

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ АНИЗОТРОПИИ МЕЛКОМАСШТАБНЫХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ В F-ОБЛАСТИ СРЕДНЕШИРОТНОЙ ИОНОСФЕРЫ

Н.Ю. Романова

Полярный геофизический институт КНЦ РАН, Мурманск, Россия, 183010
e-mail: Romanova@pgi.ru

Аннотация. В настоящей работе показано, что мелкомасштабные неоднородности в F-области среднеширотной ионосферы анизотропны. Они вытянуты преимущественно вдоль геомагнитного поля (α) и в некотором направлении перпендикулярно геомагнитному полю (β). Показано, что параметры α и β мелкомасштабных неоднородностей в средних широтах имеют сходство с соответствующими параметрами мелкомасштабных неоднородностей в высоких широтах.

1. Введение

Известно, что мелкомасштабные неоднородности в F-области ионосферы (от нескольких сотен метров до первых километров) вытянуты вдоль геомагнитного поля. В работе [Livingston et al., 1982] дана их классификация по соотношению осей. Приведены типы неоднородностей: стержни (rods, соотношение осей a:1:1), крылья (winds, a:b:1, a>b) и листы (sheets, a:a:1). Приведены соотношения осей: 5:1:1, 15:1:1 и 10:10:1. Предполагается, что наблюдение стержней более вероятно в высоких широтах, а наблюдение крыльев и листов – в средних широтах. В работе [Moorcroft and Arima, 1972] показано, что неоднородности вытянуты также перпендикулярно магнитному полю в направлении «север-юг». В работах [Fejer and Kelley, 1980; Fremouw et al., 1978] показано, что неоднородности вытянуты в направлении «запад-восток».

С использованием метода [Tereshchenko et al., 1999], разработанного в Полярном геофизическом институте, в работе [Козлова, 2002] определены параметры неоднородностей в высокоширотной F-области. Вытянутость неоднородностей вдоль геомагнитного поля α меняется от 10 до 100-150. Вытянутость перпендикулярно геомагнитному полю β меняется от 3 до 30-40. Ориентация поперечной анизотропии Ψ_A меняется от 1° до 178° и соответствует направлению дрейфа плазмы $E \times B$ в F-области [Tereshchenko et al., 2000; Tereshchenko et al., 2005; Tereshchenko et al., 2008].

Цель данной работы: 1) изучить особенности амплитудных сцинтилляций спутникового сигнала, прошедшего через среднеширотную ионосферу и принятого наземными станциями в г. Острогжск ($50.87^\circ N$, $39.06^\circ E$), г. Ростов-на-Дону ($47.21^\circ N$, $39.70^\circ E$) и г. Сочи ($43.58^\circ N$, $39.77^\circ E$); 2) исследовать применимость к экспериментальным данным теоретической модели трехмерно-анизотропных неоднородностей; 3) численно определить параметры мелкомасштабных неоднородностей.

2. Наблюдения

2.1 Особенности амплитудных сцинтилляций спутникового сигнала, прошедшего через среднеширотную ионосферу

В настоящей работе использован весь объем данных амплитудных сцинтилляций, полученных в период с июня 2008 по март 2012 гг. Это было необходимо для достоверного определения параметров мелкомасштабных неоднородностей, поскольку спутниковый сигнал, прошедший через среднеширотную ионосферу, имеет ряд особенностей.

Первая особенность касается степени интенсивности и продолжительности сцинтилляций. Амплитудные сцинтилляции присутствуют в сравнительно небольшой части от всего количества регистраций спутникового сигнала. Хорошо заметные и продолжительные сцинтилляции наблюдались преимущественно в ночное время суток.

Вторая особенность состоит в том, что даже при наличии сцинтилляций не всегда можно было применить метод для определения параметров неоднородностей. В итоге, если общее количество регистраций на каждой станции исчислялось тысячами, количество регистраций с амплитудными сцинтилляциями исчислялось уже сотнями, то количество регистраций, позволяющих определить параметры неоднородностей, исчислялось только десятками: Острогжск – 64, Ростов-на-Дону – 32, Сочи – 32.

Третья особенность состоит в четкой локализации сцинтилляций вблизи геомагнитного зенита приемной станции или на некотором удалении от него. Возможно, это обусловлено ракурсными свойствами, т.е. вытянутостью неоднородностей вдоль геомагнитного поля. Редки случаи, когда на протяжении всей регистрации наблюдались интенсивные и сложные сцинтилляции, как это происходит в высоких широтах.

