

### **Анализ результатов корреляционной оценки данных измерений многочастотной РМС с компенсацией фоновых шумов**

Е.В. Федосеева, И.Н. Ростокин, А. С. Круглов

*Муромский 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](mailto:elenafedoseeva@yandex.ru)*

*Приведены результаты корреляционного анализа результатов измерений радиотеплового излучения атмосферы трехдиапазонной СВЧ радиометрической системой с компенсацией фоновых шумов и данных измерений интенсивности осадков автоматической метеостанции. Полученные результаты выявили наличие сильной корреляции, которая увеличивается при введении процедуры компенсации фоновых шумов особенно в периоды начала и окончания выпадения дождя.*

*The results of the correlation analysis of the results of measurements of radiothermal radiation of the atmosphere by a three-band microwave radiometric system with a combination of background noise and data of measurements of precipitation intensity of an automatic weather station are presented. The obtained results revealed the presence of a strong correlation, which increases with the introduction of the background noise compensation procedure, especially during the beginning and end of rain.*

#### **Введение**

Одна из важнейших задач современных систем дистанционного зондирования атмосферы - оперативное отслеживание процессов развития опасных атмосферных явлений, например, ливневых дождей с возможностью оценки временных характеристик развития этих явлений, что предполагает комплексный подход к получению и обработке данных СВЧ радиометрических измерений и формированию прогнозов изменения состояния атмосферы [1-2].

Собственное радиотепловое излучение атмосферы является частотно зависимой функцией температуры, влагозапаса, водозапаса атмосферы и интенсивности осадков. Решение обратных задач оценки параметров атмосферы по интенсивности радиотеплового излучения, регистрируемого СВЧ радиометрическими системами, основано на статистических взаимосвязях метеопараметров с величиной принятой мощности, что позволяет сформировать регрессионные модели оценки метеопараметров по результатам СВЧ радиометрических измерений.

При выполнении измерений наземными СВЧ радиометрическими комплексами в условиях существенных возможных вариаций радиотеплового излучения атмосферы вне исследуемой угловой области и излучения подстилающей поверхности необходимо решать задачу исключения влияния этих процессов на результаты измерений. Выполнение компенсации вклада фоновых шумов в выходной сигнал СВЧ радиометрической системы при двухканальном приеме в каждом частотном диапазоне системы [3-5] позволяет обеспечить более тесную связь результатов измерений с метеопараметрами атмосферы в направлении исследования.

Для решения задачи выделения корреляционных взаимосвязей величины выходных сигналов СВЧ радиометрической системы с интенсивностью жидких осадков были проведены измерения в трех существенно различных частотных диапазонах с реализацией компенсации фоновых шумов и выполнены корреляционные оценки результатов

измерений между величинами выходных сигналов трехдиапазонной СВЧ радиометрической системы и интенсивностью дождя в приземной области атмосферы.

#### **Постановка задачи и техническое обеспечение экспериментальных исследований**

В процессе проведения экспериментальных исследований облачной атмосферы в условиях выпадения осадков были задействованы следующие измерительные средства наблюдения и контроля за состоянием атмосферы:

1) многочастотная микроволновая радиометрическая система, принимающая радиотепловое излучение облачной атмосферы на трех длинах волн (7.5 см, 3.2 см, 1.35 см) на двух ортогональных поляризациях на одну осесимметричную зеркальную антенну, диаметром 2400 мм с частотным разделением в двухмодовом облучателе при организации дополнительного приемного канала в каждом диапазоне, на выходе которых формируется сигнал компенсации фоновых шумов;

2) автоматизированная метеостанция, предназначенная для сбора, передачи и отображения основных приземных метеорологических параметров на позиции многочастотной микроволновой радиометрической системы, таких как, внутренняя и внешняя температура воздуха, внутренняя и внешняя влажность, скорость и направление ветра, атмосферное давление, интенсивность атмосферных осадков.

В эксперименте дополнительно использовались, находящиеся в свободном доступе, радиолокационные карты высоты верхней границы облачности (Нвго), позволяющие судить о характере облачности, обновляемые каждые 10 мин, а также метеоданные получаемые на межрайонной гидрометеостанции г. Муром, что позволило сопоставить аналогичные данные автоматизированной метеостанции с регулярными наблюдениями гидрометеорологических станциях, а также дополнить экспериментальные данные характеристиками облачности

#### **Результаты измерений радиотеплового излучения атмосферы в условиях выпадения дождя**

Для оценки возможности отслеживания временных изменений состояния атмосферы в условиях выпадения дождя трехдиапазонной микроволновой радиометрической системой с компенсацией влияния фоновых шумов [3-5] были выполнены измерения радиотеплового излучения атмосферы в условиях выпадения осадков в трех частотных диапазонах с центральными длинами волн 7,5 см, 3,2 см и 1,35 см. Направление приема радиотеплового излучения соответствовало зенитному углу 5°.

