

Методики и алгоритмы исследования полос когерентности при наклонном и транссионосферном зондировании ионосферы Земли

В.А. Иванов, Д.В. Иванов, Н.В. Рябова, М.И. Рябова, А.А. Чернов, Н.А. Конкин

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Поволжский государственный технологический университет», Республика Марий Эл, г.Йошкар-Ола, пл. Ленина, д.3, info@volgatch.net

Разработано программное обеспечение для исследования полос когерентности при наклонном и транссионосферном зондировании. Разработан и реализован алгоритм, предназначенный для создания электронных диагностических карт полос когерентности. Представлены результаты вычислительных и натуральных экспериментов.

The software for the study of the coherence band for oblique and transionospheric probing. It developed and implemented an algorithm for creating electronic maps of diagnostic strips coherence. The results of computational and natural experiments.

Введение

Развитие методов исследования неоднородностей верхней атмосферы важно для решения многих научных и практических задач, поскольку ионосфера, как среда распространения, существенным образом влияет на работу различных систем навигации, локации и связи. Влияние состояния ионосферы Земли на качество сигналов спутниковой и декаметровой связи, а также сигналов навигационных систем было давно отмечено. В связи с изменчивостью ионосферы в ее исследованиях главную роль начинают играть методы радиозондирования, позволяющие получать информацию о ее состоянии в реальном времени. Однако для их дальнейшего развития в основном требуется совершенствование методик измерений путем развития алгоритмов обработки экспериментальных данных, объединяющих в себе новые знания о протекающих процессах, математическое моделирование и цифровые методы вторичной обработки.

Цель работы: разработка методик и алгоритмов исследования полос когерентности при наклонном и транссионосферном зондировании ионосферы Земли.

Исследование полос когерентности при наклонного распространения

На первом этапе исследований решалась задача исследования ионограмм наклонного распространения, полученных в ходе натурального эксперимента, с целью определения полного электронного содержания и полос когерентности. В рамках исследований была использована параболическая модель ионосферы, описываемая уравнениями (1) [1]:

$$f_h = f_e \sqrt{1 + \frac{\left(\frac{2R_s \sin \frac{D}{2R_s}}{c\tau_e + 2R_s \left(1 - \cos \frac{D}{2R_s}\right)} \right)^2}{c\tau_e + 2R_s \left(1 - \cos \frac{D}{2R_s}\right)}}, \quad (1)$$

$$\tau_h = \left(\tau_e + \frac{2R_s}{c} \left(1 - \cos \frac{D}{2R_s}\right) \right) \sqrt{1 + \frac{\left(\frac{2R_s \sin \frac{D}{2R_s}}{c\tau_e + 2R_s \left(1 - \cos \frac{D}{2R_s}\right)} \right)^2}{c\tau_e + 2R_s \left(1 - \cos \frac{D}{2R_s}\right)}}, \quad (2)$$

где f_v - частота для вертикального распространения,
 τ_v - задержка для вертикального распространения,
 D – протяженность трассы,
 f_n - частота для эквивалентного наклонного распространения,
 τ_n - задержка для эквивалентного наклонного распространения.

Приведенные выше уравнения описывают критическую частоту слоев ионосферы и задержку при наклонном распространении.

На рис. 1 приведена ионограмма наклонного распространения, полученная с помощью ЛЧМ ионозонда ПГТУ [2].

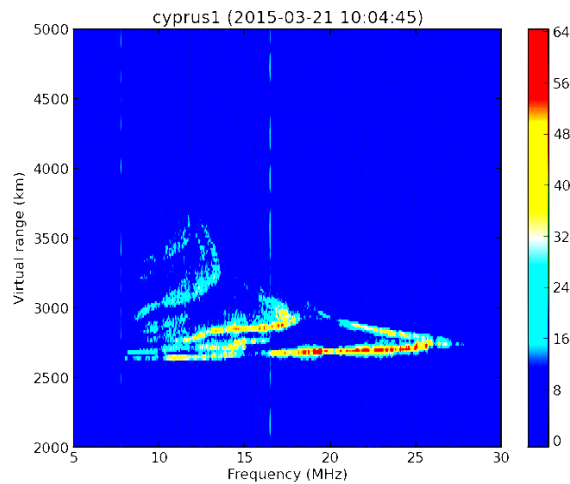


Рис.1. Ионограмма наклонного зондирования

На рис. 2. приведена структурная схема алгоритма работы программного комплекса построения модельной ионограммы.