2.2 Оценка применимости метода в среднеширотной ионосфере

Опишем кратко основные этапы метода определения параметров неоднородностей [Tereshchenko et al., 1999] на примере спутникового сеанса в Ростове-на-Дону 24 июня 2010 г. с началом регистрации в 19:20 UT.

При прохождении спутникового сигнала через ионосферу со статистически равномерно распределенными неоднородностями с постоянными параметрами происходит ракурсное усиление сцинтилляций в близкой к зениту зоне наземного приемника. Графическое представление вычисленных значений логарифма относительной амплитуды спутникового сигнала в широтном профиле имеет максимум, в несколько раз превышающий уровень фона (рис. 1).

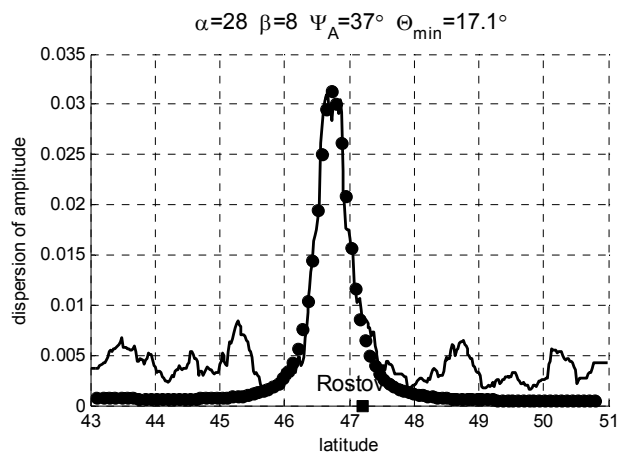


Рисунок 1. Экспериментальная (сплошная линия) и теоретическая (кружки) кривая дисперсии логарифма относительной амплитуды

Для численного определения параметров ионосферных неоднородностей выведены соотношения, связывающие амплитуду сигнала, рассеянного на анизотропных неоднородностях, с параметрами этих неоднородностей. Графическое представление этих теоретических расчетов также имеет вид максимума. Аппроксимация экспериментального графика дисперсии теоретической моделью и минимизация различий между этими кривыми достигается путем подбора оптимальных значений α , β и Ψ_A , что и позволяет определить параметры неоднородностей (для рассматриваемого случая значения параметров приведены в заголовке рисунка). Минимальный угол с магнитным полем $\Theta_{\min}=17.1^\circ$ (минимальный угол из всех значений углов, образуемых между перемещающимся спутником и магнитным полем в точке наблюдения).

Критерий применимости метода состоит, во-первых, в наличии максимума в графике дисперсии логарифма относительной амплитуды. Во-вторых, величина этого максимума не должна превышать значения 0.3, поскольку расчеты теоретической модели рассеивающих неоднородностей сделаны в рамках приближения Рытова [Рытов и др., 1978].

Исследование амплитудных сцинтилляций в средних широтах показало, что уровень дисперсии превысил данное значение только в четырех случаях. Аппроксимация экспериментальных экстремумов теоретическими кривыми для всех случаев выборки также оказалась успешной. Выполнение критериев и успешная аппроксимация позволяют сделать вывод, что разработанный в ПГИ метод исследования неоднородностей по данным амплитудных сцинтилляций применим для среднеширотной ионосферы.

2.3 Определение параметров мелкомасштабных неоднородностей

Определение параметров анизотропии α , β и Ψ_A во всех случаях, когда в графике дисперсии амплитуды присутствовал изолированный максимум (графа 4 таблицы 1), показало, что неоднородности в F-области поперечно-анизотропны. Соотношение параметров анизотропии определяется выражением $1 < \beta < \alpha$. Вытянутость неоднородностей вдоль геомагнитного поля α менялась от 15 до 100-120, вытянутость в перпендикулярном к магнитному полю направлении β менялась от 2-3 до 35-40. Ориентация поперечной анизотропии Ψ_A менялась от 4° до 178° . Эти величины параметров анизотропии среднеширотных неоднородностей схожи с параметрами неоднородностей высоких широт, полученными в ряде экспериментов 1995 – 2000 гг. на Кольском полуострове и в Скандинавии [Козлова, 2002].

