

Анализ результатов угломестного многочастотного зондирования однородной атмосферы СВЧ радиометрической системой с компенсацией влияния фоновых шумов

Е.В. Федосеева¹, И.Н. Ростокин¹, Г.Г. Щукин², Е.А. Ростокина¹

¹Муромский институт (филиал) ФГБОУ ВО «Владимирского государственного университета им. А.Г. и Н.Г.Столетовых», 602264, г. Муром, Владимирской обл., ул. Орловская 23, e-mail: elenafedoseeva@yandex.ru

²Военно-космическая академия им. А.Ф.Можайского, 197198, г. Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13, e-mail: gshchukin@mail.ru

Анализируются данные многочастотных угломестных СВЧ радиометрических измерений радиотеплового излучения однородной атмосферы, полученных с помощью трехдиапазонной СВЧ радиометрической системы с компенсацией влияния фоновых шумов. Выполнено сравнение результатов измерений при малых углах места с компенсацией и без компенсации влияния фоновых шумов.

The data of multi-frequency angular-local microwave radiometric measurements of radio-thermal radiation of homogeneous atmospheres obtained by means of three-band microwave radiometric system with compensation of background noise influence are analyzed. The results of measurements at small angles with compensation and without compensation of background noise are compared.

Введение

СВЧ радиометрические измерения собственного радиотеплового излучения являются средством оперативного контроля состояния атмосферы, оценки метеопараметров и формирования прогнозов их изменения [1-2]. Угломестные СВЧ радиометрические измерения позволяют получать пространственные оценки изменения параметров атмосферы.

При выполнении угломестных измерений собственного радиотеплового излучения атмосферы одна из задач при проведении первичных измерений - исключение влияния фоновых шумов, которые обусловлены приемом радиотеплового излучения окружающего пространства через область рассеяния диаграммы направленности (ДН) антенны, т.к. при смене угла места изменяется их относительный вклад в входной сигнал системы.

Один из возможных подходов к решению указанной задачи - формирование дополнительного входного сигнала СВЧ радиометрической системы, уровень которого определяется величиной вклада фоновых шумов в основной измерительный сигнал системы с последующей реализацией разностного алгоритма обработки входных сигналов. В [3-6] предложен вариант реализации такой СВЧ радиометрической системы с предусмотренным отдельным приемом радиотеплового излучения на общую апертуру антенны на двух модах круглого волновода H_{11} и E_{01} в трех диапазонах частот с последовательным выделением сигналов основного и дополнительного каналов в модовом делителе антенны.

В данной работе для оценки эффективности компенсации влияния фоновых шумов выполнен анализ результатов угломестных измерений радиотеплового излучения однородной атмосферы, рассмотренной трехдиапазонной СВЧ радиометрической системой.

Методика оценки погрешности результатов угломестных радиометрических измерений радиотеплового излучения однородной атмосферы

Входной сигнал СВЧ радиометрической системы определяется величиной антенной температуры, которая по уравнению антенного сглаживания равна [7]

$$T_a(\theta) = \int_0^{\pi} F(\theta - \varphi) T(\varphi) d\varphi + T_{mn} \int_{\pi}^{2\pi} F(\theta - \varphi) d\varphi, \quad (1)$$

где $F(\theta)$ – нормированная ДН по мощности;

$T(\varphi)$ – угловая зависимость радиояркой температуры атмосферы;

T_{mn} – радиояркая температура подстилающей поверхности.

Помехи, обусловленные фоновыми шумами, принимаемыми через область рассеяния ДН антенны: второе слагаемое в выражении (1), соответствующее помеховому вкладу фоновых шумов от подстилающей поверхности, и составляющая в первом слагаемом – помеховое действие фоновых шумов, создаваемых атмосферой вне исследуемой угловой области – области главного лепестка ДН антенны. Антенная температура, заданная в виде (1), объясняет изменение помехового вклада фоновых шумов при изменении угла места θ .

Для оценки погрешности угломестных СВЧ радиометрических измерений радиотеплового излучения атмосферы был выбран метод сравнения результатов угломестных измерений с известным соотношением [2] угловой зависимости радиояркой температуры однородной атмосферы

$$T(\varphi) = T_z / \sin \varphi, \quad (2)$$

где угол φ отсчитывается от горизонта,

T_z – радиояркая температура атмосферы в зените.

