
Дистанционное зондирование сред

УДК 551.551

Микроволновый радиометр для валидации спутниковых данных температурно-влажностного зондирования атмосферы

Щукин Г.Г., Чичкова Е.Ф., Караваев Д.М.

Аннотация: Рассмотрен микроволновый радиометр для использования в составе наземных измерительных комплексов валидации спутниковых данных. Представлены результаты сравнения данных радиометрического и аэрологического зондирования атмосферы с данными спутникового температурно-влажностного зондирования атмосферы ATOVS.

Ключевые слова: микроволновый радиометр, компенсационный радиометр, флуктуационная чувствительность, радиояркость температура, влагозапас атмосферы, валидация.

Microwave radiometer for validation of satellite data of the temperature-humidity sounding of the atmosphere

Shchukin G.G., Chichkova E.F., Karavaev D.M.

Abstract: Considered a microwave radiometer for use in ground-based measuring complexes validation of satellite data. Presents the results of the comparison of satellite data of the temperature-humidity sounding of the atmosphere ATOVS, data of upper-air and ground-based microwaves radiometric sounding of the atmosphere.

Key words: microwave radiometer, total power radiometer, fluctuation sensitivity, brightness temperature, integrated water vapor, validation

Введение

Современные средства дистанционного зондирования атмосферы позволяют по измерениям в микроволновом и инфракрасном диапазонах спектра частот восстанавливать вертикальные профили температуры, влажности атмосферы и оценивать влагозапас атмосферы. В данной работе использовались спутниковые данные аппаратуры ATOVS: ИК радиометра HIRS (3,7 -14,9 мкм); микроволновых радиометров AMSU-A (23,8 ГГц, 31,4 ГГц, 50-57 ГГц, 89 ГГц), AMSU-B, MHS (89 -183 ГГц). Из состава целевой аппаратуры запущенного в 2009 г. отечественного спутника "Метеор-М" №1 в интересах оперативной гидрометеорологии актуальной для использования представляется информация радиометра МТВЗА (10,6 - 183 ГГц).

Для оценки качества данных дистанционного зондирования атмосферы необходимо выполнять сравнения данных температурно-

влажностного зондирования атмосферы, полученных от спутниковых средств зондирования, с данными сетевого аэрологического зондирования атмосферы и данными наземных микроволновых радиометров. Преимущества применения микроволновых радиометров в составе наземных комплексов наблюдения за атмосферой для валидации спутниковых данных связаны с возможностью производства непрерывных измерений метеопараметров атмосферы при практически любых погодных условиях независимо от условий освещенности.

Микроволновый радиометр

Метод наземной микроволновой радиометрии является одним из наиболее точных методов дистанционного определения влагозапаса атмосферы [1]. Этот метод основан на использовании связи метеопараметров атмосферы с характеристиками собственного ра-