Вывод о поперечно-анизотропных неоднородностях в F-области среднеширотной ионосферы иллюстрирован примерами (рис. 2) для различных геометрий пролета спутника относительно наблюдателя ($1 < \Theta_{\min} < 24^\circ$). График значений углов между перемещающимся спутником и магнитным полем относительно наблюдателя показан точками.

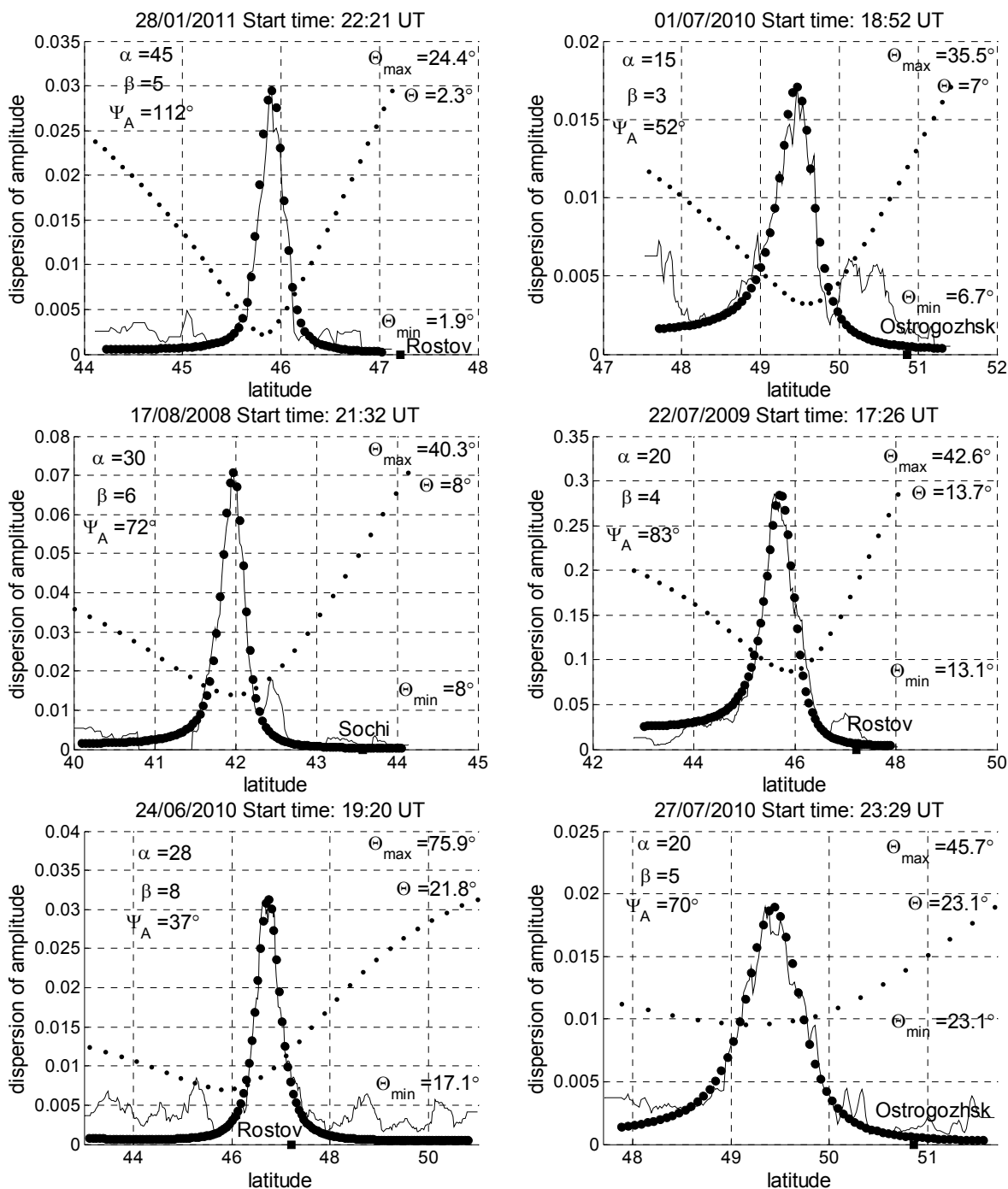


Рисунок 2. Экспериментальная (сплошная линия) и теоретическая (кружки) кривые логарифма относительной амплитуды

Несмотря на численное сходство параметров ионосферных неоднородностей в средних широтах с параметрами неоднородностей в высоких широтах, есть различия в постоянстве этих параметров в протяженных областях.

