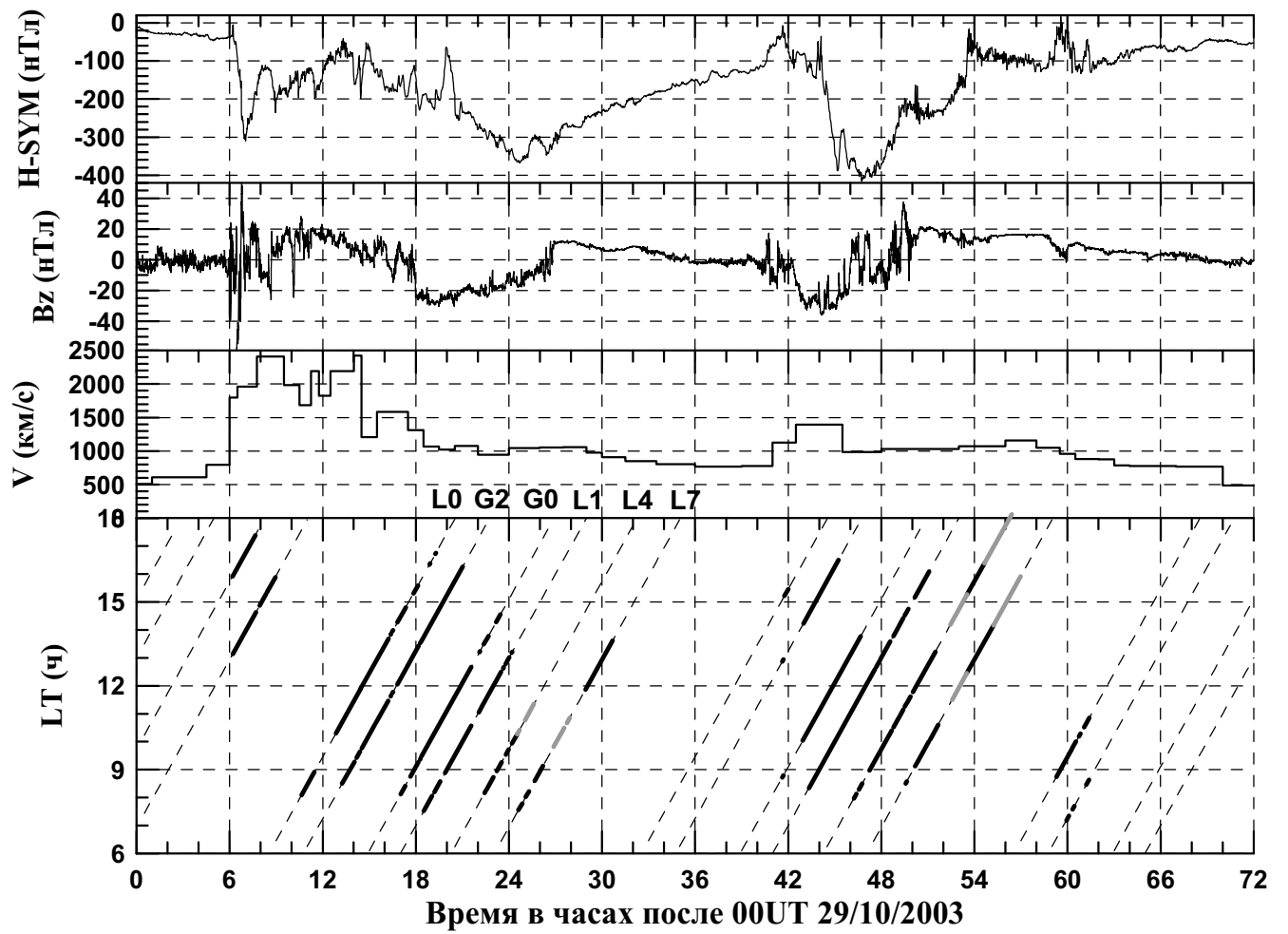


Рис. 6.

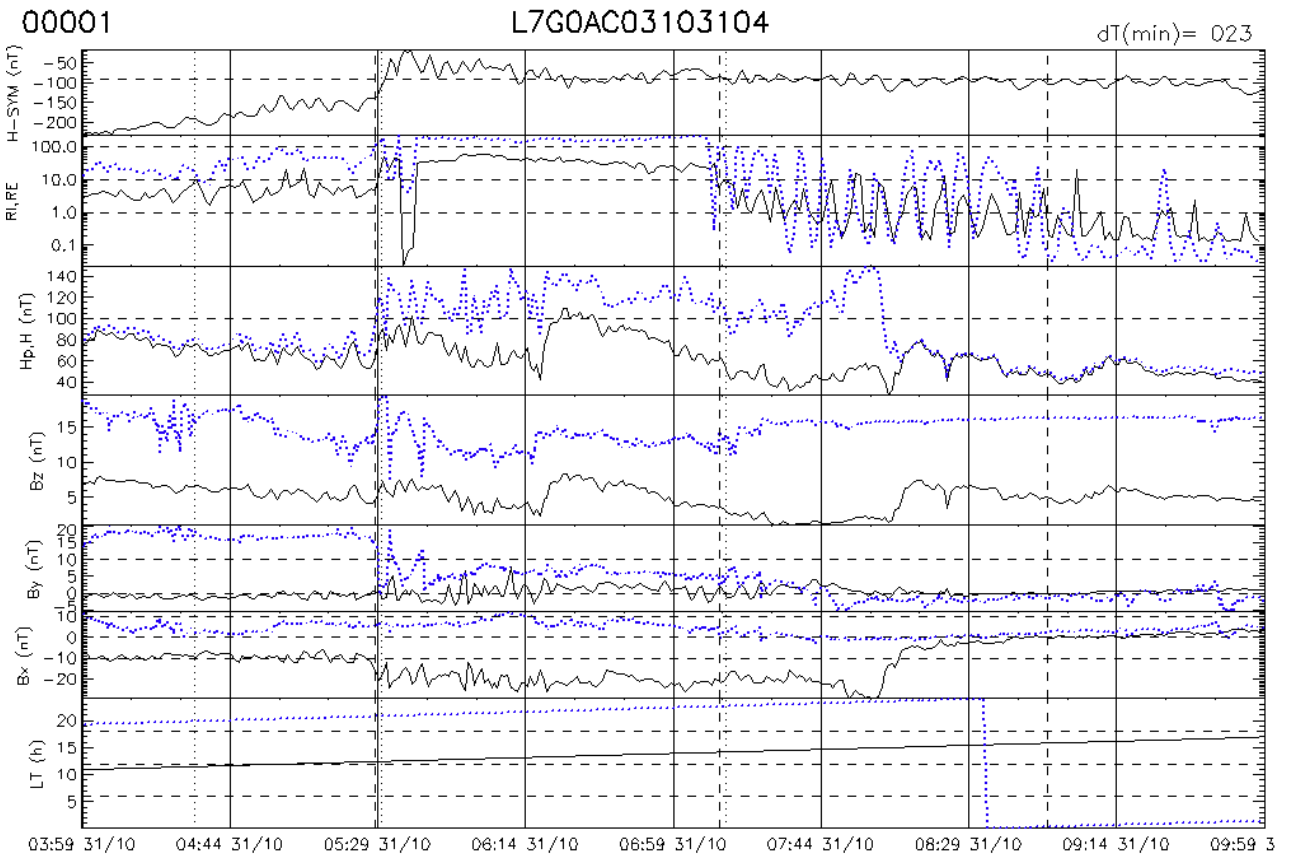


Рис. 7.