

Вариации интегрального атмосферного влагосодержания, полученные по фазовым измерениям приемников спутниковых навигационных систем

О.Г. Хуторова, В.В. Калинин, Т.Р. Курбангалиев*

Казанский государственный университет
420008, г. Казань, ул. Кремлевская, 18

Поступила в редакцию 19.01.2012 г.

Исследованы вариации интегрального атмосферного влагосодержания, полученные по фазовым измерениям приемников спутниковых навигационных систем. Сравнение с независимыми оценками численных погодных полей реанализа и измерениями солнечного фотометра показали совпадение с относительным отклонением менее 10%. Внутрисезонные процессы с масштабами от 3 до 45 сут вносят существенный вклад в вариации интегрального атмосферного влагосодержания, их амплитуда составляет от 1 до 4 кг/м². Наиболее часто проявляются вариации с периодами от 3 до 10 сут.

Ключевые слова: дистанционное зондирование, спутниковые навигационные системы, интегральное влагосодержание, синоптические вариации; remote sensing, satellite navigation system, integral water vapour, synoptic variations.

Введение

Одной из величин, представляющих важность как для климатологии, так и для прогнозов радиационного баланса атмосферы регионального масштаба, является интегральное влагосодержание (IWV), равное количеству воды в вертикальном атмосферном столбе с единичной площадью сечения [1, 2]. Водяной пар играет огромную роль в термодинамике атмосферы. Например, для точного прогноза радиационного форсинга необходима информация о влагосодержании атмосферы с высоким пространственно-временным разрешением [2, 3]. Традиционные радиозондовые наблюдения или системы метеорологических спутников такого разрешения не дают.

Одним из распространенных методов дистанционного зондирования интегрального влагосодержания стало использование сигналов глобальных спутниковых навигационных систем (ГНСС) [4, 5]. Этот способ обладает большими достоинствами: всепогодность, сравнительно невысокая стоимость пользовательской аппаратуры, глобальное покрытие, высокое временное разрешение, большая плотность станций, объединенных в различные сети. Одна из таких сетей станций имеется и в г. Казани [6]. С использованием данных этой сети в настоящей статье показана возможность исследования временных вариаций влагосодержания атмосферы.

В настоящее время с применением различных подходов исследованы вариации влагосодержания различных масштабов. Глобальные процессы динамики влагозапаса по данным спутниковой СВЧ-радиометрии рассмотрены в работе [7], где показана их связь с взаимодействием системы «океан – атмосфера» и циклогенезом. Количественно зависимость атмосферных водных аномалий от циклогенеза по микроволновым измерениям с полярно-орбитальных спутников представлена в [8]. В работе [9] показано, что сильный поверхностный градиент интегрального влагосодержания является хорошим индикатором местоположений фронтов в циклонах умеренных широт над океанами.

С применением GPS исследованы более локальные вариации влагосодержания. Так, например, в [10] дан анализ дневных циклов интегрального влагосодержания в прибрежном городе Марсель, показаны эффекты бризовой циркуляции. В работе [11] рассмотрено распределение интегрального влагосодержания над Китаем по данным сети GPS-станций. Показана годовая, суточная и полусуточная гармоника влагосодержания в разных частях Китая.

В основе определения интегрального влагосодержания из измерений GPS лежит оценка зенитной тропосферной задержки (ZTD) электромагнитных волн, излучаемых спутником. Оценка этой величины определяется разностью измеренного наземным приемником фазового пути сигнала, переданного спутником, и геометрической дальности между спутником и приемником. Поскольку сигнал распространяется в атмосфере, то разность между фазой и геометрической дальностью определяется задержками в тропосфере и ионосфере [12]:

* Ольга Германовна Хуторова (olga.khutorova@ksu.ru);
Владислав Валерьевич Калинин (vlad-kalinnikov@mail.ru);
Тимур Рафаэльевич Курбангалиев (kurbangalievtr@gridcom-rt.ru).