

Зависимость распределения амплитуды радиолокационного сигнала от фазового состояния гидрометеоров.

Д.А. Денисенков¹, В.Ю. Жуков¹, Г.Г. Щукин³

¹ Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского, 197198, г. Санкт-Петербург, ул. Ждановская, д. 13.

E-mail: yka@mil.ru

² Российский государственный гидрометеорологический университет, 192007, г. Санкт-Петербург, Воронежская ул., д. 79.

E-mail: vuzhukov2002@list.ru

³ Государственный научно-исследовательский навигационно-гидрографический институт, 199106, г. Санкт-Петербург, Кожевенная линия, д. 41.

E-mail: ggshchukin@mail.ru

Приводятся результаты натурного эксперимента по исследованию закона распределения отражений от обложных осадков и грозового облака, полученных на длине волны 3 см и 10 см. Отдельно рассматриваются сигналы, сформированные зоной таяния гидрометеоров и слоев, расположенных выше и ниже нее. Делается вывод о том, что наиболее информативна длина волны 10 см, на которой распределения отражений от слоистых и кучевых облаков значительно отличаются.

Ключевые слова: метеорологическая радиолокация, статистическая обработка, закон распределения амплитуды сигнала, дистанционное зондирование атмосферы.

The dependence of radar signal amplitude distribution on the phase state of hydrometeors.

Denisenkov¹ D.A., Zhukov² V.Y.,

¹ Mozhaisky Military Space Academy.

² Russian State Hydrometeorological University

³ State Research Institute Of Navigation And Hydrography

The results of a full-scale experiment to investigate the distribution law of reflections from cover precipitation and thunderstorm cloud obtained at wavelengths of 3 cm and 10 cm are given. The signals formed by the hydrometeor melting zone and the layers located above and below it are considered separately. Conclusion is made that the most informative wavelength is 10 cm, at which the distributions of reflections from layered and cumulus clouds are significantly different.

Keywords: meteorological radar, statistical processing, law of signal amplitude distribution, remote sensing.

Введение

В продолжение предыдущих работ авторов [1, 2, 3] исследовались плотности распределения амплитуды радиолокационного сигнала, отраженного от метеорологических целей. Напомним, что использовался некогерентный метеорологический радиолокатор МРЛ-5, сигнал забирался после предварительного усилителя промежуточной частоты, где обеспечивался требуемый динамический диапазон, после чего он подавался на 12-разрядный аналогово-цифровой преобразователь с частотой квантования 80 МГц. При приеме принимались меры для исключения ограничений сигнала, детектирование проводилось в цифровой форме.

Цель проводимых наблюдений – найти разницу в распределении сигналов, отраженных от зоны таяния и от других частей облака. Предполагалось, что неоднородный состав отражателей, находящихся в зоне таяния, должен обеспечить значительное отличие от других слоев, что может быть положено в основу метода распознавания осадков смешанного типа.

Описание наблюдаемых целей.

Для исследования были выбраны две цели, наблюдавшиеся 25 апреля и 6 августа 2022 года. В первом случае имели место обложные осадки, во втором – ливень из кучево-дождевого грозового облака внутримассового развития. Температура воздуха у земли составляла +4 и +18 градусов Цельсия соответственно. При этом в августе наблюдалась инверсия с возрастанием температуры до 28 градусов на высоте 100 м. Осадки в обоих случаях были жидкие.

Верхняя граница обоих облаков располагалась выше нулевой изотермы, высота которых составляла 1350 и 3640 м. Следовательно, объем каждого из них может быть разделен на три части:

1. Расположенную выше нулевой изотермы и состоящую в первом случае из ледяных частиц, а во втором и их частично жидких частиц, занесенных туда восходящим потоком воздуха. Однако долю последних следует считать в нашем случае минимальной, т.к. облако диссипировало на наших глазах и, следовательно, этот поток практически отсутствовал.
2. Находящуюся в зоне таяния, начиная с нулевой изотермы и пятьюстами метрами ниже. Состав гидрометеоров здесь - обводненные градины и жидкие капли больших размеров. Выбор толщины слоя основывался на результатах наблюдения подобных целей поляриметрическим радиолокатором ДМРЛ-С. Пример получаемой при этом карты модуля коэффициента взаимной корреляции поляризационных составляющих принимаемых отражений приведен на рис. 1. На ней зона таяния ярко выделяется синим цветом, соответствующим пониженному значению параметра.
3. Нижнюю часть, состоящую из жидких капель.

