

# XXI

## ВСЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

# РАСПРОСТРАНЕНИЕ РАДИОВОЛН

*Информационное письмо № 1*

25-27 мая 2005 г.  
Йошкар-Ола

*Организаторы конференции:*

Научный совет РАН по комплексной проблеме  
«Распространение радиоволн»

Научный совет РАН по комплексной проблеме  
«Физика солнечно-земных связей»

Институт Радиотехники и электроники РАН  
(ИРЭ РАН)

Марийский государственный технический  
университет  
(МарГТУ, Йошкар-Ола)

*При участии и поддержке:*

Российской Академии наук (РАН)

Министерства образования и науки РФ

Российского фонда фундаментальных исследований

Национального комитета URSI

Российской секции IEEE

Объединенного физического общества РФ

Правительства Республики Марий Эл

На конференции предусматриваются следующие  
секции :

**Секция 1.** *Дистанционное зондирование верхней  
атмосферы и космического пространства.*

**Секция 2.** *Распространение радиоволн метрового,  
миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов в  
тропосфере и урбанизированных средах.*

**Секция 3.** *Распространение километровых и более  
длинных радиоволн.*

**Секция 4.** *Распространение дециметровых  
радиоволн. Нелинейные эффекты в ионосфере.*

**Секция 5.** *Дистанционное зондирование  
атмосферы и земных покровов в радио, ИК и  
оптическом диапазонах.*

**Секция 6.** *Математическое моделирование  
процессов распространения радиоволн.  
Распространение широкополосных сигналов в средах с  
дисперсией.*

