

## Сравнение данных дистанционного температурно-влажностного зондирования атмосферы для Северо-Западного региона РФ

Г.Г. Щукин<sup>1</sup>, М.И. Иткин<sup>2</sup>, Д.М. Караваев<sup>1</sup>, Е.Ф. Чичкова<sup>3</sup>

<sup>1</sup> -ВКА имени А.Ф.Можайского, С-Петербург, Ждановская, 13; [ggshchukin@mail.ru](mailto:ggshchukin@mail.ru)

<sup>2</sup> -РГГМУ, С-Петербург, Малоохтинский, 98

<sup>3</sup> -ГНУ «Центральный научно-исследовательский институт робототехники и технической кибернетики», С-Петербург, пр. Тихорецкий 21; [chichkova@rtc.ru](mailto:chichkova@rtc.ru)

*Проведена верификация данных температурно-влажностного зондирования атмосферы, полученных средствами космического зондирования аппаратуры ATOVS, с данными аэрологического зондирования для Северо-Западного региона РФ в 2008г. Погрешность восстановления удельной влажности составляет 15 — 30%. Точность восстановления температуры изменяется по высоте и по сезонам от 1.3° К до 4.6° К. Проведено сравнение восстановленных значений общего влагосодержания атмосферы по данным ATOVS и по данным наземного СВЧ радиометра. Среднеквадратическое отклонение между значениями общего влагосодержания атмосферы, восстановленными из спутниковой информации и наблюдениями наземного СВЧ радиометра, составляет 2.9 мм.*

*The verification of the data of temperature and humidity sounding of the atmosphere, obtained by means of satellite sensing instruments ATOVS, upper-air sounding data for the Northwest region of Russia in 2008. The error of humidity estimation is 15 - 30%. The uncertainties of temperature recovery varies according to attitude and seasons of up to 1.3 to 4.6 °C. The standard deviation between the values of the total atmospheric moisture content, recovered from the satellite data and ground-based observations of the microwave radiometer is 2.9 mm.*

Современные средства дистанционного зондирования атмосферы позволяют по измерениям в микроволновом и инфракрасном диапазонах спектра восстанавливать вертикальные профили температуры, влажности и оценивать общее влагосодержание атмосферы. Из средств космического базирования в данной работе использовались измерения комплекса аппаратуры ATOVS: ИК зондировщика HIRS/3 (19 каналов от 4.3 до 15 мм); зондировщика AMSU-A (23, 30, 50 и 89 ГГц); 5 канального зондировщика AMSU-B (89, 150 и 189 ГГц); 5- канального зондировщика MHS (89, 157, 183±1, 183±3 и 190 ГГц). Также использовались данные наземных измерений с помощью СВЧ-радиометров (22 ГГц и 36 ГГц). Из состава целевой аппаратуры запущенного в 2009г отечественного спутника "МЕТЕОР-3М" №1 в интересах оперативной гидрометеорологии планируется к использованию аналогичная информация микроволнового зондировщика атмосферы МТВЗА.

Основными задачами проведенного исследования являются: - проведение верификации данных температурно-влажностного зондирования атмосферы, полученных от средств космического зондирования, с данными аэрологического зондирования на сети станций северо-западного района; - сравнение восстановленных значений общего влагосодержания атмосферы по данным зондировщиков ATOVS с восстановленными значениями влагозапаса по измерениям с наземных СВЧ-радиометров.

Восстановление параметров вертикального зондирования атмосферы в оперативном режиме стало возможным благодаря использованию программных комплексов AAPP (ATOVS and AVHRR Processing Package, EUMETSAT) и IAPP (International ATOVS Processing Package, University of Wisconsin) [1,2]. В рамках данной работы разработана технология получения вертикальных профилей атмосферы на основе этих программных комплексов и информации аппаратуры

ATOVS спутников серии NOAA K, L, M и N. Разработанная технология внедрена в опытную эксплуатацию в ГУ «Санкт-Петербургский ЦГМС-Р».

В целях проверки качества восстановления температуры и влажности на основе сопоставления данных спутникового зондирования и аэрологических измерений выполнена верификация полученных для Северо-Западного региона РФ данных для двух сезонов зимнего (с 16 января по 11 марта 2008 г.) и летнего (с 1 мая по 31 августа 2008 г.).