В работе для сравнительной оценки погрешности угломестных измерений с компенсацией и без компенсации влияния фоновых шумов в СВЧ радиометрической системе с целью исключения влияния шумов приемника и собственных шумов антенны в качестве численной величины характеризующей нормированную антенную температуру принималась разность выходных сигналов для текущего угла места θ и для зенита $\theta = 90^\circ$, нормированные к разности сигналов при приеме на углах места $\theta = 30^\circ$ и $\theta = 90^\circ$.

$$\frac{T_{aэ\text{мн}H11}}{T_z} : \frac{U_{осн}(\theta) - U_{осн}(90^\circ)}{U_{осн}(30^\circ) - U_{осн}(90^\circ)}, \quad (3)$$

$$\frac{T_{aэ\text{мн}E01}}{T_z} : \frac{U_{доп}(\theta) - U_{доп}(90^\circ)}{U_{осн}(30^\circ) - U_{осн}(90^\circ)}, \quad (4)$$

где $U_{осн}(\theta)$ и $U_{доп}(\theta)$ – выходные сигналы СВЧ радиометрической системы при приеме по основному (на волне H_{11}) и дополнительному (на волне E_{01}) каналу.

Погрешность угломестных измерений определялась как относительная разность антенной температуры и радиояркой температуры атмосферы при заданном угле места

$$\delta_1(\theta) = (T_{aH11}(\theta) - T(\theta)) / T_z, \quad (5)$$

$$\delta_2(\theta) = (T_{aH11}(\theta) - T_{aE01}(\theta) - T(\theta)) / T_z, \quad (6)$$

где $T_{aH11}(\theta)$ и $T_{aE01}(\theta)$ – антенная температура СВЧ радиометрической системы при приеме на волнах H_{11} и E_{01} , соответственно, для угла места θ .

Для оценки эффективности компенсации влияния фоновых шумов при выполнении двухканальных измерений на волнах H_{11} и E_{01} СВЧ радиометрической системой в задачах угломестных измерений радиояркой температуры атмосферы анализировалась разность относительных погрешностей

$$\delta_T(\theta) = \delta_2(\theta) - \delta_1(\theta). \quad (7)$$

Результаты экспериментальных исследований

Для оценки потенциальных возможностей контроля состояния атмосферы трехдиапазонной СВЧ радиометрической системой с компенсацией влияния фоновых шумов [4] были выполнены угломестные измерения радиотеплового излучения безоблачной атмосферы в зимний и весенний период. При смене сезона изменяется состояние подстилающей поверхности и ее радиояркая температура, что определяет различие вклада радиотеплового излучения подстилающей поверхности в величину входного сигнала, что позволяет выявить общие тенденции в изменении погрешности угломестных измерений.

Экспериментальные угломестные исследования радиотеплового излучения атмосферы выполнялись трехдиапазонной СВЧ радиометрической системой. Прием радиотеплового излучения осуществляется в трех частотных диапазонах (7.5 см, 3.2 см, 1.35 см) на одну зеркальную или рупорную антенну с частотным разделением в облучателе при организации дополнительного приемного канала с формированием сигнала компенсации фоновых шумов в диапазонах 7.5 см и 3.2 см.

Результаты многочастотных СВЧ радиометрических исследований безоблачной атмосферы с изменением угла высоты от 15° до 90° (зенит) в весенний период приведены на рисунках 1-2, в зимний период на рисунках 3-4.

