

ВЛИЯНИЕ НЕОДНОРОДНОЙ СТРУКТУРЫ ВЫСОКОШИРОТНОЙ ИОНОСФЕРЫ НА ПРОХОЖДЕНИЕ КОРОТКИХ РАДИОВОЛН ВДОЛЬ МЕРИДИОНАЛЬНЫХ РАДИОТРАСС РАЗЛИЧНОЙ ПРОТЯЖЕННОСТИ

М.Ю. Андреев, Г.И. Мингалева, В.С. Мингалев

THE INFLUENCE OF THE INHOMOGENEOUS STRUCTURE OF THE HIGH-LATITUDE IONOSPHERE ON THE HF RADIO WAVE PROPAGATION ALONG THE MERIDIONAL ROUTES WITH DIFFERENT LENGTHS

M.Yu. Andreev, G.I. Mingaleva, V.S. Mingalev

Исследуется влияние крупномасштабных неоднородных образований в распределении электронной концентрации на распространение коротких радиоволн (КВ) в высокоширотной ионосфере. При помощи программы трехмерного лучевого прослеживания траекторий КВ синтезируются ионограммы наклонного зондирования (НЗ) для меридиональных радиотрасс Москва – Мурманск, Москва – магнитный полюс Северного полушария и Мурманск – магнитный полюс Северного полушария. При расчете наклонного распространения КВ используется распределение электронной концентрации, рассчитанное при помощи разработанной ранее трехмерной математической модели ионосферы и хорошо воспроизводящее в пределах геомагнитных широт 53–65° распределение электронной концентрации, полученное методом спутниковой радиотомографии. Рассчитанное распределение обнаруживает сложную неоднородную структуру в высокоширотной области. Показано, что крупномасштабные неоднородности в распределении электронной концентрации существенно влияют на характер прохождения КВ от Москвы до Мурманска и до магнитного полюса.

The influence of the large-scale inhomogeneous structures in the electron concentration distributions on the HF radio wave propagation through the high-latitude ionosphere is investigated. Utilizing a three-dimensional ray-tracing computer program, the ionograms of oblique sounding for the meridional routes Moscow – Murmansk, Moscow – Magnetic pole of the Northern hemisphere, and Murmansk – Magnetic pole of the Northern hemisphere, are synthesized. For calculating of the oblique HF propagation, the electron concentration distribution is used that computed by utilizing the three-dimensional mathematical model of the ionosphere developed earlier. This distribution corresponds well to the electron density plot constructed by the satellite radio tomography method in the geomagnetic latitude range from 53 to 65 degrees. The calculated distribution manifests the complicated and irregular structure in the high-latitude region. It is shown that the large-scale inhomogeneous structures in the electron concentration distributions influence essentially on the oblique HF propagations along the routes Moscow to Murmansk and Moscow to Magnetic pole.

В настоящей работе исследуется влияние крупномасштабных неоднородностей в распределении электронной концентрации на меридиональное распространение коротких радиоволн (КВ) в высокоширотной ионосфере. Исследование проводится при помощи численных расчетов по разработанной ранее программе трехмерного лучевого прослеживания траекторий КВ [1]. Эта программа позволяет синтезировать ионограммы наклонного зондирования (НЗ) при помощи метода «пристрелки». Согласно этому методу рассчитываются траектории лучей, испускаемые из передающего пункта при различных углах выхода и различных рабочих частотах, а затем из них выбираются те траектории, которые достигают точки приема, и по их параметрам синтезируется ионограмма НЗ.

При расчете наклонного распространения КВ мы используем распределение электронной концентрации, рассчитанное при помощи разработанной ранее трехмерной математической модели ионосферы [2]. Расчеты выполнены для момента 18:04 UT 7 апреля 1990 г., для которого имеется распределение электронной концентрации в части рассматриваемой вертикальной плоскости, ограниченной геомагнитными широтами 53° и 65°, полученное методом спутниковой радиотомографии техническими средствами ПГИ на цепочке из трех приемных пунктов (Мурманск, Кемь, Москва) и содержащее сечение главного ионосферного провала [3]. Было подобрано такое сочетание входных параметров математиче-

ской модели ионосферы, которое обеспечило хорошее совпадение рассчитанных по модели и полученных методом спутниковой радиотомографии распределений электронной концентрации в интервале геомагнитных широт 53–65°. Эти же входные параметры модели были использованы для расчета электронной концентрации в E- и F-областях ионосферы во всей вертикальной плоскости, простирающейся от магнитного полюса Северного полушария до Москвы. Рассчитанное распределение электронной концентрации (рис. 1) содержит сечения некоторых крупномасштабных неоднородных образований высокоширотной ионосферы, выявленных экспериментальным путем и часто наблюдаемых в ионосфере.

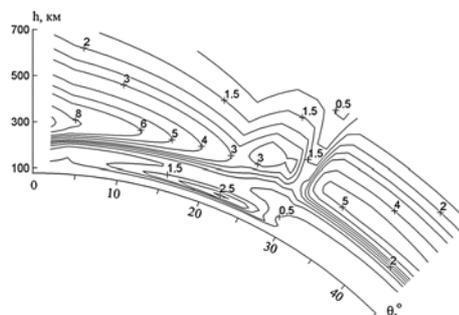


Рис. 1. Распределение электронной концентрации (в единицах 10^{11} м^{-3}), рассчитанное по математической модели для UT=18:04 7 апреля 1990 г. вдоль геомагнитного меридиана, в направлении которого вытянуты рассматриваемые радиотрассы.