На рис.1 - 3 приведены временные зависимости выходных сигналов трехдиапазонной СВЧ радиометрической системы и данные измерений метеостанцией интенсивности осадков в теплый период 2016 - 2017 года.

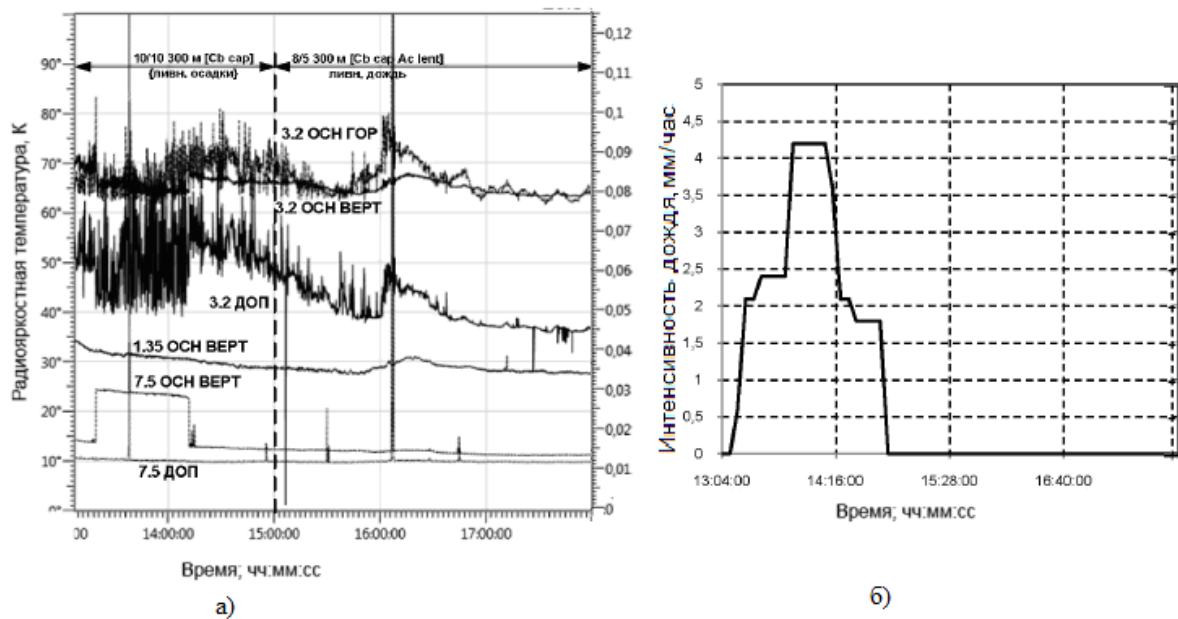


Рис. 1 - Временные зависимости выходных сигналов СВЧ радиометрической системы с компенсацией фоновых шумов (а) и интенсивности дождя (б) 23.04.2016 года

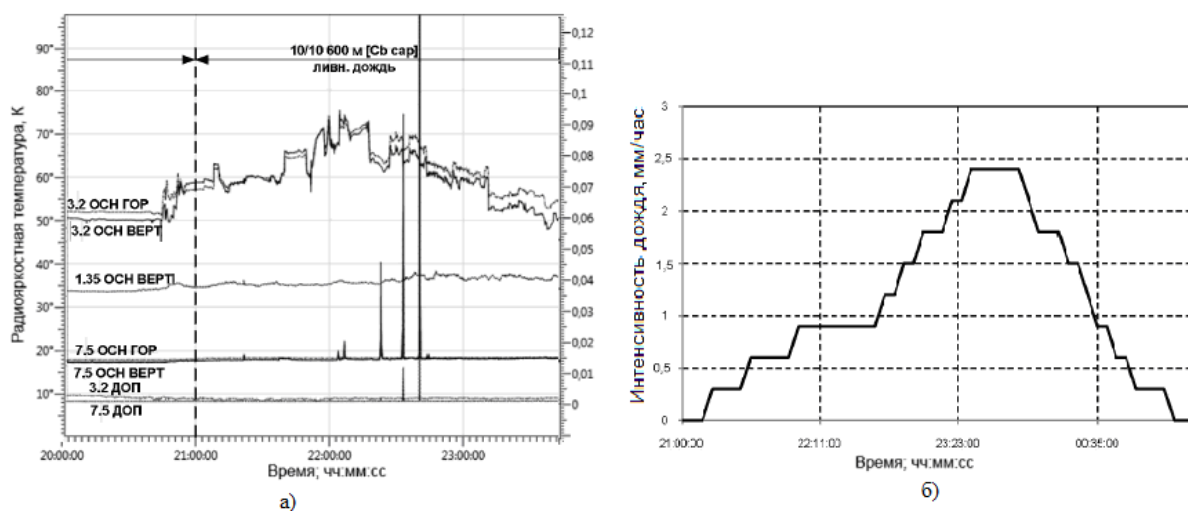


Рис. 2 - Временные зависимости выходных сигналов СВЧ радиометрической системы с компенсацией фоновых шумов (а) и интенсивности дождя (б) 21.05.2016 года

