

УДК 550.385.37, 550.385.4, 550.388.8

ОТКЛИК МАГНИТОСФЕРЫ НА ВАРИАЦИИ МЕЖПЛАНЕТНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ ВО ВРЕМЯ МАГНИТОСФЕРНОЙ БУРИ

¹В.В. Мишин, ¹Р.А. Марчук, ²Ю.Ю. Клибанова, ¹А.В. Михалев, ¹Ю.В. Пенских

¹Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск, Россия
marchuk@mail.iszf.irk.ru

²Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, Иркутск, Россия

MAGNETOSPHERIC RESPONSE TO INTERPLANETARY MAGNETIC FIELD VARIATIONS DURING MAGNETOSPHERIC STORM

¹V.V. Mishin, ¹R.A. Marchuk, ²Yu.Yu. Klibanova, ¹A.V. Mikhalev, ¹Yu.V. Penskiikh

¹Institute of Solar-Terrestrial Physics SB RAS, Irkutsk, Russia
marchuk@mail.iszf.irk.ru

²Irkutsk State Agrarian University named after A.A. Ezhevsky, Irkutsk, Russia

Аннотация. В работе рассматривается динамика геомагнитных возмущений и оптического излучения атмосферы во время сильных магнитосферных бурь. Во время бури 21.10.2001 наблюдались три 1.5-часовых интервала возрастания на порядок динамического давления солнечного ветра, которые вызвали синхронно с ними усиления суббулевой активности, всплески широкополосных геомагнитных пульсаций и светимость атмосферы в авроральных эмиссиях 557.7 и 630.0 нм. В работе обсуждаются возможные механизмы усиления широкополосных пульсаций, а также связи особенностей высокочастотной части спектра пульсаций и их пространственного распределения со свойствами ионосферного альфвеновского резонатора и ионосферного МГД-волновода.

Ключевые слова: широкополосные всплески, иррегулярные пульсации, динамическое давление, магнитосферная буря, излучение ночной атмосферы.

Abstract. The paper considers the dynamics of geomagnetic disturbances and atmospheric optical emission during strong magnetospheric storms. During the 21 October 2001 storm, we observed three 1.5-hour intervals of increase in the dynamic pressure of the solar wind by an order of magnitude, which were accompanied by increase in substorm activity, bursts of broadband geomagnetic pulsations and atmospheric glow in auroral emissions of 557.7 and 630.0 nm. The paper discusses possible mechanisms for amplification of broadband pulsations, as well as relationships of features of the high-frequency part of the pulsation spectrum and their spatial distribution with properties of the ionospheric Alfvén resonator and ionospheric MHD waveguide.

Keywords: broadband bursts of irregular pulsations, dynamic pressure, magnetospheric storm, nighttime airglow.

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день одним из основных направлений изучения магнитосферы является анализ магнитосферных бурь и суббурь. Суббури могут развиваться в течение нескольких часов изолированно, а также в ходе развития более глобального возмущения — магнитосферной бури, длительность которой варьирует от одних до нескольких суток. Возникновение бури связано с крупными неоднородностями солнечного ветра (СВ), образующимися во время солнечных вспышек и выбросов корональной массы. На переднем фронте таких неоднородностей часто образуются ударные волны с резким перепадом динамического давления СВ P_d и межпланетного магнитного поля (ММП). Набегание такого фронта вызывает внезапное начало бури (Storm Sudden Commencement, SSC), во время которого наблюдаются усиления электрических полей и токов в ионосфере и магнитосфере, высыпания энергичных частиц, полярные сияния и геомагнитные пульсации в широком диапазоне периодов $T=0.3-600$ с [Rassoul et al., 1993; Kangas et al., 1998].

