

ОСОБЕННОСТИ ДИНАМИКИ НИЖНЕЙ ИОНОСФЕРЫ, ОБУСЛОВЛЕННЫЕ УТРЕННИМ СОЛНЕЧНЫМ ТЕРМИНАТОРОМ

Гоков А.М., Тырнов О.Ф.

Харьковский национальный университет им. В.Н. Каразина, пл. Свободы 4, Харьков-61077, Украина
Тел.: (80572) 7051251; e-mail: Alexander.M.Gokov@univer.kharkov.ua

Аннотация – Экспериментально исследованы изменения плотности электронов в среднеширотной D-области ионосферы во время прохождения утреннего солнечного терминатора. Обнаружено увеличение плотности электронов на 50-150% во время прохождения терминатора и после него. Для объяснения предложена гипотеза о стимулированном высыпании электронов из магнитосферы.

I. Введение

Солнечный терминатор является мощным естественным источником различных возмущений в ионосфере Земли (см., напр., [1]). Наименее изучено его влияние на параметры нижней части ионосферы – D-области, что обусловлено трудностью проведения длительных непрерывных (часы-сутки) систематических измерений. Среди прочих эффектов в [2] обнаружено увеличение плотности электронов N в D-области при прохождении терминатора. В работе приведены результаты экспериментальных исследований изменений N в среднеширотной D-области во время прохождения утреннего терминатора, полученные методом частичных отражений (ЧО) [3]. Рассмотрена возможность стимулированного терминатором высыпания электронов из магнитосферы.

II. Основная часть

Измерения параметров ионосферы выполнены методом ЧО на аппаратуре [4] в различные сезоны вблизи г. Харькова ($\varphi = 49,5^\circ\text{N}$, $\lambda = 36,3^\circ\text{E}$) в 1990-2003 гг. Основные параметры аппаратуры: рабочие частоты $f = 2-4$ МГц, длительность зондирующих импульсов $\tau = 25$ мкс с частотой повторения $F = 1-10$ Гц, импульсная излучаемая мощность $P_i = 50$ кВт. Длительность непрерывных измерений составляла не менее 2-4 часов до и после прохождения терминатора. Число сеансов наблюдений – около 200. Расчёт высотно-временных профилей $N(z,t)$ выполнен по методике [3]. Профили $N(z)$ вычислялись на интервалах в 10 мин для всего периода наблюдений с погрешностью, не превышающей 30%.

Отметим основные особенности динамики $N(z,t)$. Анализ данных об $N(z,t)$ показал, что в ~25% случаев во время прохождения терминатора или через 30-60 мин после него N увеличивается на 50-150%. Для иллюстрации на рис. 1 приведены характерные примеры $N(z,t)$. В эксперименте 15.11.00 рост N наблюдается вблизи момента прохождения терминатора, а 05.12.00 – примерно через 40 минут после него. Отметим, что оптическая ширина терминатора, определяемая интервалом времени появления над горизонтом полного диска Солнца, ~ 100 км, поэтому характерный период прохождения оптического терминатора ~ 5 мин. Переходные процессы в области терминатора, определяющие изменение температуры атмосферы, имеют больший период, что обусловлено характером высотного распределения поглощающих солнечную энергию компонент атмосферы и поэтому ширина области терминатора будет заметно больше (~ 1000 км) и характерное время прохождения составляет ~ 30 мин.

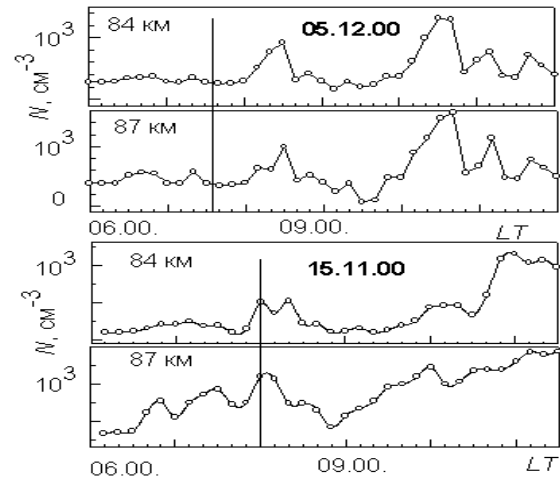


Рис. 1 Вариации плотности электронов во время прохождения терминатора.

