

## **Радиометрический комплекс миллиметрового диапазона для мониторинга термодинамических характеристик тропосферы**

Е.Н. Кадыгров, Ю.В. Агапов, Е.А. Миллер, В.В. Некрасов, А.В. Троицкий,  
А.Н. Шапошников

*ФГБУ «Центральная аэрологическая обсерватория», 141700, Московская область,  
г. Долгопрудный, ул. Первомайская, 3, e-mail: ldz@cao-rhms.ru*

*Дано краткое описание нового наземного радиометрического комплекса, имеющего частотные каналы от 22 ГГц до 60 ГГц и обеспечивающего измерения профилей температуры тропосферы и общего содержания водяного пара.*

*New ground-based microwave radiometric system with frequencies in the range 22 ÷ 60 Hz for measurement of tropospheric temperature profiles and total amount of water vapour are described in the report.*

### **Введение**

В настоящее время в Российской Федерации отсутствует система мониторинга термодинамических характеристик тропосферы. А именно: профилей температуры и общего содержания водяного пара, производятся только дискретные выпуски радиозондов и отдельные научные эксперименты с использованием дистанционных приборов - акустических, оптических, микроволновых. В рамках проекта «Модернизация и техническое перевооружение учреждений и организаций Росгидромета-2» предполагается в 2012-2020 г.г. дополнить существующую сеть аэрологического зондирования дистанционными приборами, обеспечивающими непрерывность измерений между выпусками радиозондов. Дооснащение наблюдательной сети дистанционными приборами предусмотрено и в рамках Федеральной целевой программы «Создание и развитие системы мониторинга геофизической обстановки над территорией Российской Федерации на 2008-2015 годы».

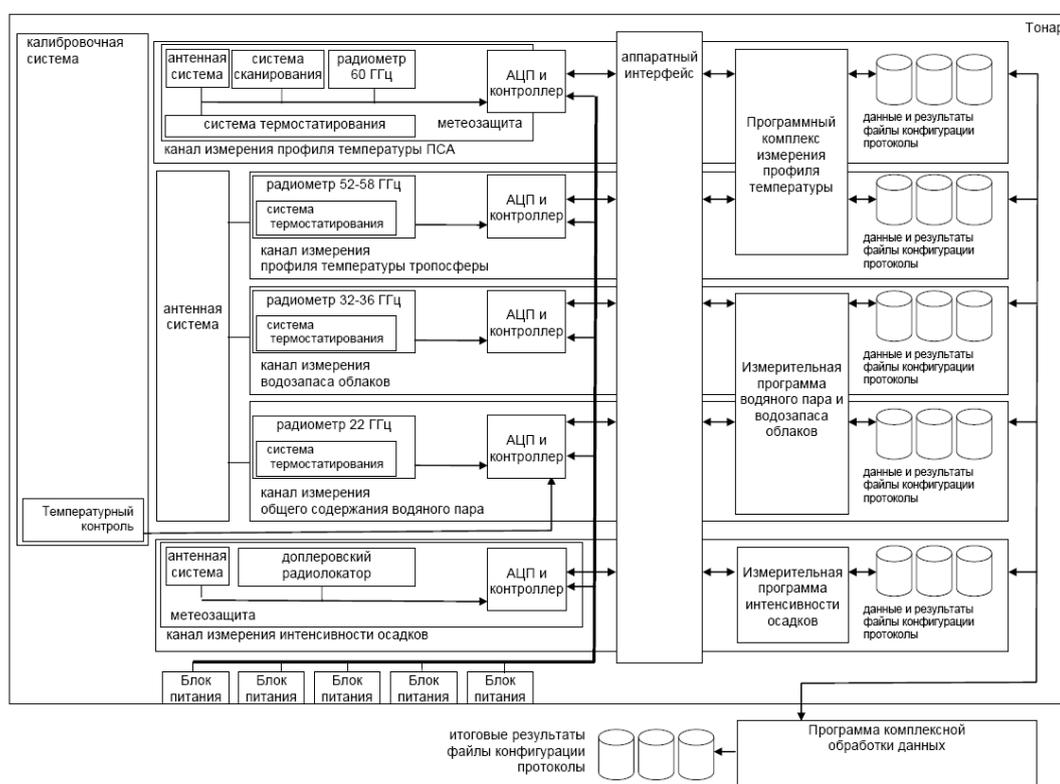
В связи с этим в Центральной аэрологической обсерватории Росгидромета с участием специалистов ФГБНУ «НИРФИ» и ООО НПО «АТТЕХ» в 2008-2011 г.г. был разработан и изготовлен опытный образец наземного радиометрического комплекса для мониторинга термодинамических характеристик тропосферы. В состав комплекса вошли как ранее разработанные в ЦАО приборы (измеритель профилей температуры атмосферного пограничного слоя атмосферы на основе сканирующего радиометра с частотой около 60 ГГц и доплеровский радиолокационный измеритель жидких осадков), так и вновь разработанные и изготовленные приборы: 6-ти канальный СВЧ радиометр с частотными каналами в диапазоне 53-57 ГГц и два модуляционных СВЧ радиометра прямого усиления с частотами 22 ГГц и 37 ГГц [1-8].

