

EXPERIMENTAL STUDIES OF THE MIDLATITUDE D-REGION RESPONSE AT THE SOLAR TERMINATOR PASSAGE

¹Gokov A. M., ²Tyrnov O. F.

¹Kharkiv S. Kuznets National University of Economic
9a Lenin Avenue., Kharkiv, 61166, Ukraine

²Kharkiv V. N. Karazin National University
Ph.: (+38 057-7051251, e-mail: amg_1955@mail.ru)

Abstract — Experimentally investigated the response of the midlatitude D-region of the ionosphere at the solar terminator passage in the undisturbed conditions. Established and explained accompanying of the terminator passage variation of the parameters of partially reflected HF signals, radio noises and the electron density in middle latitude D-region of the ionosphere. In the framework of the hypothesis of electron precipitation from the magnetosphere where made calculations and demonstrated the possibility of stimulated electron precipitation by terminator. Was made the estimations of the density of electron fluxes with energies of 40 - 80 keV, which precipitated from the magnetosphere, the value of which accounted of $10^7 - 10^8 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОТКЛИКА СРЕДНЕШИРОТНОЙ D-ОБЛАСТИ НА ПРОХОЖДЕНИЕ СОЛНЕЧНОГО ТЕРМИНАТОРА

¹Гоков А. М., ²Тырнов О. Ф.

¹Харьковский национальный экономический университет имени С. Кузнецца
г. Харьков, пр. Ленина 9а, Украина, 61166

²Харьковский национальный университет имени В. Н. Каразина
тел.: +38 057-7051251, e-mail: amg_1955@mail.ru

Аннотация — Экспериментально исследован отклик среднеширотной D-области ионосферы на прохождение солнечного терминатора в невозмущенных условиях. Установлены и объяснены сопутствующие прохождению терминатора изменения параметров частично отраженных КВ сигналов, радишумов и концентрации электронов в среднеширотной D-области ионосферы. В рамках гипотезы о выпадении электронов из магнитосферы выполнены расчеты и показана возможность стимулированного выпадения электронов терминатором. Оценены плотности потоков электронов с энергиями 40 - 80 кэВ, которые выпадают из магнитосферы, величины которых составили $10^7 - 10^8 \text{ м}^{-2}\text{с}^{-1}$.

I. Введение

Известно, что солнечный терминатор (СТ) является регулярным мощным природным источником различных возмущений в атмосфере и ионосфере Земли. Влияние СТ на параметры нижней ионосферы (D-область) изучено мало, что обусловлено трудностями и дороговизной проведения длительных непрерывных (часы-сутки) систематических измерений. Известны лишь эпизодические экспериментальные исследования. Из-за быстрого изменения потока солнечной радиации прохождение терминатора сопровождается рядом физических процессов в атмосфере. Их энергетика достаточно велика. В [1] показано, что энергия и мощность теплового источника возмущения, вызванные утренним терминатором (УТ), очень значительные. Поэтому в период и после прохождения УТ следует ожидать ряд характерных изменений в ионосферной плазме (волновые возмущения различных периодов и длительностей, изменения ветрового режима, динамики концентрации электронов и т. д.) не только в области тени или полутени, но и далеко за их пределами, которые, в зависимости от условий в ионосфере, атмосфере и магнитосфере Земли, будут в целом повторяться изо дня в день, проявляя при этом новые характерные особенности, которые обуславливаются другими факторами (ими могут быть, например, циклические и спорадические изменения геомагнитной и солнечной активности, солнечные вспышки, магнитные бури и др.). Изучение таких изменений в ионосферной плазме важно как для решения прикладных задач распространения радиоволн, радионавигации,

радиосвязи и т.д., так и для исследования физических и химических процессов в ней, поскольку эта часть ионосферы еще остается плохо изученной.

В работе приведены результаты исследования влияния солнечного терминатора на параметры среднеширотной D-области ионосферы, характеристики ЧО-сигналов и радишумов в естественных условиях, выполненного на основании данных, полученных в ХНУ им. В. Н. Каразина методом ЧО в 1983 - 2010 гг. на аппаратуре [2]

II. Основная часть

Продолжительность непрерывных измерений методом ЧО составляла не менее 5 - 8 час (по 2 - 4 часа. до и после прохождения СТ). Общее количество сеансов наблюдений - около 200 (примерно поровну для утренних и вечерних условий). Анализировались высотно-временные вариации амплитуд ЧО сигналов $\langle A_{\text{о.х}}^2 \rangle(z,t)$, радишумов $\langle A_{\text{по.х}}^2 \rangle(z,t)$ и концентрации электронов $N(z,t)$.