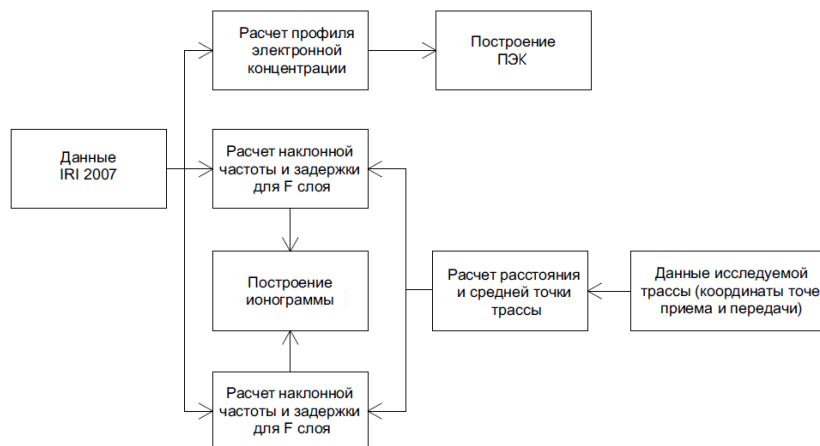


Рис. 2. Алгоритм работы программного комплекса построения модельной ионограммы.

В результате анализа ионограммы натурального эксперимента с помощью разработанного ПО строится модельная ионограмма, пример которой приведен на рис.3.

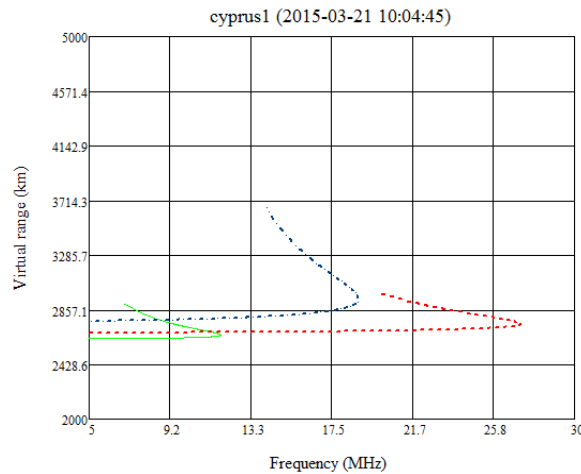


Рис. 3. Модельная ионограмма

Кроме того, в результате анализа определяются следующие параметры: профиль электронной концентрации, ПЭС, наклон дисперсионной характеристики [3].

Полоса когерентности является важным параметром, характеризующим состояние радиоканала. Она представляет собой полосу частот, на границах которой набег нелинейной составляющей фазы частотной характеристики канала равен 1 рад [4]:

$$\Delta f_K = \frac{2}{\sqrt{\pi |d\tau/df|}} \quad (3)$$

Исследование полос когерентности при трансионосферном зондировании

Для исследования полос когерентности при трансионосферном зондировании было разработано программное обеспечение, позволяющее строить карты полос когерентности (см. рис.4).