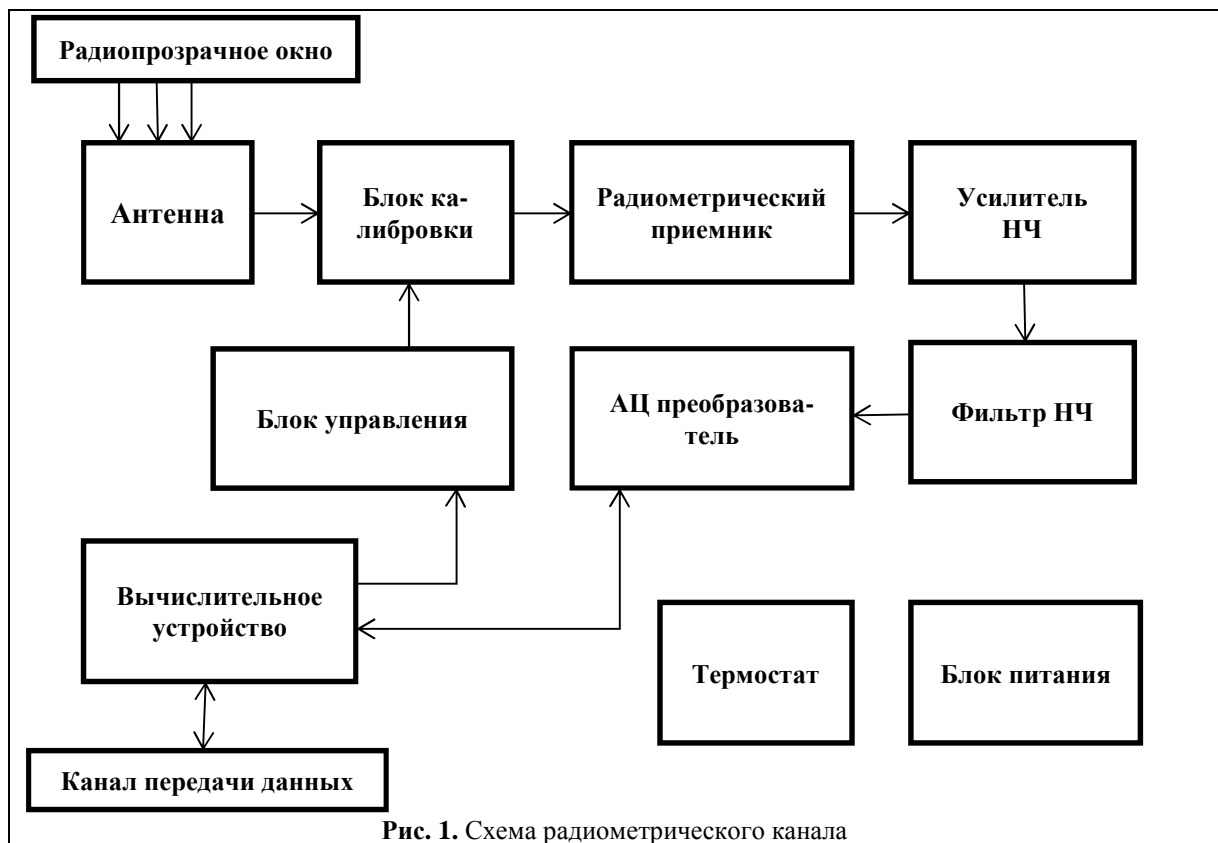


Рис. 1. Схема радиометрического канала

диотеплового излучения атмосферы в микроволновом диапазоне. При зондировании атмосферы используются участки спектра частот вблизи линий поглощения водяного пара (22,235 ГГц и 183,31 ГГц) и кислорода (60 ГГц), а также измерения в «окнах прозрачности» атмосферы 30-38 ГГц, 75-95 ГГц. Распространение получила схема двухчастотного радиометрического зондирования атмосферы на частотах 21 ГГц (или 23,8 ГГц) и 36 ГГц, при этом для определения влагозапаса атмосферы (Q) и водозапаса облаков (W) используются соотношения [2]

$$Q = a_0 + a_1\tau(v_1) + a_2\tau(v_2),$$

$$W = b_0 + b_1\tau(v_1) + b_2\tau(v_2),$$

где a_i, b_i - коэффициенты регрессии; $\tau(v_j)$ - оптическая толщина атмосферы на частоте v_j .

Структурная схема частотного канала радиометра для определения влагозапаса атмосферы и водозапаса облаков показана на рис.1. В состав радиометра входят следующие основные устройства: антенна, блок калибровок, радиометрический приемник, усилитель НЧ, фильтр НЧ, АЦ (аналогово-

цифровой) преобразователь, блок управления, вычислительное устройство и канал передачи данных в компьютер.

Важными характеристиками радиометра являются следующие: флуктуационная чувствительность; погрешность измерения радиояростной температуры; уровень боковых лепестков диаграммы направленности антенны (ДНА) и др. Для компенсационной схемы радиометра флуктуационная чувствительность δT определяется выражением

$$\delta T = \alpha T_{\text{сист}} \left[\frac{\Delta F}{\Delta f} + \left(\frac{\Delta G}{G} \right)^2 \right]^{0,5},$$

где $\alpha = \sqrt{2}$; ΔG - флуктуации коэффициента усиления радиометра G ; $T_{\text{сист}}$ - шумовая температура системы; Δf - полоса усиления; ΔF - полоса фильтра НЧ. Минимальный уровень δT обеспечивается при выполнении условия

$$\frac{\Delta G}{G} \ll \left[\left(\frac{\delta T}{\alpha T_{\text{сист}}} \right)^2 - \frac{\Delta F}{\Delta f} \right]^{0,5}.$$

Основные тактико-технические характеристики радиометра для определения влагозапаса атмосферы и водозапаса облаков следующие: центральные частоты 23,8 ГГц,

36 ГГц; полоса усиления 250 МГц (при 23,8 ГГц) и 1000 МГц (при 36 ГГц), ширина луча ДНА по уровню 3дБ 7° , уровень боковых лепестков менее -30дБ, флуктуационная чувствительность менее $0,1 \text{ Кс}^{-0,5}$, погрешность измерения радиоярких температур 0,5 К, темп сбора данных 1сек.

Обработка спутниковых данных

Определение профилей температуры и влажности по данным ATOVS в оперативном режиме проводилось с помощью программных комплексов AAPP (ATOVS and AVHRR Processing Package, EUMETSAT) и IAPP (International ATOVS Processing Package, University of Wisconsin). Разработанная технология получения вертикальных профилей атмосферы на основе этих программных комплексов и данных ATOVS спутников NOAA внедрена в опытную эксплуатацию в ГУ «Санкт-Петербургский ЦГМС-Р».

Для оценки качества информационных продуктов ATOVS выполнены сравнения спутниковых данных с данными аэрологического зондирования атмосферы (всего использованы данные 11 станций в Северо-Западном регионе РФ). Сравнения проводились для значений температуры и удельной влажности на изобарических поверхностях 1000, 850, 700, 500, 400, 300, 200, 150, 100, 50 и 30 гПа.

