**Корреляционный анализ суточных измерений СВЧ радиометрической системы и метеопараметров пограничного слоя атмосферы**

***Холодов И.Ю., Матюков М.А.***

*Студенты 2 курса магистратуры*

*Муромский институт (филиал) ФГБОУ ВО «Владимирского государственного университета имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»,*

*факультет информационных технологий и радиоэлектроники, Муром, Россия*

*E-mail: johncold511@gmail.com, maks.matyukov@mail.ru*

В данной работе получены результаты корреляционного анализа данных СВЧ радиометрической системы и метеопараметров пограничного слоя атмосферы, сгруппированных по средней суточной температуре воздуха и виду облачности.

В результате проведенных СВЧ радиометрических измерений в период с августа 2023 года по декабрь 2024 года было сформировано 375 массивов данных, включающие в себя суточные выходные сигналы СВЧ радиометрической системы по 8 каналам измерения (на длинах волн 7,5 см, 3,2 см, 1,35 см и 0,8 см на горизонтальной и вертикальной поляризациях), а также суточные данные по температуре и относительной влажности воздуха.

Перед выполнением корреляционного анализа полученных результатов измерений данные были разделены на группы по следующим критериям:

1. Средняя суточная температура: исходя из полученных результатов температуры воздуха были рассчитаны средние значения температуры в течении суток, которые были разделены на диапазоны изменения с шагом в 5°С: +25°С…+30°С, +20°С…+25°С, и т.д.;

2. Количество облаков нижнего яруса: степень покрытия облаками неба оценивалась по десятибалльной шкале: от 0 до 2 баллов – ясное небо, от 3 до 7 баллов – небо с переменной облачностью, от 8 до 10 баллов – пасмурное небо. Для упрощения в дальнейшем были использованы обозначения облачности 1, 2 и 3 типа, которыми являются ясное небо, небо с переменной облачностью и пасмурное небо соответственно;

3. Наличие осадков.

Корреляционный анализ полученных данных представляет собой применение алгоритма оптимального накопления, который состоит в нахождении такого времени суммирования выходных данных СВЧ радиометрической системы, при котором коэффициент корреляции между полученными значениями сигналов системы и метеопараметрами пограничного слоя атмосферы максимален [4]. По его итогу были рассчитаны коэффициенты корреляции между метеопараметрами (температурой и относительной влажностью воздуха) и выходными данными СВЧ радиометрической системы без цифрового накопления, коэффициенты корреляции между метеопараметрами и выходными данными СВЧ радиометрической системы с цифровым накоплением и относительное увеличение коэффициента корреляции при цифровом накоплении.

Результаты корреляционного анализа для диапазонов температуры воздуха +25°С…+30°С, +20°С…+25°С и +15°С…+20°С приведены в Таблице 1.

В таблице введены следующие сокращения:  – корреляция по температуре;  – корреляция по относительной влажности воздуха;  – каналы измерения, на которых корреляция по соответствующим параметрам имеет максимальные значения;  – среднее значение относительного увеличения корреляции на данных каналах измерения;  – каналы, на которых происходит увеличение корреляции при выпадении осадков.

Таблица 1 – Результаты корреляционного анализа результатов измерений СВЧ радиометрической системы и среднесуточной температуры воздуха и вида облачности

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Диапазон средней суточной температуры | Параметркорреляции | Облачность 1 типа | Облачность 2 типа | Облачность 3 типа |
| $$C$$ | $$∆K, \%$$ | $$R$$ | $$C$$ | $$∆K, \%$$ | $$R$$ | $$C$$ | $$∆K, \%$$ | $$R$$ |
| +25°С…+30°С | $$K\_{T}$$ | -- | 7,5 Г3,2 Г1,35 Г0,8 Г; В | 1020-300,15-0,20,5-1 | 7,5 Г3,2 В | 1,35 Г0,8 Г; В | 0,180,6 | 7,5 Г |
| $$K\_{H}$$ | -- | 7,5 Г0,8 Г; В | 101-1,5 | -- | 7,5 Г3,2 В |
| +20°С…+25°С | $$K\_{T}$$ | 1,35 Г0,8 Г; В | 0,3-0,40,5-0,8 | -- | 7,5 В3,2 Г1,35 Г0,8 Г; В | 30-5030-400,4-0,51-3 | 7,5 В3,2 Г | 3,2 Г1,35 Г0,8 Г; В | 30-400,5-10,6-1,5 | 7,5 Г3,2 В |
| $$K\_{H}$$ | -- | 3,2 Г1,35 Г0,8 Г; В | 30-400,4-0,51-3 | 7,5 В3,2 Г |
| +15°С…+20°С | $$K\_{T}$$ | 1,35 Г0,8 Г; В | 22-5 | -- | 7,5 В3,2 Г1,35 Г0,8 Г; В | 40-7040-700,5-11-2 | 7,5 В3,2 Г | 3,2 Г1,35 Г0,8 Г; В | 20-500,5-11-2 | 7,5 В3,2 Г |
| $$K\_{H}$$ | -- | 3,2 Г |

Результаты корреляционного анализа показали, что для высокочастотных каналов (1,35 см и 0,8 см) величина коэффициента корреляции по температуре и относительной влажности воздуха на всех диапазонах средней суточной температуры и типах облачности имеет наибольшее значение (порядка 0,8-0,95), по сравнению с низкочастотными каналами измерения (7,5 см и 3,2 см) (величина корреляции 0,3-0,5).

Результаты корреляционного анализа подтвердили эффективность обнаружения зоны выпадения осадков при облачности 2 и 3 типов при средней суточной температуре +25°С…+30°С и облачности 3 типа при средней суточной температуре +20°С…+25°С на длине волны 7,5 см на горизонтальной поляризации и на длине волны 3,2 см на вертикальной поляризации [3].

Проведенное исследование показало однородность величины корреляции между выходными сигналами системы и метеопараметрами пограничного слоя атмосферы при близких условиях проведения измерений (при близких температурах и одинаковой облачности), а также эффективность использования низкочастотных каналов измерения (каналы 7,5 см и 3,2 см) для обнаружения выпадения осадков по сравнению с высокочастотными каналами измерения (каналы 1,35 см и 0,8 см).

**Литература**

1. Кадыгров Е.Н. Микроволновая радиометрия термической стратификации атмосферы. – Москва, 2020.

2. Радиотепловое дистанционное зондирование Земли: физические основы : в 2 т. / Евгений Шарков.— Т. 1.— М. : ИКИ РАН, 2014.— 544 с. : ил. ; +2 л. цв. вкл.

3. Радиотеплолокация в метеорологии / В.Д. Степаненко, Г.Г. Щукин, Л.П. Бобылев, С.Ю. Матросов. - Л.: Гидрометеоиздат, 1987. - 283 с.

4. Холодов И.Ю., Матюков М.А., Федосеева Е.В., Ростокин И.Н., Щукин Г.Г. Вопросы цифрового накопления выходных сигналов многодиапазонной СВЧ радиометрической системы дистанционного зондирования атмосферы. Радиотехнические и телекоммуникационные системы, №. 2, С. 5-14, июль 2024. ISSN 2221-2574.