## **Программный комитет конференции**

### **Председатель:**

**Арманд Н.А.** - д.т.н., профессор (ИРЭ РАН, Москва)

### **Заместители председателя:**

**Лукин Д.С.** - д.ф.-м.н., профессор (МФТИ, Долгопрудный),

**Иванов В.А.** - д.ф.-м.н., профессор (МарГТУ, Йошкар-Ола),

Тел. : (8362) 455240; факс(8362) 410872, E-mail : vai@marstu.mari.ru

### **Ученый секретарь:**

**Карнаухов В.А.** - к.т.н. (ИРЭ РАН, Москва)

Тел. : (095) 2034996; (095) 2034839, E-mail: tv@cplire.ru

### **Члены программного комитета :**

**Данилкин Н.П.** - д.ф.-м.н., проф., ИПГ Росгидромет,

**Демин М.Г.** - д.ф.-м.н., проф., ИЗМИРАН,

**Жеребцов Г.А.** - академик РАН, директор ИСЗФ СО РАН,

**Крюковский А.С.** - д.ф.-м.н., проф., МФТИ,

**Кунцын В.Е.** - д.ф.-м.н., проф., МГУ,

**Макаров Г.И.** - д.ф.-м.н., академик РАЕН, СПбГУ,

**Матвиенко Г.Г.** - д.ф.-м.н., проф., ИОА СО РАН,

**Мптяков Н.А.** - к.ф.-м.н., НИРФИ,

**Насыров А.М.** - д.ф.-м.н., проф., КГУ,

**Пермяков В.А.** - д.ф.-м.н., проф., МЭИ,

**Потехин А.П.** - д.ф.-м.н., ИСЗФ СО РАН,

**Трахтенгерц В.Ю.** - д.ф.-м.н., проф., ИПФ РАН,

**Фролов В.Л.** - д.ф.-м.н., НИРФИ,

**Черкашин Ю.Н.** - д.ф.-м.н., проф., ИЗМИРАН,

**Шарыгин Г.С.** - д.т.н., проф., ТУСУР,

**Шустов Э.И.** - д.т.н., проф., НИИДАР,

**Щукин Г.Г.** - д.ф.-м.н., проф., филиал ГГО-НИЦ ДЗА.

### **Оргкомитет конференции**

### **Сопредседатели:**

**Гаранин Л.А.** -Зам. Главы Правительства Республики Марий Эл,

**Ощепков Г.С.** - академик РАЕН, профессор, ректор МарГТУ,

**Иванов В.А.** - д.ф.-м.н., профессор, проректор МарГТУ по научной работе,

**Божко С.А.** - Зам. гендиректора по науке и технологии «ОАО ММЗ» Концерна ПВО «Алмаз-Антей»,

**Торопов В.В.** - Гендиректор ЗАО «Потенциал».

### **Члены:**

**Неклюдов В.Б.** - к.т.н, доц., проректор по СЭВ (МарГТУ),

**Лоскутов Ю.В.** - к.т.н., доц., начальник НИС (МарГТУ),

**Дедов А.Н.** - к.т.н., доц., декан РТФ (МарГТУ),

**Рябова Н.В.** - к.ф.-м.н., доц., зав. каф. РТ и С (МарГТУ),

**Загорин Г.К.** - к.ф.-м.н. (ИРЭ РАН).

### **Ученый секретарь:**

**Карнаухов В.А.** - к.т.н. (ИРЭ РАН)

### **Ответственный секретарь:**

**Иванов Д.В.** - к.ф.-м.н., доц. (МарГТУ)

Тел. (836-2) 455712, факс (836-2) 410872,

E-mail: [dvi@marstu.mari.ru](mailto:dvi@marstu.mari.ru)

# ИССЛЕДОВАНИЯ ОТКЛИКА СРЕДНЕШИРОТНОЙ D-ОБЛАСТИ ИОНОСФЕРЫ НА УДАЛЕННЫЕ СТАРТЫ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

А. М. Гоков, О.Ф. Тырнов

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

Экспериментально с помощью метода частичных отражений установлено, что ракеты средней и большой мощности способны производить кратковременные пульсирующие возмущения концентрации электронов в среднеширотной D-области ионосферы на расстояниях до нескольких тысяч км. По-видимому, эти эффекты вызваны стимулированными пульсирующими потоками электронов из магнитосферы в нижнюю ионосферу Земли с энергией  $\sim 10^2 - 10$  кэВ и значениями потоков  $p \sim 10^8 - 10^9 \text{ м}^{-2} \text{ с}^{-1}$ .

**Investigations of middle latitude ionospheric D-region responses to distant launchings of space vehicles.** A.M.Gokov, O.F.Tyrnov. Experimentally by a partial reflection technique there were found that rockets of medium and great powers are able to produce short-time pulsed disturbances of the electron density in the middle latitude ionospheric D-region over distances up to several thousands of kilometers. These effects seem to have been caused by stimulated pulsed electron flows coming from the magnetosphere into the lower ionosphere of the Earth, with their energy of  $\sim 10^2 - 10$  KeV and flux density values  $p \sim 10^8 - 10^9 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ .

## Введение

Старты и полеты космических аппаратов (КА) с работающим двигателем, падение КА, вызывают ряд процессов в ионосфере, отличающихся многообразием, пространственно-временными, энергетическими и другими характеристиками. Они зависят от расстояния до траектории КА, его высоты, типа топлива, мощности двигателей и состояния ионосферы в месте старта и полета КА и в пункте наблюдения. Классификацию возмущений в ионосфере обычно производят по их пространственным масштабам. Возмущения с горизонтальным масштабом  $L_1 \leq 100$  км,  $L_2 \sim 100 - 1000$  км и  $L_3 \sim 1000 - 10000$  км соответственно называют локализованными, крупномасштабными и глобальными. Локализованные возмущения примыкают к корпусу ракеты, зависят от ее скорости и тяги двигателей; они перемещаются вместе с ракетой вдоль траектории полета. Такие возмущения наблюдались исследователями после первых запусков высотных ракет. Крупномасштабные возмущения впервые зарегистрированы в [1] при запуске ИСЗ "Авангард-II". Было установлено, что выбросы сотен тонн воды и молекулярного водорода во время старта ракеты приводят к уменьшению концентрации электронов  $N$  в ионосферной плазме. Это явление получило название ионосферной дыры. Обзор таких возмущений представлен в [2]. Глобальные возмущения в ионосфере исследовались, например, в [3-5] по измерениям методами некогерентного рассеяния и вертикального зондирования. В дальнейшем наблюдения таких возмущений стали комплексными (см., напр., [6-9]). В настоящее время сравнительно хорошо экспериментально изучены основные типы, величина и характер возмущений в плазме в E и F-областях ионосферы. Реакция нижней части ионосферы, - ее D-области, исследована мало. В литературе известны лишь эпизодические экспериментальные исследования (см., напр., [6, 9]). В работе приведены результаты экспериментальных исследований методом частичных отражений (ЧО) возможных вариаций концентрации электронов в среднеширотной D-области во время удаленных стартов ракет разного типа.