Отметим основные особенности, которые характерны для УСТ: 1) уменьшение в несколько раз интенсивности шума и ее дисперсии. Этот процесс начинается сразу после начала прохождения УСТ или через некоторое время (~ 30 мин.) до него; 2) увеличение средних интенсивностей ЧО сигнала и их дисперсии сразу после (иногда через 10 - 30 мин.) или за 20 - 30 мин. до момента прохождения терминатора длительностью ~ 30 - 90 мин.; 3) уменьшение в 1,5 - 2 раза отношения $R = \langle A_{\text{х}}^2 \rangle / \langle A_{\text{о}}^2 \rangle$ после и наличие квазипериодов в зависимостях $R(t)$ до момента прохождения терминатора; 4) рост N при про-

хождении УСТ как вблизи момента прохождения терминатора, так и через 40 – 60 мин. после него. Продолжительность таких событий составляет ~ 30 – 90 мин. В вечернее время перестройка в D-области начинается за ~ 1 – 1,5 часа (иногда раньше) до прохождения терминатора.

Основные особенности пространственно-временных изменений характеристик ЧО-сигналов, радишумов и параметров ионосферы, которые характерны для экспериментов, проведенных в период прохождения вечернего терминатора (ВСТ): 1) увеличение в несколько раз интенсивности шума и ее дисперсии. Этот процесс начинается, как правило, за 1 – 1,5 часа до начала прохождения терминатора и продолжается в течение 1 – 2 часов после (рост интенсивности шума составляет ~ 10 – 100); 2) уменьшение в несколько раз средних интенсивностей ЧО-сигналов и их дисперсии за 1 – 1,5 часа до начала прохождения терминатора и полное их пропадание во всем высотном диапазоне D-области через 30 – 120 мин. после; 3) увеличение в ~ 1,5 – 4 раза отношения R во время и после прохождения вечернего терминатора и наличие квазипериодов в зависимостях $R(t)$; 4) кратковременное (длительностью ~ 20 – 50 мин.) в течение 1 – 2,5 часов увеличение концентрации электронов на 50 – 150% во время прохождения ВСТ в D-области ионосферы.

На рис. 1 приведены примеры типичных для среднеширотной D-области вариаций концентрации электронов в спокойных условиях включая периоды прохождения УСТ и ВСТ.

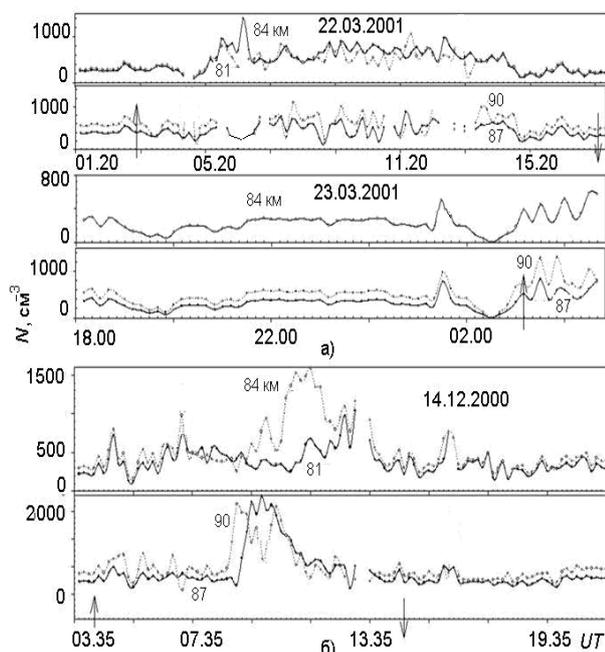


Рис. 1. Примеры типичных для среднеширотной D-области вариаций концентрации электронов в спокойных условиях включая периоды прохождения УСТ и ВСТ (моменты прохождения терминатора для высоты 85 км отмечены стрелками).

