



КрыМиКо 2010 CriMiCo

20-я Международная Крымская конференция  
**СВЧ-техника**  
**и телекоммуникационные технологии**

Материалы конференции

13—17 сентября 2010 г.  
Севастополь, Крым, Украина



Moscow • Kiev • Minsk • Sevastopol  
2010

УДК 621.3.029.62+621.39  
ББК 32я431  
С255

*Организаторы и спонсоры:*

Севастопольский национальный технический университет  
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники (Минск)  
НИИ телекоммуникаций НТУУ «КПИ» (Киев)  
Институт телекоммуникационных систем НТУУ «КПИ» (Киев)  
Академия инженерных наук Украины, Отделение радиоэлектроники и средств связи  
Компания «Нанозлектроника ТД» (Москва)  
ОАО «Сатурн» (Киев)  
НПФ «Микран» (Томск)  
НП ОАО «Фаза» (Ростов-на-Дону)  
НПО «Интеграл», НТЦ «Белмикросистемы» (Минск)  
ФГУП НПП «Исток» (Фрязино)  
ЗАО «Микроволновые системы» (Москва)  
Харьковский национальный университет радиоэлектроники  
Московский авиационный институт (технический университет)  
National Instruments (Москва)  
Таврический национальный университет им. проф. В. И. Вернадского (Симферополь)  
НИИ «Крымская астрофизическая обсерватория» (Казивели)  
Крымский научно-технологический центр им. проф. А. С. Попова (Севастополь)

*Техническая и информационная поддержка:*

IEEE Electron Devices Society  
IEEE/ED/MTT/CPMT/SSCS/ComSoc Central Ukraine joint Chapter  
IEEE AP Chapter, Russia Section  
ООО «Бета ТВ ком» (Донецк)  
Журнал «Техника и приборы СВЧ» (Киев)  
Журнал «Технология и конструирование в электронной аппаратуре» (Одесса)

20-я Международная Крымская конференция «СВЧ-техника и телекоммуникационные  
С255 технологии» (КрыМиКо'2010). Севастополь, 13—17 сентября 2010 г. : материалы конф. —  
Севастополь : Вебер, 2010. — 57 с. (I—LVII) + 1266 с. (1—1266) + 26 с. (A—Z) : ил.

ISBN 978-966-335-333-3.

В сборник материалов включены 535 прошедших рецензирование докладов, которые будут представлены на секциях: Усилители мощности и хаотические автоколебательные системы, Малошумящие усилители и защитные устройства, Приемопередающие устройства и их компоненты, Моделирование и автоматизированное проектирование твердотельных приборов и устройств, Общие вопросы электроники СВЧ, Приборы СВЧ О-типа, Гиросприборы и приборы М-типа, Общие вопросы телекоммуникационных сетей, Системы вещания, радиорелейной и волоконно-оптической связи, Системы спутниковой связи и вещания, Частотно-территориальное планирование и проблемы ЭМС, Программные среды и технологии предоставления услуг в телекоммуникационных сетях, Методы и средства передачи и обработки информации в телекоммуникационных сетях, Антенные решетки, Антенны и антенные элементы, Оптические устройства и системы, Теория и моделирование пассивных устройств, Фильтры, резонаторы и невзаимные устройства, Устройства на магнитостатических волнах и элементы СВЧ-тракта, Исследование характеристик материалов, Технология и конструкции СВЧ элементов, Технология материалов СВЧ-техники, Нанотехнологии и наноматериалы, Нанотехнологии и квантовые приборы, Нанозлектроника и моделирование квантовых приборов, СВЧ-электроника сверхбольших мощностей и эффекты, Электромагнитная и радиационная стойкость материалов и электронной компонентной базы, Измерения параметров антенн и устройств СВЧ, Измерения параметров СВЧ сигналов и материалов, Приложения СВЧ-измерений, Микроволновые измерители параметров сред и объектов, Неразрушающий контроль и управление технологическими процессами, СВЧ-технологии в исследовании биообъектов, СВЧ-техника в биологии и медицине, Радиоастрономия и исследование земной атмосферы, Дистанционное зондирование, Радиолокационные системы, История исследований в области радиотехнологий (Федотовские чтения). Авторами докладов являются 1209 ученых и специалистов из 208 университетов и предприятий 17 стран: Беларуси, Бельгии, Боснии и Герцеговины, Германии, Израиля, Ирана, Казахстана, Канады, Китая, Кореи, Литвы, Молдовы, Польши, России, США, Украины и ЮАР.

