Научная статья
УДК 551.508.85
DOI: https://doi.org/10.25686/2306-2819.2023.4.41
EDN: MZDAQV

Определение степени точности измерения осадков с помощью радиолокаторов ДМРЛ-С и МРЛ-5

К. Б. Лиев, В. С. Инюхин, С. А. Кущев✉
Высокогорный геофизический институт,
Российская Федерация, 360030, Нальчик, пр. Ленина, 2
stasuk6@mail.ru ✉

Аннотация. *Проведены совместные измерения осадков радиолокационными и наземными методами в районе г. Лабинска на базе Краснодарской военизированной службы на основе развёрнутой сети осадкомеров, входящих в состав автоматических метеостанций Davis Vantage Pro 2. Выполнен анализ измерений осадков двух радиолокаторов: «МРЛ-5» с длиной волны 10 см и радиолокатором «ДМРЛ-С» с длиной волны 5,3 см. Установлено, что с учётом расстояния между радиолокаторами и наземной сетью приборов 122 км средняя относительная ошибка измерения суммарных осадков достигает 51,36 и 58,0 % для длины волны 5,3 и 10 см соответственно.*

Ключевые слова: *осадки; дождь; метеостанция; длина волны радиолокатора; ДМРЛ-С; МРЛ-5*

Введение. Осадки можно отнести к опасным явлениям, если по частоте возникновения, количеству, продолжительности, интенсивности и площади распространения они могут нанести значительный ущерб народному хозяйству, вызвать стихийные бедствия [1]. К особо опасным относятся осадки 30 мм и более за 12 ч и ливневые осадки 30 мм и более за 1 ч и менее. На Кавказе выпадение осадков в количестве 30 мм возможно и за один час. Очевидно, что такие осадки представляют опасность и точность их измерения, а также пространственно-временное распределение являются приоритетной задачей для уменьшения ущерба народному хозяйству. Главная цель при использовании любого метода измерения количества осадков состоит в получении данных, репрезентативных для исследуемой территории [2], поэтому важными являются выбор места для размещения осадкомерного поста, его тип, а также возможность предотвращения потерь, вызванных испарением и воздействием ветра. Для применения более сложных методов, например с использованием метеорологических радаров и спутников, необходима информация о погрешностях измерения.

С развитием информационных технологий в области цифровых методов сбора и передачи данных появилась возможность создания территориально-распределённых систем сбора и анализа данных об осадках, состоящих из радиолокатора и сети наземных индикаторов. Такая система обеспечивает высокую оперативность и эффективность сбора и передачи данных.

Цель работы – определение степени точности измерения осадков на основе территориально-распределённых систем сбора и анализа метеорологических данных.

Радиолокационные измерения интенсивности осадков. Радиолокатор позволяет проводить наблюдения за положением и передвижением областей осадков. В пределах действия радиолокатора с его помощью можно получать данные

© Лиев К. Б., Инюхин В. С., Кущев С. А., 2023.

Для цитирования: Лиев К. Б., Инюхин В. С., Кущев С. А. Определение степени точности измерения осадков с помощью радиолокаторов ДМРЛ-С и МРЛ-5 // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2023. № 4 (60). С. 41–49. DOI: https://doi.org/10.25686/2306-2819.2023.4.41; EDN: MZDAQV

об интенсивности осадков. Осадки ослабляют радиолокационный луч, что в наибольшей степени проявляется при использовании коротковолновых радиолокаторов. Длинноволновые радиолокационные установки в отличие от коротковолновых радиолокаторов не позволяют легко обнаружить слабые осадки. В настоящей работе были использованы метеорологические радиолокаторы МРЛ-5 с длиной волны 10 см и ДМРЛ-С с длиной волны 5,3 см. ДМРЛ-С используется в сети штормооповещения и предназначается для следующих задач:

- отображения распределения различных метеорологических данных (отражаемости, скорости, ширины спектра, а также в режиме двойной поляризации: дифференциальной отражаемости, фазы, коэффициента кросскорреляции и линейного деполяризационного отношения) на различных высотных уровнях по типу псевдо-CAPPI;
- расчёта и отображения вертикального профиля скорости, направления ветра до высоты верхней границы обнаружения метеообъектов и других доплеровских продуктов;
- расчёта и отображения интенсивности осадков за любой интервал времени;
- определения опасных явлений погоды (град, гроза, шквальные усиления ветра, интенсивный дождь и снег, сильная турбулентность);
- отображения скорости и направления перемещения облачных систем;
- выдачи радиолокационной информации в необходимых кодограммах.

