

УДК 550.385.37

С. Н. Самсонов¹, И. Я. Плотников¹,
Д. Г. Сайбек², Ю. Ватерман³

¹Інститут космофізичних досліджень та аеронومیї ім. Ю. Г. Шафера
Сибірського відділення Російської академії наук, Якутськ
e-mail: s_samsonov@ikfia.ysn.ru

²Центр космічних польотів НАСА ім. Годдарда, Грінбелт, Мериленд, США

³Датський метеорологічний інститут, Копенгаген

Связь параметров солнечного ветра с высокоширотными магнитными пульсациями

Доповідь на конференції 05.09.05

Магнітометричні дані північноамериканського і гренландського ланцюжків станцій зіставлено з вимірюваннями плазмових параметрів і магнітного поля на космічних апаратах IMP-8, ASEE-1.2, GOES-5.6 та IRM. Для знакозмінної B_z -складової міжпланетного магнітного поля, що проходила 29 жовтня 1985 р. у формі коливань з періодом 5—20 хв і регулярною амплітудою близько 5 нТл виявлено кроскореляційний зв'язок з денними високоширотними пульсаціями наземного магнітного поля. На трьох ланцюжках станцій у полуденному секторі 9—15 LT отримано широтно-довготний розподіл фаз коливань, який узгоджується з похилим і квазіпоздовжнім поширенням альвенівських хвиль у різних частинах магнітосфери. Похилі фазові фронти коливань формуються у секторі 10—14 LT в області максимальної дисперсії довжин геомагнітних силових трубок. Вважається, що в цій проміжній області між падаючими (відбитими) на субавроральну іоносферу альвенівськими хвилями і відбитими (падаючими) від полярної шапки при південному (північному) ММП проявляється енергообмінний процес, характерний для вхідного шару у магнітопаузі. Можливо, що пульсації, які проникають із сонячного вітру у магнітосферу, — це раніше невідомий прояв реакції магнітопаузи на флуктуації міжпланетного магнітного поля. У коливному сенсі реакція оборотна при зміні знаку B_z -складової у названому діапазоні періодів.

ВВЕДЕНИЕ

Изучение устойчивых высокоширотных магнитных пульсаций, вызываемых движущимися ионосферными конвекционными вихрями (TCV_S), зарегистрированными по данным гренландских магнитных станций, и их сравнение с параметрами солнечного ветра позволило сделать вывод о том, что эти вихри являются ионосферным проявлением неустойчивости Кельвина — Гельмгольца на внутренней границе магнитосферного пограничного слоя. В работе [6] магнитные дневные пульсации были сопоставлены с изменениями скорости солнечного

ветра и обнаружена высокая корреляция между ними. Известны несколько механизмов передачи энергии солнечного ветра в магнитосферу Земли. Энергопоступление может осуществляться за счет вариаций динамического давления солнечного ветра [5], магнитного пересоединения на магнітопаузе [3], нестабильности Кельвина — Гельмгольца [7] и импульсного проникновения [4].

Ниже мы углубленно изучаем указанные в работе [6] события и определяем возможный характер их связи с вариациями межпланетного магнитного поля (ММП). Для этого привлекаются дополнительные спутниковые и наземные магнитометрические данные.

НАБЛЮДЕНИЯ

Помимо данных из работы [6], использовавших информацию о параметрах солнечного ветра со спутника IMP-8, здесь представлены данные одновременных наблюдений плазмы и магнитного поля солнечного ветра, полученные на спутниках ISEE-1.2; магнитосферной плазмы и магнитного поля, полученные на геостационарных спутниках GOES-5.6 и спутнике IRM; наземного магнитного поля, полученные на двух гренландских и одной североамериканской цепочках станций.

