

УДК 550.388.2

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБОВ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ВЫСОТНОГО ПРОФИЛЯ ЭЛЕКТРОННОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ ПО ДАННЫМ ВЕРТИКАЛЬНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ В ИРКУТСКЕ

А.Г. Ким, Г.В. Котович, С.Я. Михайлов, К.Г. Ратовский

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE DIFFERENT METHODS TO RECONSTRUCT ELECTRON DENSITY PROFILE FROM VERTICAL SOUNDING DATA IN IRKUTSK

A.G. Kim, G.V. Kotovich, S.Ya. Mikhailov, K.G. Ratovsky

В работе проведен сравнительный анализ четырех различных методов восстановления высотного профиля электронной концентрации по данным вертикального зондирования (ВЗ) ионосферы. Метод Huang-Reinisch, используемый на дигизондах, позволяет восстанавливать $N(h)$ -профиль, начиная с высоты 90 км. Широкое распространение в научной практике также получил способ восстановления $N(h)$ -профиля по методике Гуляевой. Данный способ требует полной информации обо всей высотно-частотной характеристике (ВЧХ), но при восстановлении профиля электронной концентрации в области вблизи критических частот решает задачу некорректно. Также рассматривается способ, предложенный Михайловым С.Я., в котором этот недостаток устранен. Кроме того, $N(h)$ -профиль может быть восстановлен по модели IRI, благодаря ее возможности адаптироваться по параметрам, которые могут быть получены из экспериментальной ВЧХ. Сравнение указанных способов реконструкции $N(h)$ -профиля проводилось по данным ВЗ, полученным с помощью дигизонда DPS-4 в Иркутске.

The work is devoted to comparative analysis of the four different methods to reconstruct electron density profile $N(h)$. The digisondes make good use of the Huang-Reinisch method for $N(h)$ -profile reconstruction from measured vertical sounding (VS) data. The Guliaeva technique to reconstruct $N(h)$ -profile is widely distributed in the science environment also. But this technique asks for complete height-frequency characteristics (HFC). And calculation of height maximum of the F2-layer (hmF2) in critical frequencies region requires the very small frequency step. The Mikhailov method (reducing this disadvantage in hmF2 calculation) was examined too. Among other things, the $N(h)$ -profile reconstruction can be carried out through capability of the International Reference Ionosphere model (IRI) to adapt by parameters which can be received from measured HFC. In the work comparison of the mentioned methods to reconstruct $N(h)$ -profile was carried out on evidence derived from VS data obtained by DPS-4 digisonde in Irkutsk.

Введение

Для прогноза условий распространения декаметровых радиоволн Международный научный радиосоюз (URSI) рекомендует применять модель IRI как стандартную модель ионосферы. Адаптационные возможности модели IRI [1] и возможность ее применения для расчета условий распространения радиоволн на трассах различной протяженности (в сочетании с методами расчета характеристик распространения) делают эту модель привлекательной для расчетов как максимально применимой частоты (МПЧ), так и углов прихода и групповых задержек сигнала. Параметры f_0E , f_0F2 , h_mF2 , прогнозируемые моделью, хорошо согласуются с медианными экспериментальными значениями f_0E , f_0F2 и рассчитанными значениями h_mF2 по данным вертикального зондирования (ВЗ) дигизонда и ЛЧМ-ионозонда [2, 3] с погрешностью удовлетворительной для моделей.

Кроме прогнозирования различных параметров, модель IRI также позволяет определять профиль электронной плотности $N(h)$ в любом месте и в любое время. Однако $N(h)$ -профиль по модели IRI достаточно сильно отличается от реальных значений электронной концентрации. Для более точного восстановления $N(h)$ -профиля по данным ВЗ ионосферы существует несколько способов. В данной работе было проведено сравнение трех способов восстановления $N(h)$ -профиля из экспериментальной высотно-частотной характеристики (ВЧХ) как между собой (по данным дигизонда в Иркутске), так и с моделью IRI.

Содержание работы

Реконструкция $N(h)$ -профиля в программном комплексе дигизонда осуществляется по методу Huang-Reinisch [4]. Кроме него для реконструкции $N(h)$ -профиля по ионограммам ВЗ существуют способы восстановления $N(h)$ -профиля Гуляевой Т.Л. [5, 6], Михайлова С.Я. [7] (которые были рассмотрены в работе) и другие.