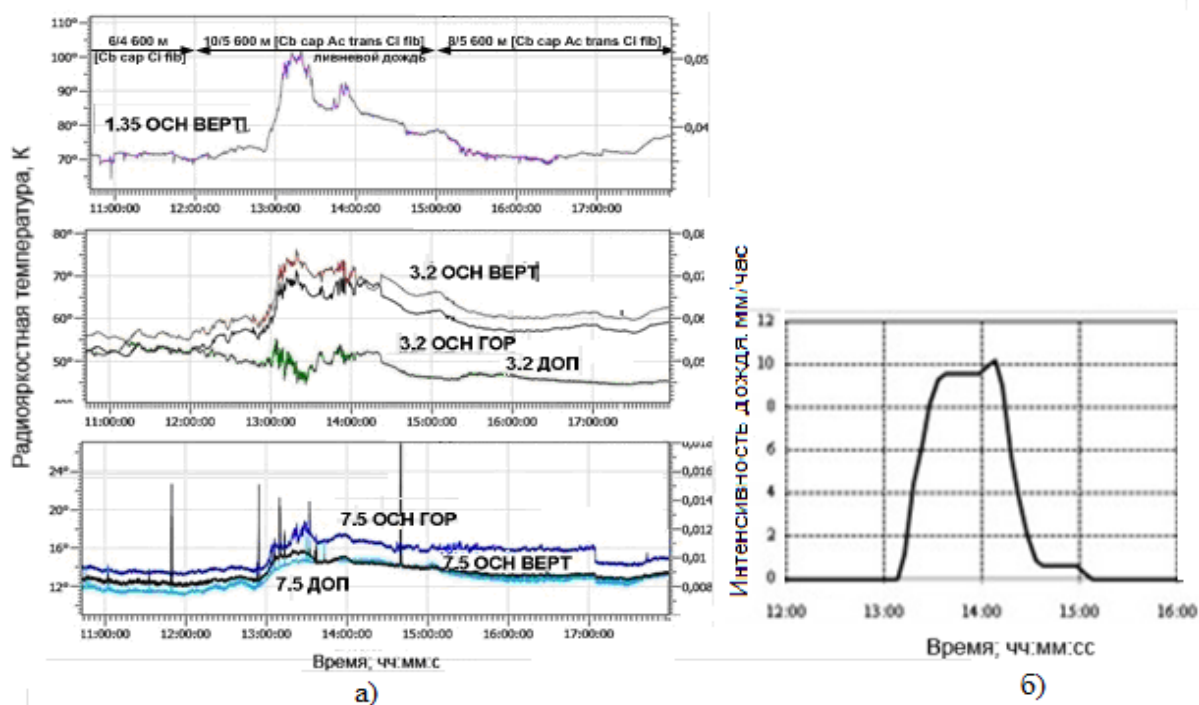


Рис. 3 - Временные зависимости выходных сигналов СВЧ радиометрической системы с компенсацией фоновых шумов (а) и интенсивности дождя (б) 11.06.2016 года

### Результаты корреляционной обработки данных измерений и их анализ

Для оценки влияния на результаты измерений процедуры компенсации помех, обусловленных приемом фоновых шумов, были рассчитаны значения коэффициента корреляции результатов измерений СВЧ радиометрической системы и интенсивности осадков для трех указанных дат. Для уточнения влияния компенсации фоновых шумов на степень корреляционной взаимосвязи и анализа ее силы в разные временные периоды дождя [6] для каждой даты время выпадения осадков разделено на три интервала: начало дождя, интервал времени с относительно постоянным значением интенсивности дождя, окончание дождя. В таблицах 1-3 приведены результаты корреляционной обработки результатов СВЧ радиометрических измерений радиотеплового излучения атмосферы трехдиапазонной СВЧ радиометрической системой при выпадении дождя.