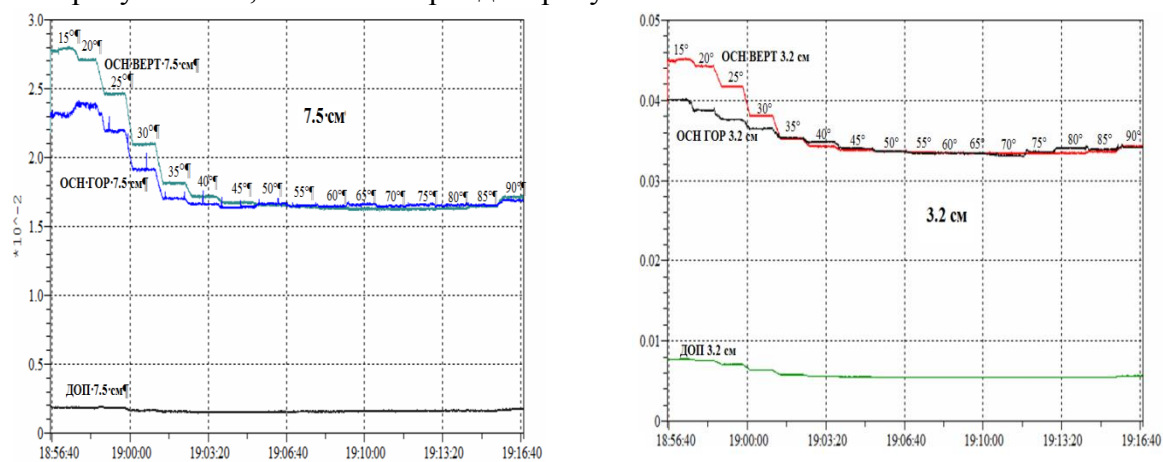


Рис. 1. Временные диаграммы выходного напряжения СВЧ радиометрической системы с двухканальным разностным приемом при выполнении угловых измерений радиотеплового излучения безоблачной атмосферы (24.03.18 г. с 18:56 по 19:17, метеорологические параметры: $H=55\%$, $T=-4,8^\circ\text{C}$, $P=749,3$ мм.рт.ст) при приеме на зеркальную антенну с радиусом раскрытия 1200 мм.

На рис. 5-6 представлены результаты оценки погрешности измерений радиотеплового излучения однородной атмосферы многочастотной СВЧ радиометрической системой по данным измерений, представленным на рис. 1-2 и рис.3-4 соответственно.

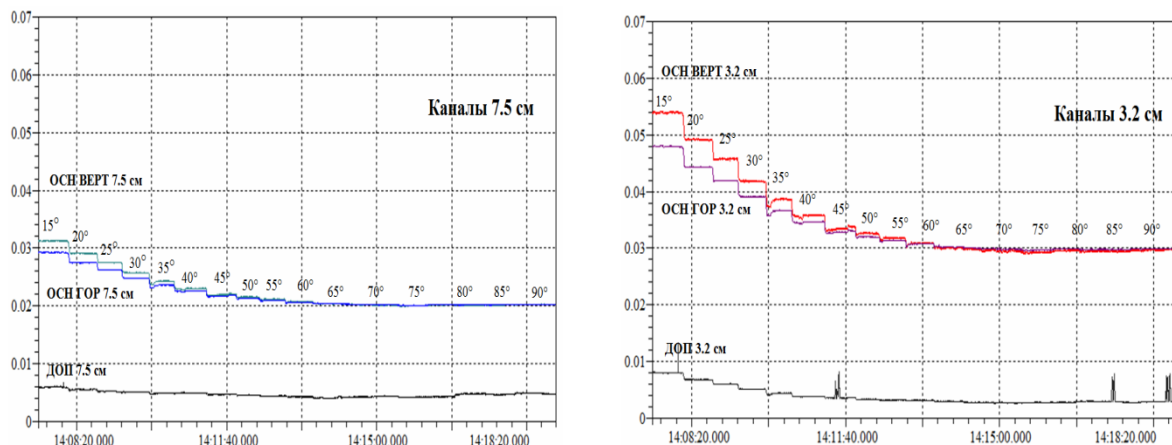


Рис. 2 Временные диаграммы выходного напряжения СВЧ радиометрической системы с двухканальным разностным приемом при выполнении угловых измерений радиотеплового излучения безоблачной атмосферы (30.03.18 г. с 19:36 по 19:50, метеорологические параметры: Н=42 %, Т= - 3,5°С, Р=757,2 мм.рт.ст) при приеме на рупорную антенну с радиусом раскрыва 250 мм.