Для сравнительного анализа из базы данных ВЗ в Иркутске были отобраны ионограммы дигизонда DPS-4, типичные для спокойных геомагнитных условий со слоями E, F1 и F2 ионосферы (без спорадических слоев и F-рассеяния) в течение одних суток зимы, весны и лета. По полученным в результате обработки ионограмм трекам $N(h)$ -профиль восстанавливался разными методами (рис. 1, а–в) до высоты максимума ионизации слоя F2. Модель IRI адаптировалась по критическим частотам и высотам максимума (рассчитанным по методу Huang-Reinisch), полученным в результате ВЗ ионосферы с помощью дигизонда в Иркутске.

Для оценки достоверности реконструированного $N(h)$ -профиля (из экспериментальной ионограммы ВЗ) производился обратный пересчет $N(h)$ -профиля в ВЧХ (по стандартной методике решения прямой задачи обращения $N(h)$ -профиля в ВЧХ). Пересчитанная таким образом ВЧХ (рис. 1, г–е) сравнивалась с исходными треками (эксперимент).

Из рис. 1 видно, что наибольшее расхождение профилей наблюдается в области высот от 120 км до 170 км (проблема долины при реконструкции $N(h)$ -профилей до сих пор остается актуальной). Следует

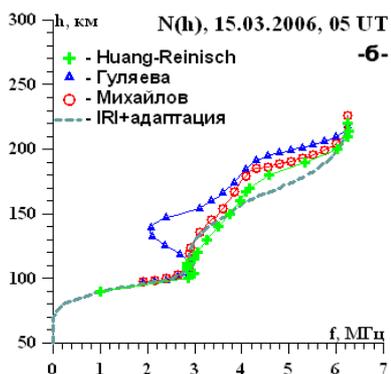
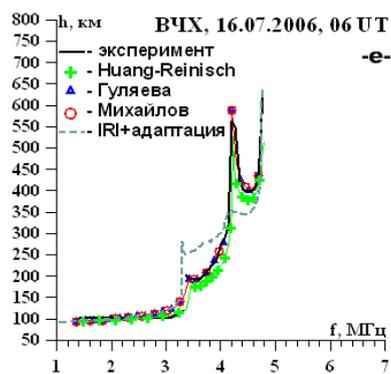
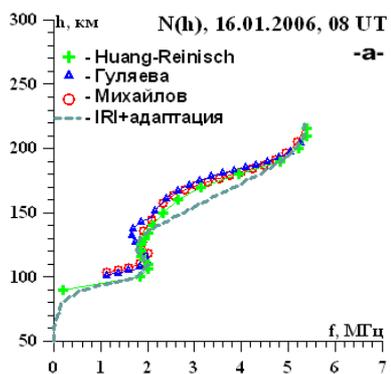
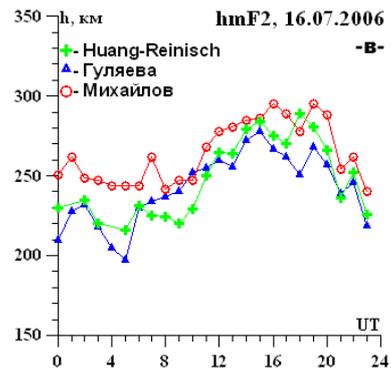
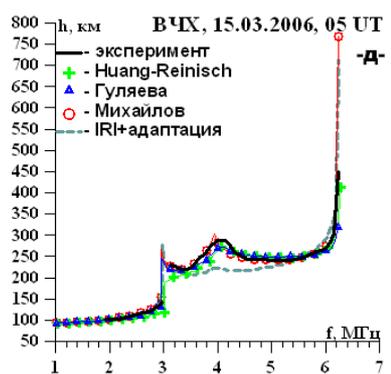
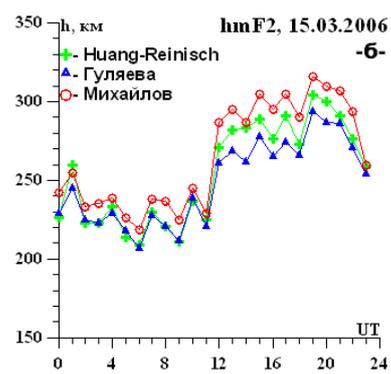
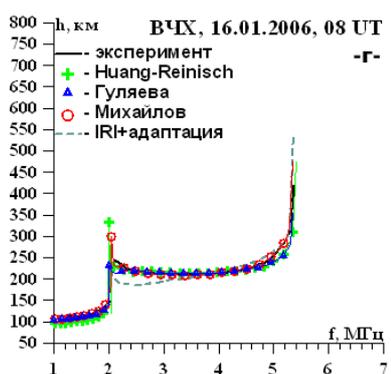
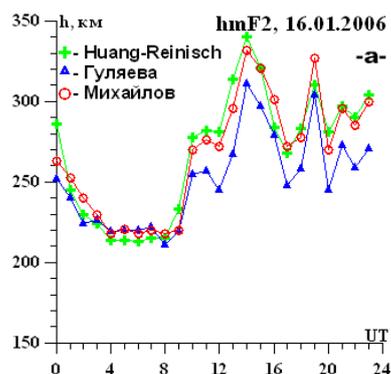
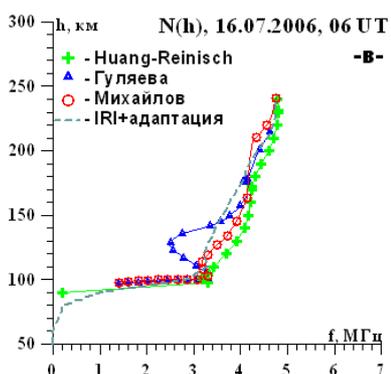