Материалы конференции изданы также в двух томах на бумаге и на компакт-диске с оболочкой на английском языке.  
Сборник предназначен для широкого круга специалистов в области СВЧ-техники и телекоммуникационных технологий.  
Сборник также будет полезен студентам и аспирантам телекоммуникационных, радиотехнических и радиофизических факультетов вузов.

УДК 621.3.029.62+621.39  
ББК 32я431

IEEE Catalog Number CFP10788-PRT  
ISBN 978-966-335-334-0 (CD, обол. — англ.)  
ISBN 978-966-335-329-6 (компл. 2 тома)  
ISBN 978-966-335-331-9 (том 2)  
ISBN 978-966-335-330-2 (том 1)  
ISBN 978-966-335-333-3

© Оргкомитет КрыМиКо'2010  
CriMiCo'2010 Organizing Committee  
© КНТЦ им. Попова, 2010  
CrSTC, 2010

# ВАРИАЦИИ КОНЦЕНТРАЦИИ ЭЛЕКТРОНОВ В РЕГИОНАЛЬНОЙ СРЕДНЕШИРОТНОЙ D-ОБЛАСТИ ИОНОСФЕРЫ, ОБУСЛОВЛЕННЫЕ УТРЕННИМ СОЛНЕЧНЫМ ТЕРМИНАТОРОМ ВО ВРЕМЯ МАГНИТНОЙ БУРИ 7—11 НОЯБРЯ 2004 г.

Гоков А. М., Тырнов О. Ф.

Харьковский национальный университет имени В. Н. Каразина

г. Харьков, пл. Свободы 4, Украина, 61077

тел.: 057-7051251, e-mail: amg\_1955@mail.ru

**Аннотация** — На основе экспериментальных исследований методом частичных отражений вариаций концентрации электронов в среднеширотной D-области ионосферы в период магнитной бури 7–11.11.2004 г. обнаружено увеличение концентрации электронов более, чем на 200% в период прохождения утреннего терминатора и после него. С использованием гипотезы о стимулированном терминатором высыпании электронов из магнитосферы на основании экспериментальных данных оценены соответствующие потоки электронов  $p \approx (0,6 - 8,8) 10^9 \text{ м}^{-2} \text{ с}^{-1}$ .

## I. Введение

Влияние терминатора, который является мощным естественным источником различных возмущений в атмосфере и ионосфере Земли, на параметры нижней части ионосферы, – D-области, – изучено значительно меньше, чем на вышележащие E и F-области. Это обусловлено трудностью и дороговизной проведения длительных непрерывных систематических измерений. В утренние часы из-за быстрого возрастания потока солнечной радиации прохождение терминатора сопровождается рядом физических процессов в атмосфере. Их энергетика достаточно велика. Поэтому в период и после прохождения утреннего терминатора (УТ) следует ожидать ряд характерных изменений в ионосферной плазме 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 ото дня ко дню, обнаруживая новые характерные особенности, обуславливаемые другими факторами (например, циклическими и спорадическими изменениями геомагнитной и солнечной активностей, солнечными вспышками, магнитными бурями и др.).

В работе изложены результаты экспериментальных исследований методом частичных отражений (ЧО) изменений концентрации электронов в среднеширотной D-области ионосферы во время прохождения утреннего терминатора в период магнитной бури (МБ) 7 – 11 ноября 2004 г. Рассмотрена возможность высыпания электронов из магнитосферы, стимулированного утренним терминатором.

## II. Основные результаты и их обсуждение

Экспериментальные исследования выполнены с помощью метода ЧО вблизи г. Харькова на аппаратуре [1]. Измерения амплитуд ЧО сигналов и шумов на частоте 2,4 МГц, на основе которых выполнен расчет высотно-временных вариаций  $N(z,t)$ , проведены в диапазоне высот 60–126 км в период магнитной бури 7–11 ноября 2004 г, а так же в невозмущенных условиях 03, 17 и 24 ноября 2004 г. Обработаны и проанализированы регистрации длительностью по 7 часов: с 05.00 до 12.00 LT (начало регистрации за 1–

1,5 часа до момента прохождения УТ в D-области в течение нескольких часов после него).

На рис. 1 приведены изменения  $N(z,t)$  в период 3 – 24 ноября 2004 г. Стрелками обозначен момент прохождения УТ на высоте 85 км.