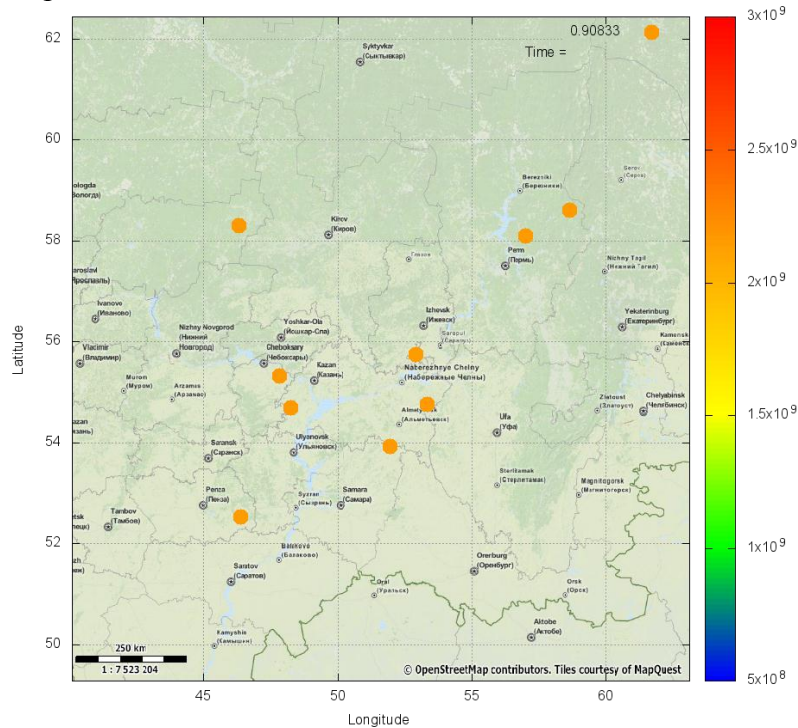


Рис. 4. Карта полос когерентности

По оси абсцисс откладывается долгота, по оси ординат широта, цветными точками отмечается место, в котором измерено значение полосы когерентности. Аналогичные карты можно построить для любой части земного шара, при наличии соответствующих данных систем ГЛОНАСС/GPS. Карта полос когерентности представляется в виде анимационного изображения в формате .gif, на котором точки динамически перемещаются и меняют цветовую гамму в зависимости от уровня ПЭС, а перемещение точек зависит от времени и координаты.

Для автоматического построения карт полос когерентности был разработан алгоритм, который реализован на языке программирования AutoIt. Данный алгоритм приведен на рисунке 5.

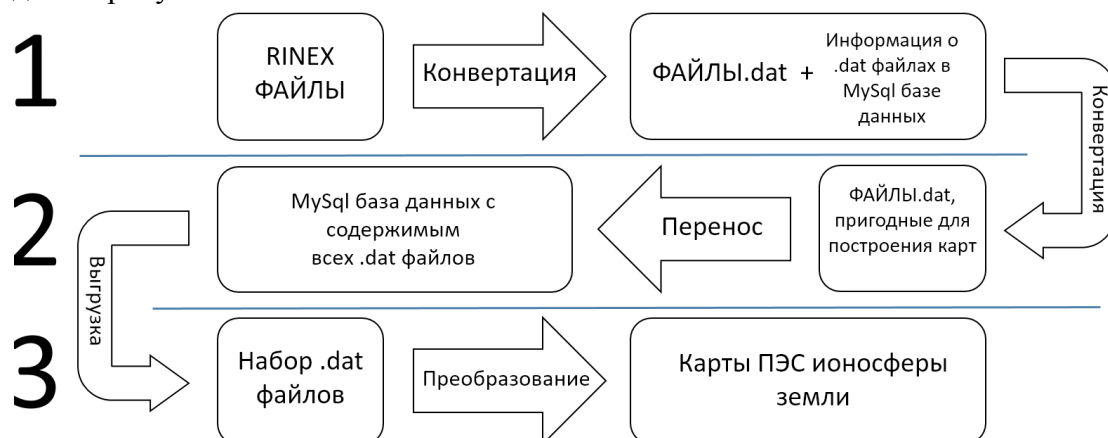


Рис. 5. Алгоритм построения электронных диагностических карт полос когерентности

Данный алгоритм основывается на данных, полученных при помощи наклонного зондирования и трансionoсферного зондирования сигналами GPS/ГЛОНАСС, информация с которых собираются в единую базу RINEX файлов.