Fig. 1. Examples of typical midlatitude D-region variations of the electron density under quiet conditions including periods of MST and EST passage periods (the moments of terminator passage for the height of 85 km

Наблюдаемый при прохождении терминатора и после него рост N может быть вызван разными причинами. Выполненные оценки для разных источников показали, что наиболее вероятным представляется поток электронов из радиационного пояса. На основе этого механизма выполнены оценки параметры потоков по методике [3]. Результаты расчетов для ряда экспериментов приведены в табл. 1. Они не противоречат известным из литературы данным о потоках электронов, полученных экспериментально (или оцененных) во время возмущений различной природы. Плотности потоков электронов и их энергетические характеристики соответствуют теоретическим расчетам (см., напр., [3]) и могут обеспечить наблюдаемый рост $N(z,t)$ на высотах 81 – 87 км.

Таблица 1.

Результаты расчетов частот параметров потоков.

Table 1.

The results of calculations of the flow parameters

Дата (Date)	05.12.2000 г.		15.11.2000 г.	
z , км	84	87	84	87
N_0 , m^{-3}	$3,5 \cdot 10^8$	$4,2 \cdot 10^8$	$2,5 \cdot 10^8$	$3,5 \cdot 10^8$
N , m^{-3}	$7,5 \cdot 10^8$	$8,0 \cdot 10^8$	$4,8 \cdot 10^8$	$8,0 \cdot 10^8$
Γ , $J \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$	$1,9 \cdot 10^{-7}$	$5,1 \cdot 10^{-7}$	$4,1 \cdot 10^{-7}$	$1,4 \cdot 10^{-7}$
p , $J \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$	$1,8 \cdot 10^7$	$3,4 \cdot 10^8$	$2,8 \cdot 10^7$	$9,4 \cdot 10^7$
ε , MeV	0,1	0,04	0,1	0,04
P , Wt	$2,9 \cdot 10^8$	$5,1 \cdot 10^7$	$4,1 \cdot 10^7$	$1,4 \cdot 10^7$
E , J	$3,1 \cdot 10^{11}$	$6,1 \cdot 10^{10}$	$4,9 \cdot 10^{10}$	$1,7 \cdot 10^{10}$

III. Заключение

1. Экспериментально исследован отклик среднеширотной D-области ионосферы на прохождение солнечного терминатора в невозмущенных условиях. Установлены и объяснены сопутствующие прохождению терминатора изменения параметров ЧО-сигналов, радишумов и концентрации электронов в среднеширотной D-области ионосферы.

2. Экспериментально установлено увеличение концентрации электронов на 50 – 150 % как при прохождении УСТ, так и после него. Впервые экспериментально обнаружено кратковременное (продолжительностью 20 – 50 мин.) в течение 1 – 2,5 часов увеличение концентрации электронов на 50 – 150 % после прохождения ВСТ в D-области. В рамках гипотезы о высыпании электронов из магнитосферы выполнены расчеты и показана возможность стимулированного высыпания электронов терминатором. Оценены плотности потоков электронов с энергиями 40 – 80 кэВ, которые высылаются из магнитосферы, величины которых составили $10^7 – 10^8 \text{ m}^{-2} \text{ c}^{-1}$.

IV. References

- [1] Gokov A. M. *Otklik sredneshirotnoyi D-oblasti ionosfery na prirodnye javleniya* [The response of the midlatitude D-region of the ionosphere on natural phenomena]: monograph. ISBN 978-3-659-62182-6 LAP Lambert Academic Publishing, Saarbrücken, Deutschland (Germany). 2014. 300 p.
- [2] Tyrnov, O. F., Garmash K. P., Gokov A. M., Gritchin A. I., Dorohov V. L., Kontzevaya L. G., Kostrov L. S., Leus S. G., Martynenko S. I., Misyura V. A., Podnos V. A., Pokhilko S. N., Rozumenko V. T., Somov V. G., Tsybal A. M., Chernogor L. F., Shemet A. S. The radiophysical observatory for remote sounding of the ionosphere. *Turkish Journal of Physics*, 1994, Vol. 18, No. 11, pp. 1260–1265.
- [3] Chernogor, L. F., Garmash K. P., Rozumenko V. T. Flux parameters of energetic particles affecting the middle latitude lower ionosphere. *Radio Physics and Radio Astronomy*, 1998, Vol. 3, No 2, pp. 191–197.