### **Структурная схема радиометрического комплекса**

На Рис.1 приведена структурная схема измерительного радиометрического комплекса. Он имеет пять измерительных каналов. Основные каналы: канал измерения профилей температуры тропосферы и канал измерения общего содержания водяного пара в столбе атмосферы. Каналы измерения профилей температуры атмосферного пограничного слоя, измерения водозапаса облаков и измерения интенсивности жидких осадков - вспомогательные, позволяющие повысить информативность основных

каналов. В качестве вспомогательного оборудования в состав измерительного комплекса входят: - измеритель интенсивности осадков, в качестве которого используется доплеровский радиолокационный измеритель осадков с частотой 10 ГГц; - внешний измеритель приземной температуры; - навигатор для определения точного местоположения комплекса и высоты установки над уровнем моря; - микропроцессорное устройство для сбора и предварительной обработки измерительной информации; - ПЭВМ для обработки данных.

Вся аппаратура монтируется на передвижном тоне, при этом СВЧ радиометры для измерения профилей температуры тропосферы, водозапаса облаков и общего содержания водяного пара находятся внутри тонеа и производят измерения через радиопрозрачное окно и зеркало-отражатель. Радиометр для измерения профилей температуры атмосферного пограничного слоя и измеритель жидких осадков находятся во внешней среде и установлены на крыше тонеа.



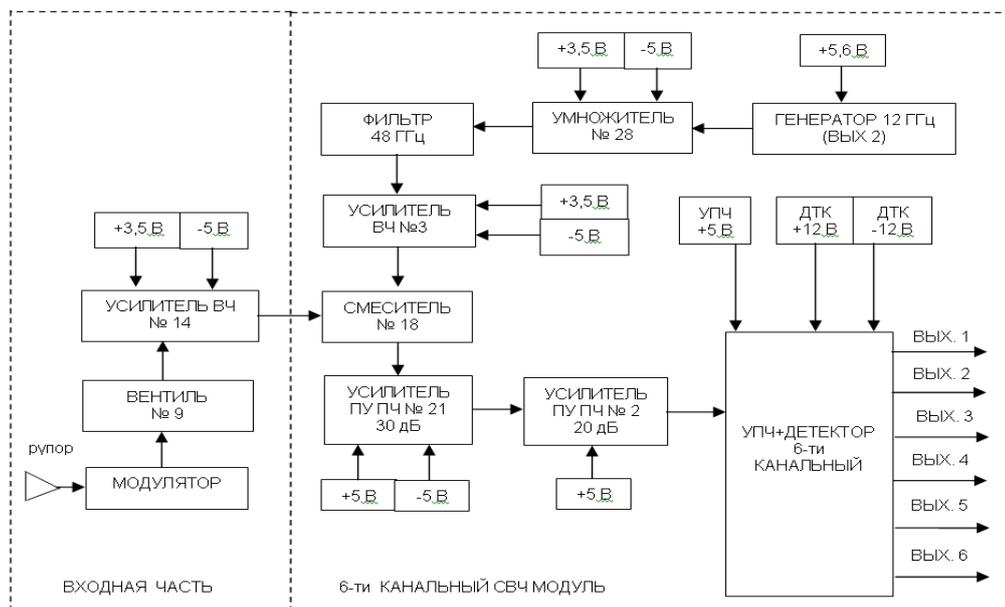
**Рис. 1. Структурная схема радиометрического комплекса**