Так как в данной работе исследуется измерение точности количества осадков, то все остальные параметры не входили в задачи для сравнения. Ввиду того, что данный радиолокатор появился сравнительно недавно, то актуальной задачей является сравнение его параметров с зарекомендовавшим себя двухволновым радиолокатором МРЛ-5, что, на наш взгляд, является научной новизной данного исследования.

Проблема выбора оптимальных методов и средств радиолокационных измерений интенсивности осадков связана с необходимостью постоянного развития и модернизации существующих дистанционных способов мониторинга объектов окружающей среды. Интерес к этой проблеме особенно повысился в последние годы в связи с изменениями, связанными с переходом на цифровые формы сбора и обработки информации. Сегодня в оперативной практике нашли широкое применение современные автоматизированные метеорологические радиолокаторы как обычные, так и доплеровские.

Однако практика использования радиолокаторов различного частотного диапазона для измерения характеристик осадков требует проведения сравнительного анализа результатов измерений. При этом в качестве эталона могут быть использованы наземные данные об осадках.

Дело в том, что диапазон S (длина волны 10 см) используется в условиях интенсивных осадков, т. к. он наименее подвержен ослаблению в осадках. Диапазон X (3,2 см) почти не используется для оперативных наблюдений, так как испытывает сильное затухание в осадках. Частотный диапазон C (5,3 см) является разумным компромиссом в радиометеорологии между размерами антенны и ослаблением в осадках [3]. По сравнению с 10-см диапазоном радиолокатор ДМРЛ-С (радиоизлучение на длине волны 5,3 см C-диапазон) испытывает заметное ослабление в интенсивных осадках [4–6]. В радиолокаторе ДМРЛ-С антенна диаметром 5,3 см обеспечивает ширину луча 0,95°.

С развитием информационных технологий в области цифровых методов сбора и передачи данных появилась возможность создания базы данных. Базы данных являются эффективным средством представления структур данных и манипулирования ими. Концепция баз данных предполагает использование интегрированных средств хранения информации, позволяющих обеспечить централизованное управление данными и обслуживание ими многих

пользователей. При этом БД должна поддерживаться в среде ЭВМ единым программным обеспечением, называемым системой управления базами данных (СУБД). СУБД вместе с прикладными программами называют банком данных. В данной работе используется база данных на основе PostgreSQL. Обработанная радиолокационная информация, получаемая с радиолокатора, пополняется соответствующими данными таблицы БД. На рис. 1 представлена архитектура клиент – сервер. Эта структура предполагает наличие компьютерной сети и распределённой базы данных. При этом информация хранится и обрабатывается на отдельном сервере БД, а клиенты посредством локальной сети и установленной клиентской части на своём ПК обмениваются с БД SQL-запросами.

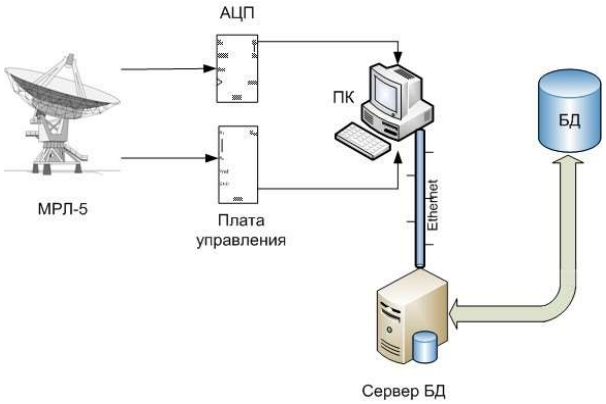

Рис. 1. Схема организации базы данных
Fig. 1. Database schema

Сравнение интенсивности осадков для двух длин волн 10 и 5,3 см. Дальность радиолокационных наблюдений сегодня определяется не столько возможностями техники (метеопотенциалы однотипных радиолокаторов различных производителей примерно равны), сколько решаемыми задачами и естественными ограничениями. Радиолокационный луч, выпущенный под нулевым углом места, из-за кривизны Земли на дальностях свыше 100 км отрывается от поверхности Земли на более чем 600 м. На дальностях более 250 км радиолокатор может обнаруживать только верхушки мощных облаков и использоваться лишь для раннего штормооповещения.