При формировании исходных данных выполнялись следующие условия: разница между временем спутниковых и аэрологических наблюдений составила не более 2 часов; пространственное отклонение составляло не более одного градуса долготы и широты; в анализе не использовались данные, полученные в период активных адвективных процессов. Таким образом, отобранные исходные данные включали 187 спутниковых изображений и 1055 профилей аэрологического зондирования (для зимнего периода) и 168 спутниковых изображений и 1600 профилей аэрологического зондирования (для летнего периода). В результате статистической обра-

ботки данных получены коэффициенты корреляции, среднеквадратические отклонения, среднеарифметические отклонения разностей значений независимых измерений.

Результаты экспериментов

На основе анализа результатов сравнения спутниковых данных ATOVS с данными аэрологического зондирования сделаны следующие выводы:

- погрешность определения температуры воздуха в зимний период составляет 2 К на уровнях 150 - 1000 гПа и возрастает до 3,8 К выше уровня 100 гПа;

- погрешность определения температуры воздуха в летний период составляет не более 2,3 К на уровнях 850 - 300 гПа, увеличивается до 3,1 К на уровнях 850 - 1000 гПа, может составлять до 4,6 К на уровне 1000 гПа;

- погрешность определения удельной влажности в зимний период изменяется от 0,9 г/кг на уровне 1000 гПа и изменяется до 0,27 г/кг на уровне 500 гПа, отмечается незначительное завышение спутниковых значений удельной влажности в приземном слое атмосферы;

- погрешность определения удельной влажности в летний период изменяется от 2,9 г/кг на уровне 1000 гПа и изменяется до 0,6 г/кг на уровне 500 гПа, относительная погрешность определения удельной влажности составляет 15-30%.

Отмеченные выводы согласуются с результатами валидации спутниковых данных ATOVS, полученными в работе [3].

Сравнение значений влагозапаса атмосферы, полученных по данным ATOVS, с данными наземного двухканального микроволнового радиометра (21 ГГц, 36 ГГц) производилось для условий Ленинградской области. Использовались данные синхронных наблюдений, выполненных в мае 2008 г. (всего выборка включала 112 пар значений влагозапаса атмосферы). Установлено, что среднеквадратическая разница влагозапаса атмосферы (ATOVS-наземный радиометр)

составляет 2,9 кг/м². Проведенные эксперименты показали преимущества использования наземных микроволновых радиометров для валидации спутниковых данных зондирования атмосферы, связанные с возможностью проведения непрерывных измерений при различных метеоусловиях.

Литература

1. Степаненко В.Д., Щукин Г.Г., Бобылев Л.П., Матросов С.Ю. Радиотеплокация в метеорологии. Л.: Гидрометеоздат. 1987. 283 с.
2. Караваяев Д.М., Щукин Г.Г. Применение методов СВЧ-радиометрии для диагноза содержания жидкокапельной влаги в облаках / При-

Поступила 27 декабря 2012 г.

Информация об авторах

Щукин Георгий Георгиевич – доктор физико-математических наук, профессор Военно-космической академии имени А. Ф. Можайского.

E-mail: ggshchukin@mail.ru.

Адрес: 197082, С-Петербург, Ждановская, 13.

Чичкова Елена Федоровна – кандидат географических наук, заведующий отделом Государственного научного учреждения «Центральный научно-исследовательский институт робототехники и технической кибернетики».

E-mail: chichkova@rtc.ru.

Адрес: 194064, С-Петербург, Тихорецкий, 21.

Караваяев Дмитрий Михайлович – кандидат технических наук, старший научный сотрудник Военно-космической академии имени А. Ф. Можайского.

E-mail: dm.karavaev@mail.ru.

Адрес: 197082, С-Петербург, Ждановская, 13.

Shchukin Georgy Georgievich – the Doctor of Physics, the professor of the Mozhaiskogo Military Space academia.

Address: 197082, S-Petersburg, Jdanovskaia, 13.

Chichkova Elena Fedorovna – the kandidat of geography, chif of the Russian state scientific center for robotics and technical kibernetic.

Address: 194064, S-Peterburg, Tikhoretsky, 21.

Karavaev Dmitriy Mihailovich – the kandidat of Engineering, the science of the Mozhaiskogo Military Space academia.

Address: 197082, S-Petersburg, Jdanovskaia, 13.

кладная Метеорология, вып.5(533), 2004. С.99-120.

3. Li J., Wolf W., Menzel P. 2000: Global Soundings of the Atmosphere from ATOVS Measurements: The Algorithm and Validation // Journal of Applied Meteorology. Vol. 39, Is. 8. P.1248–1268.

References

1. Stepanenko V.D., Shchukin G.G., Bobilev L.P., Matrosov S.Y. Radioteplolokatsia v meteorologii. L.: Gidrometeoizdat, 1987. 283 p.
2. Karavaev D.M., Shchukin G.G. Prikladnaia meteorologia, v.5(533), 2004. -P.99-120.
3. Li J., Wolf W., Menzel P. Journal of Applied Meteorology, Vol. 39, Is. 8. P.1248–1268.