## Техника и методика экспериментальных исследований

Экспериментальные исследования в течение ряда лет проводились вблизи г. Харькова при помощи комплекса аппаратуры [10] методом ЧО. Расчет высотно-временных профилей плотности электронов  $N(z, t)$  проводился по методике дифференциального поглощения с применением алгоритма регуляризации [11]. Погрешность вычислений профилей  $N(z)$  на интервалах усреднения в 10 или 5 мин не превышала 30% и 50% соответственно. Удаление от места старта ракет до пункта наблюдения составляло  $R_l \sim 700-10000$  км. Проанализировано более 200 эксперимен-

тов. Из них около 150 экспериментов выполнены во время стартов КА в ночное время и в периоды прохождения солнечного терминатора. Анализ этого массива данных показал, что в этих экспериментах однозначно связать изменения характеристик ЧО сигналов, радиозумов и параметров ионосферы с возмущениями в ионосфере, производимыми стартом и полетом КА, не представляется возможным. Поэтому отдельно анализировались данные, полученные в дневное время, когда возможные изменения характеристик ЧО сигналов, радиозумов и параметров ионосферы можно идентифицировать с рассматриваемыми возмущениями. Сведения о КА получены по сети Internet: <http://www.space.com>.

### Результаты экспериментальных исследований

Поскольку удаление пункта наблюдений от места стартов КА составляло  $R_1 \sim 700-10000$  км, то была предпринята попытка обнаружения возможных глобальных возмущений концентрации электронов в среднеширотной D-области во время стартов и полетов ракет различной мощно-