Для выполнения данной работы проводились совместные измерения осадков радиолокационными и наземными методами с использованием следующего оборудования:

– доплеровский метеорадиолокатор ДМРЛ-С;

– двухволновый метеорадиолокатор МРЛ-5;

– осадкомер, входящий в состав автоматизированной метеостанции Davis Vantage Pro 2;

– база данных «Радиолокационные характеристики градовых облаков».

Для проведения измерений в июне в районе г. Лабинска на базе Краснодарской военизированной службы была развёрнута сеть осадкомеров. При этом измерения проводились на двух радиолокаторах МРЛ-5 и ДМРЛ-С, расположенных в непосредственной близости друг от друга (расстояние между радиолокаторами составило 170 метров) на командном пункте Ставропольской военизированной службы (ВС) в аэропорту г. Ставрополя (рис. 2). Расстояние между радиолокаторами и наземной сетью приборов составило 122 км. Схема расположения оборудования, принимавшего участие в исследованиях характеристик осадков, представлена на рис. 3.

Методика сравнения радиолокационных данных с наземными измерениями осадков сводится к следующему:

– дождемеры точно измеряют осадки в точке их стояния;

– погрешности измерения радиолокатором складываются из инструментальных и методических погрешностей измерения сумм осадков;

– инструментальные погрешности могут быть связаны с аномальным распространением радиоволн, ослаблением радиоволн в осадках и калибровкой радиолокатора;

– методические погрешности, в частности, связаны с выбором того или иного вида I-Z соотношения.

Рис. 2. Расположение радиолокаторов МРЛ-5 и ДМРЛ-С
Fig. 2. Location of MRL-5 and DMRL-C radars

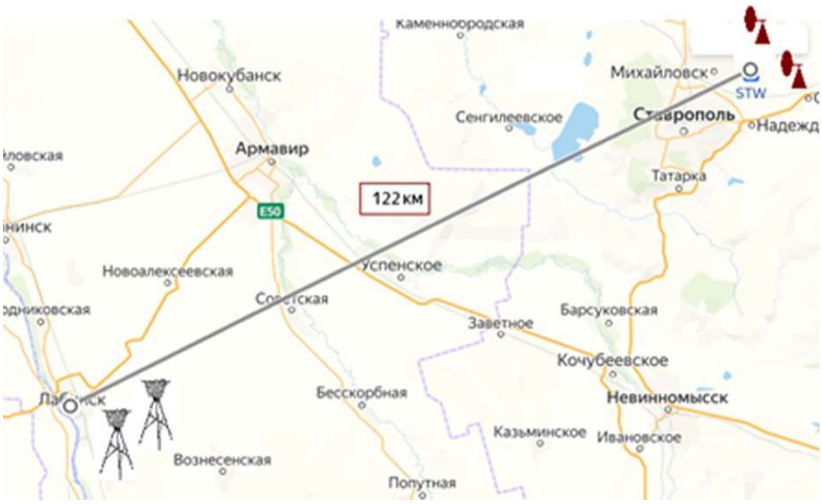

Рис. 3. Расположение оборудования
Fig. 3. Equipment location

Количество осадков, измеренных на земле, сравнивается с количеством осадков, полученных на метеорадиолокаторе (МРЛ), в точке расположения дождемера. Сравниваются результаты наземных (P) и радиолокационных (P_R) измерений количества (Q) осадков. Наземные измерения считаются эталонными. Абсолютная погрешность измерений в этом случае будет:

$$\Delta_Q = P - P_R, \quad (1)$$

а относительная погрешность измерений:

$$\delta_Q = \frac{\Delta_Q}{P} \cdot 100\ \%. \quad (2)$$

При выполнении данной работы было исследовано пять дней с дождями различной интенсивности.