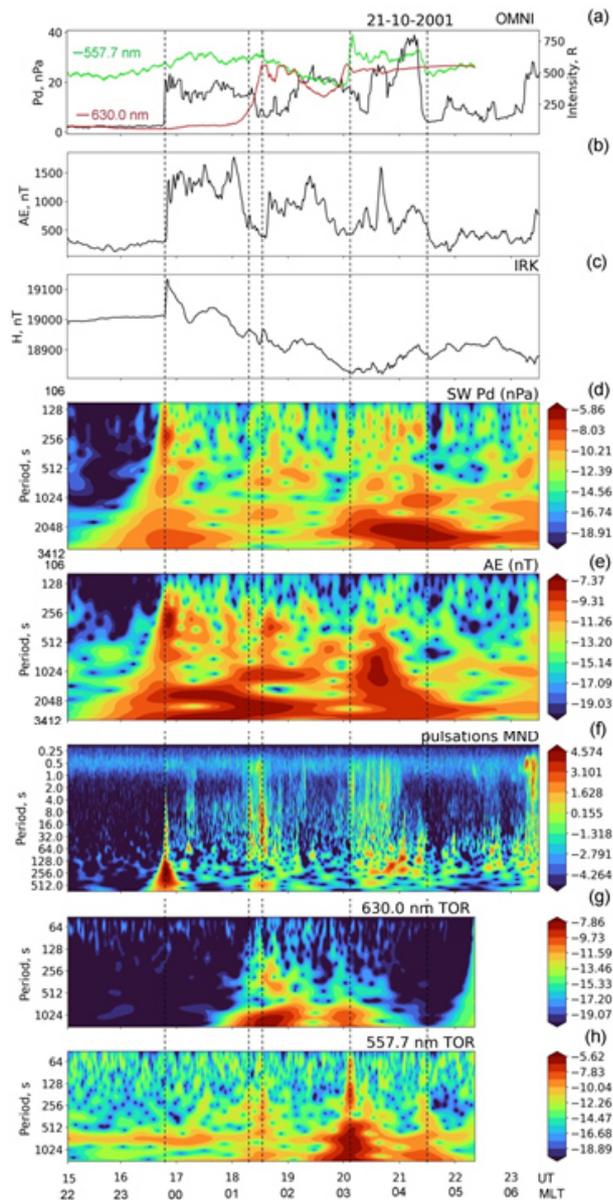
В данной работе мы исследуем особенности суббулевой динамики в широкополосных геомагнитных пульсациях и излучении атмосферы в ночном секторе на широте Иркутска, вызванной несколькими сильными 1.5-часовыми изменениями динамического давления СВ во время бури 21.10.2001.

АНАЛИЗ ДАННЫХ

Для анализа использовались данные измерений геомагнитного поля с временным шагом 1 мин обсерватории Иркутск (CGM: 47.5° Ф, 177.5° Л) и шагом 0.1 с обсерватории Монды (CGM: 47.5° Ф, 177.5° Л). Собственное излучение верхней атмосферы Земли в эмиссиях атомарного кислорода [OI] 557.7 нм и 630 нм регистрировалось с временным шагом 28 с в Геофизической обсерватории Торы ИСЗФ СО РАН (CGM: 47° Ф, 177° Л). Использовались также данные спутниковых наблюдений основных параметров СВ, ММП [<http://cdaweb.gsfc.nasa.gov>], наблюдений полярных сияний и значения AE -индекса геомагнитной активности [<http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/wdc>].

На рисунке показаны параметры рассматриваемой геомагнитной бури 21.10.2001.

Видно, что набегание на магнитосферу фронта неоднородности СВ со скачком параметров СВ — динамического давления P_d от 2 до 20 нПа и южной компоненты ММП B_z от -5 до -21 нТл — вызвало SSC в 16:48 UT. Затем в 15:20 UT ММП повернулось на юг, что сопровождалось началом взрывной фазы суббури (скачок AE -индекса от 300 до 1350 нТл, панели *a*, *b*). Главная фаза бури продолжалась до 22 UT, когда Dst достиг своего минимума ($Dst=-159$ нТл). В ходе главной фазы наблюдались три 1.5-часовых интервала, во время которых сильные увеличения



Вариации давления СВ P_d и интенсивностей эмиссий 557.7 и 630 нм (а), индекса геомагнитной активности AE , компоненты ММП B_z (б), H -компоненты геомагнитного поля (1-минутные данные обсерватории IRK) (в); динамический спектр давления СВ (д), AE -индекса (е), геомагнитных пульсаций (е), свечения ночного неба в красной (ж) и зеленой (з) линиях; вариации амплитуды (цветная шкала справа в относительных единицах) в зависимости от периода (ордината) и UT и MLT (абсцисса)

давления СВ (до значений $P_d=35$ нПа) почти синхронно сопровождалась активизациями геомагнитной активности (усилением AE -индекса до значений $AE=1700$ нТл) и расширением границы овала продольных токов и полярных сияний к средним широтам.

На динамических спектрах прослеживается резкое усиление колебаний как в момент SSC, так и в моменты наиболее резких изменений AE , связанных с изменениями продольных токов. Во время SSC на среднеширотной станции Монды зарегистрирован всплеск широкополосных пульсаций Psc. Следующие мощные широкополосные всплески геомагнитных пульсаций Pi1B наблюдались в мо-

менты 18:18 и 18:30 UT, когда резкие изменения AE в конце 1-го и начале 2-го интервалов вариаций AE вызвали два резких пика в вариации H -компоненты геомагнитного поля в obs. Иркутск. Далее в третьем интервале два нарастающих по величине импульса давления СВ (после 20 UT) вызвали быстрые, нарастающие по амплитуде периодические усиления AE , которые сопровождалось усилением пульсаций PiB/PiC (см. рисунок).