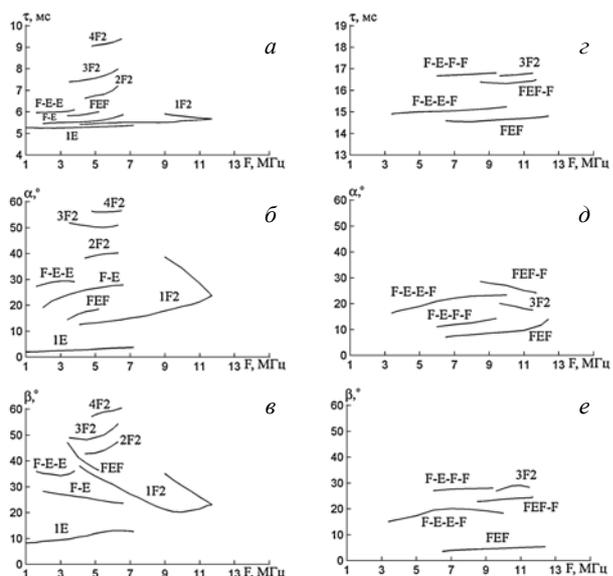


Рис. 2. Численно синтезированные ионограммы НЗ для радиотрасс Москва – Мурманск и Москва–магнитный полюс Северного полушария (а, з); рассчитанные зависимости углов выхода и прихода от частоты волны для радиотрассы Москва–Мурманск (б, в) и для радиотрассы Москва–магнитный полюс Северного полушария (д, е) для каждого из модов, присутствующих на синтезированных ионограммах.

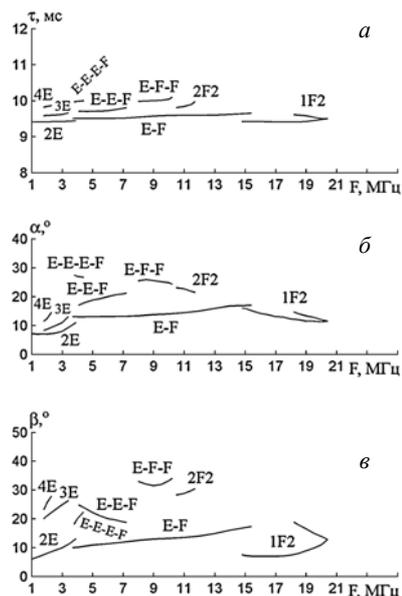


Рис. 3. Для радиотрассы Мурманск–магнитный полюс Северного полушария численно синтезированная ионограмма НЗ (а), рассчитанные зависимости углов выхода (б) и прихода (в) от частоты волны для каждого из модов, присутствующих на синтезированной ионограмме.

Используя распределение электронной концентрации, полученное при помощи математической модели ионосферы так, как описано выше, мы синтезировали ионограммы НЗ (рис. 2, а, з и рис. 3, а) и рассчитали зависимости вертикальных углов выхода (рис. 2, б, д и рис. 3, б) и прихода (рис. 2, в, е и рис. 3, в) радиолучей от частоты волны для радиотрасс Москва–Мурманск, Москва–Магнитный полюс Северного полушария и Мурманск–магнитный полюс Северного полушария, вытянутых примерно вдоль одного магнитного меридиана.

Оказалось, что из-за существенно неоднородной структуры высокоширотной ионосферы характер прохождения КВ от Москвы до Мурманска и до магнитного полюса весьма сильно различает. Если на ионограмме НЗ для трассы Москва–Мурманск (рис. 2, а) наряду с другими присутствуют следы модов 1F2 и 2F2, то на ионограмме НЗ для трассы Москва – магнитный полюс Северного полушария (рис. 2, з) этих следов нет. Это означает, что удлинение радиотрассы в сторону полюса должно приводить к ухудшению условий КВ-связи. Ионограмма НЗ, синтезированная для трассы Мурманск–магнитный полюс Северного полушария (рис. 3, а), оказалась весьма насыщенной и содержащей, в частности, следы модов 1F2 и 2F2. Поэтому для улучшения КВ-связи между находящимся вблизи Москвы передатчиком и находящимся вблизи магнитного полюса приемником может быть предложен двухступенчатый способ: сначала передавать сигналы из Москвы в Мурманск, а затем эти сигналы пересылать из Мурманска в район магнитного полюса. Применение этого способа должно существенно улучшить условия КВ-связи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мингалев В.С., Орлова М.И., Кривилев В.Н., Мингалев Г.И. О влиянии высыпаний авроральных протонов на распространение коротких радиоволн в зимней полярной ионосфере // Геомагнетизм и аэрономия. 1994. Т. 34, № 3. С. 31–37.
2. Мингалев Г.И., Мингалев В.С. Трехмерная математическая модель полярной и субавроральной ионосферы // Моделирование процессов в верхней полярной атмосфере. Мурманск: ПГИ КНЦ РАН, 1998. С. 251–265.
3. Куницын В.Е., Терещенко Е.Д., Андреева С.А. и др. Радиотомография глобальных ионосферных структур: Препринт ПГИ 90–10–78. Апатиты, 1990. 29 с.