Работа алгоритма выглядит следующим образом:

На первом этапе происходит конвертация RINEX [5] файлов в формат .dat при помощи специального программного обеспечения TecSuite и параллельно происходит запись информации о данных .dat файлах в базу данных. Запись в базу данных происходит для того, чтобы иметь полную информацию о том сколько и какие данные для создания электронных карт имеются.

На втором этапе имеющиеся .dat файлы автоматически обрабатываются при помощи специального программного обеспечения, позволяющего формировать электронные карты полного электронного содержания в виде анимационных изображений.

Программа построения электронных диагностических карт ионосферы Земли реализована на языке Auto It [6]. RINEX файлы конвертируются в формат .dat с помощью программы Auto It, которая автоматизирует работу программы TecSuite, и информация по этим данным в автоматическом режиме формируется в PostgreSQL базу данных, при помощи языка AutoIt, причем в зависимости от того существовали .dat файлы раньше или только сконвертированы в базе данных эта информация записывается под отдельными метками. Данная база данных необходима для быстрого доступа к необходимым .dat файлам и систематизации получаемой информации. Быстрый доступ к файлам осуществляется за счет специального запроса в базу данных PostgreSQL, работающего в симбиозе с языком AutoIt и PostgreSQL [7], который формирует папку с необходимыми для работы .dat файлами, причем данный запрос формируется оператором ЭВМ, в зависимости от интересующей территории

исследования и отрезка времени. Затем сформированный набор .dat файлов перерабатывается в формат необходимый для построения электронных карт полос когерентности ионосферы в автоматическом режиме за счет алгоритма, реализованного на AutoIt. Карты полос когерентности строятся по итоговой информации из .dat элементов в автоматическом режиме при помощи языка GNU Plot [8].

Выводы

Разработано программное обеспечение для исследования полос когерентности при наклонном и трансionoсферном зондировании. Разработан и реализован алгоритм, предназначенный для создания электронных диагностических карт полос когерентности. Представлены результаты вычислительных и натуральных экспериментов.

Литература

1. Lukin, D.S. Mathematical simulation of propagation of frequency-modulated radio waves in ionospheric plasma / A.S. Kryukovskii, D.S. Lukin, D.V. Rastyagaev, Y.I. Skvortsova // Journal of Communications Technology and Electronics. 2015. Т. 60. № 10. С. 1049-1057.
2. Иванов Д.В., Иванов В.А., Рябова Н.В., Елсуков А.А., Лащевский А.Р., Рябова М.И., Шалагин М.А. Ионозонд для вертикально – наклонного зондирования ионосферы и каналов КВ связи на основе технологии программно-конфигурируемых радиосистем // Материалы V Всероссийской научной конференции Армандовские чтения. - 2015. - С. 98 - 102.
3. Ясюкевич Ю. В., Мыльникова А. А., Демьянов В.В., Иванов В. А., Рябова Н. В., Зуев А. В., Рябова М.И., Кислицын А. А. Суточная динамика вертикального полного электронного содержания над городами Иркутск и Йошкар-Ола по данным GPS/ГЛОНАСС и модели IRI-2012 // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы, 2013. № 3(19). С. 18-29.
4. Иванов, В. А. Дисперсионные искажения системных характеристик широкополосных ионосферных радиоканалов: монография / В. А. Иванов, Д. В. Иванов, Н. Н. Михеева, М. И. Рябова – Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2015. – 156 с.
5. RINEX [электронный ресурс]. – режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/RINEX], открытый.
6. Языка программирования AutoIt [электронный ресурс]. – режим доступа: [https://ru.m.wikipedia.org/wiki/AutoIt], открытый.
7. Свободная реляционная система управления базами данных PostgreSQL [электронный ресурс]. – режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/PostgreSQL], открытый.
8. Свободная программа для создания двух- и трёхмерных графиков Gnuplot [электронный ресурс]. – режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Gnuplot], открытый.