### **Основные технические характеристики измерительных каналов**

Указанные выше измерения реализуются с помощью использования нескольких технических устройств: - шестиканального СВЧ радиометра с частотами в диапазоне 53 - 57 ГГц; - сканирующего по углу места одноканального СВЧ радиометра, измеряющего собственное тепловое излучение атмосферы на частоте 56.6 ГГц на 11 углах; - СВЧ радиометра с центральной частотой 22.2 ГГц для измерения влагзапаса атмосферы; - СВЧ радиометра с центральной частотой 37 ГГц для измерения водозапаса облаков.

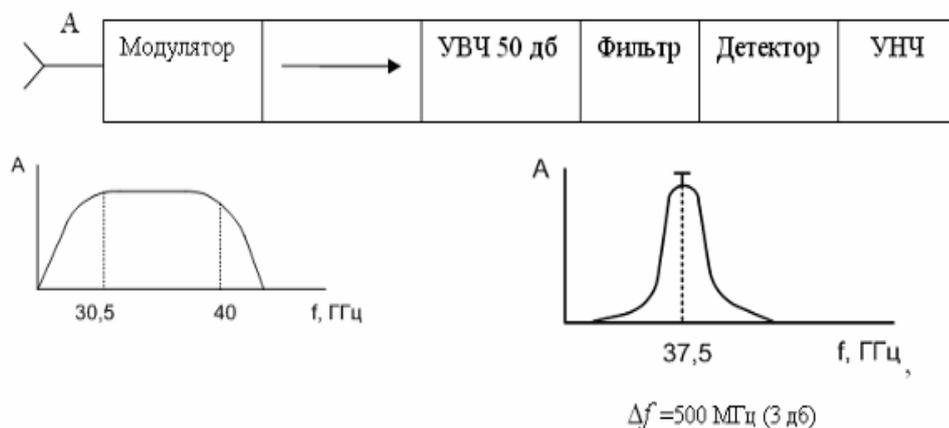
На Рис.2 представлена структурная схема канала измерения профилей температуры тропосферы. Основным устройством этого канала является шестиканальный СВЧ радиометр с центральными частотами каналов: 53.3 ГГц; 53.85 ГГц; 54.4 ГГц; 54.9 ГГц; 55.50 ГГц; 56.6 ГГц. Полоса пропускания спектральных каналов – 250 МГц,

приведенная чувствительность радиометра - 0.1 К. Приемник собран по супергетеродинной модуляционной схеме с расфилтровкой каналов.



**Рис. 2. Структурная схема СВЧ части радиометра для измерения профилей температуры тропосферы**

Канал измерения водозапаса облаков представляет собой одноканальный модуляционный радиометр, собранный по схеме прямого усиления с СВЧ усилителем на входе (Рис.3).

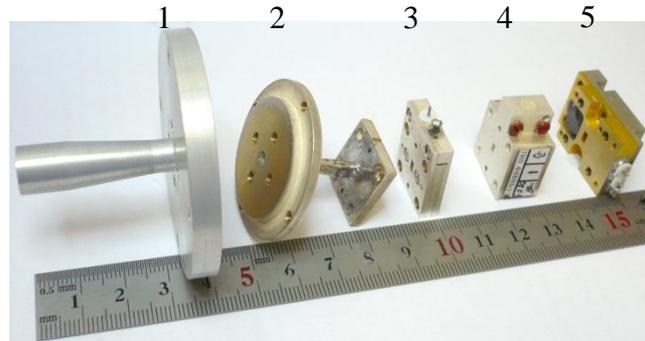


А – антенна, М - модулятор, В – вентиль, УВЧ - усилитель высокой частоты, Ф - фильтр, Д - детектор, УНЧ - усилитель низкой частоты, БП - блок питания

**Рис 3. Функциональная схема радиометра для измерения водозапаса облаков, собранного по схеме прямого усиления с СВЧ усилителем на входе**

Канал измерения профилей температуры атмосферного пограничного слоя (АПС) представляет собой сканирующий радиометр с центральной частотой 56,6 ГГц, полосой пропускания 450 МГц и приведенной чувствительностью 0.08 К. Приемник построен по аналогичной схеме, как и радиометр для измерения водозапаса облаков. Фактически этот канал представляет собой разработанный нами ранее микроволновый

температурный профилемер МТП-5 [1,5]. На Рис.4 показан внешний вид СВЧ части радиометра этого канала.