Для наглядности приведены карты максимальных отражаемостей на двух радиолокаторах, ДМРЛ-С (рис. 4) и МРЛ-5 (рис. 5). Приведённые карты максимальных отражаемостей в 14:20, полученные для обоих радиолокаторов с помощью программы АСУ «МРЛ», расстояние от радиолокаторов до ячейки составляет 96 км.

Результаты сравнительного анализа по количеству и интенсивности осадков, полученных 11 августа с помощью радиолокаторов МРЛ-5 и ДМРЛ-С, и сравнение их с наземными данными приведено в табл. 1. В этот день на метеостанции Чамлык было зафиксировано 5,3 мм осадков, ДМРЛ-С показал 9,17 мм, а МРЛ-5 – 5,37 мм.

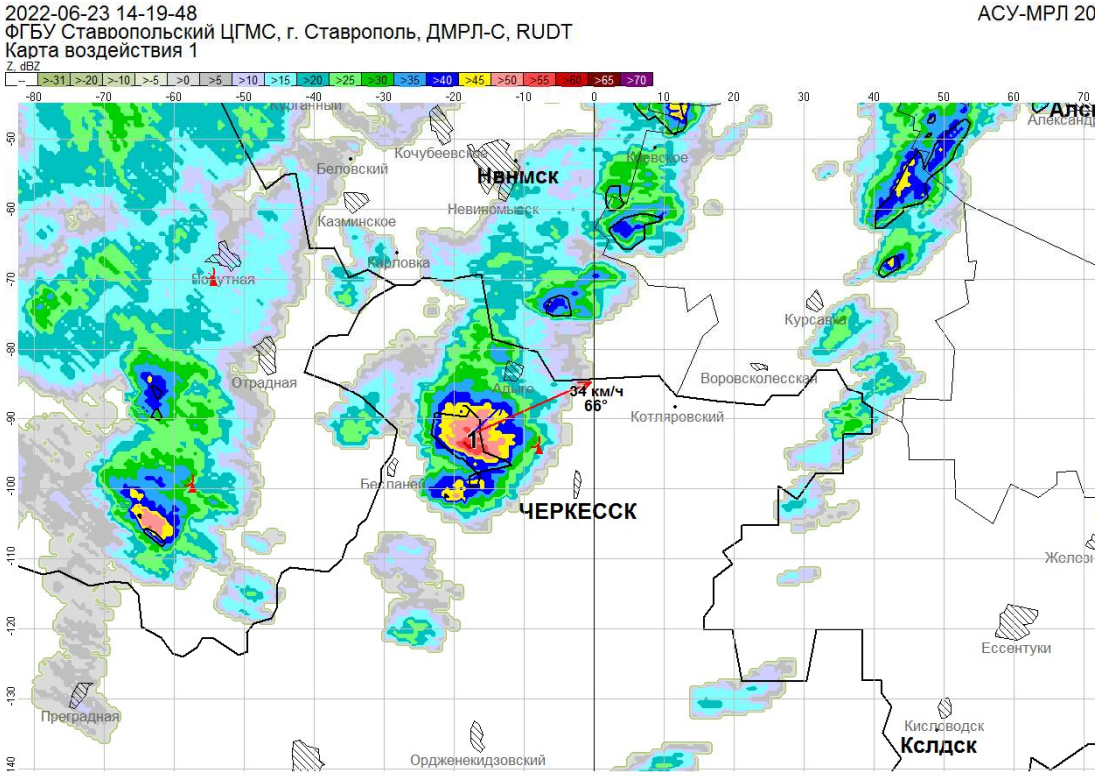

Рис. 4. Карта максимальной отражаемости 23.06.22 в 14:19 ДМРЛ-С, построенная на АСУ «МРЛ»
Fig. 4. Map of maximum reflectivity on June 23, 2022, at 14:19 by DMRL-C, constructed using the ACS "MRL"