Кроме того, усиления пульсаций сопровождалось усилениями свечения ночного неба на обсерватории Торы. SSC сопровождался слабым линейным ростом интенсивности эмиссии 630.0 нм $\Delta I_{630.0} \sim 30-40$ Рл. Около 18:10 UT начала резко усиливаться интенсивность излучения в эмиссии 630.0 нм. В момент второго всплеска (18:30 UT) пульсаций интенсивность достигла максимума (рост на $\Delta I_{630.0} > 500$ Рл) и начала падать с несколькими колебаниями. В 20:10 UT был зарегистрирован сильный скачок интенсивности эмиссии 557.7 нм на $\Delta I_{557.7} \approx 300-400$ Рл и опережавший его рост эмиссии 630.0 нм (панели а, б).

ОБСУЖДЕНИЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Отклик системы магнитосфера — ионосфера на изменения параметров СВ (P_d и ММП) в ходе главной фазы бури (16:48–22:00 UT) хорошо прослеживается в спектрах почти всех параметров (AE , пульсаций и свечения). Границы трех интервалов вариаций P_d и AE (вертикальные пунктирные линии) совпадают с моментами резкого изменения амплитуды пульсаций, AE , H -компоненты в Иркутске, а также продольных и ионосферных токов, что обычно сопровождается высыпаниями энергичных частиц. Последние два фактора вызывают в соответствии с предсказаниями теории раскачку короткопериодных всплесковых пульсаций типа Pi1B в ионосферном альфвеновском резонаторе (см. ссылки в [Mishin et al., 2020]).

Возможны следующие механизмы усиления пульсаций и оптических эмиссий при изменениях давления СВ на магнитосферу: суббуревые активизации, изменения продольных и ионосферных токов, высыпания энергичных и сверхтепловых электронов.

Вариации давления СВ могут вызывать сжатие магнитосферы, развитие циклотронной неустойчивости, раскачку ОНЧ- и ЭМИЦ-волн и высыпание частиц в дневной магнитосфере [Яхнин и др., 2019]. Однако в околополуночной области зоны 2 вытекающих продольных токов этот механизм не может дать генерацию пульсаций. Поэтому мы полагаем, что наблюдаемые здесь всплески пульсаций и усиления эмиссии 577.7 нм вызывались резкими изменениями токов и высыпаний энергичных электронов [Mishin et al., 2020]. Вклад в возбуждение эмиссии 630 нм наряду с известными механизмами среднеширотного свечения может давать высыпание надтепловых (с энергиями 2–5 эВ) резонансных электронов, которые могут быть вызваны МГД-волнами, возбуждаемыми в магнитосфере импульсами давления СВ [Leonovich et al., 2021].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Яхнин А.Г., Титова Е.Е., Демехов А.Г. и др. Одновременные наблюдения ЭМИЦ- и КНЧ/ОНЧ-волн и высыпаний энергичных частиц во время множественных сжатий магнитосферы. *Геомагнетизм и аэрономия*. 2019. Т. 59, № 6. С. 714–726. DOI: [10.1134/S0016794019060142](https://doi.org/10.1134/S0016794019060142).

Kangas J. Morphology and physics of short-period magnetic pulsations. *Space Sci. Rev.* 1998. Vol. 83. P. 435–512.

Leonovich A.S., Kozlov D.A., Vlasov A.A. Kinetic Alfvén waves near a dissipative layer. *J. Geophys. Res.: Space Phys.* 2021. Vol. 126, e2021JA029580. DOI: [10.1029/2021JA029580](https://doi.org/10.1029/2021JA029580).

Mishin V.V., Tsegmed B., Klibanova Yu.Yu., Kurikalova M.A. Burst geomagnetic pulsations as indicators of substorm expansion onsets during storms. *J. Geophys. Res.: Space Phys.* 2020. Vol. 125, iss. 10. DOI: [10.1029/2020JA028521](https://doi.org/10.1029/2020JA028521).

Rassoul H.K., Rohrbaugh R.P., Tinsley B.A., Slater D.W. Spectrometric and 747 photometric observations of low-latitude aurorae. *J. Geophys. Res.* 1993. Vol. 98, no. A5. P. 7695–7709.

URL: <http://cdaweb.gsfc.nasa.gov>.

URL: <http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/wdc>.