

Особенности генерации солнечным терминатором волновых пакетов, полученные по данным GPS в течение 2008 г. в различных широтных регионах

ЕДЕМСКИЙ И.К., МАЛЬКОВА П.Л., ЯСЮКЕВИЧ Ю.В.
Институт солнечно-земной физики СО РАН, Россия

Солнечный терминатор (СТ) является областью перехода от дневных условий к ночным и наоборот. Данное явление затрагивает все слои атмосферы, характеризуется глобальной протяженностью и строгой регулярностью, что делает его крайне интересным объектом исследований. Эффекты СТ в атмосфере и ионосфере исследуются достаточно давно, как в теоретическом [1], так и в экспериментальном плане, однако полностью изученным данное явление считать не следует.

С использованием методов GPS-радиозондирования ионосферы [2], в вариациях полного электронного содержания (ПЭС) были зарегистрированы генерируемые солнечным терминатором волновые пакеты среднего масштаба [3, 4]. Их амплитуда составляла, в среднем, порядка 0,15 TECU ($1 \text{ TECU} = 10^{16} \text{ эл./м}^2$), период – порядка 20 мин. Возмущения данного типа наблюдались по всему Земному шару и демонстрировали выраженную связь с прохождением СТ [3]. В дальнейшем было установлено, что время начала регистрации относительно времени прохождения СТ изменяется в течение года. При этом, данное изменение находится в хорошем согласовании со временем прохождения СТ в точке, сопряженной точке наблюдения по магнитному полю [5]. Была предложена гипотеза о переносе генерируемого СТ возмущения волнами медленного магнитного звука в другое полушарие [5]. Проведенное моделирование показало, что периоды наблюдаемых ВП хорошо согласуются с первыми гармониками собственных колебаний на оболочках тех широт, где проводились наблюдения [6].

На рис. 1а схематически показан механизм распространения генерируемого вечерним СТ возмущения в другое полушарие. Проходя над территорией Австралии, вечерний солнечный терминатор, возмущая ионосферу, вызывает генерацию МГД волны, которая распространяется в Северное полушарие. Эта волна вызывает возмущение электронной концентрации, которое регистрируется нами в ПЭС в виде волновых пакетов. На рис. 1б показана карта вариаций ПЭС над Японией за несколько часов до прохождения вечернего СТ. Фиолетовыми линиями отмечены положения максимумов фазы; синей – линия, точки которой сопряжены по магнитному полю точкам линии солнечного терминатора (линия магнитосопряженного СТ, МССТ). Как видно, линии фазового фронта расположены параллельно линии МССТ, что является сильным аргументом в пользу гипотезы о МГД природе наблюдаемых возмущений.

Вследствие наклона линии СТ относительно экватора, разница между временем его прохождения в локальной и магнитосопряженной точках будет увеличиваться с увеличением широты. Мы проводили такие наблюдения для двух регионов Японии по данным за три летних дня 2008 г и показали наличие согласования времени начала регистрации ВП с прохождением МССТ [7]. Следует отметить, что данные наблюдения велись в достаточно узком широтном диапазоне и в очень коротком временном промежутке.

На рис. 2 представлены годовые вариации распределения числа волновых пакетов в системе локального времени вечернего терминатора [3] для пяти широтных регионах США (слева) и Бразилии (справа), рассчитанные по данным за 2008 год. Распределения нормированы так, чтобы наибольшему значению соответствовала единица. Зеленой линией отмечено время прохождения МССТ для каждого региона. Две линии на графиках для США отмечают прохождение МССТ на границах рассматриваемого региона.