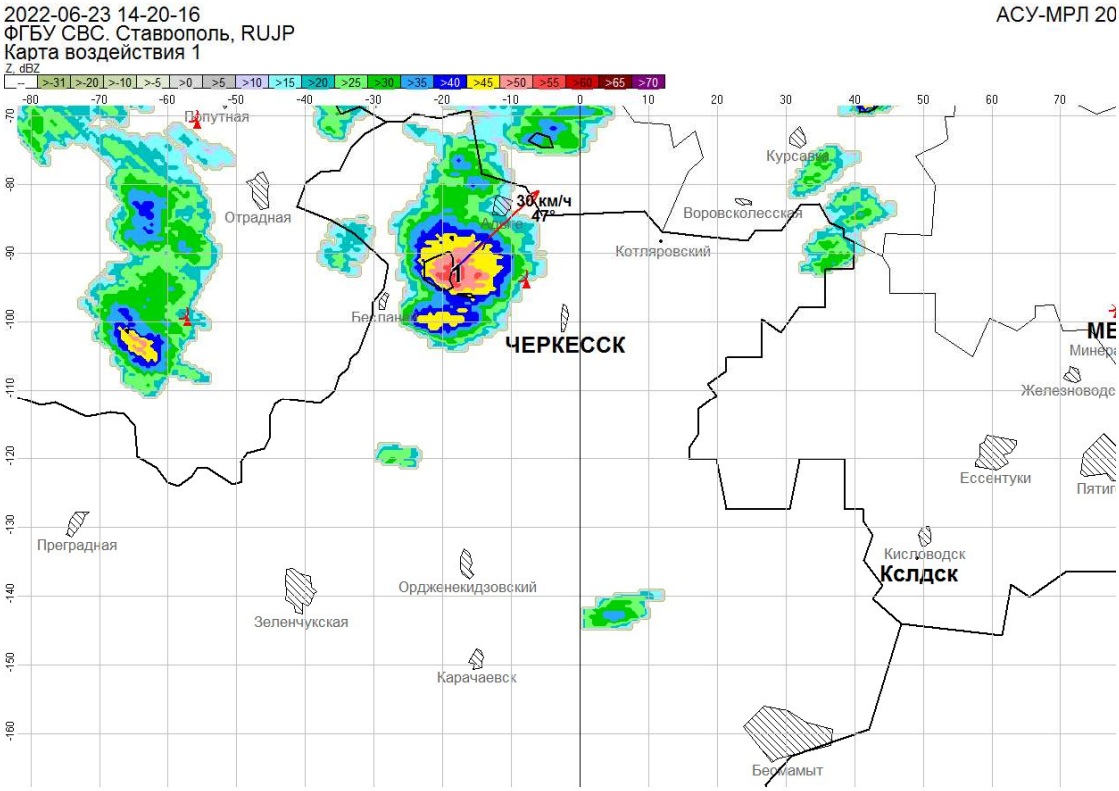

Рис. 5. Карта максимальной отражаемости 23.06.22 в 14:20 МРЛ-5 Ставропольской ВС, построенная на АСУ «МРЛ»
Fig. 5. Map of maximum reflectivity on June 23, 2022, at 14:20 by MRL-5 of the Stavropol VS, constructed using the ACS "MRL"

Таблица 1. **Сравнение интенсивности осадков за 11 августа для двух длин волн 10 и 5,3 см**
Table 1. Comparison of precipitation intensity on August 11 using two wavelengths: 10 cm and 5.3 cm

Время ДМРЛ, ч:мин	Осадки по ДМРЛ, мм/ч	Время МРЛ, ч:мин	Осадки по МРЛ, мм/ч
20:40	0,01	20:47	2,00
20:50	0,01	20:51	5,00
		20:55	10,00
21:00	20,00	20:59	20,00
		21:02	20,00
		21:06	10,00
21:10	20,00	21:10	10,00
		21:14	2,00
21:20	15,00	21:17	1,50

Таблица 2. **Суммарные данные по дождям, полученные для двух длин волн 10 и 5,3 см**
Table 2. The total precipitation data acquired for two wavelengths, 10 cm and 5.3 cm.

Дата	На земле	ДМРЛ-С		МРЛ-5	
	Значения, мм	Значения, мм	Погрешность, %	Значения, мм	Погрешность, %
11 августа	5,30	9,17	73,02	5,37	1,26
19 августа	15,40	26,60	72,73	10,76	30,13
31 августа	34,40	28,9	15,99	3,78	89,01
25 мая	11,20	7,67	31,52	2,00	82,14
1 июня	27,10	9,88	63,56	3,4	87,45
средняя погрешность			51,36		58,00

Суммарные данные по всем дождям, полученные для двух длин волн 10 и 5,3 см, приведены в табл. 2.