Выполненный корреляционный анализ выявил сильную зависимость его результатов от способа формирования исходного массива данных при выполнении процедуры усреднения результатов измерений по временному промежутку измерения интенсивности осадков метеостанцией, чем может быть обусловлено существенное различие в величинах коэффициента корреляции на некоторых частотах, но общий анализ данных по трем датам показал наличие общих тенденций в изменении коэффициента корреляции:

- наличие сильной корреляционной связи между результатами измерений радиотеплового излучения атмосферы и интенсивностью осадков в периоды начала и окончания выпадения осадков при относительном снижении коэффициента корреляции в интервал относительно постоянного по интенсивности дождя (таблицы 1 -3);
- увеличение коэффициента корреляции с ростом интенсивности дождя (таблица 3), что особенно заметно для канала с центральной длиной волны 7.5 см;
- существенное влияние компенсации действия фоновых шумов путем формирования разностных выходных сигналов на величину коэффициента корреляции при увеличении интенсивности дождя (таблица3).

Таблица 1 Результаты корреляционной обработки данных измерений радиотеплового излучения атмосферы в условиях выпадения осадков 23.04.2016 г.

Время	Канал 3 см верт. поляризация		Канал 3 см гор. поляризация		Канал 7,5 см		Канал 1.35 см
	Без компенса- ции фоно- вых шумов	С компенса- цией фоно- вых шумов	Без компенса- ции фоно- вых шумов	С компенса- цией фоно- вых шумов	Без компенса- ции фоно- вых шумов	С компенса- цией фоно- вых шумов	Без компенса- ции фоно- вых шумов
13:14 - 13:44	0,686	0,576	0,875	0,638	0,160	0,771	0,862
13:49 - 14:14	0,543	0,297	0,394	0,239	0,659	0,637	0,770
14:19 - 14:44	0,837	0,316	0,397	0,503	0,532	0,851	0,835

Таблица 2 Результаты корреляционной обработки данных измерений радиотеплового излучения атмосферы в условиях выпадения осадков 21.05.2016 г.

Время	Канал 3 см верт. поляризация		Канал 3 см гор. поляризация		Канал 7,5 см		Канал 1.35 см
	Без компенса- ции фоно- вых шумов	С компенса- цией фоно- вых шумов	Без компенса- ции фоно- вых шумов	С компенса- цией фоно- вых шумов	Без компенса- ции фоно- вых шумов	С компенса- цией фоно- вых шумов	Без компенса- ции фоно- вых шумов
21:15 - 21:55	0,730	0,733	0,701	0,702	0,093	0,086	0,136
22:00 - 22:40	0,207	0,216	0,171	0,182	0,171	0,171	0,228
22:45 - 23:15	0,907	0,902	0,945	0,940	0,150	0,603	0,873

Таблица 3 Результаты корреляционной обработки данных измерений радиотеплового излучения атмосферы в условиях выпадения осадков 11.06.2017 г.

Время	Канал 3 см верт. поляризация		Канал 3 см гор. поляризация		Канал 7,5 см		Канал 1.35 см
	Без компенса- ции фоно- вых шумов	С компенса- цией фоно- вых шумов	Без компенса- ции фоно- вых шумов	С компенса- цией фоно- вых шумов	Без компенса- ции фоно- вых шумов	С компенса- цией фоно- вых шумов	Без компенса- ции фоно- вых шумов
13:12 - 13:27	0,718	0,477	0,854	0,256	0,810	0,943	0,925
13:32 - 14:12	0,090	0,579	0,698	0,755	0,312	0,522	0,256
14:17 - 15:02	0,343	0,992	0,761	0,879	0,738	0,949	0,713

### Заключение

В целом полученные численные результаты корреляционной обработки результатов измерений показали наличие сильной корреляционной связи между данными радиометрических измерений и интенсивности дождя, а выполнение компенсации влия-

ния фоновых шумов показало усиление корреляции, особенно для канала с центральной длиной волны 7.5 см

Совершенствование методики и способа проведения корреляционной обработки результатов измерений позволит сформировать аналитические предпосылки возможности оперативной оценки состояния атмосферы по данным многочастотных микроволновых радиометрических измерений в условиях выпадения дождя.

### **Литература**

1. Некос А.Н., Некос В.Е. Щукин Г.Г. Дистанционные методы исследований природных объектов: моногр. – СПб.: РГГМУ, 2009 – 319 с.
2. 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.
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. 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.
5. 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.
6. Ростокин И.Н., Федосеева Е.В., Щукин Г.Г., Ростокина Е.А. Исследование корреляционных зависимостей результатов измерений радиотеплового излучения атмосферы трехдиапазонной микроволновой радиометрической системой. // Материалы Всероссийской научной конференции VII Всероссийские Армандовские чтения. Современные проблемы дистанционного зондирования, радиолокации, распространения и дифракции радиоволн. Муром 27-29 июня 2017г. – Муром: МИ ВлГУ, 2017, – С. 229 – 235.