

Поляризационные характеристики теплового радиоизлучения дождевой ячейки в миллиметровом диапазоне длин волн.

Я.А. Илюшин^{1,2}, Б.Г. Кутуза²

¹ Россия 119992 ГСП-2 Москва Ленгоры МГУ физический факультет

² Институт радиотехники и электроники им. В.А.Котельникова РАН Моховая 11-7, Москва, 125009, Россия тел. +7(495)629-33-65, факс. +7(495)629-36-78

В работе проведено численное моделирование переноса теплового радиоизлучения в трехмерной дождевой ячейке с учетом несферической формы падающих дождевых капель. Показана определяющая роль трехмерной неоднородности полей дождевых осадков в формировании поля их собственного теплового радиоизлучения в микроволновом диапазоне.

Numerical simulation of radiative transfer of thermal radiation in the 3D rain cell of non-spherical falling raindrops is performed. The key role of the 3D inhomogeneity of rain precipitation in the formation of thermal radiation field is established.

В течение последнего времени интенсивно изучается взаимодействие микроволнового излучения с осадками и облаками различных типов, состоящих из частиц несферической формы, обладающих преимущественной ориентацией (падающие дождевые капли, снег и другие кристаллические частицы льда). По сравнению с макроскопически изотропными средами, в распространении излучения в таких средах особенно существенную роль играют поляризационные эффекты. Сочетание эффектов рассеяния, значительной пространственной неоднородности выпадающих осадков в атмосфере и в некоторой степени также отражающих свойств поверхности приводит к необходимости рассмотрения полей микроволнового излучения в трехмерно-неоднородной среде, обладающей дихроизмом.

Теория переноса излучения предоставляет достаточно общую физическую модель, адекватно описывающую процесс взаимодействия излучения с неоднородными средами весьма различной природы, и соответствующий математический аппарат. Однако, к настоящему времени известно относительно небольшое число опубликованных работ по численному решению векторного уравнения переноса излучения в трехмерно-неоднородных анизотропных рассеивающих средах. Целью настоящей работы являются теоретические оценки интенсивности и поляризации теплового радиоизлучения дождевых осадков, при наблюдении их микроволновыми радиометрами из космоса.

В настоящей работе исследована модель дождевой ячейки в виде куба 3 x 3 x 3 км, равномерно заполненного падающими дождевыми каплями, распределенными по размерам согласно распределению Маршалла-Пальмера. Подстилающая поверхность приближенно считается плоской поверхностью черного тела, тепловое радиоизлучение которого изотропно и не поляризовано. В миллиметровом диапазоне длин волн эта модель является разумным приближением для большинства земных почв и грунтов и растительных покровов. Поглощение жидкокапельными облаками и молекулами атмосферных газов не учитывается. Таким образом, считается, что ослабление и рассеяние излучения в объеме дождевой ячейки связано с падающими каплями дождя, что является реалистичным допущением в миллиметровом диапазоне длин волн. Предполагается также, что падающие капли имеют форму сплюснутого сфероида с вертикально ориентированной осью вращения. Отношение осей сфероида зависит от размера капли. Сечения ослабления и рассеяния для сфероидальных частиц фиксированной ориентации вычислены методом Т-матриц с помощью общедоступных

компьютерных кодов. Таким образом, в рамках построенной модели получены радиационные характеристики среды (поглощение и рассеяние электромагнитных волн заданной частоты и поляризации единицей объема), необходимые для моделирования переноса излучения.

Численное решение векторного уравнения переноса излучения (ВУПИ) в трехмерной области проводилось итерациями конечно – разностного метода дискретных ординат (ДО). Интеграл рассеяния вычислялся с помощью гауссовской квадратурной формулы Лебедева G29 с 302 узлами на сфере направлений.

По результатам моделирования на длине волны 3, 8 и 22 мм показано, что тепловое излучение кубической дождевой ячейки с ориентированными несферическими каплями дождя обладает ярко выраженной поляризацией в широком диапазоне углов. Угловое распределение радиояркостной температуры излучения, интегрально регистрируемой прибором со всей наблюдаемой поверхности дождевой ячейки, близко к соответствующему угловому распределению однородного плоского слоя дождевых осадков. В то же время, степень поляризации теплового радиоизлучения дождевой ячейки значительно меньше степени поляризации излучения плоского слоя.

Тем самым, показана определяющая роль ячеистой структуры дождевых осадков в формировании пространственно-углового распределения интенсивности и поляризации наблюдаемого теплового излучения, и необходимость рассмотрения переноса излучения в трехмерно-неоднородной рассеивающей среде для моделирования и анализа полей радиотеплового излучения реальных дождевых осадков.

Исследование выполнено при поддержке гранта РФФИ 13-02-12065 офи-м "Фундаментальные задачи микроволнового дистанционного зондирования Земли из космоса". Авторы благодарят администрацию НИВЦ МГУ им. М.В.Ломоносова за предоставленный доступ к вычислительным ресурсам высокопроизводительных параллельных суперкомпьютерных комплексов СКИФ-ГРИД "Чебышев" и "Ломоносов".