Сравнение данных в табл. 2 показывает, что результаты измерения суммарных осадков двумя радиолокаторами за время наблюдений дают примерно одинаковые погрешности. Средняя относительная ошибка измерения суммарных осадков составила 51,36 и 58,00 % для длины волны 5,3 см и длины волны 10 см соответственно.

Основная причина большей погрешности измерений на 10 см заключается в том, что радиолокатор МРЛ-5 Ставропольской ВС не достаточно хорошо был откалиброван для проведения измерений осадков (так как его основная задача – проведение активных воздействий на град). Кроме того, для МРЛ-5 больший объём зондирующего импульса на таком расстоянии от радиолокатора до зоны осадков также даёт увеличение погрешности измерений.

Заключение. Анализ проведённых опытов на основе двух радиолокаторов ДМРЛ-С и МРЛ-5 по измерению осадков на расстоянии 122 км показал, что средняя относительная ошибка измерения суммарных осадков может достигать 51,36 и 58,0 % для длины волны 5,3 см и длины волны 10 см соответственно. Такая большая погрешность связана с тем, что расстояние от метеостанции до радиолокатора слишком большое, при более близком расположении погрешность будет значительно меньше [7].

Полученные результаты могут быть использованы для практического применения радиолокатора ДМРЛ-С и развития радиолокационных методов при измерении осадков с целью повышения эффективности работ по модификации погоды.

При этом в дальнейшем необходимо оптимизировать схему взаимного расположения аппаратных средств (радиолокационных и наземных), провести более тщательно калибровку и градуировку радиолокаторов, а также попытаться подобрать более приемлемые коэффициенты в I–Z соотношении для уменьшения погрешностей измерения осадков [8–9].

Список источников

1. Опасные гидрометеорологические явления на Кавказе / К.Л. Абдушелишвилли и др. Л.: Гидрометеоиздат, 1983. 230 с.

2. *Голуб Е.В.* О катастрофических осадках в Украинских Карпатах // Метеорология и гидрология. 1971. № 7. С. 90-93

3. *Слуцкий В. И., Бычкова Л. Н.* Метеорологическая дальность видимости при снегопадах по данным МРЛ в аэропорту // Труды Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова. 2006. № 555. С. 168-175.

4. *Бадахова Г.Х., Кравченко Н.А., Лашманов Ю.К.* Первые результаты использования локатора ДМРЛ-С в Ставропольском Гидрометцентре // Вопросы науки. 2014. № 4. С. 55-60.

5. *Шаповалов В.А.* Информационная система анализа и отображения данных доплеровского метеорологического радиолокатора ДМРЛ-С // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. 2018. № 7. С. 158-165.

6. *Созаева Л.Т.* Методы идентификации гидрометеоров на базе радиолокатора ДМРЛ-С / Проблемы военно-прикладной геофизики и контроля состояния природной среды. Материалы V Всероссийской научной конференции. Санкт-Петербург: ВКА имени А.Ф.Можайского, 2018. С. 254-258.

7.*Абшаев М.Т., Инюхин В.С., Лиев К.Б.* Некоторые результаты измерения дождей радиолокационным и наземным методами // Труды Высокогорного геофизического института. 2005. № 94. С. 55-64.

8. *Лиев К.Б., Кущев С.А., Долова М.Л.* Сравнительный анализ количества осадков в летний период 2014 г. в центральной части Северного Кавказа // Метеорология и гидрология. 2017. № 8. С. 105-109.

9. *Лиев К.Б., Малкаров А.С.* Сопоставление радиолокационных и наземных измерений осадков по результатам 2010 года в горных районах Кабардино-Балкарии // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. 2011. № 6 (166). С. 36-40.