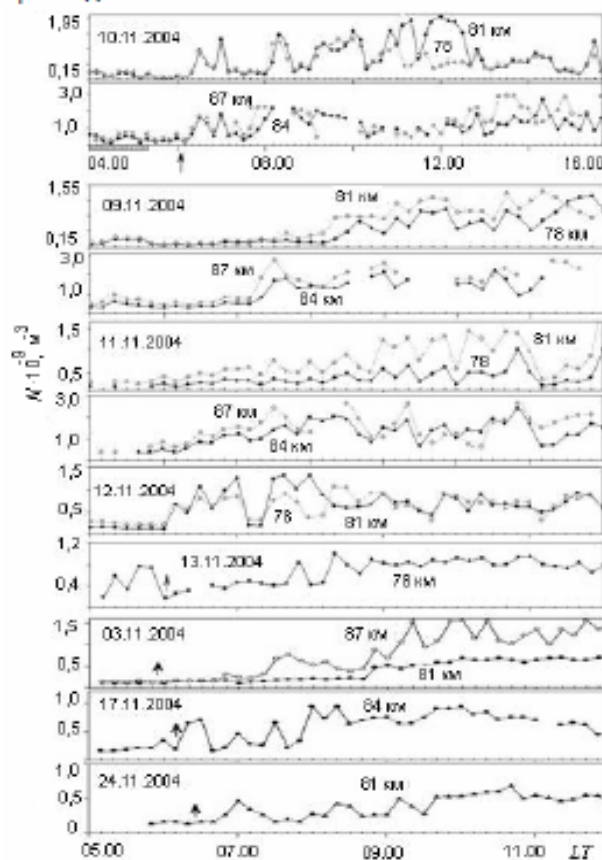


Рис. 1. Изменения концентрации электронов в период УТ в среднеширотной D-области во время МБ 09–13.11.2004 г. Заштрихованной областью указано время рентгеновской вспышки X2.5.

Fig. 1. Variations of the electron density in the period of morning terminator passage in the middle latitude D-region during magnetic storms dated 09–13<sup>th</sup> of November, 2004

На рис. приведены вариации  $N(z,t)$  10 ноября после сильнейшей рентгеновской вспышки класса X2.5. Окончание вспышки произошло за 45–50 мин до момента восхода Солнца в D-области. Характерные изменения  $N(z,t)$  начались через 5–10 мин после момента прохождения УТ. Важно, что квазипериодические изменения  $N(z,t)$  наблюдались в течение всего периода наблюдений. В экспериментах 9, 11 и 13 ноября подобных изменений  $N$  не было установлено, отмечены в целом характерные для среднеширотной

D-области изменения  $N(z,t)$  в период прохождения УТ и после него [2, 3]. 12 ноября квазипериодические изменения  $N$  в нижней части D-области начались через несколько минут после момента прохождения УТ и продолжались более 180 минут. Характерным для экспериментов было то, что ЧО сигналы регистрировались с 72–78 км, что в невозмущенных условиях не наблюдается в измерениях на нашей аппаратуре. Вероятно, это обусловлено ростом  $N$  и сильной турбулизацией и нестабильным состоянием плазмы в D-области в период МБ. Основные особенности вариаций  $N(z,t)$  в период прохождения УТ во время МБ сводятся к следующим: 1) существенное по сравнению с невозмущенными условиями увеличение  $N$  во время прохождения УТ после мощной рентгеновской вспышки: максимальный рост  $N$  составил 800–1000% на 78 и 81 км и 450–550% на 84 и 87 км.; 2) увеличение значений  $N$  в 2–4 раза в период МБ по сравнению с невозмущенными условиями во время характерных для терминаторного периода изменений  $N(z,t)$ . Возможной причиной такого поведения  $N(z)$  могли быть высыпания высокоэнергичных электронов из радиационного пояса Земли, что подтвердил анализ геофизических данных. На основе механизма о высыпании электронов выполнены оценки параметров их потоков. Их величина во время МБ составляла  $p \approx (0.6-8.8) 10^9 \text{ м}^{-2} \text{ с}^{-1}$ . Значения потоков электронов после сильной рентгеновской вспышки оказались в несколько раз выше по сравнению с другими периодами.

### III. Заключение

Экспериментально обнаружено существенное по сравнению с невозмущенными условиями увеличение концентрации электронов в течение 50–60 мин в среднеширотной D-области через 5–10 мин после момента прохождения УТ после мощной рентгеновской вспышки: максимальный рост  $N$  составил 800–1000% на 78 и 81 км и 450–550% на 84 и 87 км.

В период МБ обнаружено увеличение значений  $N$  в 2–4 раза по сравнению с невозмущенными условиями во время характерных для терминаторного периода изменений  $N$  (в периоды увеличения значений  $N$  в течение десятков минут).

