

# ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОТКЛИКА СРЕДНЕШИРОТНОЙ D-ОБЛАСТИ ИОНОСФЕРЫ НА УДАЛЕННЫЕ СТАРТЫ РАКЕТ

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 удаленных стартов ракет разного типа. Обнаружены кратковременные пульсирующие возмущения плотности электронов в нижней ионосфере. Для объяснения эффектов предложена гипотеза о стимулированных пульсирующих потоках электронов из магнитосферы в нижнюю ионосферу Земли с энергией  $\sim 10^2$ -10 кэВ и значениями потоков  $\rho \sim 10^8$ - $10^9$  м<sup>-2</sup>с<sup>-1</sup>.

## I. Введение

Явления, сопровождающие запуски ракет, отличаются многообразием, пространственными, временными, энергетическими и другими характеристиками. Классификацию возмущений обычно производят по их пространственным масштабам. Возмущения с  $L_1 \leq 100$  км,  $L_2 \sim 100 - 1000$  км и  $L_3 \sim 1000 - 10000$  км соответственно называют локализованными, крупномасштабными и глобальными. Такие возмущения наблюдались многими исследователями после первых запусков высотных ракет. Обзор крупномасштабных возмущений представлен [1]. Глобальные возмущения в ионосфере исследуются, например, в [2]. Значительное внимание уделяется поиску эффектов в F-области ионосферы. Однако до настоящего времени остаются не выясненными механизмы переноса возмущений на глобальные расстояния, их скорости распространения, величина и характер возмущений в нижней части ионосферы (D-область). В работе приведены результаты экспериментальных исследований возможных вариаций плотности электронов в среднеширотной D-области во время удаленных стартов ракет разного типа.

## II. Основная часть

Измерения параметров ионосферы выполнены методом частичных отражений (ЧО) [3] на аппаратуре [4] вблизи г. Харькова в 1990-2003 гг. Длительность непрерывных измерений составляла не менее 2-4 часов до и после старта ракеты. Число обработанных сеансов – 56. Расчёт высотно-временных профилей  $N(z,t)$  на интервалах в 10 мин для всего периода наблюдений с погрешностью  $\leq 30\%$  выполнен по методике [3]. Удаление от места старта ракет до пункта наблюдения составляло  $R_f \sim 1000$ -10000 км. Выполнен поиск обнаружения возможных изменений  $N(z,t)$  в среднеширотной D-области во время удаленных стартов ракет различной мощности (глобальные возмущения). Отметим, что отчетливые изменения  $N(z,t)$  удалось зарегистрировать не во всех экспериментах. Это обусловлено рядом причин: условия в ионосфере в месте старта (полета) и наблюдения, тип (мощность двигателей) ракеты, состояние радиационных поясов Земли и др.). Рассмотрим основные особенности вариаций  $N(z,t)$  в периоды стартов ракет разного типа. Для ракет типа “Космос” характерным оказалось следующее (старт 15.11.2000): на высотах  $z \geq 84$  км через 40-45 мин