В ходе выполнения работы для зимнего периода был накоплен архив, содержащий 187 спутниковых изображений и 1055 профилей аэрологического зондирования. Спутниковый архив летнего периода содержит 168 спутниковых наборов данных. Количество профилей аэрологического зондирования составляет 1600. Из этих данных было составлено 3000 пар значений, проанализированных далее. Выполнялись следующие условия при отборе данных:

1. разница между временем спутниковых и аэрологических наблюдений составила не более 2 часов;
2. пространственное отклонение составляло не более одного градуса долготы и широты;
3. в анализе не участвовали данные измерений, сделанные во время активных адвективных процессов.

Всего использованы измерения одиннадцати станций аэрологического зондирования, находящихся на территории Северо-Западной части Российской Федерации либо в смежных зарубежных регионах (рис.1).

Процедура верификации выполнена с учётом рекомендаций, приведённых в методических указаниях [3]. Анализ проведён для значений температуры и удельной влажности на основных изобарических поверхностях (1000, 850, 700, 500, 400, 300, 200, 150, 100, 50 и 30 ГПа).

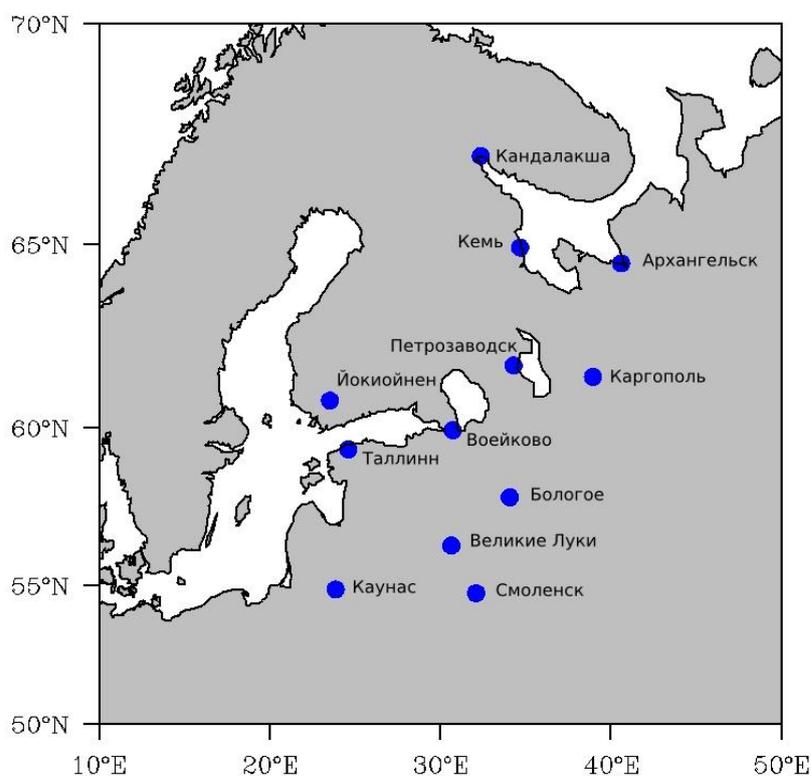


Рис. 1. Схема расположения использованных станций аэрологического зондирования

Проведен статистический анализ полученных результатов. Были рассчитаны коэффициенты корреляции восстановленных данных и данных аэрологического зондирования атмосферы (Корр), среднеквадратические отклонения ( $\sigma$ ), среднеквадратические отклонения восстановленных от истинных значений (RMSE), среднеарифметические отклонения разностей значений (Bias).

