

Научное издание

**ТРУДЫ
XXIV ВСЕРОССИЙСКОЙ НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ**

**РАСПРОСТРАНЕНИЕ
РАДИОВОЛН**

РРВ-24, Иркутск, 29 июня – 5 июля 2014 г., Т. I

Научный редактор Куркин В.И.
Технические редакторы Амбаева И.Г., Купрякова Н.В., Никонова М.В.

Статьи приводятся в авторской редакции

Сдано в набор 02.06.2014. Подписано к печати 05.06.2014
Формат 60×90 1/8. Гарнитура *Times New Roman*
Усл. печ. л. 39.5. Уч.-изд. л. 47.4. Тираж 55. Заказ № 155

*Отпечатано в издательском отделе ИСЗФ СО РАН,
664033, Иркутск, а/я 291,
и в БМБШ ГОУ ВПО «ИГУ»,
664001, Иркутск, ул. Карла Маркса, 1*

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РЕАКЦИИ СРЕДНЕШИРОТНОЙ D-ОБЛАСТИ ИОНОСФЕРЫ НА ПРОХОЖДЕНИЕ АТМОСФЕРНОГО ФРОНТА

А.М. Гоков^{1,2}

¹*Харьковский национальный экономический университет им. С. Кузнеця,*

²*Харьковский национальный университет им. В.Н. Каразина,*

61166, Украина, г. Харьков, пр. Ленина, 9а,

E-mail: amg_1955@mail.ru

Установлено, что во время прохождения атмосферного фронта наблюдаются квазипериодические изменения амплитуд частично отраженных от неоднородностей среднеширотной D-области КВ-сигналов и радишумов в течение десятков минут, обусловленные прохождением инфразвуковых волн. Установлено, что на высотах $z < 80$ км значения концентрации электронов оказались заниженными в 1.2–2.2 раза по сравнению с контрольными днями. Механизм такого снижения $N(z, t)$ представляется в воздействии тропосферного возмущения посредством сложной цепочки процессов, включающих как динамический канал, так и канал перераспределения малых составляющих.

EXPERIMENTAL INVESTIGATIONS OF THE RESPONSE OF MIDLATITUDE IONOSPHERIC D-REGION TO ATMOSPHERIC FRONT PASSAGE

A.M. Gokov

It was experimentally found that about in half of cases of atmospheric front (AF) passages quasi-periodic changes in partially reflected radiosignals and radionoisises take place, due to the passage of infrasonic waves. It was also established that during the passage of AF in the bottom of the D-region ($z < 80$ km) electron density values $N(z, t)$ were underestimated by a factor of 1.2–2.2 as compared with control days. The mechanism of this decrease of $N(z, t)$ is represented in the effects of tropospheric disturbances through a complex chain of processes that affect the dynamic channel and channel redistribution of minor constituents.

Введение

Естественные возмущения в нижней ионосфере, вызываемые, например, сильными землетрясениями, солнечным терминатором, вулканами, сильными грозами, мощными атмосферными явлениями, затмениями Солнца и др., в настоящее время изучены еще недостаточно. Они часто оказывают существенное влияние на атмосферу и ионосферу Земли и поэтому представляют значительный интерес для понимания физики ионосферы и решения целого ряда прикладных задач радиосвязи, радионавигации и т. д. Для изучения явлений, возникающих в этих случаях в нижней ионосфере, в последние десятилетия наиболее часто применяется метод частичных отражений (ЧО) (см., напр., [1–3]). Обусловлено это приемлемой точностью получения сведений о высотновременные вариации основных параметров нижней ионосферы и радишумов, возможностью проводить непрерывные длительные (десятки часов – сутки) наблюдения с временным разрешением единицы – десятки секунд – единицы минут и разрешением по высоте $\Delta z = 1.5–3$ км. Это выгодно отличает метод ЧО от других методов исследования нижней ионосферы. Как известно, естественные возмущения имеют очень широкий диапазон продолжительности: единицы секунд – десятки часов.

Цель работы

На основании банка данных, полученных в 2000–2010 гг. методом ЧО на аппаратуре ХНУ им. В.Н. Каразина [4] вблизи г. Харькова изучить отклик среднеширотной D-области на прохождение мощного атмосферного фронта (АФ).

Решаемые задачи

Экспериментальное исследование изменений амплитуд ЧО КВ-сигналов, радишумов и концентрации электронов в среднеширотной D-области в период прохождения АФ.