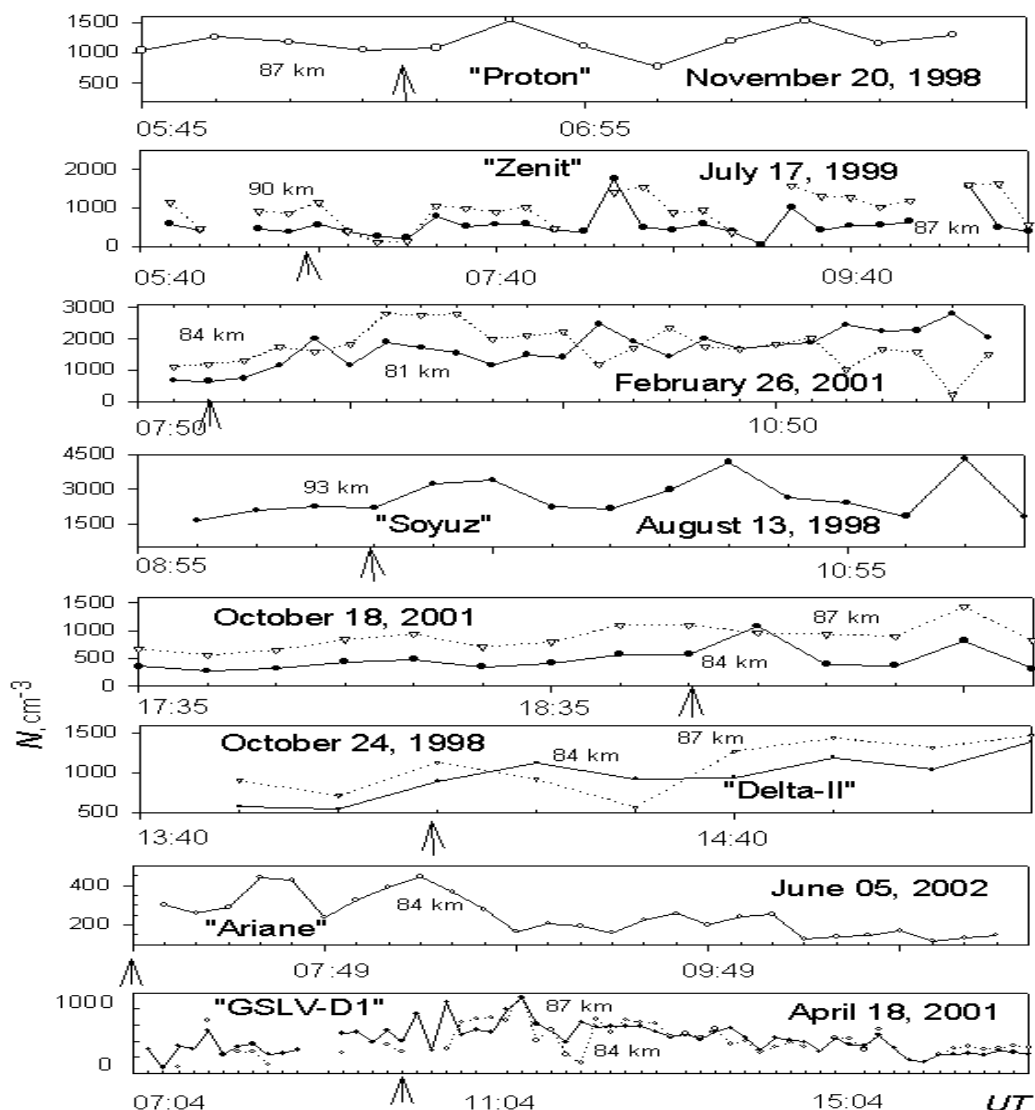


Рис. 1. Примеры высотно-временных изменений концентрации электронов в среднеширотной D-области в период стартов КА (время старта отмечено стрелкой).

сти. Отметим, что отчетливые изменения  $N(z,t)$  зарегистрированы 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 высотно-временных вариаций  $N(z,t)$  в периоды стартов ракет разного

типа. Для ракет типа “Космос” характерным оказалось следующее (старт 15.07.2000): 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 квазипериодические изменения  $N$  с амплитудой  $\sim 50\%$  в течение примерно 2 часов. Ракета типа «Космос» относится к КА средней тяжести, мощность их двигателей  $\sim 10^8$ - $10^9$  Вт, а энерговыделение не менее  $10^{11}$  Дж. Старт ракет этого типа происходил на самом близком удалении от пункта наблюдений. В период старта КА «Протон» 20.11.1998 квазипериодические изменения  $N$  на  $z \geq 87$  км с амплитудой  $\sim 50\%$  и периодом  $T \geq 30$  мин наблюдались через  $\sim 10$ -15 мин после старта. Полная масса ракет этого типа составляла около 715 т, начальная тяга – около 903 000 кгс. Ракета типа «Протон» относится к КА тяжелого типа, мощность двигателей  $\sim 10^{10}$ - $10^{11}$  Вт, а энерговыделение не менее  $10^{13}$  Дж. 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 амплитудой  $\sim 50$ -100% в течение примерно 3 час. Ракета типа «Зенит» относится к КА тяжелого типа, мощность их двигателей  $\sim 10^{10}$ - $10^{11}$  Вт, а энерговыделение не менее  $10^{13}$  Дж. Во время старта КА «Союз» обнаружены следующие основные особенности в изменениях  $N$  (ракета типа «Союз» относится скорее к КА тяжелого типа, мощность их двигателей  $\sim 10^{10}$ - $10^{11}$  Вт, а энерговыделение не менее  $10^{13}$  Дж.): 26.02.2001: квазипериодические изменения  $N$  на 81-84 км с амплитудой  $\sim 50\%$  и периодом  $\sim 50$  мин через 40-50 мин после старта в течение примерно 3 часов; 02.02.2003: квазипериодические изменения  $N$  во всей D-области с амплитудой  $\geq 50\%$  и периодом  $\sim 50$  мин через 40-50 мин после старта в течение 2-2.5 часов; 13.08.1998: квазипериодические изменения  $N$  на  $z \geq 93$  км с амплитудой  $\sim 50$ -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  $N$ : квазипериодические изменения  $N$  на  $z \geq 84$  км с амплитудой  $\sim 50$ -100% и периодом  $\sim 30$ -40 мин через  $\sim 10$  мин после старта. Ракета типа «Delta-II» относится к КА среднего типа тяжести, мощность их двигателей  $\sim 10^9$ - $10^{10}$  Вт, а энерговыделение не менее  $10^{12}$  Дж. Во время старта КА «Atlas» 21.02.2002 на высоте 84 км концентрация электронов возрастала через 10-15 мин примерно на 80% в течение 25-30 мин с последующим типичным суточным ходом. Ракета типа «Atlas» относится к КА среднего типа тяжести, мощность их двигателей  $\sim 10^9$ - $10^{10}$  Вт, а энерговыделение не менее  $10^{12}$  Дж. В период старта КА «Ariane» 05.06.2002 на высоте 84 км плотность электронов возрастала через 35-45 мин примерно на 100% в течение 25-30 мин с последующими квазипериодическими изменениями с амплитудой  $\sim 50$ -100% час. Ракеты типа «Ariane» относятся к КА тяжелого типа, мощность их двигателей  $\sim 10^{10}$ - $10^{11}$  Вт, а энерговыделение не менее  $10^{13}$  Дж. Во время старта тяжелой ракеты GSVL 18.04.2001 обнаружены следующие характерные особенности в изменениях  $N$ : квазипериодические изменения  $N$  на  $z \geq 84$  км с амплитудой  $\sim 50$ -100% и периодом  $\sim 30$ -40 мин через  $\sim 10$  мин после старта. Примеры таких вариаций концентрации электронов во время стартов различных КА приведен на рис. 1. В период старта КА “Columbia” и “Atlantis” отчетливых изменений  $N$ , связанных со стартами, не обнаружено поскольку старты происходили вблизи периода прохождения терминатора в пункте наблюдений. В период старта КА малой тяжести “Рокот”, “Titan” и “Discovery” изменений  $N$ , связанных со стартами, не обнаружено. Таким образом, установлены некоторые особенности в изменениях концентрации электронов в среднеширотной D-области ионосферы в период удаленных стартов и полетов КА различного типа. Для детализации и выяснения полной картины необходимы дополнительные исследования, накопление массива данных и проведение статистического анализа.

