

## Оценка погрешности измерения интенсивности дождя радиометрическим методом

Е.В.Федосеева<sup>1</sup>, Г.Г.Щукин<sup>2</sup>, Д.М.Караваев<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Муромский институт (филиал) ФГБОУ ВПО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», 602264, г. Муром, Владимирской обл., ул. Орловская, 23 E-mail: [elenafedoseeva@yandex.ru](mailto:elenafedoseeva@yandex.ru)

<sup>2</sup> Военно-космическая академия им. А.Ф.Можайского, 197198, г. Санкт-Петербург, ул. Ждановская, д.13, E-mail: [ggshchukin@mail.ru](mailto:ggshchukin@mail.ru)

*На основе анализа данных многочастотных радиометрических исследований атмосферы проведена оценка погрешности измерения интенсивности дождя, обусловленная формированием слоя воды на поверхности зеркальной антенны.*

*The comparative analysis of influence of a sheet of water on a surface of the mirror antenna on an error of measurements is carried out by passive and active radar-tracking systems of parameters of the cloudy atmosphere*

### Введение

Микроволновая радиометрия предоставляет средства для дистанционного зондирования атмосферы и оценки ее метеопараметров по результатам измерений собственного радиошумового излучения. На основе данных радиометрических измерений в результате решения обратных задач оценивают метеопараметры атмосферы, в частности, влаго- и водозапаса, интенсивность дождя [1]. Известно, что проведение радиометрических измерений в нескольких частотных диапазонах позволяет повысить точность оценки метеопараметров атмосферы.

Первичной измеряемой величиной при радиометрическом зондировании является радиояркость температура принятого излучения, и погрешность ее измерения, в конечном счете, определяет точность решения обратных задач определения метеопараметров и достоверность выполняемых на их основе прогнозов.

Один из факторов, влияющих на точность радиометрических измерений в условиях выпадения дождя, - слой воды, образующийся на поверхности зеркальной антенны, обусловленный фрикционными свойствами материала антенны.

В работах [1-3] приведены данные исследований этого влияния в зависимости от интенсивности дождя и частотного диапазона измерений. В данной работе анализируется влияние слоя воды на поверхности антенны на результаты решения задачи определения интенсивности дождя по данным многочастотных измерений.

### Радиометрические измерения интенсивности дождя

Задача дистанционного измерения интенсивности дождя радиометрическим методом основана на взаимосвязи уровня измеряемого радиошумового излучения облаков – радиояркость температуры и их водности, по величине которой определяется интенсивность дождя в приземном слое атмосферы.

Для решения указанных обратных задач используются следующие регрессионные соотношения:

$$\omega = b_0 + b_1 T_{\text{ярк}}(f_1), \quad (1)$$

или 
$$\omega = b_0 + b_1 \Delta T_{\text{ярк}}(f_1 - f_2), \quad (2)$$

где  $\omega$  – водность облака;

$T_{\text{ярк}}$  – измеряемая радиояркость температура;

$f$  – центральная частота полосы частот радиометра;

$\Delta T_{\text{ярк}}$  – разность радиоярких температур на двух частотах;

$b_0$  и  $b_1$  – коэффициенты регрессии, величина которых зависит от частоты измерения  $f$ .

Оценка интенсивности дождя по данным радиометрических измерений основана на взаимосвязи водности облака  $\omega$  и интенсивностью дождя  $I$  у поверхности земли

$$I = A \cdot \omega^\beta, \quad (3)$$

в которой численные значения коэффициентов  $A$  и  $\beta$  зависят от водности облака.