Магнитометрические данные с восточной и западной гренландских цепочек станций представлены сотрудником Датского метеорологического института Ю. Ватерманом. А данные других соседних цепочек станций взяты из сайта Университета Калифорнии Лос-Анжелес (UCLA) и других доступных источников. Используются нефильтрованные данные.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ И ОБСУЖДЕНИЕ

Рассмотрен ряд событий TCVs, вызывающих устойчивые высокоширотные магнитные пульсации, приведенные в работе [6] по данным гренландских цепочек станций Greenland West Coast: Thule (THL), Savissivik (SVS), Kullorsuaq (KUV), Upernavik (UPN), Umanaq (UMQ), Godhavn (GDH), Attu (ATU), Sondre Stromfjord (STF), Sukkertoppen (SKT), Godthab (GHB), Frederikshab (FHB), Narsarsuaq (NAQ) и Greenland East Coast: Nord (NRD), Danmarkshavn (DMH), Daneborg (DNB), Scoresbysund (SCO), Ammassalik (AMK). В совокупности события TCV_s образуют выборку продолжительностью в 50 сут. В течение всего этого периода западные и восточные цепочки магнитометров находились на дневной стороне Земли, соответственно, в секторах 11–14 LT и 14–17 LT.

Дополнительные спутниковые данные позволили обнаружить для большинства «высококачественных» (согласно [6]) событий подобие структур колебаний геомагнитного поля и одной из составляющих ММП. Из десяти событий в четырех случаях это связано с B_x -составляющей и по одному с B_y - и B_z -составляющими. Из

Календарь связи «высококачественных» вихрей с составляющими ММП

Дата	Начало, UT	Конец, UT	IMF
28 октября 1985	08:30	12:00	—
29 октября 1985	13:30	18:00	B_z
5 марта 1986	15:00	18:30	—
26 июня 1986	12:30	14:00	B_x
8 июля 1986	14:00	19:00	—
9 июля 1986	12:00	16:30	B_y
10 июля 1986	15:00	17:30	—
23 июля 1986	08:00	1030	B_x
23 июля 1986	12:00	19:00	B_x
14 ноября 1986	09:00	12:00	B_x

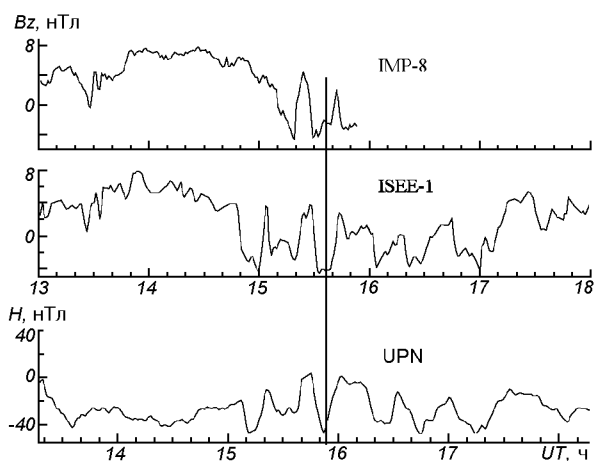


Рис. 1. Колебания B_z -составляющей солнечного ветра по данным спутников IMP-8 и ISEE-1и совпадающие при сдвиге времени на 17 мин наземные магнитные пульсации, зарегистрированные на станции Upernavik (западная цепочка станций Гренландии, находящаяся в полуденном секторе). Здесь сдвиг учтен в верхней и нижней оцифровках по мировому времени

четырёх оставшихся событий в одном случае отсутствовали данные по солнечному ветру на всех спутниках (IMP-8, ISEE-1.2), в двух других не было соответствия с данными IMP-8, а ISEE-1, 2 не находились в солнечном ветре. В таблице представлен список TCV_s из работы [6], связанных с колебаниями ММП.

На рис. 1 представлен пример подобных по структуре колебаний северо–южной (H) составляющей наземного геомагнитного поля и B_z -составляющей ММП за 29 октября 1985 г.

Заметим, что вблизи вертикальной линии, соединяющей точки минимумов, в колебаниях на обоих аппаратах зарегистрированы флуктуации знакопеременной B_z -составляющей. Считается, что это главная особенность, обуславливающая сходство вариаций снаружи и внутри магнитосферы. По-видимому, из-за отсутствия данных IMP-8 эта особенность не отмечена в работе [6].