Краткие сведения об экспериментах

Поведение концентрации электронов N на разных высотных уровнях z в среднеширотной D-области ионосферы рассматривалось в периоды до, во время и после прохождения теплого и

холодного атмосферных фронтов (АФ) в разные сезоны года. Циклы непрерывных наблюдений методом ЧО составляли 3–3.5 сут. Их число составило 8. Краткие сведения о них приведены в таблице. В экспериментах регистрировались высотно-временные изменения амплитуд ЧО сигналов $A_{so,x}(z, t)$ и шумов $A_{no,x}(t)$ для обыкновенной "о" и необыкновенной "х" магнитоионных компонент. Высотные профили концентрации электронов $N(z)$ получены на временных интервалах 10 мин с погрешностью <30 % с использованием методики [2].

Сведения об экспериментах

Время наблюдений, (LT, непрерывно) и время прохождения АФ, (LT)			
10–12.04.2001	11.04.2001: 11.20–14.20	02–03.02.2005	02.02.2005: 10.30–14.00
16–19.11.2001	17.11.2001: 09.00–14.00	10–12.05.2006	11.05.2006: 10.30–14.00
27–30.10.2004	29.10.2004: 11.00–14.30	07–09.02.2007	08.02.2007: 08.00–15.00
30.03–3.04.2004	02.04.2004: 09.00–14.00	20–23.03.2007	22.03.2007: 11.30–14.30

Отметим, что наблюдения выполнялись в спокойных гелиогеомагнитных условиях. Времена начала и окончания прохождения АФ определены с точностью ~10–30 мин. Временные интервалы начала и спада АФ составляли десятки минут и более. Временные параметры АФ определялись по метеорологическим показателям (изменениям температуры и давления атмосферного воздуха, направлению и скорости ветра), измеряемым вблизи поверхности Земли. Сведения о гелиогеомагнитных условиях и параметры АФ полученные по сети Интернет и в Харьковском гидрометеоцентре. В эксперименте 30.03–03.04.2004 г. температура воздуха и атмосферное давление измерялись с дискретностью 1 час в пункте наблюдений (их сопоставление с данными, полученными в гидрометеоцентре, не выявило существенных различий).

Результаты исследований

На рис. 1, а приведены временные изменения концентрации электронов N на разных высотных уровнях в среднеширотной D-области в периоды до, во время и после прохождения теплого (11.05.2006 г.) и холодного 22.03.2007 г.) атмосферных фронтов в разные времена года (в относительных единицах).

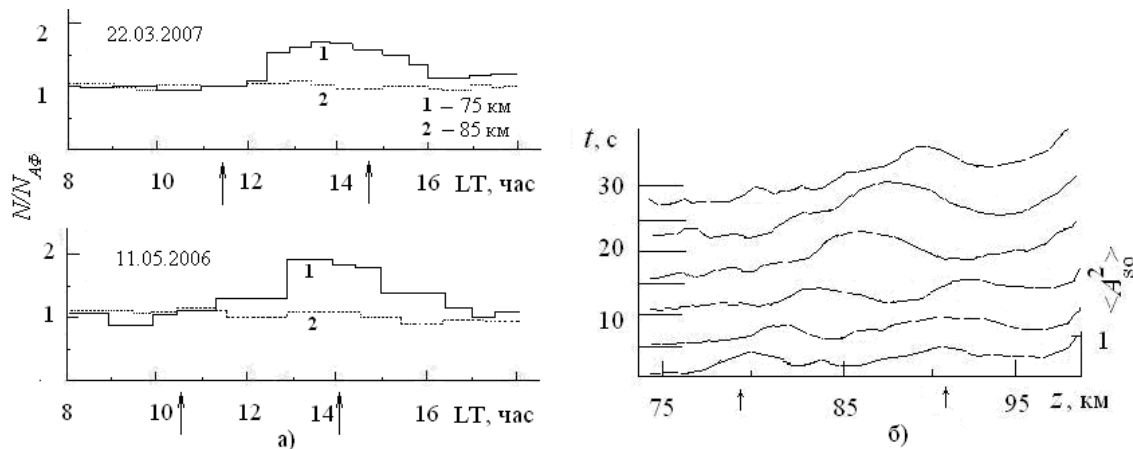


Рис. 1. Временные изменения концентрации электронов на разных высотных уровнях в среднеширотной D-области в периоды АФ 11.05.2006 г. и 22.03.2007 г. (а) (стрелками указаны периоды атмосферных фронтов) и пример высотно-временных профилей $\langle A_{so}^2 \rangle$, (б).

Для сравнения взято отношение $N/N_{AФ}$, усредненных за 30 мин значений $N(z, t)$, полученных в контрольные дни N и в дни прохождения АФ $N_{AФ}$.