Объединение выражений (1) – (3) позволяет получить возможность решения обратной задачи – определения интенсивности дождя по результатам радиометрических измерений. Так в работе [4] исследованы зависимости радиоярких контрастов атмосферы  $\Delta T_{\text{ярк}}(f, \theta) = T_{\text{ярк}}(f, \theta, I) - T_{\text{ярк}}(f, \theta, I = 0)$ ,  $\theta$  - угол места,  $f = (4-14)$  ГГц, от интенсивности дождя в диапазоне от 0 до 100 мм/ч. В качестве примера на рис. 1 приводится зависимость радиояркого контраста от интенсивности дождя (высота слоя 2 км) для случая зондирования в зенитном направлении при многочастотных измерениях. В частности, из приведенных данных следует, что при интенсивности дождя 30 мм/ч радиояркий контраст может составлять около 14.6 К, 36 К и 116 К при частотах 5.5 ГГц, 7.5 ГГц и 13.5 ГГц, соответственно.

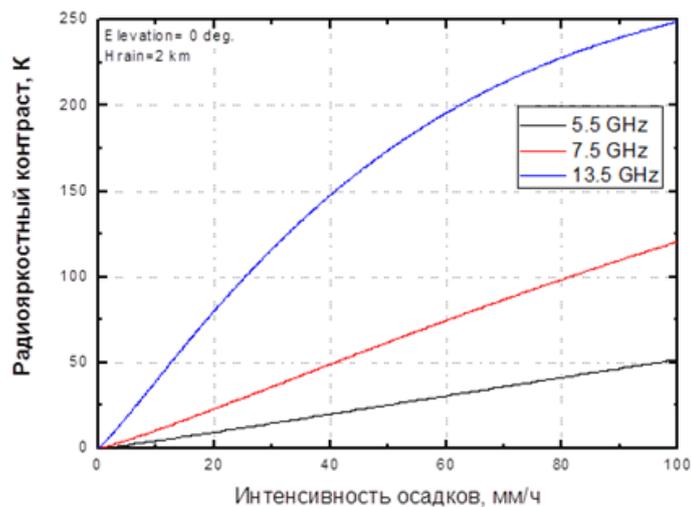


Рис.1. Зависимость радиояркой температуры (радиояркого контраста)  $T_{\text{ярк}}$  от интенсивности дождя  $I$

Наличие данных многочастотных радиометрических измерений позволяет снизить погрешность оценки интенсивность дождя и повысить ее достоверность, но при условии отсутствия систематических погрешностей измерения, величина которых зависит от частоты измерения.

### **Влияние слоя воды на поверхности антенны на результаты радиометрических измерений дождя**

При наличии слоя воды на поверхности зеркала антенная температура радиометрической системы определяется выражением [5]

$$T'_a = T_a \cdot R_{321}^2 + T_{321}, \quad (4)$$

где  $T_a$  - антенная температура при отсутствии слоя осадков на поверхности зеркала;

$R_{321}^2$  - коэффициент отражения по мощности от трехслойного образования (воздух – слой осадков - металл антенны);

$T_{321}$  - температура шумов данного образования, приведенная к входу радиометрической системы.

Абсолютное приращение антенной температуры, характеризующее погрешность измерений радиояркой температуры, обусловленную действием слоя осадков на поверхности зеркала, определяется следующим образом:

$$\Delta T_a = T_a \cdot (R_{321}^2 - 1) + \bar{T}_{321}. \quad (5)$$

Величина коэффициента отражения  $R_{321}^2$  и собственной радиошумовой температуры слоя воды  $T_{321}$  зависит от частоты измерения. На рис. 2 - 3 приведены зависимости коэффициента отражения  $R_{321}^2$  и собственной радиошумовой температуры слоя воды  $T_{321}$  от толщины слоя воды на поверхности антенны для трех значений частот в многочастотных радиометрических измерениях дождевых облаков: 1 -  $f = 5.5 ГГц$ ; 2 -  $f = 7.5 ГГц$ ; 3 -  $f = 13.5 ГГц$ .