Статья поступила в редакцию 05.07.2023; одобрена после рецензирования 15.09.2023; принята к публикации 28.11.2023

Информация об авторах

ЛИЕВ Кайсын Борисович – кандидат физико-математических наук, заведующий отделом активных воздействий, Высокогорный геофизический институт. Область научных интересов – физика атмосферы, радиолокация, опасные природные явления. Автор 76 научных публикаций. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6940-9977; SPIN-код: 9744-9061

ИНЮХИН Виктор Степанович – кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник, Высокогорный геофизический институт. Область научных интересов – физика атмосферы, радиолокация, опасные природные явления. Автор 84 научных публикаций. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6865-1799; SPIN-код: 2346-7403

КУЩЕВ Станислав Александрович – младший научный сотрудник, Высокогорный геофизический институт. Область научных интересов – физика атмосферы, радиолокация, опасные природные явления. Автор 44 научных публикаций. ORCID 0000-0002-3380-4959; SPIN-код: 2163-9280

Вклад авторов:
Лиев К. Б. – концепция работы; интерпретация данных.
Инюхин В. С. – интерпретация данных.
Кущев С. А. – сбор и анализ данных, сбор экспериментальных данных.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Scientific article
UDC 551.508.85
DOI: https://doi.org/10.25686/2306-2819.2023.4.41
EDN: MZDAQV

Radar Investigations on the Accuracy of Precipitation Intensity Measurements

K. B. Liev, V. S. Inyukhin, S. A. Kushchev✉
High-Mountain Geophysical Institute,
2, Lenin Ave., Nalchik, 360030, Russian Federation
Stasuk6@mail.ru✉

Keywords*: precipitation; rain; weather station; radar wavelength; DMRL-C; MRL-5*

ABSTRACT

Introduction. *When employing any method to measure precipitation, the primary goal is to acquire representative data for the studied area. Hence, careful consideration of the precipitation gauge's location, type, and its ability to mitigate losses from evaporation and wind effects is crucial. In this study, the authors* ***aimed*** *at assessing the accuracy of measurements using radar systems.* ***Technique and conditions of the experiment.*** *Radar enables the observation of precipitation area positions and movements. The study utilized the Doppler meteorological radar DMRP-C, dual-wavelength meteorological radar MRL-5, and a precipitation gauge within the automated weather station Davis Vantage Pro 2. These instruments were positioned in close proximity at the Stavropol Air Force Base in the city of Stavropol, with a distance of 170 meters between them. In the Labytnangi area, near the Krasnodar Air Force Base, a network of precipitation gauges was deployed, with a distance of 122 kilometers between the radars and the ground instrument network.* ***Findings.*** *The study examined five days with varying intensities of rainfall. The average relative error in measuring total precipitation was 51.36% and 58.00% for wavelengths of 5.3 cm and 10 cm, respectively. The higher measurement error at 10 cm is attributed, in our view, to the insufficient calibration of the MRL-5 radar at the Stavropol Air Force Base, primarily designed for active hail impact. Additionally, the MRL-5's larger probing pulse volume at such a distance from the precipitation zone contributes to increased measurement error.* ***Conclusion.*** *Future efforts should focus on optimizing the arrangement of hardware devices (radars and ground-based instruments), conducting thorough radar calibration, and exploring more appropriate coefficients in the I-Z relationship to minimize precipitation measurement errors.*

REFERENCES

1. Abdushelishvilli K.L. et al. *Opasnye gidrometeorologicheskie javlenija na Kavkaze* [Dangerous hydrometeorological phenomena in the Caucasus]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1983. 230 p. (In Russ.).

2. Golub E.V. O katastroficheskih osadkah v Ukrainskih Karpatah [On catastrophic precipitation in the Ukrainian Carpathians]. *Meteorologija i gidrologija* [Meteorology and hydrology]. 1971. No 7. Pp. 90-93. (In Russ.).

3. Sluckij V.I., Bychkova L.N. Meteorologicheskaja dalnost vidimosti pri snegopadah po dannym MRL v ajeroportu [Meteorological visibility range during snowfalls according to MRL data at the airport]. *Trudy Glavnoj geofizicheskoj observatorii im. A.I. Voejkova* [Proc. of The Voeikov Main Geophysical Observatory]. 2006. No 555. Pp. 168-175. (In Russ.).

