

УДК 621.396

Анализ условий СВЧ радиометрического зондирования удаленных зон дождя

Тышкевич Е.М., Федосеева Е.В.

В данной статье проанализировано влияние удаленной зоны дождя в области зондирования СВЧ радиометрической системы на величину измеряемой радиояркой температуры атмосферы. Выполнен расчет радиояркой температуры атмосферы при наличии зоны дождя с интенсивностью 1мм/час, 10 мм/час и 100 мм/час для трех длин волн 1,35см, 3,2см и 7,5 см при удалении зоны дождя от 1 до 10 км. Рассмотрены и проанализированы значения приростов радиояркой температуры атмосферы, обусловленные наличием удаленной зоны дождя в области зондирования трехдиапазонной СВЧ радиометрической системы.

Ключевые слова: радиометрическая система, радиояркая температура атмосферы.

Введение

Важная задача систем дистанционного зондирования атмосферы – обнаружение условий возникновения опасных метеорологических явлений, в частности ливневых осадков. Проблема достоверной оценки результатов СВЧ радиометрического зондирования атмосферы состоит в необходимости выделения вариаций выходного сигнала, обусловленных приемом радиотеплового излучения от зон формирования опасных атмосферных явлений [1-2]. Поэтому необходимо проанализировать возможные изменения в выходном сигнале СВЧ радиометрической системы, позволяющие оценить наличие таких зон в области зондирования.

Задача данной работы проанализировать изменения радиояркой температуры атмосферы, формируемой в месте расположения наземной СВЧ радиометрической системы, при наличии в области зондирования удаленной зоны дождя в различных частотных диапазонах.

Многодиапазонность СВЧ радиометрических исследований существенно расширяет возможности решения обратных задач радиометеорологии, как в оценке метеопараметров атмосферы, так и в формировании прогнозов изменения ее состояния. Поэтому необходимо рассмотреть и для задачи зондирования удаленных зон дождя возможности многочастотного СВЧ радиометрического зондирования.

Радиояркая температура атмосферы при наличии удаленной зоны дождя

При рассмотрении вопроса формирования в определенной точке радиотеплового излучения протяженной области пространства, говорят об эффективном поглощающем слое, который в основном определяет величину ее радиояркой температуры, уменьшая влияние на ее величину более глубоких слоев [2].

Условия СВЧ радиометрических измерений радиотеплового излучения атмосферы с удаленной зоной осадков таковы, что наличие в направлении дистанционного зондирования протяженной слабо поглощающей области перед сильно поглощающей (зоны осадков) способно значительно уменьшить ее воздействие на общее значение радиояркой температуры. Для оценки возможности обнаружения и оценки интенсивности осадков удаленной зоны дождя учитывалось данное воздействие протяженной области атмосферы в направлении зондирования.

Для моделирования радиояркой температуры атмосферы с удаленной зоной дождя были приняты следующие упрощающие предположения (рис.1):

- горизонтальная однородность атмосферы до дождя и с дождем, характеризуемая коэффициентом поглощения, зависящим от частоты;
- прямолинейность радиолуча, задающего направление формирования радиотеплового излучения атмосферы с зоной дождя в точке приема;