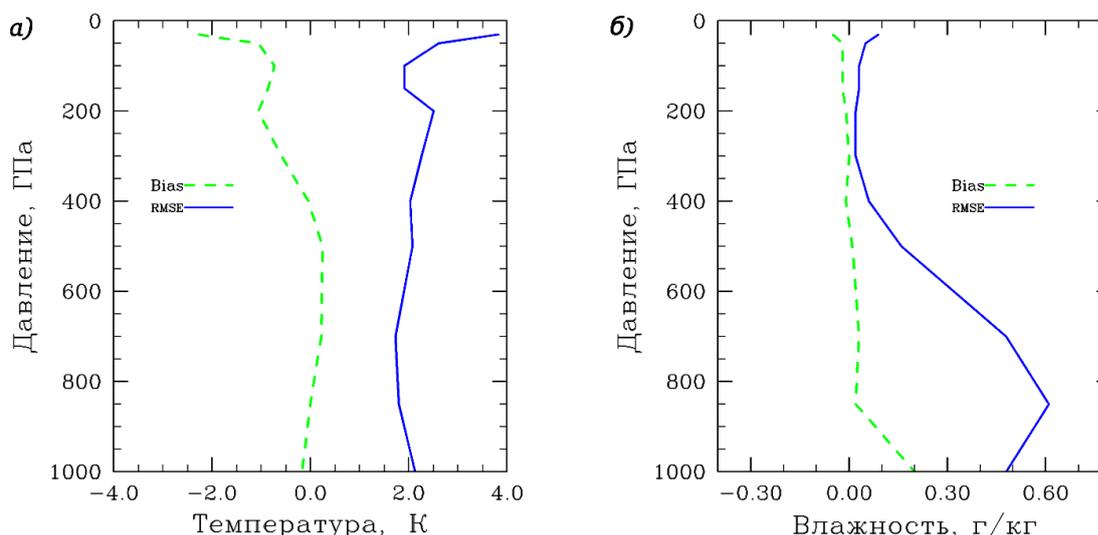
Среднеквадратическое отклонение восстановленных от истинных значений рассчитывалось по формуле:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N_s} \sum_{i=1}^{N_s} (X_{iRAOB} - X_{iATOV})^2}, \quad (1)$$

Среднее разностей значений, показывающее знак отклонений, рассчитывалось, как:

$$Bias = \frac{1}{N_s} \sum_{i=1}^{N_s} (X_{iATOVs} - X_{iRAOB}), \quad (2)$$

На рис.2-4 представлены графики хода среднеквадратического отклонения восстановленных характеристик от истинных значений (аэрологических наблюдений) для обоих сезонов.

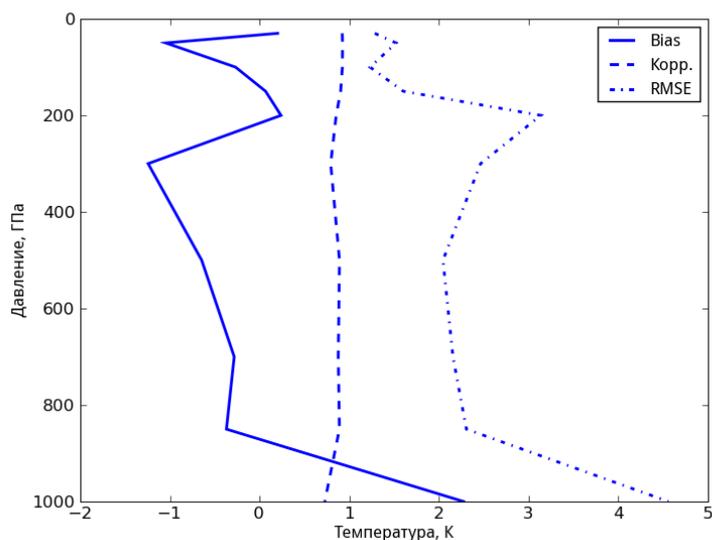


**Рис.2. Среднеквадратическое отклонение значений, восстановленных по спутниковым измерениям, от данных аэрологических наблюдений (RMSE), разница средних значений (Bias) для зимнего периода.**

На основе проведённого анализа, сделаны следующие выводы для зимнего периода:

- точность восстановления температуры составляет 2 К на поверхностях от 1000 до 150 ГПа. Выше 100 ГПа точность восстановления снижается до 3.8 К;

- точность восстановления удельной влажности изменяется от 0.9 г/кг на поверхности 1000 ГПа и изменяется до 0.27 г/кг на уровне 500 ГПа. В процентном отношении погрешность восстановления удельной влажности составляет 15 — 30%.