Анализ экспериментальных данных показал, что основные особенности высотно-временных изменений $A_{so,x}(z, t)$, $A_{no,x}(t)$ и $N(z, t)$ сводятся к следующему:

1) При прохождении АФ и в течение 1–5 ч после (иногда и больше, но идентификация затруднена воздействием солнечного терминатора) нестационарность ЧО-сигналов и радишумов заметно больше, чем в периоды до прохождения фронтов;

2) Примерно в половине рассмотренных случаев выявлены некоторые различия в поведении $A_{so, x}(z, t)$ при прохождении АФ в отличие от времени до и после него: наблюдаются квазипериодические изменения $A_{so, x}(z, t)$ в течение десятков минут. При этом имеет место перемещение такого процесса по высоте. Как показал анализ первичных регистраций ЧО-сигналов, предполагаемая скорость перемещения процесса составляла $\sim 350\text{--}340$ м/с. На рис. 1, б приведен пример высотно-временных профилей $\langle A_{so}^2 \rangle$, каждый из которых получен в эксперименте 22.03.2007 г. (13.10–13.20 LT) при прохождении АФ усреднением по 50 реализациям (за 5 с). Были установлены особенности, не наблюдавшиеся до прохождения АФ. Отчетливо видно смещение по высоте со временем (в течение 30 с) на 12–13 км максимального значения $\langle A_{so}^2 \rangle$. Подобная картина имеет место и для $\langle A_{sx}^2(z, t) \rangle$. Оцениваемая вертикальная скорость перемещения возмущения $V \approx 350$ м/с. Отметим, что подобные изменения наблюдались ранее в периоды сильных гроз (см., например [3]). При спектральной обработке зависимостей $A_{so, x}(z, t)$ (проведена для высот $z=75\text{--}93$ км, см. пример на рис. 2 установлено заметное увеличение энергии спектральной составляющей на частоте $f \approx 0.5$ Гц, что соответствует инфразвуковому диапазону. Следует отметить, что в фоновых измерениях в контрольный день подобных изменений не отмечено (как и в ряде других экспериментов в невозмущенных условиях);

3) Как видно из рис. 1, а на высотах нижней части D-области ($z < 80$ км) значения N оказались заниженными по сравнению с контрольными днями. Занижение составило в 1.3–2.2 раза. Наиболее вероятным механизмом такого снижения N видится воздействие возмущения в тропосфере с помощью сложной цепочки, которое осуществляется как через динамический канал (горизонтальный и вертикальный массовый перенос), так и через канал перераспределения малых составляющих (например, O_3). Уменьшение электронной концентрации в нижней части D-области, вероятно, обуславливается увеличением концентрации отрицательных ионов;

4) В верхней части D-области заметных различий в поведении $N(z, t)$ не установлено.

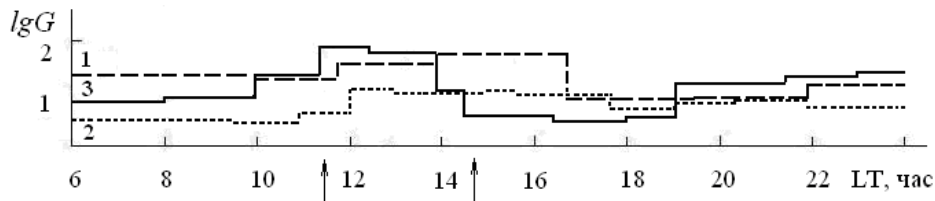


Рис. 2. Временные зависимости спектральной плотности для $A_{so}(z, t)$, полученные при прохождении атмосферного фронта (отмечено стрелками) методом ЧО 22.03.2007 г., кривые соответствуют следующим высотным уровням: 1 – $z=75$ км; 2 – $z=84$ км; 3 – $z=93$ км ($f=0.5$ Hz)

Обсуждение

Влияние атмосферного возмущения на нижнюю ионосферу через всю сложную цепочку взаимодействий осуществляется сравнительно быстро (порядка сотен минут – нескольких часов и, возможно, быстрее). Исходя из результатов наземного искусственного акусто-электромагнитного (сравнительно маломощного) нарушения ионосферы (практически «мгновенного») [5], можно считать, что такая возможность «быстрого» нарушения существует и в рассмотренных естественных условиях. Однако необходим детальный анализ по уточнению каналов такого влияния на поведение нижней ионосферы. Известно, что центральную роль в динамике и энергетике атмосферы и ионосферы играют атмосферные гравитационные волны (АГВ): акустические волны (АВ), периоды которых менее 5 мин и длины волн менее 100 км, и внутренние гравитационные волны (ВГВ) с характерными периодами от 5 мин до 3 час и длинами волн более 100 км. Проникая на высоты ионосферы, АГВ проявляют свои свойства в виде перемещающихся ионосферных возмущений (ПИВ). В ионосфере наблюдаются два вида ПИВ [6]:

