

ЭЛЕКТРОДИНАМИКА И РАСПРОСТРАНЕНИЕ РАДИОВОЛН

УДК 550.388.2

МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ ИОНОСФЕРЫ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ С ПОМОЩЬЮ ТРЕХМЕРНОЙ АССИМИЛЯЦИОННОЙ МОДЕЛИ

© 2013 г. А. А. Титов, Д. В. Соломенцев, В. У. Хаттатов

ФГБУ “Центральная аэрологическая обсерватория”,

Российская Федерация, 141700, Долгопрудный Московской обл., ул. Первомайская, 3

E-mail: anton@ionosphere.ru

Поступила в редакцию 11.07.2012 г.

Разработана усовершенствованная трехмерная ассимиляционная модель ионосферы, учитывающая данные измерений полного электронного содержания в ионосфере в реальном времени с сети наземных станций IGS (Международной геодинимической службой) глобальной навигационной спутниковой системы GPS (Global Positioning System) и позволяющая рассчитывать пространственно-временные распределения электронной концентрации, концентрации семи основных ионов, температуру и скорости электронов и ионов в ионосфере в области высот 100...1000 км. Проведено сравнение модельных расчетов полного электронного содержания (ПЭС) в ионосфере с данными измерений ПЭС на наклонных радиотрассах с помощью двухчастотных приемников наземной сети станций IGS (International GNSS Service), не включенных в схему ассимиляции. Выполнены сравнения модельных расчетов высотных профилей электронной концентрации в ионосфере с данными измерений радаром некогерентного рассеяния. Показано, что расчеты этих параметров ионосферы, выполненные без использования экспериментальных данных, гораздо хуже согласуются с данными радарных измерений, чем результаты, полученные на ассимиляционной модели ионосферы. Приведены сравнения модельных расчетов концентраций электронов с данными от системы среднеорбитальных спутников FORMOSAT-3/COSMIC, также продемонстрировавшие удовлетворительные результаты.

DOI: 10.7868/S0033849413030121

ВВЕДЕНИЕ

Оперативный мониторинг состояния ионосферы Земли дает возможность обеспечить надежное функционирование систем связи, учитывать влияние ионосферы на распространение радиоволн, зависящее от распределения электронной концентрации, повысить точность определения местоположения объектов системами спутниковой навигации (GPS, ГЛОНАСС и др.), прогнозировать безопасные условия работы электронных устройств в составе космических аппаратов. Одним из наиболее эффективных методов мониторинга текущего глобального состояния ионосферы и применения этой информации для решения названных задач является использование самосогласованной трехмерной физической модели с ассимиляцией данных измерений. В работе применено физическое моделирование процессов в ионосфере, с использованием ассимиляции данных о полном электронном содержании (ПЭС) в ионосфере [1, 2]. Суть метода ассимиляции, использованного нами в работе, состоит в корректировке расчетов физической модели ионосферы по оперативно получаемым экспериментальным данным о ПЭС в ионосфере на трассах радиови-

зирования сигналов космических навигационных систем GPS и ГЛОНАСС с сети станций IGS (International GNSS Service).

Детальное описание физической модели и схема ассимиляции были даны авторами ранее [3–5]. Однако разработанная в цитированных статьях схема ассимиляции имеет существенное ограничение для мониторинга текущего состояния ионосферы, связанное с тем, что спутниковые данные глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС), используемые для ассимиляции, поступают с некоторой, и при этом разной в зависимости от типа наземной станции, задержкой. На протяжении текущего дня наблюдений отношение поступающих и необходимых для расчетов данных мало и непостоянно. Такие задержки в усвоении данных о полном электронном содержании в ионосфере с сети наземных станций IGS на вычислительном сервере ассимиляционной модели приводят к увеличению погрешностей моделирования ионосферных процессов. Вследствие временных задержек в ассимилируемых данных, которые иногда достигают двух суток (при характерных временах изменений глобальных распределений концентраций и температур