Fig. 1 Electron density variations at the terminator passage

Наблюдаемый при прохождении терминатора и рост N может быть вызван следующими причинами: 1) ионизацией молекул NO рассеянным излучением в линии Лайман- α . При этом $\Delta N \leq 10^7-10^8 \text{ m}^{-3}$, что не может объяснить наблюдаемый рост N ; 2) ионизацией молекул $\text{O}_2(^1\Delta_g)$ рассеянным солнечным излучением на длине волны 102,7 – 111,8 нм. При этом значение $\Delta N \leq 10^7 \text{ m}^{-3}$, т. е. также мало; 3) движением областей сильных градиентов параметров атмосферы; 4) взаимодействием терминатора с неоднородностями атмосферы; 5) радиационной неустойчивостью, вызванной большим значением градиента потока радиации; 6) усилением неустойчивости Релея-Тейлора в области терминатора; 7) потоком фотоэлектронов из магнитосферной области; 8) ионизацией потоками энергичных электронов. Наиболее вероятным представляется поток электронов из радиационного пояса. Роль среднеширотного высыпания частиц неоднократно обсуждалась (см., напр., [5]). Высыпание может возникнуть в результате перераспределения захваченных частиц по питч-углам, к чему приводят либо искривления конфигурации силовых линий магнитного поля, либо уменьшение "поперечной" энергии ε_{\perp} движения заряженных частиц [6]. При прохождении терминатора возможны существенные изменения тензора проводимости ионосферной плазмы и вариации компонент электрического поля (E_p - поляризации и E_r - вихревая), а значит и компонент ε_{\perp} . На основе предложенного механизма о высыпании высокоэнергичных электронов из радиационного пояса оценем параметры потоков (как это сделано в [5] для источников возмущений в ионосфере другой природы). По экспериментальным значениям $N(z,t)$ в невозмущенных N_0 и

возмущенных N условиях оценим скорость ионизации $q_0 = \alpha_0 N_0^2$ и $q = \alpha N^2$. На $z > 75$ км в D-области, если рассматривать в качестве основных рекомбинацию электронов с ионами NO^+ и O_2^+ , α изменятся примерно от 10^{-11} до $2 \cdot 10^{-13} \text{ м}^3 \text{ с}^{-1}$ (далее будем полагать $\alpha \approx \alpha_0$). Плотность потока P_1 мощности P частиц с энергией w определим как $P_1 \approx 2w_i \Delta z \Delta q = wp$, где $\Delta q = q - q_0$, $w_i \approx 35$ эВ - энергия одного акта ионизации, Δz - диапазон высот эффективного поглощения потока p электронов с данной энергией w (это выражение справедливо, если пренебречь распределением выпадающих электронов по энергиям). Мощность P и энергию E электронов, выпадающих на площади S при длительности выпадений Δt , можно оценить из соотношений $P = P_1 S$ и $E = P \Delta t$. В расчетах на основе анализа ЧО сигналов и $N(z, t)$ полагали $\Delta t = 1,2 \cdot 10^3$ с. Результаты расчетов для обсуждаемых экспериментов приведены в таблице. Для удобства расчетов брали $\Delta z = 10$ км; полагали также, что энергия выпадающих электронов $w > 40$ кэВ. Результаты расчетов не противоречат известным из литературы данным о потоках электронов, полученных экспериментально (или оцененных) во время возмущений различной природы. Оценки E_p и E_r по методике [6] с учетом приведенных расчетов показали, что обсуждаемый механизм может быть использован для объяснения наблюдаемых изменений N .

Таблица

Дата	05.12.00		15.11.00	
	84	87	84	87
$z, \text{ км}$	84	87	84	87
$N_0, \text{ м}^{-3}$	$3,5 \cdot 10^8$	$4,2 \cdot 10^8$	$2,5 \cdot 10^8$	$3,5 \cdot 10^8$
$N, \text{ м}^{-3}$	$7,5 \cdot 10^8$	$8,0 \cdot 10^8$	$4,8 \cdot 10^8$	$8,0 \cdot 10^8$
$P_1, \text{ Дж м}^{-2} \text{ с}^{-1}$	$1,9 \cdot 10^7$	$5,1 \cdot 10^7$	$4,1 \cdot 10^7$	$1,4 \cdot 10^7$
$p, \text{ Дж м}^{-2} \text{ с}^{-1}$	$1,8 \cdot 10^7$	$3,4 \cdot 10^8$	$2,8 \cdot 10^7$	$9,4 \cdot 10^7$
$w, \text{ МэВ}$	0,1	0,04	0,1	0,04
$P, \text{ Вт}$	$2,9 \cdot 10^8$	$5,1 \cdot 10^7$	$4,1 \cdot 10^7$	$1,4 \cdot 10^7$
$E, \text{ Дж}$	$3,1 \cdot 10^{11}$	$6,1 \cdot 10^{10}$	$4,9 \cdot 10^{10}$	$1,7 \cdot 10^{10}$

III. Заключение

Экспериментально обнаружено увеличение плотности электронов на $\sim 50-150\%$ как во время прохождения утреннего солнечного терминатора, так и после него. В рамках гипотезы о выпадении электронов из магнитосферы проведены расчеты и показана возможность стимулированного утренним солнечным терминатором выпадения электронов.