**Рис. 3. Среднеквадратическое отклонение значений температуры, восстановленных по спутниковым измерениям, от данных аэрологических наблюдений (RMSE), разница средних значений (Bias) и коэффициенты корреляции между спутниковыми наблюдениями и аэрологическими профилями (Корр.) для летнего периода.**

Анализируя летние данные, следует отметить, что самая низкая корреляция (0.72) для температурного поля соответствует приземному слою атмосферы, где отмечается завышение в среднем на  $2.3^{\circ}\text{K}$  восстановленных по спутниковому зондированию данных относительно аэрологических наблюдений и максимальное RMSE ( $4.6^{\circ}\text{K}$ ). Точность восстановления в зимний период составляла  $2^{\circ}\text{K}$  и снижалась только к уровню 150 ГПа. К причинам, вызывающим такую большую погрешность восстановления температуры в летний период можно отнести не возможность всегда корректно определить низкие облака алгоритмами ATOVS, неопределенность свойств подстилающих поверхностей на уровне земли, не учет погрешностей излучения земной поверхностью.

Анализируя данные о влажности атмосферы за летний период 2008г (рисунок 4), можно отметить достаточно низкую корреляцию с радиозондовыми измерениями (0.53-0.58) до 300 ГПа, выше можно констатировать невозможность восстановления параметра удельной влажности атмосферы по данным ATOVS. Наибольшая погрешность восстановления ( $3.0\text{ г/кг}$ ) с тенденцией занижения значений влажности относительно данных радиозонда наблюдается в приземном слое.

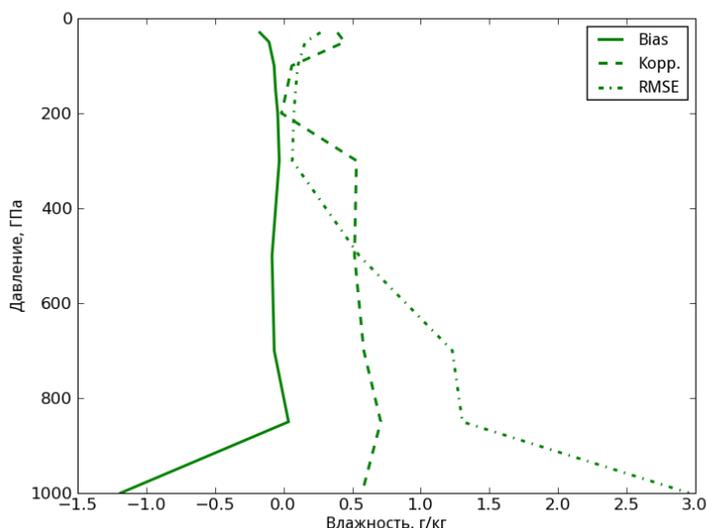
По данным верификации в зимний период не отмечалось занижение значений удельной влажности ни на одном из анализируемых уровней статистического профиля, а на приземном уровне обнаруживалось незначительное завышение. Причиной большой погрешности восстановления удельной влажности в приземном слое является также недоучет влияния свойств земной поверхности в алгоритмах восстановления этой характеристики.

На основе проведенного анализа, сделаны следующие обобщенные выводы о точности восстановления параметров вертикального зондирования атмосферы по данным ATOVS/NOAA для летнего периода:

- точность восстановления температуры изменяется от  $2.3^{\circ}\text{K}$  до  $2.1^{\circ}\text{K}$  на поверхностях от 850 до 300 ГПа. Выше 200 ГПа точность восстановления возрастает до  $1.3^{\circ}\text{K}$ , на высоте 200 ГПа точность падает до  $3.1^{\circ}$  и в приземном слое на уровне 1000 ГПа - до  $4.6^{\circ}\text{K}$ ;

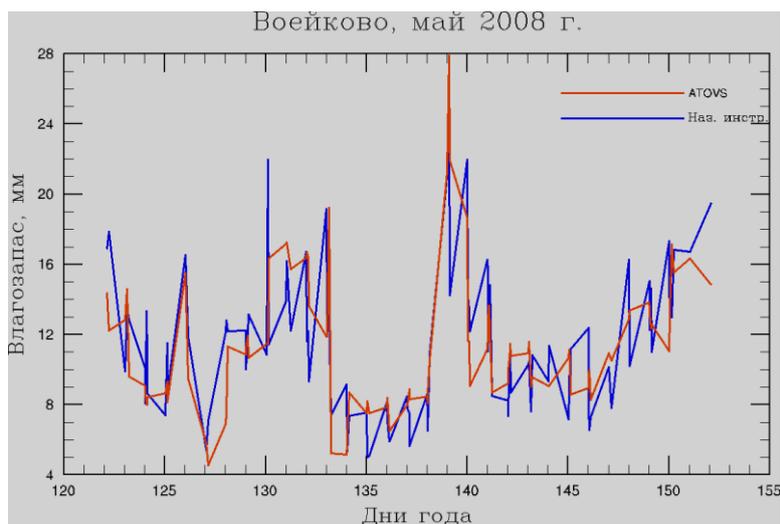
- точность восстановления удельной влажности изменяется от 2.9 г/кг на поверхности 1000 ГПа и изменяется до 0.6 г/кг на уровне 500 ГПа. В процентном отношении погрешность восстановления удельной влажности составляет 15-30%