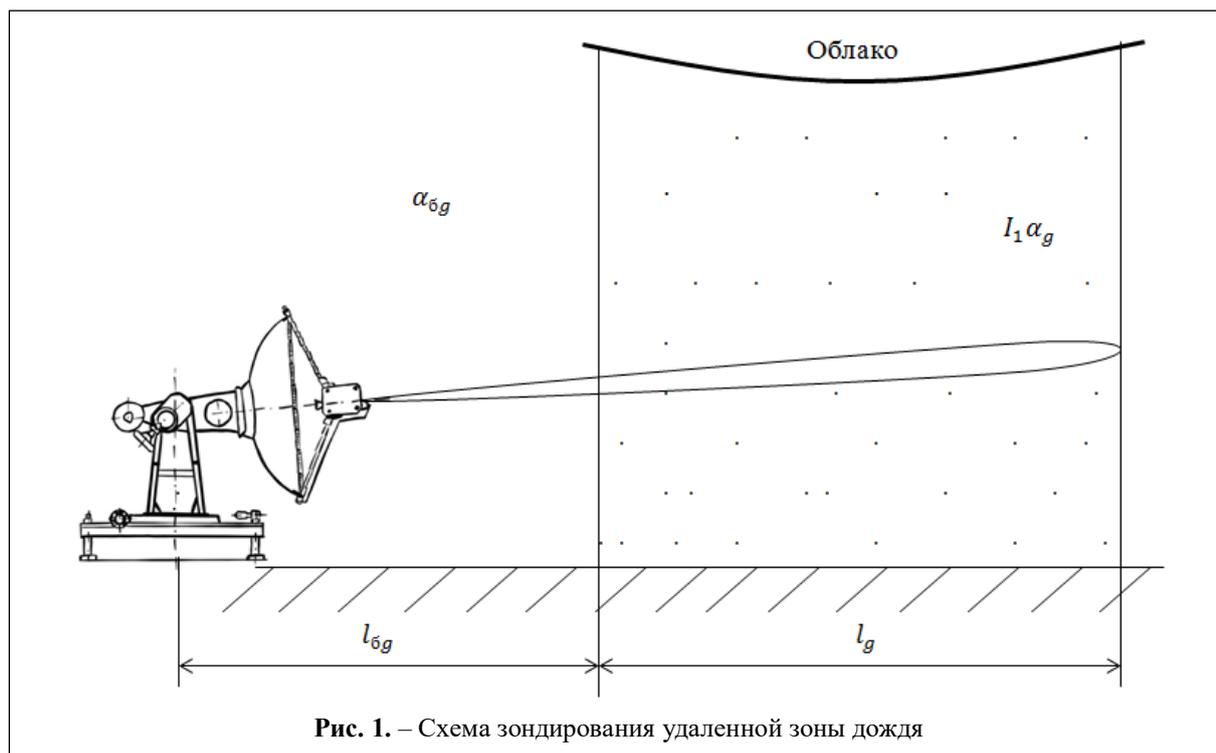


Рис. 1. – Схема зондирования удаленной зоны дождя

- направление зондирования при угле места не более 30° , что позволяет не учитывать излучение облака.

Данные упрощающие предположения существенно сужают возможности применения результатов на практике, но позволяют принципиально определить влияние удаленной зоны дождя на радиояркостную температуру атмосферы измеряемой СВЧ радиометрической системой. Основное ограничение связано с реализацией зондирования по заданному отдельному углу места. Для этого необходима антенна с бесконечно узким главным лучом диаграммы направленности. В противном случае необходимо учитывать влияние на результаты измерений излучения всего окружающего систему пространства.

На основе уравнения переноса излучения для неоднородной структуры [1-2] и с учетом указанных упрощений модель радиотеплового излучения неоднородной атмосферы с удаленной от микроволновой радиометрической системы областью дождя для радиояркостной температуры была принята в виде

$$T_{\text{ярк}} = \Delta T_{\text{д}} + \Delta T_{\text{бд}} = (1 - e^{-\alpha_{\text{д}} l_{\text{д}}}) T_{\text{д}} e^{-\alpha_{\text{бд}} l_{\text{бд}}} + \int_0^{l_{\text{бд}}} \alpha_{\text{бд}} T_{\text{бд}} \exp\left(-\int_x^{l_{\text{бд}}} \alpha_{\text{бд}} dy\right) dx, \quad (1)$$

где $T_{\text{ярк}}$ - радиояркостная температура атмосферы с удаленной областью дождя; $\Delta T_{\text{д}}$ и $\Delta T_{\text{бд}}$ - составляющие радиояркостной температуры атмосферы, обусловленные радиотепловым излучением продольной области до дождя и областью дождя соответственно; $\alpha_{\text{д}}$ и $\alpha_{\text{бд}}$ - погонные коэффициенты затухания в области дождя и в области атмосферы без дождя; $T_{\text{д}}$ и $T_{\text{бд}}$ - термодинамические температуры областей дождя и без дождя; $l_{\text{д}}$ и $l_{\text{бд}}$ - продольные размеры области дождя и без дождя.

Для выполнения численных оценок радиояркостной температуры атмосферы с удаленной зоной дождя необходимы значения коэффициентов поглощения в дожде в зависимости от его интенсивности и от частоты зондирования. Согласно известным опубликованным данным по коэффициентам поглощения атмосферы без осадков и области дождя [1] были приняты для расчетов радиояркостной температуры атмосферы с удаленной областью дождя значения коэффициентов ослабления, приведенные в Таблице 1.

