

УДК 550.388.2

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ВЫСОТНОГО ПРОФИЛЯ ЭЛЕКТРОННОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ ПО ДАННЫМ СЛАБОНАКЛОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ В ИРКУТСКЕ

А.Г. Ким, Г.В. Котович, К.Г. Ратовский

RECONSTRUCTION OF THE ELECTRON DENSITY PROFILE FROM WEAKLY-OBLIQUE SOUNDING DATA IN IRKUTSK

A.G. Kim, G.V. Kotovich, K.G. Ratovsky

Восстановление высотного профиля электронной концентрации производится по данным слабонаклонного зондирования вблизи Иркутска. Для этого в рамках плоскостной ионосферы по модифицированному методу Смита осуществляется пересчет дистанционно-частотной характеристики в высотную частотную характеристику в средней точке трассы. Для восстановления $N(h)$ -профиля из полученной высотно-частотной характеристики используется метод Huang-Reinisch, который применяется в цифровых ионозондах – дигизондах. Было проведено сравнение восстановленных $N(h)$ -профилей по данным ЛЧМ-зондирования на слабонаклонной трассе Усолье—Торы вблизи Иркутска (дальность трассы ~130 км) с $N(h)$ -профилями, восстановленными по данным вертикального зондирования в Иркутске.

Because of ionosphere oblique sounding (OS) signal reflects from ionosphere around path' midpoint then measured OS data can describe the ionosphere at the middle point of the path. It let us to obtain height-frequency characteristics (HFC) for path' midpoint from distance-frequency characteristics (DFC) measured on the one-hop path. By this means ionosphere parameters can be obtained for the regions where OS paths are situated but own vertical-sounding (VS) data are absent. Within the framework of plane-layered ionosphere we realized the recalculation of DFC into HFC of the path' midpoint through the modified Smith's method. A reconstruction of the electron density profile from the calculated HFC is carried out through the Huang-Reinisch method. A comparison was conducted between VS data obtained by Irkutsk digisonde and chirp-sounder data obtained on the weakly-oblique path (~130 km of distance) near Irkutsk.

Введение

Для диагностики состояния ионосферы на больших площадях вертикальное зондирование (ВЗ) обладает ограниченными возможностями. В этом отношении наклонное зондирование (НЗ) имеет выгодные преимущества, поскольку даже при приеме сигнала из одной пространственной точки этот способ диагностики дает информацию о состоянии среды распространения КВ-радиосигналов на большой территории.

Так как сигнал при НЗ отражается от ионосферы вблизи средней точки трассы, то полученные данные могут помочь определить свойства ионосферы вблизи этой точки. Имея в наличии дистанционно-частотную характеристику (ДЧХ), измеренную на однокачковой трассе, можно восстановить высотную частотную характеристику (ВЧХ), а затем и профиль электронной концентрации в средней точке трассы. Это позволяет получать информацию об ионосфере в тех регионах, через которые проходят трассы НЗ, но нет собственных ионосферных данных ВЗ.

Целью данной работы является апробация техники автоматизированного получения высотного профиля электронной концентрации $N(h)$ по данным НЗ, полученным ЛЧМ-ионозондом ИСЗФ СО РАН на трассе слабонаклонного зондирования, и сравнение восстановленных $N(h)$ -профилей с данными ВЗ вблизи средней точки трассы НЗ. В обоих случаях восстановление $N(h)$ -профиля осуществляется одинаковым методом – методом Huang-Reinisch, который широко применяется в радиофизических исследованиях по всему миру.

Содержание работы

Автоматизация процесса сбора и хранения экспериментального материала, получаемого на системе трасс ЛЧМ-зондирования, требует создания со-

временных комплексов программного обеспечения. Данные ЛЧМ-зондирования, полученные на трассах различной протяженности и направлений в течение длительного периода наблюдений, являются уникальным материалом для отработки методик, позволяющих получать информацию не только о радиофизических характеристиках, но и об ионосфере вдоль радиотрасс.

Данные НЗ ЛЧМ-ионозонда, полученные на слабонаклонной трассе Усолье—Торы (рис. 1) вблизи Иркутска (дальность трассы ~130 км) и хранящиеся в базе данных радиофизического комплекса ИСЗФ СО РАН, представляют собой ДЧХ, которые практически не отличаются от ВЧХ, измеренных станциями ВЗ в Иркутске (в невозмущенных геомагнитных условиях). Сравнительный анализ таких ДЧХ слабонаклонной трассы и ВЧХ вблизи средней точки трассы, полученных в одно и то же время, проводился авторами ранее [1].

Подробно методика нахождения ВЧХ и параметров ионосферы в средней точке трассы НЗ по ДЧХ описана в [2, 3] (методика базируется на модифицированном методе Смита в приближении плоскостной ионосферы без учета магнитного поля Земли). Входными данными методики пересчета являются длина трассы НЗ, на которой проводился эксперимент, частота НЗ и соответствующее этой частоте НЗ абсолютное время распространения сигнала.