В рамках гипотезы о высыпании электронов из магнитосферы в период МБ по экспериментальным данным выполнены оценки энергетических характеристик потоков электронов и показана возможность стимулированного терминатором высыпания электронов. Величина потоков электронов во время МБ составляла  $p \approx (0.6-8.8) 10^9 \text{ м}^{-2} \text{ с}^{-1}$ . Значения потоков электронов после сильной рентгеновской вспышки оказались в несколько раз выше по сравнению с другими периодами. Полученные значения потоков хорошо согласуются с теоретическими оценками и с известными экспериментальными, полученными во время возмущений различной природы.

### IV. Список литературы

- [1] *The radiophysical observatory for remote sounding of the ionosphere* / Tymov, O. F. et al. // *Turkish Journal of Physics*. 1994. V. 18. P. 1260–1265.
- [2] Gokov A. M., Tymov O. F. Peculiarities of the Middle Latitude Ionospheric D-Region Dynamics, Caused by the Solar Terminator // *Telecommunications and Radio Engineering*. 2003. V. 59. P. 159–172.
- [3] Gokov A.M., Tymov O.F. Some Features of Lower Ionosphere Dynamics Caused by the Morning Solar Terminator // *Journal of Atmos. Electricity*. 2002. V. 22. P. 13–21.

## VARIATIONS OF ELECTRON DENSITY IN THE REGIONAL MIDDLE LATITUDE D-REGION OF THE IONOSPHERE, CONDITIONED BY THE MORNING SOLAR TERMINATOR DURING MAGNETIC STORM OF THE 7–11<sup>th</sup> OF NOVEMBER, 2004

Gokov A. M., Tymov O. F.

V. Karazin Kharkiv National University  
4, Svoboda Sq., Kharkiv, 61077, Ukraine  
e-mail: amg\_1955@mail.ru

**Abstract**—The results of experimental investigations by the partial reflection radar of the electron density variations in the middle latitude ionospheric D-region during the morning solar terminator passage in the period of the magnetic storm dated the 7–11<sup>th</sup> of November, 2004, are presented. There was found the increase of the electron density more than 200% both in the period of the morning solar terminator passage and during tens min after this event. To explain such events a hypothesis concerning electron precipitations from the magnetosphere stimulated by the morning solar terminator is used. There were made estimations of the ionization rate. On the basis of the experimental data of electron density changes over the electron precipitation periods, corresponding fluxes were estimated, being  $p \approx (0.6-8.8) 10^9 \text{ м}^{-2} \text{ с}^{-1}$ .

### I. Introduction

The results of experimental investigations near Kharkiv by the partial reflection technique (PR) of the PR-signals, radio noises at 2.4 MHz and the electron density variations,  $N(z)$ , in the regional middle latitude D-region before, during and after morning solar terminator (MST) passage during magnetic storm of November, 7–11, 2004 are considered.

### II. Main Part

Experimental investigations are made near Kharkiv (geographical coordinates: 49°38'N, 36°20' E) using the PR technique. The measurements of the PR amplitudes and radio noises at 2.4 MHz are made before, during and after the magnetic storm dated the 7–11<sup>th</sup> of November, 2004.

The height-temporal dependences of  $N(z,t)$  are resulted from these data. The increase of  $N$  in the period of MST's and after the MST's was registered. The quasi-periodic changes (with periods of  $T \approx 30-60$  minutes) of more than 100–150% increase of electron density during tens of minutes were found. The main features of variations of  $N(z,t)$  in the period of passing of MST during MB are taken to the following: 1) substantial as compared to undisturbed conditions increase of  $N$  during passing of MST after a powerful X-ray flare: maximal increase of  $N$  was 800–1000% on 78 and 81 km and 450–550% on 84 and 87 km.; 2) increase of values of  $N$  2–4 times in the period of the magnetic storm as compared to undisturbed conditions during the characteristic for MST period changes of  $N(z,t)$ .

This increase may be caused by ionization of ionospheric plasma in the middle latitude D-region by the energetic charged particles fluxes precipitating from the magnetosphere, stimulated by MST during magnetic storm. Corresponding fluxes were estimated, being  $p \approx (0.6-8.8) 10^9 \text{ м}^{-2} \text{ с}^{-1}$ .

### III. Conclusion

The obtained results of experimental investigations by the partial reflection technique of the PR-signals, radio noises at 2.4 MHz and electron density variations in the regional middle latitude D-region before, during and after morning solar terminator passage during the magnetic storm dated the 7–11<sup>th</sup> of November, 2004 and the comparison with the similar results obtained before and after the magnetic storm in the undisturbed periods, allowed setting new important features and confirming the possibility and the role of high-energetic electrons precipitation stimulated by MST. The data concerning the electron density strong perturbations in the middle latitude lower ionosphere caused by the MST may be of interest because of lack of such investigations.