Таблица 1. Погонные коэффициенты поглощения атмосферы

Длина волны, см	Коэффициент ослабления атмосферы, $дБ \cdot км^{-1}$			
	Без дождя	В дожде с интенсивностью		
		1мм/час	10мм/час	100 мм/час
1,35	0,1	0,1	0,2	2
3,2	0,02	0,03	0,03	0,3
7,5	0,001	0,005	0,005	0,05

пазонах с центральными длинами волн 1,35см, 3,2см и 7,5 см для трех случаев удаленных зон с интенсивностью 1мм/час, 10мм/час и 100 мм/час при разных удалениях зоны дождя от места базирования трехдиапазонной СВЧ радиометрической системы [3-4]. Результаты расчета приведены на рис. 2.

Результаты численной оценки радиояркостной температуры атмосферы с удален-

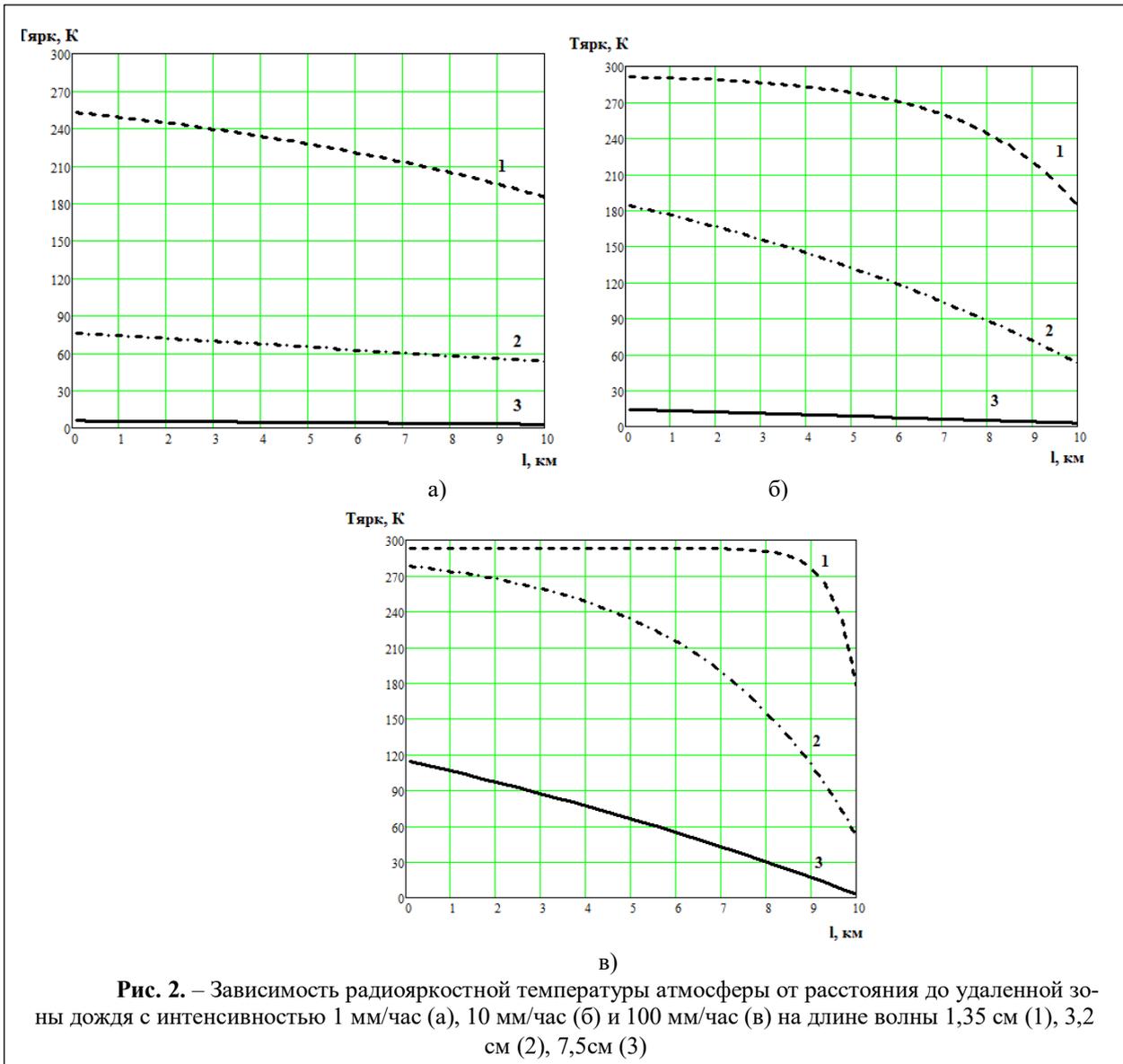