после старта  $N$  уменьшалась на 50-100% в течение 40-50 мин с последующим восстановлением к суточному ходу; на  $z \leq 81$  км наблюдались квазигармонические изменения  $N$  с  $\Delta N/N \sim 50\%$  в течение примерно 2 часов. В период старта космического аппарата (КА) «Протон» 20.11.1998 квазигармонические изменения  $N$  на  $z \geq 87$  км с  $\Delta N/N \geq 50\%$  с периодом  $T \geq 30$  мин начались через  $\sim 10$ -15 мин после старта. В период старта КА «Зенит» 17.07.1999 на высотах 87-90 км через 10-15 мин после старта значения  $N$  уменьшились на  $\sim 50\%$  в течение примерно 30 мин, затем (т.е. примерно через 45-55 мин после старта) во всей D-области наблюдались квазипериодические изменения  $N$  с  $\Delta N/N \sim 50$ -100% в течение примерно 3 час. Во время старта КА «Союз» обнаружены особенности в изменениях  $N$ : 26.02.2001 – квазигармонические изменения  $N$  на 81-84 км с  $\Delta N/N \sim 50\%$  и периодом  $\sim 50$  мин через 40-50 мин после старта в течение примерно 3 часов; 02.02.2003 – квазигармонические изменения  $N$  во всей D-области с  $\Delta N/N \geq 50\%$  и периодом  $\sim 50$  мин через 40-50 мин после старта в течение 2-2.5 часов; 13.08.1998 – квазигармонические изменения  $N$  на  $z \geq 93$  км с  $\Delta N/N \sim 50$ -100% и периодом  $\sim 30$ -40 мин через  $\sim 10$  мин после старта. Во время старта КА «Delta-II» обнаружены следующие характерные особенности в изменениях  $N$ : квазигармонические изменения  $N$  на  $z \geq 84$  км с  $\Delta N/N \sim 50$ -100% и периодом  $\sim 30$ -40 мин через  $\sim 10$  мин после старта. Во время старта КА «Atlas» 21.02.2002 на высоте 84 км  $N$  возрастала через 10-15 мин примерно на 80% в течение 25-30 мин с последующим типичным суточным ходом. В период старта КА «Ariane» 05.06.2002 на 84 км  $N$  возрастала через 35-45 мин примерно на 100% в течение 25-30 мин с последующими квазигармоническими изменениями с  $\Delta N/N \sim 50$ -100% час. В период старта КА “Columbiya” и “Atlantis” отчетливых изменений  $N$ , связанных со стартами, не обнаружено поскольку старты происходили в период прохождения терминатора в пункте наблюдений и поэтому однозначно идентифицировать наблюдаемые изменения  $N$  не представляется возможным. В период старта КА “Рокот”, “Discovery” и “Titan” изменений  $N$ , связанных со стартами, не обнаружено. Таким образом в периоды удаленных стартов КА экспериментально обнаружены особенности в высотно-временных изменениях  $N$  в среднеширотной D-области ионосферы: 1) квазигармонические изменения  $N$  на  $z \geq 81$  км с  $\Delta N/N \sim 50$ -100% и периодом  $\sim 30$ -40 мин через  $\sim 10$  мин после старта; 2) квазигармонические изменения  $N$  на 81-90 км с  $\Delta N/N \sim 50\%$  и периодом  $\sim 30$ -50 мин через 40-50 мин после старта в течение примерно 2-3 часов; 3) во время старта КА “Космос” на высотах  $z \geq 84$  км через 40-45 мин по-

сле старта  $N$  уменьшалась на 50-100% в течение 40-50 мин с последующим восстановлением к суточному ходу. В целом же поведение  $N$  (отклик) носит больше неоднозначный характер, обусловленный, по-видимому, рядом факторов, о которых кратко сказано выше. Возмущения  $N$  примерно через 10-15 мин после старта КА могут быть связаны с генерацией МГД-возмущений в ионосферной плазме, которые, при определенных условиях, воздействуя на радиационные пояса Земли, могут вызвать пульсирующие высыпания электронов высоких энергий. Последние, в свою очередь, могут вызывать наблюдаемые экспериментально изменения  $N$  на больших удалениях от места старта КА. Подобный механизм ранее был предложен для объяснения экспериментальных результатов, полученных во время сильных удаленных землетрясений [5]. Возмущения  $N$  через 45-50 мин после старта КА, по-видимому, связаны с включением корректирующих двигателей ракет. Маловероятно, что такие значительные возмущения  $N$  связаны с распространением волн в нижней ионосфере. Более вероятно, что они вызваны пульсирующими потоками частиц из магнитосферы, стимулированными включением корректирующих двигателей ракет. Как и в случае землетрясений по той же методике для обсуждаемых экспериментов проводились расчеты параметров потоков электронов. Оказалось, что наблюдаемые квазипериодические вариации  $N$  в нижней ионосфере могут быть вызваны пульсирующими потоками электронов с энергией  $10^2$ - $10$  кэВ и плотностями потоков  $P_1 \sim 10^6$ - $8 \cdot 10^7$  м<sup>-2</sup>с<sup>-1</sup>. Такие значения плотности потоков электронов сходны по величине с значениями потоков в периоды возмущений другой природы и не представляются большими в условиях среднеширотной ионосферы.

### III. Заключение

Таким образом, ракеты средней и большой мощности способны производить кратковременные пульсирующие возмущения плотности электронов в нижней ионосфере на расстояниях до нескольких тысяч км. По-видимому, эти эффекты вызваны стимулированными пульсирующими потоками электронов из магнитосферы в нижнюю ионосферу с энергией  $\sim 10^2$ - $10$  кэВ и значениями потоков  $p \sim 10^6$ - $10^9$  м<sup>-2</sup>с<sup>-1</sup>.