С учетом временного сдвига сходство между колебаниями наблюдалось в большинстве случаев не за весь период существования ионосферных вихрей. Мы сосредоточимся на исследовании тех фрагментов «высококачественных» событий, где визуально обнаружено сходство межпланетных и наземных пульсаций.

Согласно [8] конвекционные вихри вызывают импульсными событиями в динамическом давлении солнечного ветра. С другой стороны, известен механизм воздействия ориентации ММП на магнитосферу. Он продемонстрирован в работе [2]. Было показано, что изменения ориентации ММП влияет на то, какая часть динамического давления в области взаимодействия оказывается подведенной к дневной магнитопаузе. При этом вопрос о том, могут ли изменения ММП вызывать вихри или влиять на них, остается открытым.

Углубленному анализу было подвергнуто событие за 29 октября 1985 г. Оно выделяется практически полным совпадением пульсаций B_z -составляющей солнечного ветра с пульсациями в восточно-западной (E) составляющей и хорошим сходством с пульсациями в H- и Z-компонентах наземного магнитного поля в широкой области широт в течение большей части периода существования TCV_S.

В интервале 15:00–18:00 UT сравнение магнитных пульсаций, являющихся проявлением этих вихрей, показало их совпадение с колебаниями ММП амплитудой свыше 5 нТл. В соответствии с рис. 2 наземные магнитные иррегулярные колебания с периодами от единиц до нескольких десятков минут в E-составляющей станций гренландской магнитометрической цепочки сопровождаются флуктуациями знакопеременной B_z -составляющей. При этом отмеченная в оцифровке времени на рис. 2, в задержка между ними соответствует тому, что магнитные данные солнечного ветра были получены с помощью спутника ISEE-1, который в это время находил-

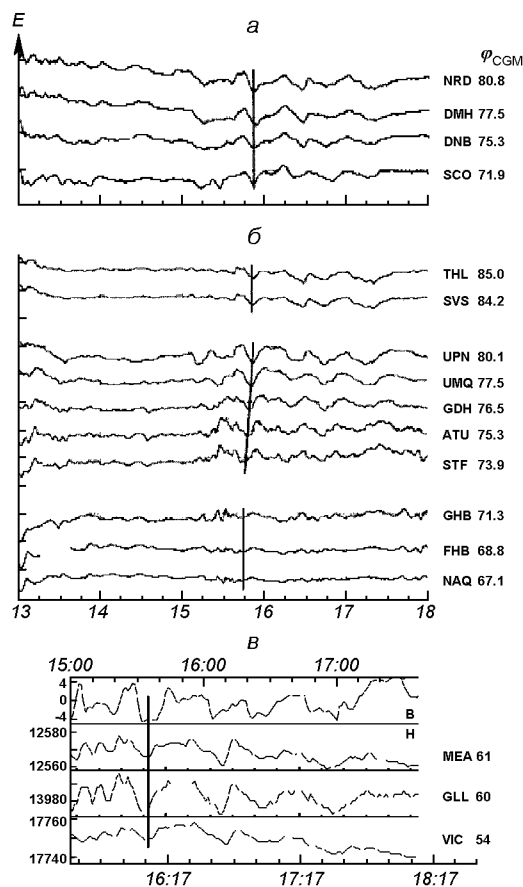


Рис. 2. Вариации E- и H-составляющих наземного магнитного поля, измеренного на североамериканской и гренландской цепочках магнитометрических станций. В центральной и левой частях (а, б) представлена E-составляющая для западной (полуденный меридиан), для восточной (послеполуденный меридиан) цепочек гренландских станций. В правой части (в) показана B_z -составляющая ММП и H-составляющая для североамериканской цепочки (предполуденный меридиан)

ся вне магнитосферы Земли вблизи линии Солнце—Земля на расстоянии около $22R_3$ или в координатах GSM $(x, y, z) = (22, 3, 1)R_3$.