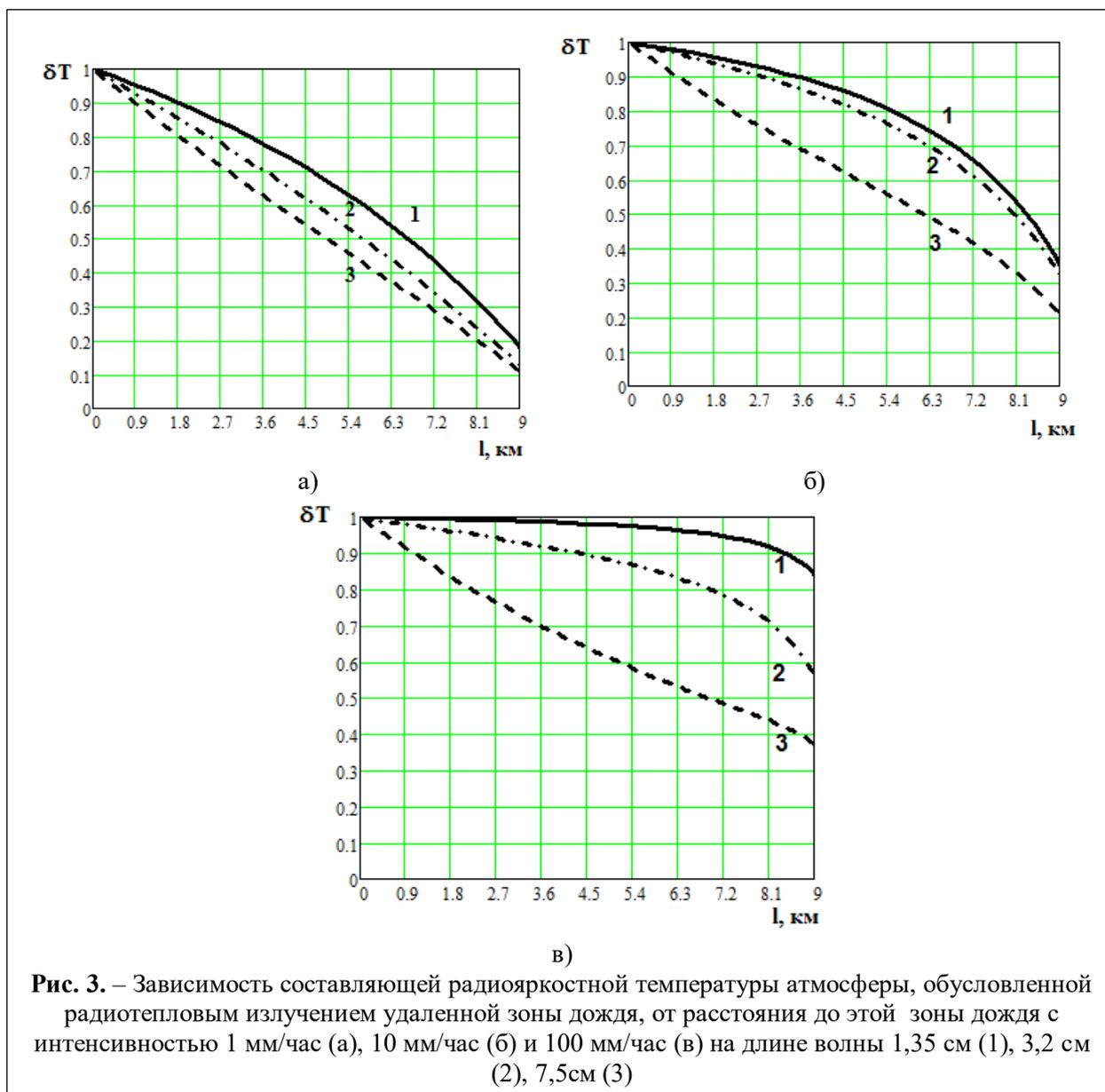
Рис. 2. – Зависимость радиояркостной температуры атмосферы от расстояния до удаленной зоны дождя с интенсивностью 1 мм/час (а), 10 мм/час (б) и 100 мм/час (в) на длине волны 1,35 см (1), 3,2 см (2), 7,5см (3)

Результаты численного анализа радиояркостной температуры атмосферы с удаленной зоной дождя

Для указанных данных по коэффициентам поглощения в атмосфере без осадков и с осадками были выполнены расчеты радиояркостной температуры в трех частотных диа-

ной области дождя показали совпадение общей тенденции зависимости изменения величины $T_{ярк}$ от расстояния до области дождя. С увеличением расстояния $T_{ярк}$ уменьшается для всех трех длин волн.