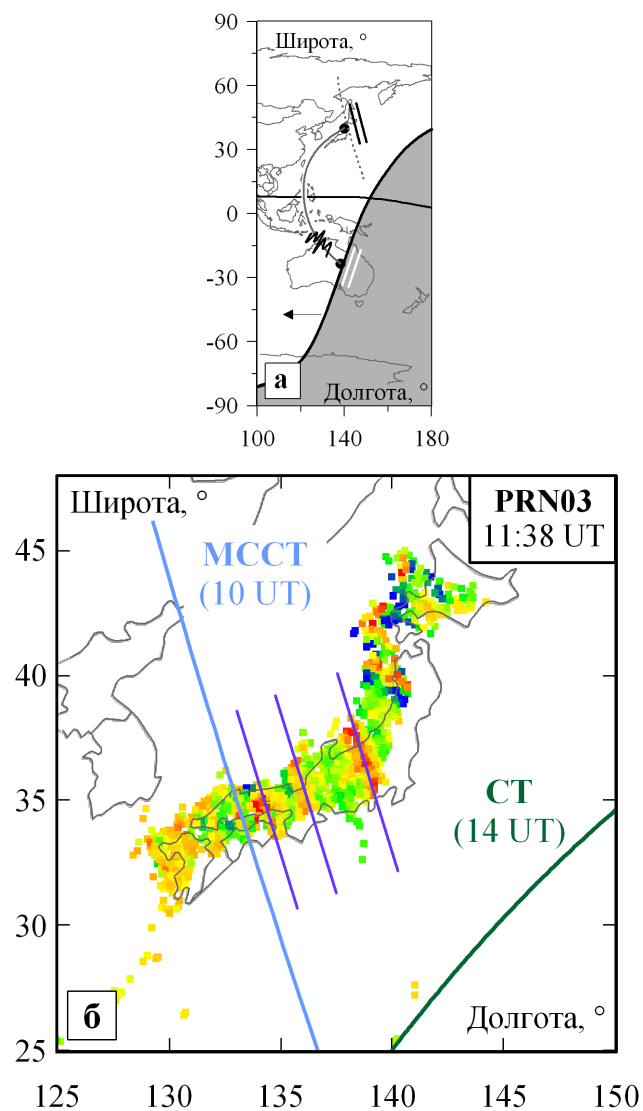


Рис. 1. Схема механизма генерации возмущения солнечным терминатором и его распространения в другое полушарие вдоль силовой линии магнитного поля – а); согласование наклона фазового фронта возмущений и линии, сопряженной линии СТ по магнитному полю – б).

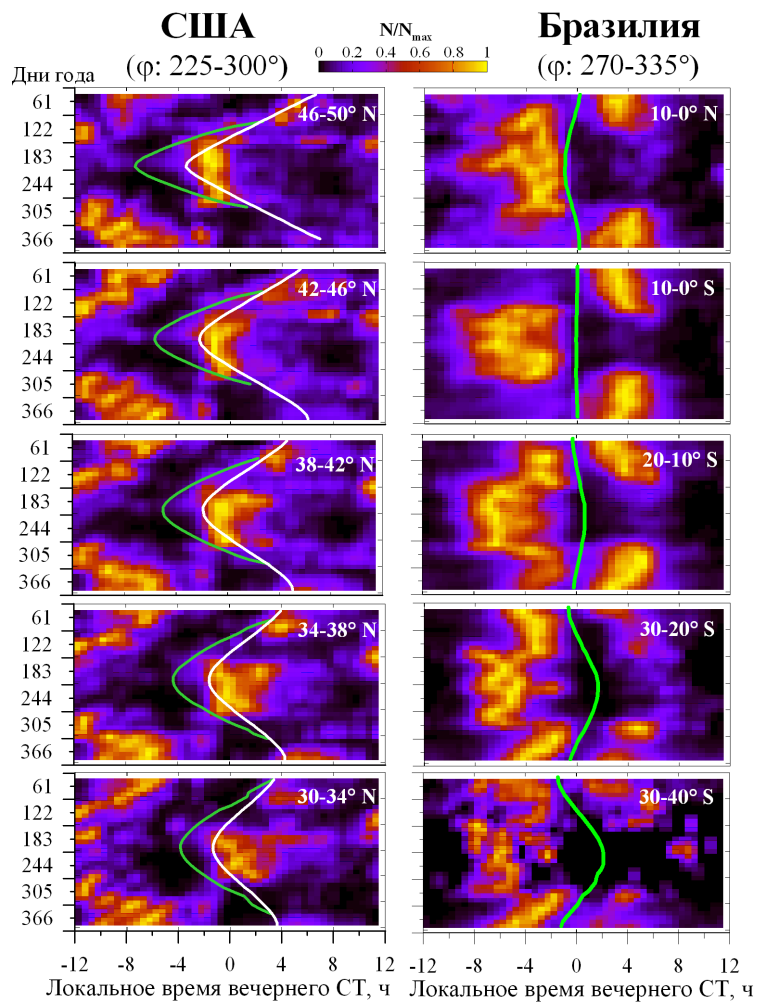


Рис. 2. Годовые вариации числа волновых пакетов в системе локального времени вечернего СТ, рассчитанные для различных широтных регионов США (слева) и Бразилии (справа), по данным за 2008 г.

Для распределений, полученных по данным США видно хорошее согласование изменения времени начала регистрации в течение года с изменением времени прохождения СТ в магнитосопряженной области. Можно также видеть, что эффект вечернего СТ наиболее выражен в летнее время, уменьшаясь при переходе к зиме. Это подтверждает данные динамических спектров вариаций ПЭС, полученных для региона США ранее [5]. В области отрицательных значений на шкале времени можно видеть эффект утреннего СТ. На графиках хорошо видна цикличность данных эффектов – на границах оси ординат картина замыкается.