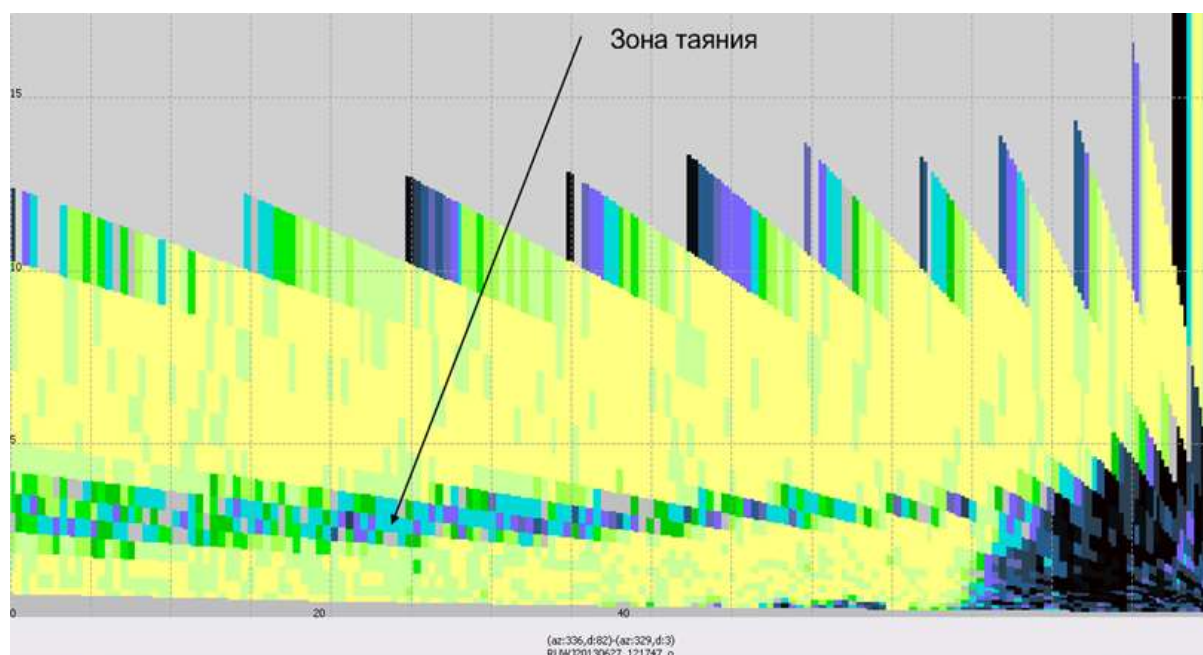


Рис.1. Карта распределения в вертикальной плоскости модуля коэффициента взаимной корреляции поляризационных составляющих сигнала.

Методика проведения эксперимента.

В штатном режиме работы радиолокатора делался обзор окружающего пространства, и определялись участки, наиболее подходящие для проводимых исследований, т.е. имеющие радиолокационную отражаемость не менее 10 дБ и размер в горизонтальной плоскости более 3 км. После этого антенна устанавливалась неподвижно на выбранном азимуте и на нескольких углах места поимпульсно фиксировались принимаемые отражения одновременно в каждом из двух каналов, имеющих длину волны 3 и 10 см. Запись велась в течение 1 секунды при частоте следования импульсов 500 Гц.

После достаточно сложной обработки [4] выделялась амплитуда сигнала, принятого от каждого разрешаемого объема, соответствующего следующим параметрам радиолокатора: ширина диаграммы направленности антенны в обеих плоскостях – 0,5 градуса для первого канала (длина волны 3 см) и 1,5 градуса для второго (длина волны 10 см); длительность импульса – 1 мкс. В результате для каждого элемента дальности накапливалось 500 отсчетов амплитуды, которые проверялись на соответствие их распределения закону Релея. Применялся критерий Пирсона [5, 6] с критерием значимости $\alpha=0,05$.