При пересчете точек трека слоя E изменения в высоте максимальны (~20 км). Разница между максимально-применимой частотой (МПЧ) ДЧХ слоя E и критической частотой f_0E ВЧХ составляет 0.3 МГц. Разность между минимальной действующей высотой слоя F2 ВЧХ и минимальным групповым путем слоя F2 ДЧХ составляет ~10 км.

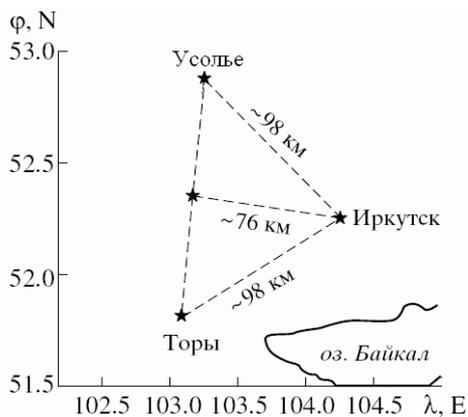


Рис. 1. Карта эксперимента (трасса слабонаклонного зондирования Усолье–Торы).

Для восстановления $N(h)$ -профиля применялся метод Huang-Reinisch, который интегрирован в программный комплекс «SAO-Explorer» обработки ионограмм ВЗ дигизонда DPS-4. Треки ВЗ ЛЧМ-ионозонда, полученные на слабонаклонной трассе и входящие в состав базы данных ВЗ ионосферы ИСЗФ СО РАН, были использованы как ДЧХ и пересчитаны в ВЧХ (рис. 2, а), которые затем использовались для восстановления $N(h)$ -профиля (рис. 2, б). Наибольшие отличия в профилях на рис. 2, б наблюдаются в слое Е и объясняются горизонтальными градиентами из-за разных местоположений подионосферных точек.

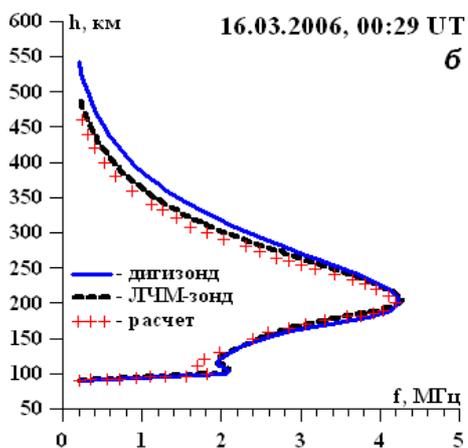
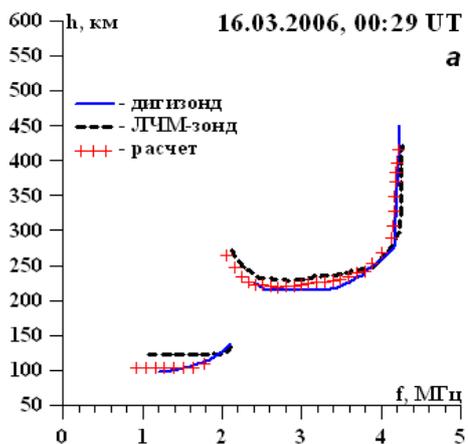
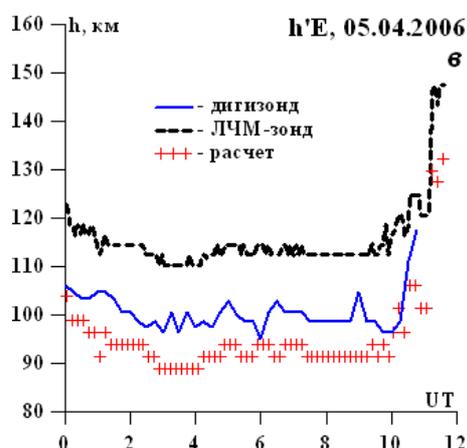
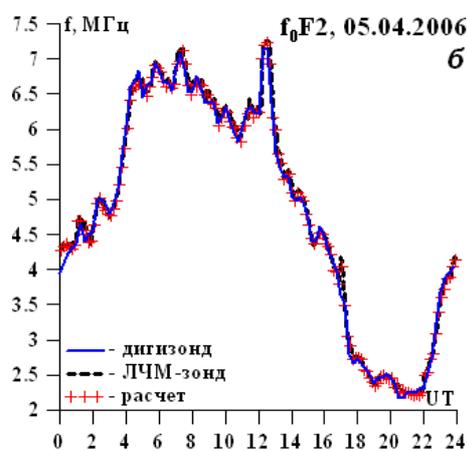
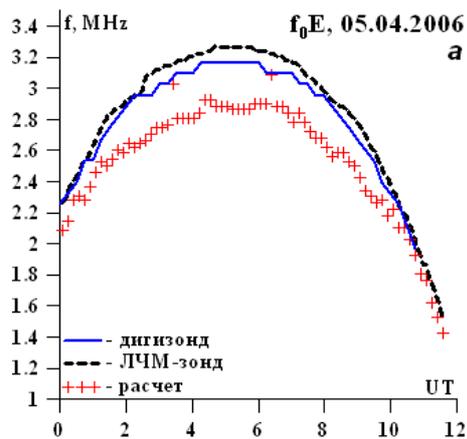


Рис. 2. Пример пересчитанной ВЧХ (а) и восстановленного $N(h)$ -профиля (б).