Рис. 1. Примеры $N(h)$ -профилей и восстановленных ВЧХ.

отметить, что метод Huang-Reinisch рассчитывает $N(h)$ -профиль даже при отсутствии на ионограммах E-слоя (в этом случае критическая частота f_0E автоматически прогнозируется по модели IRI).

Также сравнивались значения высоты максимума ионизации h_mF2 (рис. 2, а-в) и высоты половины максимума ионизации $h(0.5N_m)$ (рис. 2, г-е), полученные из восстановленных разными способами $N(h)$ -профилей (разность между значениями h_mF2 и $h(0.5N_m)$ является аналогом полутолщины слоя F2).



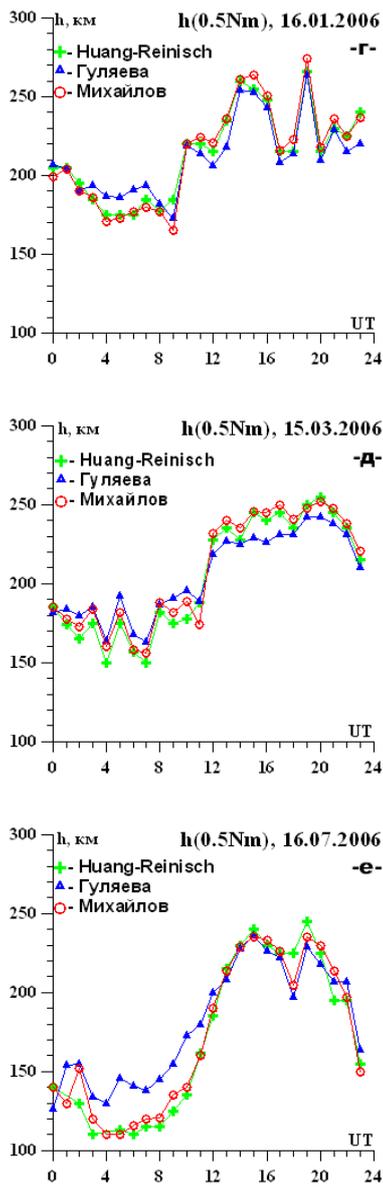


Рис. 2. Суточный ход $h_m F2$ и $h(0.5Nm)$.

Разность высот восстановленных $N(h)$ -профилей (рис. 3) рассматриваемыми способами реконструкции по ВЧХ в отдельные часы достигала 50 км (в летнее время). Из рис. 3 видно, что наименьшее различие между высотами наблюдается в $N(h)$ -профилеях, реконструированных способами Huang-Reinisch и Михайлова.