4. Badahova G.H., Kravchenko N.A., Lashmanov Ju.K. Pervye rezultaty ispolzovanija lokatora DMRL-S v Stavropolskom Gidrometcentre [Initial results of using the DMRL-S locator at the Stavropol Hydrometeorological Center]. *Voprosy nauki* [Science issues]. 2014. No 4. Pp. 55-60. (In Russ.).

5. Shapovalov V.A. Informacionnaja sistema analiza i otobrazhenija dannyh doplerovskogo meteorologicheskogo radiolokatora DMRL-S [Information system for analyzing and displaying data from the DMRL-S Doppler weather radar]. *Sovremennaja nauka: aktualnye problemy teorii i praktiki. Ser.: Estestvennye i tehnicheskie nauki* [Modern Science: actual problems of theory and practice. Series: Natural and Technical Sciences]. 2018. No 7. Pp. 158-165. (In Russ.).

6. Sozaeva L.T. Metody identifikacii gidrometeorov na baze radiolokatora DMRL-S [Methods for identifying hydrometeors based on the DMRL-S radar]. *Problemy voenno-prikladnoj geofiziki i kontrolja sostojanija prirodnoj sredy. Materialy V Vserossijskoj nauchnoj konferencii* [Problems of military-applied geophysics and monitoring of the state of the natural environment. Proc. of the V Russian Scientific Conference]. St. Petersburg: Military Space Academy named after A.F. Mozhaisky. 2018. Pp. 254-258. (In Russ.).

7. Abshaev M.T., Injuhin V.S., Liev K.B. Nekotorye rezultaty izmerenija dozhdej radiolokacionnym i nazemnym metodami [Some results of

rain measurements by radar and ground methods]. *Trudy Vysokogornogo geofizicheskogo instituta* [Proc. of High Mountain Geophysical Institute]. 2005. No 94. Pp. 55-64. (In Russ.).

8. Liev K.B., Kushhev S.A., Dolova M.L. Sravnitelnyj analiz kolichestva osadkov v letnij period 2014 g. v centralnoj chasti Severnogo Kavkaza [Comparative analysis of precipitation in the summer of 2014 in the central part of the North Caucasus]. *Meteorologiya i Gidrologiya* [Russian Meteorology and Hydrology]. 2017. No 8. Pp. 105-109. (In Russ.).

9. *Liev K.B., Malkarov A.S.* Sopostavlenie radiolokacionnyh i nazemnyh izmerenij osadkov po rezultatam 2010 goda v gornyh rajonah Kabardino-Balkarii [Comparison of radar-tracking and land measurements of precipitation by results of 2010 in mountain areas of Kabardino-Balkariya]. *Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Severo-Kavkazskij region. Serija: Estestvennye nauki* [Bulletin of higher education institutes. North Caucasus region. Series: natural sciences]. 2011. No 6 (166). Pp. 36-40. (In Russ.).

The article was submitted 05.07.2023; approved after reviewing 15.09.2023; accepted for publication 28.11.2023

For citation: Liev K. B., Inyukhin V. S., Kushchev S. A. Radar Investigations on the Accuracy of Precipitation Intensity Measurements. *Vestnik of Volga State University of Technology. Ser.: Radio Engineering and Infocommunication Systems*. 2023. No 4 (60). Pp. 41–49. DOI: https://doi.org/10.25686/2306-2819.2023.4.41; EDN: MZDAQV

Information about the authors

Kaisyn B. Liev – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Head of the Department of Active Influences, High-mountain geophysical institute. Research interests – atmospheric physics, radar, natural hazards. The author of 76 scientific publications. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6940-9977; SPIN-код: 9744-9061

Viktor S. Inyukhin – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Leading Researcher, High-mountain geophysical institute. Research interests – atmospheric physics, radar, natural hazards. The author of 84 scientific publications. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6865-1799; SPIN-код: 2346-7403

Stanislav A. Kushchev – Junior Researcher, High-mountain geophysical institute. Research interests – atmospheric physics, radar, natural hazards. The author of 44 scientific publications. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6865-1799; SPIN-код: 2346-7403

Contribution of authors:
Live K. B. – conceptualization of the work; data interpretation.
Inyukhin V. S. – data interpretation.
Kushchev S. A. – data collection and analysis, experimental data gathering.

The authors declare no conflict of interest.
All authors reviewed and approved the final version of the manuscript.