

УДК

## СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ВЫСОТЫ СЛОЯ ОСАДКОВ НАД МАЛАЙЗИЕЙ

СЕМИРЕ Ф. А.<sup>1</sup>, МОХД-МОХТАР Р.<sup>2</sup>, АДЕЙЕМО З. К.<sup>1</sup><sup>1</sup>*Ladoke Akintola University of Technology,  
Нигерия, Огбомошо, Р.М.В 4000*<sup>2</sup>*Малазийский университет наук,  
Малайзия, Нибонг Тебал, Пинанг*

**Анотация.** Высота слоя осадков является ключевым фактором, позволяющим предсказать затухание радиоволн в дожде. Однако только небольшое количество исследований посвящено данной проблеме из-за недоступности данных, особенно для тропических широт. В данной работе представлены результаты измерений высоты нулевой изотермы для восьми районов Малайзии за одиннадцать лет. Исследования проведены для двух основных сезонов в стране (северо-восточный и юго-западный муссоны) Результаты исследований показывают, что высота слоя осадков весьма недооценена в стандарте ITU-R P. 839-3.

**Ключевые слова:** высота слоя осадков; данные ионозонда; NOAA; высота изотермы 0°C; тропики

## 1. ВВЕДЕНИЕ

Некоторые части диапазона СВЧ, такие как С и Ku, являются перегруженными и производители стремятся к использованию частот Ka и V диапазонов из-за большей емкости канала и требований к минимально допустимой скорости передачи данных. Спутниковые линии связи, работающие в данных частотных диапазонах, находятся под существенным влиянием гидрометеоров, таких как дождь, туман, град, снег, и т. д., среди которых дождь является наиболее существенным фактором.

Высота слоя осадков играет важную роль в модели предсказания затухания радиоволн в дожде [1, 2]. Таким образом, всесторонние исследования высоты слоя осадков проводились многими исследователями. Регулирующие органы по телекоммуникациям рекомендуют использование фиксированного значения для различных климатических зон [3]. Стандарт ITU-R P. 839-3 определяет эффективную высо-

ту слоя осадков  $h_R$  в зависимости от изотермы  $h_i$  0 °C как

$$h_R = h_i + 0,36 \text{ км.}$$

Эффективная высота слоя осадков зависит от типа дождя. Предполагается, что высота слоя осадков при фронтальном дожде доходит до высоты изотермы 0 °C, тогда как при конвективном дожде она простирается выше, чем изотерма 0 °C и может достигать 10 км из-за сильных восходящих потоков [4–8]. Исследования показали, что высота слоя осадков зависит от сезона, что наводит на мысль, что высота слоя осадков варьируется в течение года, особенно в тропических широтах [9–11]. Немногочисленные исследования высоты слоя осадков проведены для некоторых регионов Малайзии [9, 12]. Следовательно, необходимо провести всесторонний анализ восьми районов Малайзии, находящихся в двух регионах (Восточная и полуостровная Малайзия).

DOI: [10.20535/S0021347016090065](https://doi.org/10.20535/S0021347016090065)

© Семире Ф. А., Мохд-Мохтар Р., Адейемо З. К., 2016

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Analysis of joint rainfall rate and duration statistics: Microwave system design implications / E. Villar, A. Burgueno, M. Puigcerver, J. Austin // IEEE Trans. Commun. — Jun. 1988. — Vol. 36, No. 6. — P. 650–661. — DOI : [10.1109/26.2785](https://doi.org/10.1109/26.2785).
2. *Dissanayake A.* A prediction model that combines rain attenuation and other propagation impairments along Earth-satellite paths / A. Dissanayake, J. Allnutt, F. Haidara // IEEE Trans. Antennas Propag. — Oct. 1997. — Vol. 45, No. 10. — P. 1546–1558. — DOI : [10.1109/8.633864](https://doi.org/10.1109/8.633864).
3. ITU-R Recommendation P.839-3, Rain Height Model for Prediction Methods, 2001.
4. *Goldhirsh J.* Useful experimental results for Earth-satellite rain attenuation modeling / J. Goldhirsh, I. Katz // IEEE Trans. Antennas Propag. — May 1979. — Vol. 27, No. 3. — P. 413–415. — DOI : [10.1109/TAP.1979.1142101](https://doi.org/10.1109/TAP.1979.1142101).
5. *Matricciani E.* Rain attenuation predicted with a two-layer rain model / Emilio Matricciani // European Trans. Telecom. — 1991. — Vol. 2, No. 6. — P. 715–727. — DOI : [10.1002/ett.4460020615](https://doi.org/10.1002/ett.4460020615).
6. *Pontes M. S.* Statistical behavior of the effective rain height in the tropics / M. S. Pontes, L. A. R. da Silva Mello, R. S. L. Souza // Antennas and Propagation : 9th Int. Conf., 4–7 Apr. 1995, Eindhoven, Netherland : proc. — IEEE, 1995. — Vol. 2. — P. 119–122. — DOI : [10.1049/cp:19950396](https://doi.org/10.1049/cp:19950396).
7. Rain height variability in the Tropics / M. Thurai, E. Deguchi, K. Okamoto, E. Salonen // IEE Proc. Microwaves Antennas Propag. — 2005. — Vol. 152, No. 1. — P. 17–23. — DOI : [10.1049/ip-map:20041146](https://doi.org/10.1049/ip-map:20041146).
8. Effective rain height statistics for slant path attenuation prediction in Singapore / J. T. Ong, K. I. Timothy, F. B. L. Choo, W. L. Carron // Electron. Lett. — 2000. — Vol. 36, No. 7. — P. 661–663. — DOI : [10.1049/el:20000511](https://doi.org/10.1049/el:20000511).
9. *Mandeep J. S.* Rain height statistics for satellite communication in Malaysia / J. S. Mandeep // J. Atmos. Solar-Terr. Phys. — Sept. 2008. — Vol. 70, No. 13. — P. 1617–1620. — DOI : [10.1016/j.jastp.2008.06.005](https://doi.org/10.1016/j.jastp.2008.06.005).
10. *Mondal N. C.* Rain height in relation to 0°C isotherm height for satellite communication over the Indian Subcontinent / N. C. Mondal, S. K. Sarkar // Theor. Appl. Climatology. — Nov. 2003. — Vol. 76, No. 1. — P. 89–104. — DOI : [10.1007/s00704-003-0002-y](https://doi.org/10.1007/s00704-003-0002-y).
11. *Sharma P.* Estimation of effective rain height at 29 GHz at Amritsar (tropical region) / Parshoatam Sharma, I. S. Hudiana, M. L. Singh // IEEE Trans.

Antennas Propag. — May 2007. — Vol. 55, No. 5. — P. 1463–1465. — DOI : [10.1109/TAP.2007.895635](https://doi.org/10.1109/TAP.2007.895635).

12. *Nor Azlan M. A.* Rain height information from TRMM precipitation radar for satellite communication in

Malaysia / M. A. Nor Azlan, J. Din, H. Y. Lam // Space Science and Communication : IEEE Int. Conf. IconSpace, 12–13 Jul. 2011, Penang, Malaysia : proc. — IEEE, 2011. — P. 73–76. — DOI : [10.1109/IconSpace.2011.6015855](https://doi.org/10.1109/IconSpace.2011.6015855).

Поступила в редакцию 11.06.2015