Параметры ионосферы (f_0E , f_0F2 , $h'E$, $h'F$) по данным ВЧХ дигизонда, ДЧХ ЛЧМ-ионозонда и пересчитанной ВЧХ для сравнения представлены на рис. 3. Пересчет делает параметры ДЧХ слабонаклонного зондирования более точными и близкими к данным ВЗ (рис. 2, а), отличия с ВЧХ в Иркутске объясняются существованием горизонтальных градиентов. В то же время разница между географическим расположением средней точки трассы Усолье–Торы и Иркутска (~80 км) открывает дополнительные возможности для комплексных наблюдений динамической структуры ионосферы вблизи Иркутска с пространственным разрешением менее 100 км.



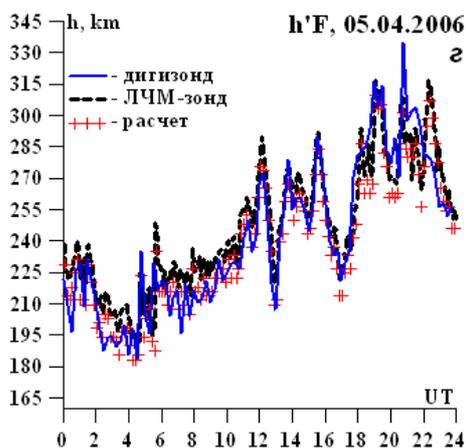


Рис. 3. Сравнение ионосферных параметров по данным двух инструментов и пересчета.

Заключение

В ходе работы была разработана, реализована и успешно апробирована техника автоматизированного получения высотного профиля электронной концентрации $N(h)$ по данным НЗ. Проверка была осуществлена на данных, полученных ЛЧМ-ионозондом ИСЗФ СО РАН на трассе слабонаклонного зондирования протяженностью ~ 130 км и дигизондом DPS-4 в Иркутске (вблизи средней точки трассы).

Методика нахождения параметров ионосферы в средней точке трассы НЗ была ранее экспериментально проверена на односкачковой трассе Норильск—Торы протяженностью ~ 2100 км [4]. Проверка показала, что абсолютная средняя величина отклонения значений f_0F2 в Подкаменной Тунгуске (вблизи средней точки трассы) от расчетных значений f_0F2 по данным НЗ составила 0.34 МГц, среднее относительное отклонение $\sim 8\%$, а коэффициент корреляции составил 0.96. Проверка на короткой трассе также показала хорошее согласие расчетов с экспериментом, отклонения не превысили 10%.

Таким образом, можно сказать, что предложен-

ная в работах методика [2–4] позволяет по ДЧХ (как показала проверка на большом экспериментальном материале ИСЗФ СО РАН) оперативно и с хорошей точностью восстанавливать параметры ионосферы в средней точке трассы НЗ. Это дает возможность получения дополнительной информации о среде в регионах, где отсутствуют ионосферные станции ВЗ. Необходимым является наличие достоверных экспериментальных данных НЗ и возможность получения параметров верхнего луча, что может помочь при решении задач оперативной диагностики и прогноза, при создании региональных моделей ионосферы и адаптации различных моделей ионосферы к реальным условиям.

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Грозов В.П., Носов В.Е., Котович Г.В. и др. Сравнение основных параметров ионосферы на слабонаклонной трассе с данными вертикального зондирования // Геомагнетизм и аэронавигация. 2004. Т. 44, № 3. С. 372–377.
2. Котович Г.В., Ким А.Г., Михайлов С.Я. и др. Определение критической частоты f_0F2 в средней точке трассы по данным наклонного зондирования на основе метода Смита // Геомагнетизм и аэронавигация. 2006. Т. 46, № 4. С. 547–551.
3. Ким А.Г., Котович Г.В. Расчет f_0F2 , h_mF2 в средней точке трассы по экспериментальным данным наклонного зондирования. Сравнение расчетных значений с экспериментальными значениями и с моделью IRI // Оптика атмосферы и океана. 2006. Т. 19, № 12. С. 1092–1098.
4. Котович Г.В., Ким А.Г. Экспериментальная проверка методики определения критической частоты f_0F2 в средней точке трассы по данным наклонного зондирования // Солнечно-земная физика. 2006. Вып. 9. (В печати)

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