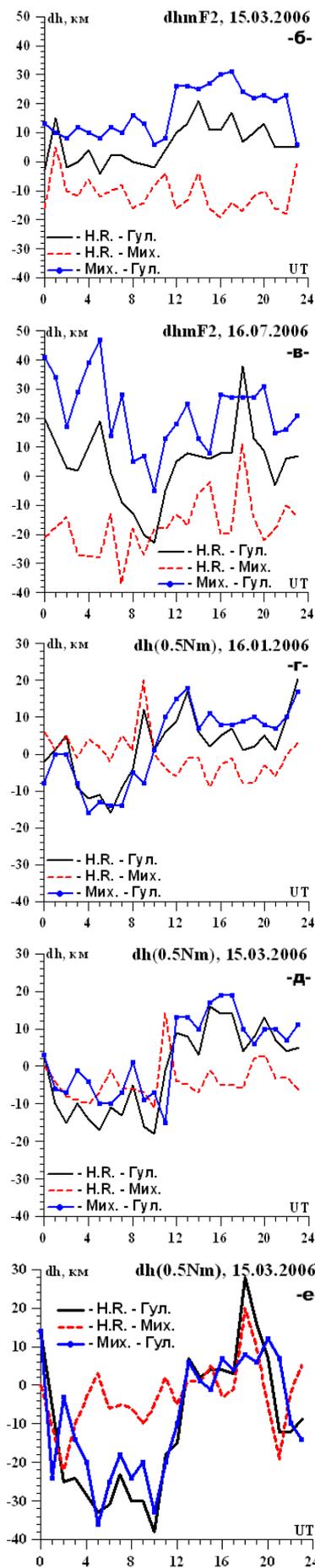
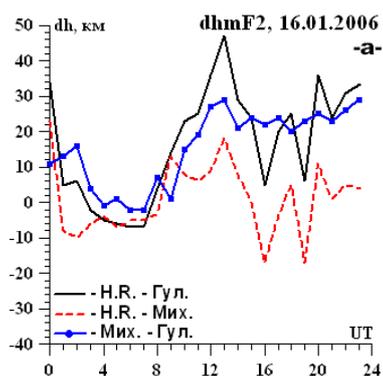


Рис. 3. Разность высот по результатам расчета $N(h)$ -профиля разными способами.

Заключение

В базе данных ВЗ ионосферы в Иркутске имеются ионограммы (особенно в летнее время), когда со слоем E наблюдается только слой F1 (условие G) или когда присутствует сильный экранирующий спорадический слой Es. В этом случае $N(h)$ -профиль ни одним из методов (кроме модели IRI) не рассчитывается (так как нет информации о слое F2). Для случаев однослойного и двухслойного слоя F адапционные возможности модели IRI по параметрам ВЧХ дигизонда при расчете $N(h)$ -профиля дали удовлетворительные результаты.

Таким образом, способы восстановления $N(h)$ -профиля электронной концентрации, рассмотренные в работе, показали удовлетворительное согласие и по параметрам, и по форме профиля. Подход Михайлова к реконструкции профиля является более строгим и поэтому при решении прямой задачи реконструированный профиль при пересчете получает ВЧХ, наиболее приближенную к искомой ВЧХ (ионограмме дигизонда).

Высоты, полученные по методикам Huang-Reinisch и Михайлова, кроме летнего дня, наиболее близки между собой. Существующий разброс в высотах объясняется разными подходами к реконструкции $N(h)$ -профиля, но для многих задач в большинстве случаев при расчете характеристик распространения радиоволн этими расхождениями в высотах можно пренебречь.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 05-07-90212).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Котович Г.В., Михайлов С.Я. Адаптационные возможности модели IRI в прогнозировании характеристик декаметровых радиотрасс // Геомагнетизм и аэронавигация. 2003. Т. 43, № 1. С. 88–91.
2. Singer W., Weiss J., Bremer J. Comparing the improved Di Giovanni/Radicella model with sounding-based electron density profiles and with the IRI model // Adv. Space Res. 1994. V. 14, N 12. P. 83–86.
3. Grozov V.P., Kotovich G.V. A comparison of results derived from scaling VS chip-ionosonde ionograms with the International Reference Ionosphere (IRI) // J. Atm. Sol. Terr. Phys. 2002. V. 65, N 4. P. 409–416.
4. Reinisch B.W., Huang X. Automatic calculation of electron density profiles from digital ionograms // Radio Sci. 1983. V. 18, N 3. P. 477–492.
5. Guliaeva T.L. The ITERAN Fortran Program for Quick Iterative N(h) Analysis of Ionograms. Dep. VINITI. Moscow, 1978. N 1490–78.
6. Guliaeva T. L., Titheridge J.E., Rawer K. Discussion of the valley in N(h) analysis of ionograms // Adv. Space Res. 1990. V. 10, N 8. P. 23–26.
7. Михайлов С.Я. Многозначность восстановления профилей плазменной частоты по заданной ВЧХ и их различимость для наклонного распространения коротких радиоволн в изотропной ионосфере // Изв. вузов: Радиофизика. 2000. Т. XLIII, № 10. С. 855–872.

Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск,
kim_anton@mail.ru