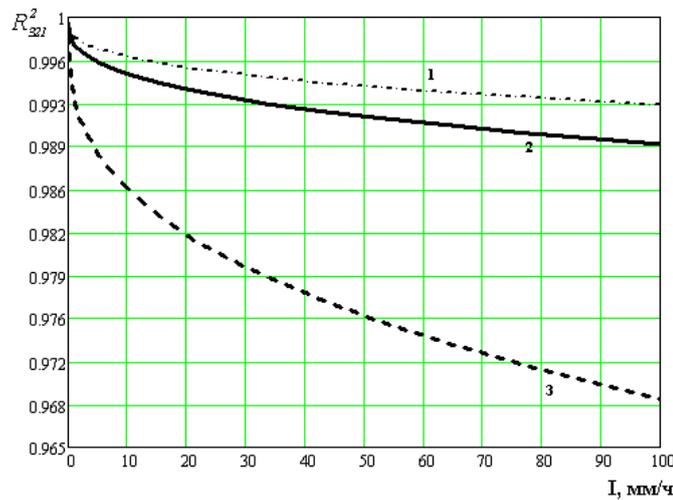


Рис.2. Зависимость коэффициента отражения  $R_{321}^2$  от интенсивности дождя

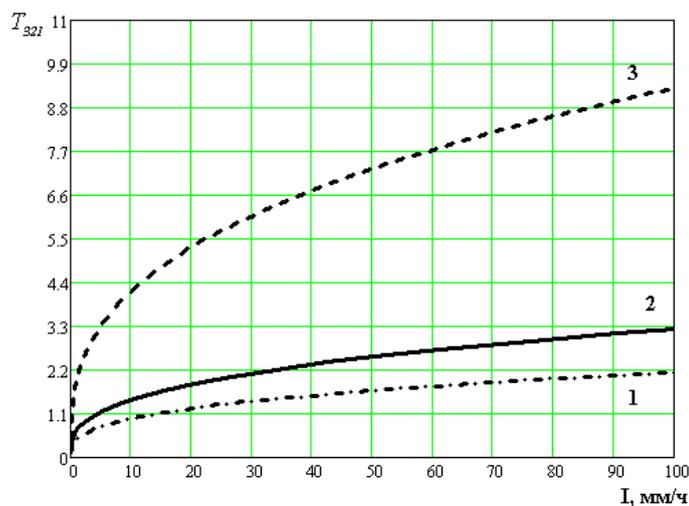


Рис.3. Зависимость собственной радиошумовой температуры слоя воды на поверхности зеркальной антенны  $T_{321}$  от интенсивности дождя I

Наличие частотной зависимости коэффициента отражения  $R_{321}^2$  и собственной радиошумовой температуры слоя воды  $T_{321}$  определяет необходимость оценки погрешности измерения радиояркостной температуры дождя, обусловленной слоем воды на поверхности антенны, для различных диапазонов частот в составе многочастотных радиометрических измерений.

#### Анализ влияния слоя воды на результаты радиометрических измерений интенсивности дождя

При проведении анализа влияния слоя воды на поверхности антенны на погрешность многочастотных радиометрических измерений интенсивности дождя были рассмотрены три частотных диапазона 5.5 ГГц, 7.5 ГГц и 13.5 ГГц, для которых на рис.1. приведены аппроксимированные зависимости радиояркостной температуры от интенсивности дождя.

На рис. 4 – 5 показаны зависимости абсолютной и относительной погрешности измерения радиояркостной температуры дождя при зондировании в зенит, когда высота столба дождя составляет 2 км при наличии слоя воды на поверхности зеркальной антенны с диаметром раскрыва 1м: рис.4 – 5 введены следующие обозначения: 1 -  $f = 5.5 ГГц$ ; 2 -  $f = 7.5 ГГц$ ; 3 -  $f = 13.5 ГГц$ .

