

УДК: 537.87

DOI: 10.26907/rwp29.2025.492-493

РАССЕЯНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН НА КАПЛЯХ РАСТУЩИХ В ГРОЗОГРАДОВЫХ ОБЛАКАХ

Л.Т. Созаева

Высокогорный геофизический институт, 360030, г. Нальчик, пр. Ленина, 2

E-mail: ljk_62@rambler.ru

Аннотация. Работа посвящена исследованию влияния сильного горизонтального электрического поля и связанной с ним деформации крупных капель в грозоградовых облаках на их радиолокационные характеристики, актуальное в связи с внедрением поляризационных радиолокаторов ДМРЛ-С. Известно, что естественные грозовые электрические поля вызывают значительную деформацию свободно падающих капель (сплюснутые сфероиды), что подтверждается лабораторными экспериментами в аэродинамической трубе. При напряженности поля 500 кВ/м капли достигают горизонтальных размеров 30–40 мм перед разбрызгиванием. Целью исследования стала разработка методики расчета поперечного сечения обратного рассеяния для таких экстремально деформированных капель на стадии максимального размера. Расчеты выполнены методом разделения переменных на сфероидальном базисе для горизонтально и вертикально поляризованных волн на длине 5.5 см (ДМРЛ-С). Поперечное сечение обратного рассеяния для капель, деформированных под действием электрического поля, существенно отличается как от значений для эквивалентных сфер, так и от капель, деформированных лишь гравитацией. Максимальная разница между горизонтальной и вертикальной поляризационными компонентами наблюдается при экстремальных горизонтальных размерах (29 мм и 42 мм), недостижимых без электрического поля. Именно такие крупные капли вносят значительный вклад в радиолокационную отражаемость и поляризационные характеристики зон ливней и града. Полученные результаты важны для разработки точных методов количественной радиолокационной параметризации смешанных осадков (дождь/град) с использованием ДМРЛ-С и для математического моделирования грозоградовых облаков

Ключевые слова: теория рассеяния, поперечное сечения обратного рассеяния, степень деформации капель, разбрызгивание капель, грозоградовые облака

SCATTERING OF ELECTROMAGNETIC WAVES BY DROPS GROWING IN THUNDERSTORM CLOUDS

L.T. Sozaeva

Abstract. The paper is devoted to the study of the influence of a strong horizontal electric field and the associated deformation of large raindrops in thunderstorm clouds on their radar characteristics. It is well known that natural thunderstorm electric fields cause significant deformation of freely falling drops into oblate spheroids, as confirmed by laboratory experiments in wind tunnels. At an electric field strength of 500 kV/m, drops can reach horizontal dimensions of 30–40 mm before breakup. The objective of this study was to develop a method for calculating the backscatter cross-section of such extremely deformed drops at the moment of maximum size. Calculations were carried out using the separation of variables method based on a spheroidal basis for both horizontally and vertically polarized waves at a wavelength of 5.5 cm. The backscatter cross-section of drops deformed by the electric field was found to differ significantly from that of equivalent spheres as well as from drops deformed solely by gravitational effects. The maximum difference between the horizontal and vertical polarization components is observed at extreme horizontal sizes (29 mm and 42 mm), which cannot be achieved without the presence of an electric field. Such large drops make a significant contribution to radar reflectivity and polarization signatures in regions of heavy rainfall and hail. The results obtained are important for developing accurate methods of quantitative radar-based parametrization of mixed precipitation (rain/hail) and for the mathematical modeling of thunderstorm clouds.

Keywords: scattering theory, backscattering cross section, droplet deformation rate, droplet splashing, thunderclouds

Введение

В настоящее время, в связи с внедрением в эксплуатацию ДМРЛ-С, значительно возрос интерес к поляризационным методам исследования дисперсных сред. В основе этих методов лежат закономерности распространения и рассеяния электромагнитных волн от гидрометеоров несферической формы. Что касается капель, свободно падающих в облаках и осадках, то они

под воздействием сил гравитации, аэродинамического сопротивления и поверхностного натяжения деформируются, принимая форму сплющенного сфероида. До сих были известны лишь приближенные методы решения задачи рассеяния на таких частицах. Что касается точных методов, то метод разделения переменных на сфероидальной базе [1, 2] был применен для таких капель и получены характеристики рассеяния с учетом их формы [3]. При этом форма капель аппроксимируется сфероидальной частицей.

Известно, что на деформацию капель в грозоградовых облаках большое влияние оказывают электрические поля, инициируемые естественной грозовой активностью. Лабораторные работы в аэродинамической трубе позволили оценить параметры деформации капель под влиянием электромагнитного поля с заданными характеристиками ее напряженности. Согласно экспериментам, исследовался рост капли в аэродинамической трубе под действием электрического поля напряженностью $H=500 \text{ kVm/m}$ и без. Было получено, что под влиянием электрического поля горизонтальные размеры капли заметно увеличиваются, достигая размеров 30–40 мм. Такие размеры наблюдались перед разбрызгиванием капель.

Знания о значениях характеристик рассеяния капель в этой стадии роста важны при разработке радиолокационных методов количественной параметризации ливневых осадков и града, особенно в случае их одновременного выпадения. Данная работа посвящена разработке методики расчета поперечного сечения обратного рассеяния для капель на стадии достижения максимального размера перед разбрызгиванием под влиянием горизонтального электрического поля.

Были проведены расчеты поперечных сечений обратного рассеяния на каплях, растущих под влиянием электрического поля, для случаев горизонтально и вертикально поляризованных волн. Для сравнения были получены аналогичные результаты расчетов в случае отсутствия электрического поля, а также для эквивалентных сферических капель. Расчеты проводились для рабочей длины волны радиолокатора с двойной поляризацией ДМРЛ-С (5,5 см).

Анализ полученных результатов показал, что значения поперечных сечений обратного рассеяния при увеличении степени деформации капель, растущих под влиянием электрического поля, существенно отклоняются от аналогичных значений для эквивалентных сферических капель. Они также разнятся от значений сечений обратного рассеяния на каплях, растущих без учета влияния электрического поля. Максимальное различие между горизонтально и вертикально поляризованными составляющими электромагнитных волн отмечается для капель с экстремальными горизонтальными размерами (29 и 42 мм).

В естественных условиях при отсутствии электрического поля приближение растущей капли к таким размерам невозможно. Именно такими большими каплями в большей степени определяется значение не только реальной радиолокационной отражаемости, но и значения поляризационных характеристик зон локализации ливневых осадков и града.

Полученные результаты могут быть полезны при математическом моделировании грозоградовых облаков. А также при разработке методов радиолокационного исследования грозоградовых облаков, в том числе с использованием ДМРЛ-С.

Список литературы

1. Voshchinnikov N.V., Farafonov V.G. Optical properties of spheroidal particles // *Astrophysics and Space Science*. – 1993. – V. 204. – No 10. – P. 19–86.
2. Farafonov V.G. Application of non-orthogonal bases in the theory of light scattering by spheroidal particles // *Light Scattering Reviews*. – 2013. – V. 8. – P. 189–266.
3. Sozaeva L. T. Backscatter of radio waves by spheroidal rain drops // *Radiophysics and Quantum Electronics*. – 2022. – Vol. 64. – Nos. 8–9.