На рис. 2 аналогично рис. 1 проведены соединительные линии фаз колебаний. Следует отметить четыре особенности в зонально-секторном распределении фазовых линий. Во-первых, явный наклон линии виден для области авроральных станций в полуденном секторе. Во-вторых, эта линия плавно соединяет вертикальные линии для областей субавроры и полярной шапки

в том же секторе, где, в-третьих, колебания идут в противофазе. В-четвертых, колебания в пред- и послеполуденном секторе синфазные с колебаниями в полярной шапке. В отсутствии на рисунках вида колебаний Z -составляющей наземного магнитного поля мы ограничимся предварительными соображениями о возможной причине раскачки рассмотренных пульсаций.

ИНТЕРПРЕТАЦИЯ

Основываясь на результатах анализа экспериментального материала можно констатировать, что в области часовых поясов от 06:30 до 17:00 LT наличие совпадения наземных магнитных колебаний с вариациями ММП объясняется механизмом пересоединения магнитного поля солнечного ветра с магнитосферным полем на дневной магнитопаузе.

При этом предполагается, что на магнитопаузе образуются две моды волн: альвеновская с косым фазовым фронтом, распространяющимся вблизи полуденного меридиана, и медленная магнитозвуковая с фронтом, радиально распространяющимся от линии пересоединения в экваториальном слое. В работе [9] было показано, что изменения в динамическом давлении солнечного ветра запускает также две моды волн: быструю магнитозвуковую и альвеновскую, но с очевидно иной геометрией фронтов.

В работе [1] показано, что задержка альвеновской волны, распространяющейся в области сжатых магнитных силовых линий вблизи полуденного меридиана, увеличивается с широтой. Это связывается с увеличением длины трубок магнитных силовых линий в зависимости от широты точки их привязки к земной поверхности. По оценкам подобное увеличение задержки с широтой ответственно за существенный наклон фронта к магнитному полю.

Этим наклоном объясняется в нашем случае первая особенность в задержках, наблюдаемых на станциях западной гренландской цепочки, находящейся вблизи полуденного меридиана. А радиально распространяющийся магнитный звук, согласно работе [1], возбуждает альвеновские волны с квазипараллельными к магнитному полю нормальными фронтами, распространяющимися в пред- и послеполуденном секторах,

обеспечивают практически одновременный приход колебаний в пункты наблюдений во всем диапазоне широт, что и ведет к четвертой особенности.

Это согласуется с тем, что канадская и восточная гренландская цепочки станций располагаются в среднем за пределами 10—14 LT сектора, т. е. вне области сжатых геомагнитных линий и поэтому вне полуденной области фазовые фронты не наклонные, а квазипараллельные к магнитному полю. Совокупность второй и третьей особенностей позволяет предсказать, что падающие на ионосферу и убегающие из нее альвеновские волны вместе образуют в подсолнечном авроральном овале пятно магнитосферного входного слоя. По космическим измерениям в магнитопаузе в этой области надежно установлены противонаправленные потоки плазмы и волны, контролируемые ориентацией ММП.

ВЫВОДЫ

1. Использование дополнительных спутниковых и наземных данных позволило обнаружить, что в большинстве представленных событий, отмеченных в работе [6] как «высококачественные», наблюдались временные фрагменты подобных по форме колебаний в одной из составляющей межпланетного и наземного магнитных полей. Совпадение пульсаций знакопеременной B_z -составляющей ММП с наземными колебаниями объясняется пересоединением ММП с магнитосферным полем на полуденной магнитопаузе. Вместе с этим совпадение пульсаций B_x - и B_y -составляющих ММП с наземными колебаниями позволяет сделать вывод о том, что изменения ориентации ММП может проявляться независимо от возбуждения неустойчивости Кельвина — Гельмгольца в рассмотренных фрагментах событий.

2. Рассмотрение события совпадения пульсаций B_z -составляющей с наземными колебаниями позволило обнаружить, что при пересоединении на дневной магнитопаузе, образуется две моды волн: магнитозвуковая и альвеновская. Соответственно, распространением наклонных и квазипараллельных к магнитному полю фронтов альвеновских волн можно объяснить факты увеличения задержки с широтой вблизи полуденного

меридиана и одновременность появления пульсаций на станциях пред- и послеполуночных меридианов.