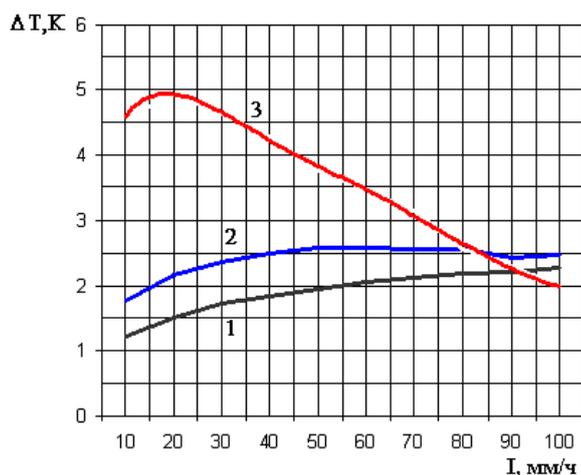


Рис.4. Абсолютная погрешность измерения радиояркостной температуры дождя

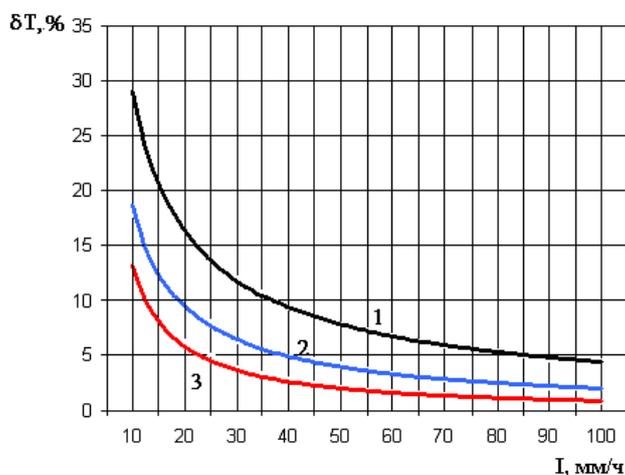


Рис.5. Относительная погрешность измерения радиояркостной температуры дождя

Анализ результатов расчета погрешности измерений радиояркой температуры дождя показывает, что абсолютная величина этой погрешности снижается с уменьшением частоты исследования. Так в данном случае наименьшие значения погрешности в пределах 2.5 К соответствовали частоте 5.5 ГГц. При проведении измерений на более высоких частотах, в данном случае 13.5 ГГц, наблюдается существенный рост погрешности измерения при малых значениях интенсивности дождя с последующим снижением ее величины до уровня соответствующего измерениям на частотах 5.5 и 7.5 ГГц.

С точки зрения относительной погрешности ее величина имеет максимальные значения при малых интенсивностях дождя постепенно снижаясь до уровня единиц процентов при увеличении интенсивности дождя.

### **Выводы**

Результаты расчетов погрешностей измерения радиояркой температуры дождя при наличии слоя воды на поверхности антенны показали сложную частотную зависимость величины этой погрешности, что должно быть учтено при выполнении оценки интенсивности дождя по результатам многочастотных радиометрических измерений.

### **Литература**

1. Федосеева, Е.В. Исследование влияния осадков на точность СВЧ радиометрических наблюдений/ Е.В.Федосеева, Г.Г. Шукин // Труды ГГО. – 2010. - Вып. 562. –С.226-242.
2. Федосеева Е.В., Шукин Г.Г. Анализ погрешности измерения радиояркой температуры осадков при многочастотных измерениях // «Распространение радиоволн» / XXIII Всероссийская научная конференция / Сб. докл. – Йошкар-Ола, 2011. – С.267 – 270.
3. Федосеева Е.В., Шукин Г.Г. Оценка влияния слоя осадков на поверхности антенны на результаты радиотеплолокационного зондирования дождевых облаков // "Проблемы военно-прикладной геофизики и контроля состояния природной среды" / II Всероссийская научная конференция / Труды конф. – СПб.: ВКА имени А.Ф.Можайского, 2012. – С.81 – 88.
4. Караваев Д.М., Шукин Г.Г. Развитие радиометрического метода определения профилей влажности, температуры атмосферы, водности облаков и интенсивности осадков. Труды 28 Всероссийского симпозиума «Радиолокационное исследование природных сред». Т.2, С-Пб, 2013.-С.353-358.
5. Тучков, Л.Г. Естественные шумовые излучения в радиоканалах / Л.Г.Тучков. – М.: Сов. радио, 1968. – 152 с.