

**Методика, обработка и некоторые результаты измерений нисходящего излучения атмосферы в резонансной области поглощения водяного пара 18-27 ГГц**

Д.П. Егоров

*Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова (ИРЭ РАН), г. Москва, ул. Моховая, 11, корп. 7.*

*E-mail: dobrix95@gmail.com*

*Представлена методика многочастотных непрерывных измерений нисходящего излучения атмосферы вблизи резонансной линии поглощения водяного пара 22.235 ГГц. Измерения проводились с помощью СВЧ радиометра-спектрометра с наземной точки наблюдения, оборудованной в г.Фрязино Московской области. Разработано программное обеспечение цифровой обработки данных измерений. Представлены программные решения для оценки интенсивности флуктуаций радиоизлучения и определения интегральных параметров полной массы водяного пара  $Q$  и водозапаса облаков  $W$  по данным измерений. Предложен многочастотный метод определения интегральных параметров. Приведены результаты обработки данных некоторых измерительных сеансов.*

Во Фрязинском филиале Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН был оборудован пункт наземных наблюдений нисходящего радиоизлучения атмосферы. Сеансы непрерывных измерений проводились с помощью 47-канального СВЧ радиометра-спектрометра, разработанного в СКБ ИРЭ под руководством С.Ю. Турыгина [1]. Прибор позволяет получать спектры нисходящего излучения в диапазоне 18-27.2 ГГц с частотным разрешением 0.2 ГГц. Время получения полного спектра составляет 11 секунд. Для метеорологической интерпретации СВЧ-радиометрических измерений регулярно используется дополнительная информация. К ней относятся результаты метеонаблюдений с двух метеостанций Vantage Pro 2, расположенных на расстоянии порядка 300 метров от исходного пункта наблюдений. Данные о температуре, относительной влажности воздуха, атмосферном давлении, скорости и направлении ветра, интенсивности и сумме осадков поступают с интервалом в 1 минуту, передаются на сервер и записываются в базу данных. При помощи 2.0 мегапиксельной видеокамеры HI3516C производится фотофиксация текущих погодных условий. Автор принимал непосредственное участие в проведении измерений, обработке и интерпретации данных.

Дальнейшая обработка данных измерительных сеансов осуществляется программным обеспечением, разработанным на языках Python и C++. Программное обеспечение позволяет привести полученные радиометром значения к значениям истинной радиояркой температуры, применив к ним известные алгоритмы калибровки; получить оценку интенсивности флуктуаций радиоизлучения путём подсчёта значений структурных функций яркой температуры; определить величину интегральных параметров полной массы водяного пара  $Q$  и водозапаса облаков  $W$ , используя двух- или многочастотные методы. Многочастотный метод здесь понимается как решение задачи минимизации следующего функционала:

$$J = \sum_{m=1}^N (\tau(\lambda_m) - \tau_{O_2}(\lambda_m) - k_p(\lambda_m) \cdot Q - k_w(\lambda_m, T_{обл.}) \cdot W) \rightarrow \min_{Q, W} \quad (1)$$

где  $\tau(\lambda_m)$  – рассчитанное [2, 3] по измеренной яркой температуре полное поглощение в атмосфере на длине волны  $\lambda_m$ ;  $\tau_{O_2}(\lambda_m)$  – поглощение в кислороде; а

$k_p(\lambda_m)$  и  $k_w(\lambda_m, T_{обл.})$  – некоторые весовые функции, зависящие от длины волны, а вторая ещё и от предполагаемой температуры облака  $T_{обл.}$  [2, 4-6].

Программное обеспечение реализовано как в виде standalone-приложения, работающего на клиенте, так и в виде клиент-серверного приложения с возможностью делегирования основной вычислительной нагрузки в обе стороны.

### Литература

1. Данилычев М.В., Казарян Р.А., Калинин А.А., Кутуза Б.Г., Турыгин С.Ю. – Наземный СВЧ радиометр для исследования атмосферы и обеспечения подспутниковых экспериментов //Акустооптические и радиолокационные методы измерений и обработки информации: Материалы 9-ой Международной научно-технической конференции /НТОРЭС им. А.С. Попова, Суздаль, Россия, 2016 г., с.203-207.
2. Б.Г. Кутуза, М.В. Данилычев, О.И. Яковлев. Спутниковый мониторинг Земли: Микроволновая радиометрия атмосферы и поверхности. // М.: ЛЕНАНД, 2016 г.
3. Rec. ITU-R P.676-3. Attenuation by atmospheric gases // The ITU Radiocommunication, 1997 г.
4. Р.А. Казарян, Б.Г. Кутуза. О точности определения полной массы водяного пара и водозапаса облаков при двухчастотном измерении микроволнового излучения атмосферы // ИРЭ РАН, 2014 г.
5. Башаринов А.Е., Кутуза Б.Г. Исследования радиоизлучения и поглощения облачной атмосферы в миллиметровом и сантиметровом диапазонах // Тр. Главн. геоф. обсерв., вып. 222, стр. 100-110, Л., 1968 г.
6. Аквилонова А.Б., Кутуза Б.Г. Радиотепловое излучение облаков // Радиотехника и электроника, т. 23, № 9, стр. 1792-1806, 1978.