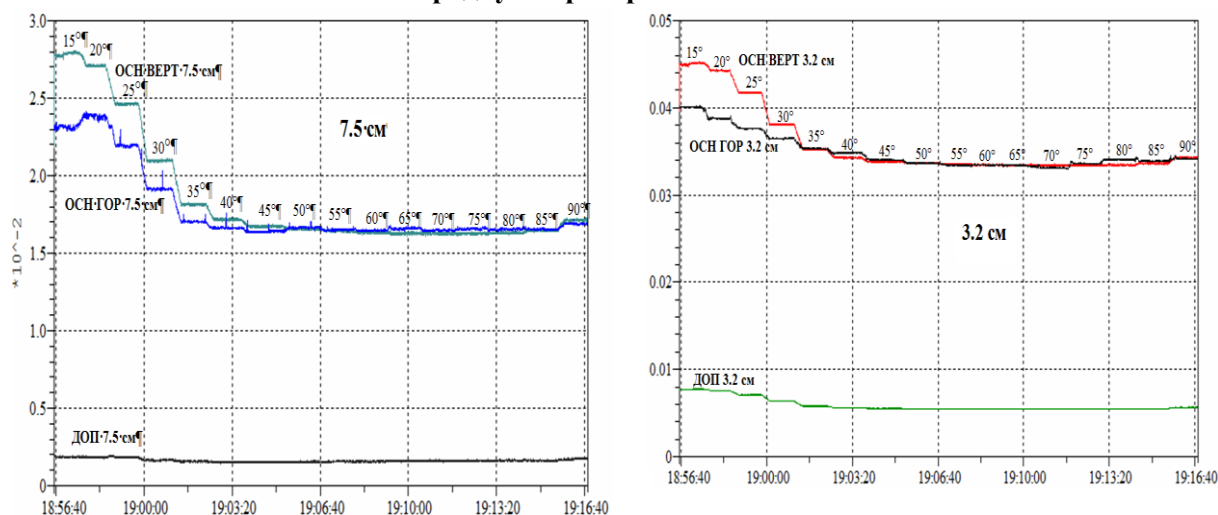


Рис. 3. Временные диаграммы выходного напряжения СВЧ радиометрической системы с двухканальным разностным приемом при выполнении угловых измерений радиотеплового излучения безоблачной атмосферы (25.01.18 г. с 14:08 по 14:18, метеорологические параметры: %, Т= - 10°С, Р=767,2 мм.рт.ст) при приеме на рупорную антенну с радиусом раскрыва 250 мм.

Результаты оценки погрешности угломестных измерений радиотеплового излучения однородной атмосферы показали, что снижение погрешности полученных результатов при выполнении компенсации вклада фоновых шумов во входном сигнале СВЧ радиометрической системы наблюдается при малых углах места, где вклад фоновых шумов растет, за счет приема высокотемпературного излучения подстилающей поверхности по ближним боковым лепесткам ДН антенны, при этом уровень выходного сигнала дополнительного канала возрастает относительно стабильного уровня при больших углах места, что приводит к уменьшению влияния фоновых шумов на результаты измерений.

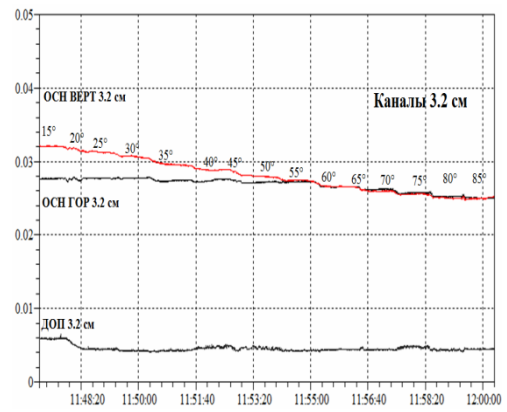
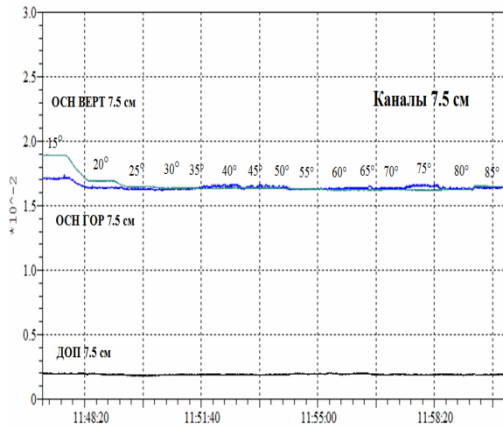
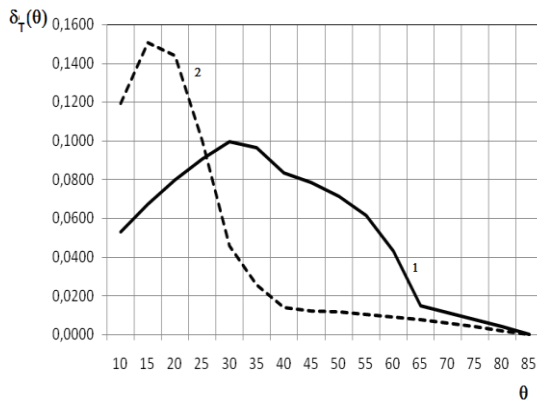
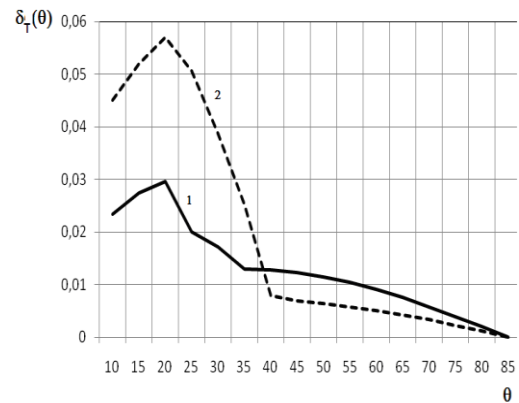


Рис. 4. Временные диаграммы выходного напряжения СВЧ радиометрической системы с двухканальным разностным приемом при выполнении угловых измерений радиотеплового излучения безоблачной атмосферы (25.01.18 г. с 11:48 по 11:59, метеорологические параметры: $H=57\%$, $T=-9,7^{\circ}\text{C}$, $P=767,0$ мм.рт.ст) при приеме на зеркальную антенну с радиусом раскрыва 1200 мм.