IV. Список литературы

- [1] Сомиков В.М. Волны в атмосфере, обусловленные солнечным терминатором (Обзор). Геомагнетизм и аэронавигация. 1991, т. 31, №1, с. 1-7.
- [2] Гокон А.М., Гритчин А.И. Влияние солнечного терминатора на среднеширотную D-область ионосферы и характеристики частично отраженных КВ-сигналов и радишумов. Геомагнетизм и аэронавигация. 1994, т. 34, №2, с. 169-172.
- [3] Belrose J.S. Radio wave probing of the ionosphere by the partial reflection of radio waves (from heights below 100 km). J. Atmos. Terr. Phys.. 1970, v.32, p.567-597.
- [4] Tyrnov O.F., Garmash K.P., Gokov A.M. et al. The radio-physical observatory for remote sounding of the ionosphere. Turkish J. of Physics. 1994. V.18, No4, p.1260-1264.
- [5] Chernogor L.F., Garmash K.P., Rozumenko V.T. Flux parameters of energetic particles affecting the middle latitude lower ionosphere. Радиофизика и радиоастрономия. 1998, т. 3, №2, с.191-197.
- [6] Черногор Л.Ф. Инфразвуковое воздействие землетрясений и их предвестников на параметры околоземного пространства. Радиофизика и радиоастрономия. 1997, т. 2, №4, с. 463-472.

PECULIARITIES OF THE LOWER IONOSPHERE DYNAMICS, CAUSED BY THE MORNING SOLAR TERMINATOR

Gokov A.M., Tyrnov O.F.
 V.N.Karazin Kharkiv National University, Svoboda sq.4,
 Kharkiv - 61077, Ukraine
 phone: (80572) 7051251;
 e-mail: Alexander.M.Gokov@univer.kharkov.ua

Abstract - Using the partial reflection technique, there are carried out experimental investigations of electron density variations in the middle latitude D-region during the morning solar terminator passage.

I. Introduction

The solar terminator is a powerful natural source of various spacial-temporal disturbances in the Earth's ionosphere. The terminator influence on the ionosphere D-region parameters is the least studied one, which is explained by difficulty of conducting long-time continuous (hours-days) systematic measurements. In the paper gives results of experimental investigations of the electron density changes in the middle latitude D-region during the morning terminator passage; these results being obtained by means of a partial reflection (PR) technique. A possibility of electrons precipitating from the magnetosphere, which is caused by the terminator, has been considered.

II. Main part

Measurements of the ionospheric parameters during the morning terminator passage were carried out by means of the PR technique using the equipment [6] for different seasons near Kharkov City over 1990-2003. The duration of measurements was not less than 5-8 hours. The total number of observations is about 200. Calculating of height-time electron density profiles, $N(z, t)$, was carried out with the technique [3]. The $N(z, t)$ profiles were calculated for the intervals of 10 min over the whole observation period with an error not more than 30%. Note the main special features of $N(z, t)$. It follows from the $N(z, t)$ data that in 25% of the cases during the terminator passage or soon after it (in 30-60 min), increasing in $N(z, t)$ by 50-150% takes place. As illustration, Fig. 1 shows characteristic examples of the height-time N changes. In the experiment conducted on 15.11.00, an N increase is observed near the moment of the terminator passage, and on 05.12.00 in about 40 min after it. The N increase observed during the passage of the terminator and after it may be aroused by the energetic electron flows ionization. The precipitation may arise as a result of pitch angle redistribution of the radiation belt particles; this may be caused either by configuration distortion of the field lines (geomagnetic traps) or by the decreasing in the "transverse" energy, ε_{\perp} , of moving charged particles. Under the terminator passage considerable changes in the ionospheric plasma conductivity tensor and variations of the electric field components (E_p being the polarization one, and E_r is the vortical one), and hence the ε_{\perp} components as well. On the basis of the suggested mechanism we shall estimate the flow parameters as it is done in [5] for ionospheric disturbance sources of another nature. Calculations results are given in a Table. It was assumed that the energy of precipitating electrons was $w > 40$ keV. The calculation results presented agree with the known data on electron flows, experimentally obtained (or estimated) for disturbances of different nature. Estimations of E_p and E_r using method from [6], with account of the calculations conducted, showed that the mechanism discussed might be used for explaining the observed N changes.

III. Conclusion

An increase in the electron density by $\sim 50-150\%$ was experimentally found both during the morning solar terminator passage and after it. Within the hypothesis of electron precipitating from the magnetosphere, calculations were carried out, and the possibility of electron precipitation caused by the morning solar terminator was shown.