1) среднемасштабные, которые распространяются со скоростью 100–250 м/с (меньше скорости звука в нижней атмосфере), их периоды варьируются от 15 мин до 1 ч, горизонтальная их длина составляет $\sim 10\text{--}100$ км, вертикальные длины – не более десятка километров;

2) крупномасштабные, которые распространяются со скоростью 400–1000 м/с (сравнимо со скоростью звука на этих высотах), их периоды варьируются от 30 мин до 3 ч, горизонтальная длина волны больше 1000 км. Источниками волновых возмущений, распространяющихся снизу в верхнюю атмосферу и ионосферу, могут быть: тропосферные циклоны, фронтальные системы, струйные течения, полярная и экваториальная токовые системы, солнечный терминатор, ураганы, грозы, ядерные испытания, землетрясения, извержения вулканов, сверхзвуковой полет ракет и т. д. Волновой механизм является одним из эффективных механизмов взаимодействия между слоями атмосферы и влияния на ионосферу со стороны нижних слоев атмосферы. Возмущения атмосферы возбуждают широкий пространственно-временной спектр АВ и ВГВ. Эти волны расходятся от источника возмущения в разных направлениях с разными скоростями благодаря дисперсии и фильтруются по мере их распространения в атмосфере. Как показывают исследования, над местом возмущения наблюдаются АВ, а на больших расстояниях, в основном, ВГВ [7]. Поэтому помимо контроля гелио – и геомагнитной обстановки при анализе эффектов проявления волновых возмущений в ионосферных параметрах необходимо учитывать метеорологическую обстановку в исследуемом регионе, так как прохождение АФ также могут быть источниками ВГВ, о чем свидетельствуют приведенные в результаты.

Выводы

1. Экспериментально изучены основные особенности высотно-временных изменений амплитуд ЧО-сигналов и радишумов и концентрации электронов в среднеширотной D-области ионосферы во время прохождения атмосферных фронтов. Установлено, что примерно в половине случаев при прохождении фронта в отличие от времени до и после него, наблюдаются квазипериодические изменения амплитуд ЧО-сигналов и радишумов в течение десятков минут, обусловленные прохождением инфразвуковых волн. При этом имело место перемещение такого процесса по высоте с кажущейся скоростью ~350–340 м/с.

2. Установлено, что в нижней части D-области ($z < 80$ км) значение электронной концентрации оказались заниженными в 1.3–2.2 раза по сравнению с контрольными днями. Механизм такого снижения $N(z, t)$ представляется в воздействии тропосферного возмущения с помощью сложной цепочки процессов, затрагивающих как динамический канал, так и канал перераспределения малых составляющих.

ЛИТЕРАТУРА

1. Беликович В.В., Вяхирев В.Д., Калинина Е.Е. и др. Исследование D-области ионосферы методом частичных отражений весной 2004 г. на средних и высоких широтах // Геомагнетизм и аэрномия. 2006. Т. 46, № 2. С. 229–233.

2. Гармаш К.П., Черногор Л.Ф. Профили электронной концентрации D-области ионосферы в спокойных и возмущенных условиях по данным частичных отражений // Геомагнетизм и аэрномия. 1996. Т. 36, № 2. С. 75–81.

3. Гоков А.М., Тырнов О.Ф. Экспериментальные исследования влияния сильных гроз на параметры среднеширотной D-области ионосферы // Геомагнетизм и аэрномия. 1998. Т. 38, № 1. С. 184–188.

4. Tyrnov O.F., Garmash K.P., Gokov A.M., et al. The Radiophysical Observatory for remote sounding of the ionosphere // Turkish J. Phys. 1994. V. 18, № 11. P. 1260–1265.

5. Rapoport V.O., Besspalov P.A., Mittyakov N.A. Feasibility study of ionospheric perturbations triggered by monochromatic infrasonic waves emitted with a ground-based experiment // J. Atmos. Solar Terr. Phys. 2004. V. 66. P. 1011–1017.

6. Носке К., Schlegel K. A review of atmospheric gravity waves and travelling ionospheric disturbances: 1982–1995 // Ann. Geophys. 1996. V. 14. P. 917–940.

7. Куницын В.Е., Сураев С.Н., Ахмедов Р.Р. Моделирование распространения акустико-гравитационных волн в атмосфере для различных поверхностных источников // Вестник Моск. ун-та. Серия 3. Физика. Астрономия. 2007. № 2. С. 59–63.