Результаты эксперимента.

Полученные результаты сведены в таблицы 1 и 2.

Таблица 1. Результаты наблюдения обложных осадков.

Высота расположения центра элемента разрешения, м	1 канал (3 см)			2 канал (10 см)		
	Всего измерений, ед.	Отриц. результат		Всего измерений, ед.	Отриц. результат	
		ед.	%		ед.	%
Выше нулевой изотермы	200	18	9	271	24	9
Зона таяния	210	49	23	248	41	17
Нижний слой	588	78	13	484	75	15

Таблица 2. Результаты наблюдения грозового облака.

Высота расположения центра элемента разрешения, м	1 канал (3 см)			2 канал (10 см)		
	Всего измерений, ед.	Отриц. результат		Всего измерений, ед.	Отриц. результат	
		ед.	%		ед.	%
Выше нулевой изотермы	1151	128	11	1010	551	55
Зона таяния	129	16	12	140	83	59
Нижний слой	670	66	10	670	227	34

Из таблиц следует, что слоистые облака, образующие обложные осадки, примерно одинаково наблюдаются обоими каналами. Зона таяния несколько выделяется на фоне остальных слоев, но различие слишком малы, чтобы делать практические выводы. При этом реакция первого канала несколько больше, что можно объяснить в три раза меньшим вертикальным размером его элемента разрешения, нежели у второго, на одной и той же дальности. Это позволяет ему полностью находиться внутри зоны таяния, в то время как разрешаемый объем второго канала захватывает данный слой лишь частично.

Иная картина наблюдается в грозовом облаке. Реакция трехсантиметрового канала практически не меняется, в то время как десятисантиметровый резко увеличивает число несоответствующих проверяемой гипотезе элементов разрешения, доля которых для двух верхних слоев зашкаливает за 50%.

Выводы.

Полученные данные не позволяют утверждать, что оценка плотности распределения отражений от метеорологических целей позволяет различать вид осадков (твердые, жидкие или смешанные). Однако эти же данные показывают, что рассматриваемый параметр вполне пригоден для распознавания типа осадков (обложные или ливневые).

Ввиду недостаточного количества наблюдаемых целей практические выводы делать еще рано и описываемые результаты следует рассматривать как предварительные.

Литература

1. Жуков В.Ю., Денисенков Д.А., Кулешов Ю.В., Щукин Г.Г. Исследование распределения плотности вероятности отражений от осадков на базе радиолокатора МРЛ-5 // Всероссийские открытые Армандовские чтения: Современные проблемы дистанционного зондирования, радиолокации, распространения и дифракции волн, Муром, 28–30 мая 2019 года. Муром: Муромский институт (филиал) Государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Владимирский государственный университет им. Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых". 2019. С. 285-290. EDN OMHTDZ.
2. Денисенков Д.А., Жуков В.Ю., Щукин Г.Г. Экспериментальные исследования распределения амплитуды отражений от метеообразований // Труды Военно-космической академии им. А.Ф. Можайского. 2022. №S685. С. 92-99. EDN ZKQRRQ.
3. Денисенков Д.А., Жуков В.Ю. О распределении амплитуды радиолокационных отражений от дождевых облаков // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. 2023. № 3(51). С. 5-11. DOI 10.24412/2221-2574-2023-3-5-11. EDN SLBWNM.
4. Денисенков Д.А., Жуков В.Ю. О распределении отражений от различных видов осадков // Современные проблемы дистанционного зондирования, радиолокации, распространения и дифракции волн: Всероссийские открытые Армандовские чтения. Материалы Всероссийской открытой научной конференции, Муром, 25–27 июня 2024 года. Муром: Владимирский государственный университет им. Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых. 2024. С. 424-428. DOI 10.24412/2304-0297-2024-1-424-428. EDN KSSXSW.
5. Севастьянов, Б.А. Курс теории вероятностей и математической статистики / М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1982. 256 с.
6. Лемешко Б.Ю., Чимитова Е. В. О выборе числа интервалов в критериях согласия типа χ^2 // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2003. Т. 69, № 1. С. 61-67. EDN SDJQIF.