Полученные результаты в целом подтверждаются валидацией алгоритмов восстановления при помощи аппаратуры ATOVS, проведенной в 1998г [4].



**Рис.4. Среднеквадратическое отклонение значений влажности воздуха, восстановленных по спутниковым измерениям, от данных аэрологических наблюдений (RMSE), разница средних значений (Bias) и коэффициенты корреляции между спутниковыми наблюдениями и аэрологическими профилями (Корр.) для летнего периода.**

Сравнение значений общего влагосодержания, восстановленного по данным ATOVS и данных о влагозапасе атмосферы, восстановленных из наблюдений наземных радиометров [5], производилось на основе измерений СВЧ- радиометров, установленных в посёлке Воейково. Основные результаты теоретических и экспериментальных СВЧ-радиометрических исследований атмосферы, выполненных в Главной геофизической обсерватории в 70-е - 80-е гг., отражены в монографии [6], Использовались наблюдения, произведённые синхронно. Восстановление проводилось как для безоблачных ситуаций, так и для облачных. Пространственное отклонение между наблюдениями не превышало одного градуса долготы/широты. Период наблюдений — с 1 по 22 мая 2008 года. Всего статистическая выборка состоит из 112 пар значений влагозапаса атмосферы (рисунок 5). В целом ход двух линий на рисунке 5 совпадает. Максимальные вариации влагозапаса атмосферы наблюдались 12 мая (133 день) и 19 мая (139 день). Столь высокие изменения влагозапаса 15-20 мм были обусловлены прохождением атмосферных фронтов.



**Рис. 5. График значений влагосодержания атмосферы, измеренных с помощью наземного СВЧ радиометра, и восстановленных по данным АТОВС.**

Среднеквадратическое отклонение между значениями, восстановленными из спутниковой информации и наблюдениями наземного СВЧ радиометра, составляет 2.9 мм. Проведенное сравнение открывает дальнейшие перспективы для использования данных СВЧ-радиометров для калибровки спутниковых метеорологических систем.

#### **Литература**

1. АТОВС and AVHRR Pre-processing Package – электрон. дан. – London: Met Office, 2008. – [www.metoffice.gov.uk/research/interproj/nwpsaf/aapp/](http://www.metoffice.gov.uk/research/interproj/nwpsaf/aapp/).
2. International ATOVS Processing Package – электрон. дан. – Wiconsin-Madison, USA: Cooperative Institute for Meteorological Satellite Studies, University of Wiconsin-Madison, 2000. – <http://cimss.ssec.wisc.edu/opsats/polar/iapp/>.
3. Методические указания. Проведение производственных (оперативных) испытаний новых и усовершенствованных методов гидрометеорологических и гелиогеофизических прогнозов. РД 52.27.284-91. - М.: Комитет по гидрометеорологии при кабинете министров СССР, 1991. 150С.
4. Li J., W. Wolf, P. Menzel, 2000: Global Soundings of the Atmosphere from ATOVS Measurements: The Algorithm and Validation // Journal of Applied Meteorology – Vol. 39, Is. 8. P.1248–1268.
5. Степаненко В.Д., Щукин Г.Г., Бобылев Л.П., Матросов С.Ю. Радиотеплолокация в метеорологии. Л.: Гидрометеиздат, 1987. 283С.
6. Караваев Д.М., Щукин Г.Г. Применение методов СВЧ-радиометрии для диагноза содержания жидкокапельной влаги в облаках. Прикладная Метеорология, вып.5(533) 2004, С.99-120.