Анализ полученных результатов для радиояркостной температуры атмосферы от



расстояния до удаленной зоны дождя показал зависимость от частоты прироста радиояростной температуры, обусловленного наличием в области зондирования удаленной зоны дождя. Поэтому дополнительно был рассчитан вклад радиотеплового излучения зоны дождя в общую величину радиояростной температуры по формуле

$$\delta T = \frac{\Delta T_{\text{д}}}{T_{\text{ярк}}}. \quad (2)$$

Результаты расчета вклада зоны дождя в радиояростную температуру атмосферы приведены на рис. 3.

Согласно данным рис. 3 прирост радиояростной температуры атмосферы с удален-

ной зоной дождя уменьшается с увеличением расстояния до указанной области, но скорость этого изменения зависит от интенсивности осадков и длины волны. Так скорость уменьшения вклада радиояростной температуры самая высокая для длины волны 7,5 см, поэтому относительное влияние наличия удаленной зоны дождя в области зондирования на результаты измерений должно быть самым сильным по сравнению с остальными рассмотренными длинами волн (1,35 см и 3,2 см).

Заключение

Теоретический анализ влияния удаленной зоны дождя на радиояростную температуру

атмосферы в 3-х частотных диапазонах позволил сделать вывод о нелинейной зависимости изменения прироста радиояркостной температуры, который зависит как от расстояния до зоны дождя, так и от частоты, на которой выполняется измерение радиотеплового излучения атмосферы.

Полученный результат анализа позволяет сделать вывод о возможности решения задачи обнаружения удаленной зоны дождя и оценки ее физических и пространственных параметров по данным многочастотных СВЧ радиометрических измерений.

Литература

1. Радиотеплолокация в метеорологии / В.Д. Степаненко, Г.Г.Щукин, Л.П. Бобылев, С.Ю. Матросов. – Л.: Гидрометеиздат, 1987 – 283 с.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 21-19-00378, <https://rscf.ru/project/21-19-00378/>.

Поступила 22 июля 2021 г.

This article analyzes the influence of the remote rain zone in the area of the microwave radiometric system sounding on the measured radio brightness temperature of the atmosphere. The radio brightness temperature of the atmosphere is calculated in the presence of a rain zone with an intensity of 1 mm / h, 10 mm / h and 100 mm/h for three wavelengths of 1, 35 cm, 3.2 cm and 7.5 cm at a distance of the rain zone from 1 to 10 km. The values of increases in the radio brightness temperature of the atmosphere due to the presence of a remote rain zone in the sensing area of the three-band microwave radiometric system are considered and analyzed.

Key words: radiometric system, radio brightness temperature of the atmosphere.

Тышкевич Елизавета Михайловна – магистрант 2-го курса по направлению подготовки магистратуры 11.04.01 «Радиотехника» факультета радиотехники и компьютерных систем Муромского института (филиала) ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых».

E-mail: tishkevich.lan@mit.ru

Адрес: 602264, Муром, ул. Орловская, д. 23.

Федосеева Елена Валерьевна – доктор технических наук, доцент кафедры радиотехники Муромского института (филиала) ФГБОУ ВПО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых».

E-mail: elenafedoseeva@yandex.ru

Адрес: 602264, г. Муром, ул. Орловская, 23.

2. R. Ware, D. Cimini, P. Herzegh, F. Marzano, J. Vivekanandan, E. Westwater GROUND-BASED MICROWAVE RADIOMETER MEASUREMENTS DURING PRECIPITATION Presented at the 8th Specialst Meeting on Microwave Radiometry, 24-27 Feb 2004, Rome, Italy

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. Вопросы построения многочастотной СВЧ радиометрической системы дистанционного зондирования облачной атмосферы с компенсацией фонового излучения // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. – 2015. – №1(17). – С. 5 – 12.