Во-первых, аппроксимация экспериментальных максимумов дисперсии амплитуды на трех станциях невозможна в рамках одной модели неоднородностей в большинстве случаев. Параметры анизотропии α , β и Ψ_A непостоянны от станции к станции.

Во-вторых, часто на одной или двух станциях высота изолированного максимума была близка к уровню фона, что не позволяло достоверно определить параметры неоднородностей.

Это свидетельствует о неоднородной структуре F-области ионосферы в средних широтах.

3. Выводы

В результате анализа сцинтилляций спутникового сигнала, прошедшего через среднеширотную ионосферу были получены следующие результаты.

Мелкомасштабные неоднородности в F-области поперечно-анизотропны. Соотношение параметров анизотропии определяется выражением $1 < \beta < \alpha$. Вытянутость неоднородностей вдоль геомагнитного поля α менялась от 15 до 100-120, вытянутость в перпендикулярном к магнитному полю направлении β менялась от 2-3 до 35-40. Соотношение $\beta:\alpha$ менялось от 1:3 до 1:10, в большинстве случаев составляло 1:7. Ориентация поперечной анизотропии Ψ_A менялась от 4° до 178° . Параметры анизотропии среднеширотных неоднородностей схожи с соответствующими параметрами неоднородностей высоких широт.

Существуют особенности, не встречавшиеся при исследовании высокоширотных неоднородностей: количество спутниковых регистраций, позволяющих определить параметры неоднородностей, невелико; параметры анизотропии неоднородностей не постоянны на различных станциях; часто области занимаемые неоднородностями локальны.

Автор благодарит сотрудников лаборатории радиопросвечивания Полярного геофизического института за проведение экспериментальных работ. Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ № 13-05-12005 ОФИ-М и № 15-05-02437 А.

Список литературы:

- Fejer B.G., Kelley M.C. Ionospheric irregularities // *Reviews of Geophysics and Space Physics*. 1980. V.18. №2. P.401 – 454.
- Fremouw E.J., Leadbrand R.L., Livingston R.C. et al. Early results from the DNA wideband satellite experiment. Complex-signal scintillation // *Radio Sci.* 1978. V.13. №1.
- Livingston R.C., Rino C.L., Owen J., Tsunoda R.T. The anisotropy of high-latitude nighttime F region irregularities // *J. Geophys. Res.* 1982. V. 87. №A12. P. 10519 – 10526.
- Moorcroft D.R., Arima K.S. The shape of the F-region irregularities which produce satellite scintillations – evidence for axial asymmetry // *J. Atmos. Terr. Phys.* 1972. V. 34. P. 437 – 450.
- Tereshchenko E.D., Khudukon B.Z., Kozlova M.O., Nygren T. Anisotropy of ionospheric irregularities determined from the amplitude of satellite signals at a single receiver // *Ann. Geophysicae*. 1999. V. 17. P. 508 - 518.
- Tereshchenko E.D., Khudukon B.Z., Kozlova M.O., Evstafiev O.V., Nygren T., Rietveld M. T., Brekke A. Comparison of the orientation of small scale electron density irregularities and F region plasma flow direction // *Ann. Geophysicae*. 2000. V. 18. P. 918 – 926.
- Tereshchenko E.D., Romanova N.Yu., Koustov A.V. Orientation of the cross-field anisotropy of small-scale ionospheric irregularities and direction of plasma convection // *Ann. Geophysicae*. 2005. V. 23. P. 1227 – 1237.
- Tereshchenko E.D., Romanova N.Yu., Koustov A.V. VHF scintillations, orientation of the anisotropy of F-region irregularities and direction of plasma convection in the polar cap // *Ann. Geophysicae*. 2008. V.26. P. 1725-1730.
- Козлова М.О. Исследование неоднородностей километрового масштаба в F-области высокоширотной ионосферы по данным о мерцаниях спутниковых радиосигналов: Дис. канд. физ.-мат. наук: 25.00.29. — М., 2002. — 120 с.
- Рытов С.М., Кравцов Ю.А., Татарский В.И. Введение в статистическую радиофизику. В 2 ч. — М.: Наука, 1978, Ч. 2. — 277 с.