1 - двухмодовый рупор; 2 - терморазвязка; 3 - модулятор;  
4 – вентиль; 5 – усилитель СВЧ

**Рис. 4. Внешний вид элементов входной части СВЧ радиометра АПС**

Основным устройством канала измерения общего содержания водяного пара в столбе атмосферы является одноканальный СВЧ радиометр с центральной частотой 22.235 ГГц, полосой пропускания 400 МГц и приведенной чувствительностью 0.07 К. Приемник также построен по модуляционной схеме прямого усиления с СВЧ усилителями на входе, внешний вид представлен на Рис.5.



**Рис.5. СВЧ радиометр для измерения общего содержания водяного пара**

Разработанный опытный образец измерительного комплекса успешно прошел лабораторные и натурные испытания и проходит цикл сравнений с данными радиозондирования.

### **Заключение**

Разработан и изготовлен опытный образец наземного измерительного комплекса, обеспечивающий практически непрерывное измерение термодинамических характеристик тропосферы (профилей температуры и общего содержания водяного пара). Измерительный комплекс обеспечивает:

- измерение профилей температуры тропосферы в диапазоне высот 0 – 10 км с темпом выдачи данных не более 600 с, шагом по высоте 1 км и погрешностью восстановления профилей температуры 0,5°С – 2,0°С;
- измерение профилей температуры в диапазоне высот 0 - 1,6 км (режим «погран-слой») с темпом выдачи данных не более 600 с, шагом по высоте 100 м и погрешностью восстановления профилей температуры атмосферы не более 1 °С;
- измерение общего содержания водяного пара в столбе атмосферы (интегральное влагосодержание) с погрешностью 0,2 г/см<sup>2</sup>;
- измерение интегральной водности с погрешностью 0,05 кг/м<sup>2</sup> (в интервале 0 - 2 кг/м<sup>2</sup>);
- измерение интенсивности жидких осадков с относительной погрешностью 15 %.

При этом канал измерения профилей температуры тропосферы и канал измерения общего содержания водяного пара являются основными, а каналы измерения профилей температуры атмосферного пограничного слоя, измерения водозапаса облаков и измерения интенсивности жидких осадков - вспомогательными, позволяющими повысить информативность основных каналов. Планируется установка нескольких таких комплексов на опорных аэрологических станциях, что с одной стороны обеспечит непрерывность измерений, а с другой - возможность дополнительных калибровок с использованием данных радиозондирования.

### Литература

1. Kadygrov E.N., Pick D.R. The potential for temperature retrieval from an angular-scanning single-channel microwave radiometer and some comparisons with in situ observations.// *Meteorological Applications*, 1998, V.5, Issue 4, P. 393-404.
2. Kadygrov E.N., Shur G.N., and Viazankin A.S. Investigation of atmospheric boundary layer temperature, turbulence, and wind parameters on the basis of passive microwave remote sensing.// *Radio Science*, 2003, V. 38, No 3, P. Mar 13-1÷13-12.
3. Kadygrov E.N. Operational aspects of different ground-based remote sensing observing techniques for vertical profiling of temperature, wind, humidity and cloud structure: a review.// WMO, 2006, IOM Report N 89, WMO/TD N 1309, Geneva, Switzerland, P. 1-34.
4. Westwater E.R., Han Y., Irisov V.G., Levskiy V., Kadygrov E.N., Viazankin A.S. Remote sensing of boundary layer temperature profiles by a scanning 5-mm microwave radiometer and RASS: Comparison Experiments.// *Journal of Atmosp., and Ocean. Techn.*, 1999, V. 16, July, P. 805-818.
5. Кадыгров Е.Н. Микроволновая радиометрия атмосферного пограничного слоя-метод, аппаратура, результаты измерений.// *Оптика атмосферы и океана*, 2009, т.22, № 7, с.697-704
6. Троицкий А.В. Дистанционное определение температуры атмосферы из спектральных радиометрических измерений в линии  $\lambda$  5 мм // *Изв. ВУЗов. Радиофизика*. 1986. Т. 29. № 8. С. 878.