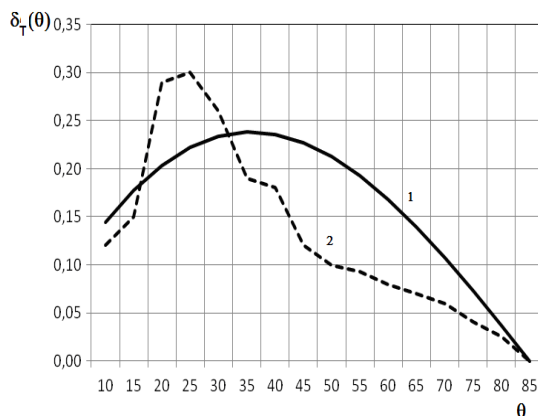


а

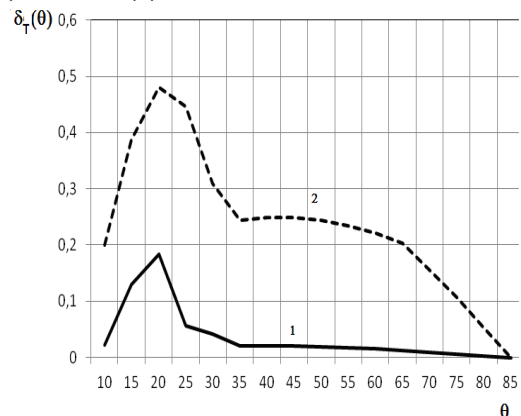


б

Рис. 5. Разностная погрешность экспериментальных угломестных измерений радиотеплового излучения однородной атмосферы (30.03.18 г.) с компенсацией и без компенсации фоновых шумов при приеме на апертуру радиуса 250мм (1) и 1200мм (2) на длине волны 3.2см (а) и 7.5см (б).



а



б

Рис. 5 Разностная погрешность экспериментальных угломестных измерений радиотеплового излучения однородной атмосферы (25.01.18 г.) с компенсацией и без компенсации фоновых шумов на апертуру радиуса 250мм (1) и 1200мм (2) на длине волны 3.2см (а) и 7.5 см (б).

Заключение

Проведенные исследования подтвердили эффективность компенсации влияния фоновых шумов при проведении угломестных измерений радиотеплового излучения атмосферы на малых углах места, реализованного в многочастотной СВЧ радиометрической системе с приемом в двухмодовом режиме на общую апертуру антенны и формированием разностного выходного сигнала.

Работа выполнена при поддержке РФФИ гранта №14-02-97510 р_центр_а.

Литература

1. Щукин Г.Г., Степаненко В.Д., Снегуров А.В. Перспективные направления радиолокационных наблюдений за атмосферой // Труды Главной геофизической обсерватории им. А.И.Воейкова. - 2010. – № 561. – С. 223 - 241.
2. Некос А.Н., Некос В.Е. Щукин Г.Г. Дистанционные методы исследований природных объектов: моногр. – СПб.: РГГМУ, 2009 – 319 с.
3. Федосеева Е.В., Щукин Г.Г., Ростокин И.Н., Ростокина Е.А. Компенсация помех в работе СВЧ радиометрических систем // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. – 2014. – №1(13). – С. 50 – 62.
4. Ростокин И.Н., Федосеева Е.В., Щукин Г.Г. Сверхвысокочастотная радиометрическая система с внешним тестовым шумовым сигналом. // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. Выпуск 653. – СПб.: ВКА имени А.Ф. Можайского, 2016, С. 204 – 209.
5. Федосеева Е.В., Ростокин И.Н., Щукин Г.Г. Оценка условий приема в двухканальной СВЧ радиометрической системе по внешнему тестовому сигналу. // Известия высших учебных заведений. Физика. Том. 59, №12/3. – Томск, 2016 С. 116 – 120.
6. Ростокин И.Н., Федосеева Е.В. Вопросы построения многочастотной СВЧ радиометрической системы дистанционного зондирования облачной атмосферы с компенсацией фонового излучения // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. – 2015. – №1(17). – С. 5 – 12.
7. Цейтлин Н.М. Антенная техника и радиоастрономия. - М.: Сов. радио, 1976. – 352с.