### Обсуждение

В периоды удаленных стартов КА экспериментально обнаружены особенности в высотновременных изменениях  $N$  в среднеширотной D-области ионосферы: 1) квазипериодические изменения  $N$  на  $z \geq 81$  км с амплитудой  $\sim 50$ -100% и периодом  $\sim 30$ -40 мин через  $\sim 10$  мин после старта; 2) квазипериодические изменения  $N$  на 81-90 км с амплитудой  $\sim 50\%$  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 после старта  $N$  уменьшалась на 50-100% в течение 40-50 мин с последующим восстановлением к суточному ходу. В целом поведение концентра-

ции электронов (отклик) носит больше неоднозначный характер, обусловленный, по-видимому, целым рядом факторов, о которых кратко сказано выше.

Сверхзвуковое расширение плазмы реактивной струи ракетного двигателя и сверхзвуковое движение плазмы под действием КА в гиротропной ионосфере вызывает генерацию электромагнитных и магнитогидродинамических (МГД) волн различных типов. Экспериментально обнаруженные  $N$  в среднеширотной D-области ионосферы примерно через 10-15 мин после старта КА могут быть связаны с генерацией МГД-возмущений в ионосфере, 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 мощных удаленных землетрясений и сильных гроз (см., [12 – 13]). Возмущения  $N$  через 45-50 мин после старта КА, по-видимому, связаны с включением корректирующих двигателей ракет. Маловероятно, что такие значительные возмущения связаны с распространением волн в нижней ионосфере. Более вероятно, что они вызваны пульсирующими потоками частиц из магнитосферы. Эти процессы высыпаний могут быть стимулированы включением корректирующих двигателей ракет. По методике [14] на основе механизма о высыпании высокоэнергичных частиц для обсуждаемых экспериментов оценим параметры потоков электронов. По величине электронной концентрации в невозмущенных  $N_0$  и возмущенных  $N$  условиях оценивались скорости ионизации  $q_0 = \alpha_0 N_0^2$ ,  $q = \alpha N^2$ . Если пренебречь распределением высыпающихся частиц по энергиям, то плотность потока мощности частиц  $P_1 \approx 2\varepsilon_i \Delta z \Delta q$ , где  $\Delta q = q - q_0$ ,  $\varepsilon_i \approx 35$  эВ – энергия, затрачиваемая на один акт ионизации,  $\Delta z$  – диапазон высот, где эффективно поглощается поток частиц данной энергии  $\varepsilon$ . Будем полагать  $\Delta z = 10$  км. С другой стороны параметр  $P_1$  связан с потоком частиц  $p$ :  $P_1 = \varepsilon p$ . Имея  $P_1$  можно оценить мощность и энергию частиц высыпающихся на площади  $S$ :  $P = P_1 S$ ,  $E = P \Delta T$ , где  $\Delta T$  – длительность высыпаний. Методика оценки параметров потока частиц сводится к вычислению  $\Delta q$ , затем –  $P_1$ ,  $p$ ,  $P$  и  $E$ . Результаты расчетов приведены в таблице. В расчетах принимали  $S = 10^{14} \text{ м}^2$  и полагали, что наиболее эффективно воздействуют на плазму в D-области потоки электронов с  $\varepsilon > 40$  кэВ.