### IV. Список литературы

- [1] Карлов В.Д., Козлов С.И., Ткачев Г.Н. Крупномасштабные возмущения в ионосфере, возникающие при полете ракеты с работающим двигателем (Обзор). Космические исследования. 1980. Т. 18. №2. С. 266.
- [2] Костров Л.С., Розуменко В.Т., Черногор Л.Ф. Доплеровское радиозондирование возмущений в средней ионосфере, сопровождающих старты и полеты космических аппаратов. Радиопизика и радиоастрономия. 1999. Т.4. № 3. С.227-246
- [3] 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.
- [4] 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
- 5 Гоков А.М. К вопросу о реакции средне-широтной D-области ионосферы на удаленные сильные землетрясения. Геомагнетизм и аэрономия. 2001. Т. № 4. С. 532-536

## EXPERIMENTAL INVESTIGATIONS OF THE MIDDLE LATITUDE IONOSPHERIC D-REGION RESPONSE TO DISTANT ROCKET LAUNCHES

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** – Changes in the electron density in the middle-latitude D-region of the ionosphere are experimentally investigated during the distant launches of rockets of different types. Short-term pulsing disturbances of the electron density in the lower ionosphere are found. In order to explain these effects, the hypothesis on electrons conditioned by stream from the magnetosphere into the lower ionosphere having energy  $\sim 10^2$ - $10$  KeV and stream density  $p \sim 10^6$ - $10^9$  m<sup>-2</sup>sec<sup>-1</sup> is investigated.

### I. Introduction

Phenomena accompanying rocket launches occur in variety: spatial, temporal, power and other characteristics. Up to now there have not been found mechanisms of carrying disturbances over global distances, their propagating velocity, sizes and characters of disturbances in the lower ionosphere. Experimental research results of possible variations in the electron density in the middle-latitude D-region during the distant launches of rockets of different types are given in the paper.

### II. Main part

Measurements of the ionospheric parameters were made by a technique of partial reflections [3] using the equipment from [4] near the Kharkov city in 1990-2003. The duration of continuous measurements was not less than 2-4 hours before and after the rocket launch. The number of the processed sessions was 56. The calculation of the  $N(z,t)$  profiles over intervals of 10 min for the whole period of the observations with an error of <30% was made by the technique [3]. The distance from the sight of rocket launches to the observation sight was  $R_r \sim 1000$ - $10$  000 km. Search of finding possible  $N(z,t)$  changes was conducted in the middle latitude D-region during the distant launches of rockets of various powers (global disturbances). Note that it was not possible to record clear changes in  $N(z,t)$  in the all experiments. It was caused by a number of reasons: conditions in the ionosphere in the sight of rocket launches (flight) and the observation sight, the types (engine capacity) of the rockets, a state of the radiation belts of the Earth etc. During the distant SV launches the following features in  $N(z,t)$  changes were found: 1) quasiharmonic  $N(z,t)$  changes at  $z > 80$  km with amplitudes  $\sim 50$ - $100\%$  and the period of 30-40 min in  $\sim 10$  min after the launch; 2) quasiharmonic  $N(z,t)$  changes at 81-90 km with amplitudes  $\sim 50\%$  and the period of 30-50 min in 40-50 min after the launch about 2-3 hours; 3) during the SV "Kosmos" launch at  $z > 81$  km in 40-45 min after the launch  $N(z,t)$  decreased by 50-100% for 40-50 min with the subsequent recover to the diurnal deviation. Disturbances of  $N(z,t)$  in about 10-15 min after the SV launch may be connected with generation of MHD disturbances in ionospheric plasma which – under certain conditions – influencing on radiation belt of the Earth, may be cause pulsing precipitations of the electrons of high energy.  $N(z,t)$  disturbances in 45-50 min after the SV launch seemed to be connected with a switching on adjusting engines of the rockets.

### III. Conclusion

Rockets of average and high powers are capable of making short-term pulsing disturbances of the electron density in the lower ionosphere at distances up to several thousands of km. Apparently, these effects are caused by the conditioned pulsing electron streams from the magnetosphere into the lower ionosphere having energy  $\sim 10^2$ - $10$  KeV and stream density  $p \sim 10^6$ - $10^9$  m<sup>-2</sup>sec<sup>-1</sup>.