3. Экспериментально по регистрации пульсаций альвеновской моды обнаружено проявление обмена энергией во входном слое магнитосферы при изменении знака B_z -составляющей ММП в диапазоне периодов от единиц до нескольких десятков минут.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке грантов ИНТАС № 03-51-5359 и РФФИ № 03-05-65670.

1. Сафаргалеев В. В., Пчелкина Е. В., Васильев А. Н. Оценка времени распространения альвеновской волны по наземным риометрическим и магнитным данным // Геомагнетизм и аэронавигация.—2003.—43, № 3.—С. 344—350.
2. Fairfield D. H., Baumjohan W., Paschmann G., et al. Upstream pressure variations associated with the B and their effects on the magnetosphere // J. Geophys. Res.—1990.—95.—P. 3773—3786.
3. Glassmeier K. H., Lester M., Mier-Jedrzejowicz W. A., et al. P5 pulsations and their possible source mechanisms: A case study // J. Geophys. Res.—1984.—55.—P. 108—119.
4. Heikkila W. J., Jorgensen T. S., Lanzerotti L. J., MacLennan C. G. A transient auroral event on the dayside // J. Geophys. Res.—1989.—94.—P. 15291—15305.
5. Matsushita S. On sudden commencements of magnetic storms at higher latitudes // J. Geophys. Res.—1957.—62.—P. 162—166.
6. McHenry M. A., Clauer C. R., Friis-Christensen E. Relationship of solar wind parameters to continuous, dayside, high latitude traveling ionospheric convection vortices // J. Geophys. Res.—1990.—95, N A9.—P. 15007—15022.
7. McHenry M. A., Clauer C. R., Friis-Christensen E., Kelly J. D. Observations of ionospheric convection vortices: Signatures of momentum transfer // Adv. Space Res.—

1988.—8.—P. 315—320.

8. Sibeck D. G. Occurrence patterns for magnetic impulse events (MIEs) and traveling convection vortices (TCVs) // Abstracts. Conf. Sapporo. Jap., October 2-6, 2000. — Sapporo, 2000.—P. 118.
9. Tamao A. A hydromagnetic interpretation of geomagnetic SSC // Rep. Ionos. Space Res. Jap.—1964.—18.—P. 16—31.

RELATION OF SOLAR WIND PARAMETERS TO HIGH-LATITUDE MAGNETIC PULSATIONS

S. N. Samsonov, I. Ya. Plotnikov, D. Y. Sibeck, Yu. Watermann

Magnetometric data of north-american and Greenland station chains are compared with measurements of plasma parameters and magnetic fields aboard the IMP-8, ISEE-1.2, GOES-5.6 and IRM. For the sign-changeable IMF B_z -component having the oscillation form in the range of 5 to 20 min and with a regular amplitude of about 5 nT on October 29, 1985 the cross-correlation relationship to dayside high-latitude pulsations of the ground magnetic field is revealed. On the three station chains in the near noon sector of 9-15 LT we obtained the latitude-longitudinal distribution of oscillation phases which is in correspondence with the inclined and quasi-field aligned propagation of Alfvén waves in different parts of the magnetosphere. The inclined phase oscillation fronts are formed in the 10—14 LT sector in the region of maximum dispersion of lengths of geomagnetic force lines. It is supposed that in this intermediate region between Alfvén waves falling (running away) on the subauroral ionosphere and Alfvén waves running (falling) from the polar cap at southern (northern) IMF the power-exchangeable process which is typical for the entry layer in the magnetopause takes place. Perhaps, in this case the pulsations penetrating from solar wind into the magnetosphere are the earlier unknown manifestation of the magnetopause reaction to the IMF fluctuations. In the oscillation sense the reaction is reversible when the sign of B_z -component changes in the above-mentioned range of periods.