Распределения, полученные по данным Бразилии, не позволяют сделать однозначных выводов о наличии выраженного согласования начала регистрации волновых пакетов с прохождением МССТ. Следует сказать, что магнитогидродинамический механизм генерации ВП предлагался для областей средних широт, где условия распространения медленного магнитного звука оптимальны [6]. При переходе к более низким широтам и, соответственно, к магнитным оболочкам с малыми L , условия генерации собственных колебаний таких частот перестают выполняться. Кроме того, над территорией Бразилии располагается область экваториальной аномалии, фоновые условия в которой, очевидно, значительно отличаются от среднеширотных. Совокупностью этих факторов, по-видимому, и объясняется наблюдаемая картина. Данный вопрос требует дальнейшего изучения, с привлечением как теоретических исследований, так и экспериментальных наблюдений в других регионах приэкваториальной области.

Авторы благодарны Воейкову С.В. и Живетьеву И.В. за плодотворные дискуссии и помощь в работе. Мы также признательны сетям GPS-приемников SOPAC, GSI (GEONET) и LPIМ за предоставление данных. Работа выполнена при поддержке РФФИ (гранты №12-05-31069_мол_а и №12-05-33032_мол_а_вед) и Министерства образования и науки (согл. №8699).

Литература

1. *Сомсиков В.М.* Солнечный терминатор и динамика атмосферы. Алма-Ата: Наука, 1983. 192 с.
2. *Афраймович Э.Л., Первалова Н.П.* GPS-мониторинг верхней атмосферы Земли. Иркутск: ГУ НЦ РВХ ВСИЦ СО РАН, 2006. 480 с.
3. *Афраймович Э.Л., Едемский И.К., Воейков С.В., Ясюкевич Ю.В., Живетьев И.В.* Перемещающиеся волновые пакеты, генерируемые солнечным терминатором в верхней атмосфере // *Оптика атмосферы и океана.* 2009. Т. 22, № 8. С. 753–759.
4. *Afraimovich E.L., Edemsky I.K., Voeykov S.V., Yasukevich Yu.V., Zhivet'ev I.V.* Spatio-temporal structure of the wave packets generated by the solar terminator // *Adv. Space Res.* 2009. V. 44, N 7. P. 824–835.
5. *Afraimovich E.L., Edemsky I.K., Leonovich A.S., Leonovich L.A., Voeykov S.V., Yasukevich Yu.V.* MHD nature of night time MSTIDs excited by the solar terminator // *Geophys. Res. Lett.* 2009. V. 36. P. L15106.
6. *Leonovich A.S., Kozlov D.A., Edemsky I.K.* Standing slow magnetospheric waves in a dipole-like plasmosphere // *Planet. Space Sci.* 2010. V. 58, N 11. P. 1425–1506.
7. *Едемский И.К., Воейков С.В., Ясюкевич Ю.В.* Сезонные и широтные вариации параметров волновых возмущений МГД-природы, генерируемых солнечным терминатором. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. Т. 8, №4. С. 107-116 2011.

Features of wave packet generatin by solar terminator according to GPS data from different latitude regions for 2008

Edemskiy I.K., Malkova P.L., Yasyukevich Yu.V.

Institute of Solar-Terrestrial Physics SB RAS, Russia

Application of the earlier measurements of total electron content (TEC) variations allowed us to discover, that solar terminator (ST) passage generates middle scale wave packets. It was shown that wave packet registration time is different within a year and in a number of cases it may be observed before a ST. Registration beginning time agrees well with the moment of passage of a terminator at a magnetically conjugated region. The paper presents the results of observations of wave packets in TEC according to the data from different latitudinal regions in 2008. Peculiarities of wave packet parameter variations are shown in dependence on their geomagnetic latitude. For the middle latitude region, coincidence of registration of wave packet beginning with the moment of ST passage in the magnetically conjugated region is generally characteristic. In the Northern Hemisphere, registration of wave packets advances the appearance of evening ST in summer, when its inclination relatively the equator is maximal. The value of this advance grows with latitude but still coincides with the moment of ST passage in the magnetically conjugated region. Evening and morning ST effects appear the strongest at different time. In summer at middle latitudes, the evening terminator effect is the most vivid; in winter it is the morning one. On wave packet number distributions in the system of ST local time, the transition from winter conditions to summer ones is clearly defined. The results, obtained from the data of Brazil station network did not show a marked coincidence of the beginning of wave packet generation in this region with ST passage in a magnetically conjugated point. Evidently, it may be explained by allocation of the majority of these stations in the equatorial anomaly region. The work was supported by Russian Foundation for Basic Research (grants No. 12-05-33032-a and 12-05-31069-a) and by the Ministry of Education and Science of the Russian Federation (agreement No. 8699).