Таблица. Параметры потоков электронов

Дата	05.06.2000	20.11.1998	26.02.2001	13.08.1998	24.10.1998	18.04.2001
$z$ , км	84	87	81	93	84	84
$N_0$ , $\text{м}^{-3}$	$2.0 \times 10^8$	$10 \times 10^8$	$8.5 \times 10^8$	$20 \times 10^8$	$5.0 \times 10^8$	$3.6 \times 10^8$
$N$ , $\text{м}^{-3}$	$4.2 \times 10^8$	$16 \times 10^8$	$1.9 \times 10^9$	$35 \times 10^8$	$11.5 \times 10^8$	$9.0 \times 10^8$
$\Delta q$ , $\text{м}^{-3} \text{с}^{-1}$	$9.5 \times 10^5$	$3.2 \times 10^6$	$2.7 \times 10^7$	$1.6 \times 10^6$	$8.7 \times 10^6$	$5.0 \times 10^6$
$P_1$ , Дж $\text{м}^{-2} \text{с}^{-1}$	$3.2 \times 10^{-6}$	$1.1 \times 10^{-5}$	$9.2 \times 10^{-5}$	$5.4 \times 10^{-6}$	$3.0 \times 10^{-5}$	$1.7 \times 10^{-5}$
$p$ , $\text{м}^{-2} \text{с}^{-1}$	$2.1 \times 10^8$	$9.2 \times 10^8$	$2.1 \times 10^9$	$4.5 \times 10^8$	$2.1 \times 10^9$	$1.1 \times 10^9$
$\varepsilon$ , МэВ	0.1	0.08	0.15	0.08	0.1	0.1
$P$ , Вт	$3.2 \times 10^8$	$1.1 \times 10^9$	$9.2 \times 10^9$	$5.4 \times 10^8$	$3.0 \times 10^9$	$1.7 \times 10^9$
$E$ , Дж	$7.7 \times 10^{11}$	$13 \times 10^{12}$	$2.8 \times 10^{13}$	$6.5 \times 10^{11}$	$5.4 \times 10^{12}$	$3.1 \times 10^{12}$
$\Delta T$ , с	$2.4 \times 10^3$	$1.2 \times 10^3$	$3.0 \times 10^3$	$1.2 \times 10^3$	$1.8 \times 10^3$	$1.8 \times 10^3$

Оказалось, что наблюдаемые квазипериодические вариации  $N$  в нижней ионосфере могут быть вызваны пульсирующими потоками электронов с  $p \sim 10^8 - 10^9 \text{ м}^{-2} \text{с}^{-1}$  с энергией  $10^2 - 10$  кэВ. Такие значения потоков электронов сходны по величине с их значениями в периоды возмущений другой природы и не представляются большими в условиях среднеширотной ионосферы. В высоких широтах, как известно, значения  $p$  на несколько порядков больше.

### Заключение

Таким образом, ракеты средней и большой мощности способны производить кратковременные пульсирующие возмущения концентрации электронов в нижней ионосфере на расстояниях до нескольких тысяч км и более. По-видимому, эти эффекты вызваны стимулирован-

ными пульсирующими потоками электронов из магнитосферы в нижнюю ионосферу Земли с энергией  $\sim 10^2$ - $10$  кэВ с значениями потоков  $p \sim 10^8$ - $10^9$  м<sup>-2</sup>с<sup>-1</sup>. Эти процессы высыпаний могут быть стимулированы включением корректирующих двигателей ракет.

Авторы благодарят Гритчина А.И. за помощь в проведении экспериментов и Гармаша К.П. за программу расчета профилей  $N(z)$  с применением алгоритма регуляризации.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Booker H.G. A local reduction of F-region ionization due to missile transiht // J. Geophys. Res. – 1961. – V. 66, No.4. – P. 1073 – 1077.
2. 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, вып.2. – С. 266 – 277.
3. Капанин И.И., Костров Л.С., Леус С.Г. и др. Комплексные радиофизические исследования крупномасштабных и глобальных возмущений параметров ионосферы и вариации характеристик радиоволн // В кн:ХУІ Всес. конф. по распространению радиоволн.Тез. докл., ч.1, Харьков. – 1990. – С. 56.
4. Gritchin A.I., Dorohov V.L., Kapanin I.I. et al. Complex radiophysical investigations of ionospheric disturbances caused by launches and flights of spacecraft.// В сб. трудов междунар. семинара "Физика космической плазмы", июнь, 1993 г. Киев. – 1994. – С. 161.
5. Мисюра В.А., Пахомова О.В., Пивень Л.А., Черногор Л.Ф. О возможности исследования эпизодических кратковременных возмущений в нижней ионосфере при помощи метода вертикального зондирования // Геомагнетизм и аэрномия. – 1987. – Т. 27, №4. – С. 677 – 679.
6. Гармаш К. П., Костров Л. С., Розуменко В. Т., Тырнов О. Ф., Цымбал А. М., Черногор Л. Ф. Глобальные возмущения ионосферы, вызванные стартом ракеты, на фоне магнитной бури // Геомагнетизм и аэрномия. – 1999. – Т. 39, № 1. – С. 72 – 78.
7. Костров Л.С., Розуменко В.Т., Черногор Л.Ф. Доплеровское радиозондирование возмущений в средней ионосфере, сопровождающих старты и полеты космических аппаратов // Радиофизика и радиоастрономия. – 1999. – Т.4, № 3. – С. 227 – 246.
8. Гармаш К. П., Розуменко В. Т., Черногор Л. Ф. Вариации статистических характеристик частично-отраженных радиосигналов после запусков мощных ракет. // XIX Всероссийская конференция "Распространение радиоволн". Тез.докл. Казань, 22–25 июня 1999. С. 357–358.
9. Бурмака В. П., Костров Л. С., Черногор Л. Ф. Статистические характеристики сигналов доплеровского ВЧ радара при зондировании средней ионосферы, возмущенной стартами ракет и солнечным терминатором // Радиофизика и радиоастрономия. – 2003. – №2. – С.143 – 162.
10. Tyrnov O.F., Garmash K.P., Gokov A.M. et al. The Radiophysical Observatory for Remote Sounding of the Ionosphere // Turkish Journal of Physics. – 1994. – V.18, No11. – P. 1260 – 1265.
11. Гармаш К.П. Регуляция обратной задачи в методе частичных отражений // Вестник Харьковского госуниверситета. Радиофизика и электроника. – 1991. – № 355. – С. 61 – 64.
12. Gokov A.M., Tyrnov O.F. Experimental investigations of electron density variations in the middle latitude ionospheric D-region during remote strong earthquakes // Telecommunications and Radio Engineering. – 2001. – V. 55, No 5. – P. 8 – 15.
13. Gokov A.M., Tyrnov O.F. Experimental investigations of strong thunderstorms having effects on the middle latitude ionospheric D-region parameters // Telecommunications and Radio Engineering. – 1999. – V. 53, No 7 – 8. – P. 6 – 12.
14. Chernogor, L.F., K.P. Garmash, and V.T. Rozumenko, Flux parameters of energetic particles affecting the middle latitude lower ionosphere // Радиофизика и радиоастрономия. – 1998. – Т. 3, №2. – С. 191 – 197.