

МОДЕЛЬ РАСЧЕТА ОПТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КРИСТАЛЛОВ ЛЬДА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕОРИИ МИ, С ПРИМЕНЕНИЕМ ЯЗЫКА ПРОГРАММИРОВАНИЯ PYTHON

Егоров А.Д.¹, Косцов В.В.¹, Калинин Д.В.¹, Куклин О.А.¹,
Потапова И.А.¹, Хлябич П.П.¹

¹ – *Российский государственный гидрометеорологический университет. г. Санкт-Петербург, Россия. egorovad@rambler.ru*

Аннотация. В основе модели лежат уравнения расчета показателей преломления, поглощения, объемных коэффициентов поглощения и рассеяния кристаллов льда, а также готовые модели, которые реализованы на языке программирования Python. Выполнен сравнительный анализ данных.

Ключевые слова: модель, оптика, зондирование, Python, теория Ми, аэрозоль, кристаллы льда.

Проблема определения дальности видимости и повышения безопасности полетов является одной из основных задач. Поэтому разработка программ, решающих поставленную задачу на современных языках программирования, достаточно важна. Атмосферный воздух, представляет собой аэрозоль и рассеяние света его дисперсной фазой, которая играет в оптике атмосферы важную роль. Эти частицы рассматриваются как центры кристаллизации. Таким образом, зная концентрацию кристаллов в атмосферном воздухе, можно определить концентрацию загрязняющих частиц. В статье рассмотрено применение аэрозольной модели восстановления оптических свойств кристаллов льда по теории Ми. Для этой модели была разработана программа ЯП Python, примененной для вычисления и реализации расчета оптических характеристик.

Численная модель диэлектрических свойств льда позволяет осуществить расчет показателя преломления и показателя поглощения электромагнитных волн в диапазоне частот от 0 до $6.7 \cdot 10^{15}$ Гц. Показатель преломления электромагнитных волн определяется выражением:

$$n = \left\{ \frac{[(\epsilon')^2 + (\epsilon'')^2]^{0.5} + \epsilon'}{2} \right\}^{0.5}$$

а показатель поглощения электромагнитных волн определяется выражением:

$$a = \left\{ \frac{[(\epsilon')^2 + (\epsilon'')^2]^{0.5} - \epsilon'}{2} \right\}^{0.5}$$

где, n – показатель преломления электромагнитных волн, a – показатель поглощения электромагнитных волн, ϵ' – действительная часть комплексной диэлектрической проницаемости, ϵ'' – мнимая часть комплексной диэлектрической проницаемости.

В диапазоне частот от 0 до $3.49 \cdot 10^7$ Гц значения относительной диэлектрической проницаемости рассчитываются с помощью теории Дебая по формуле:

$$\epsilon' = \epsilon_{\infty} + \frac{\epsilon_s - \epsilon_{\infty}}{1 + (2\pi f \tau_p)^2}$$

где ϵ' – действительная часть комплексной диэлектрической проницаемости, ϵ_{∞} – относительная диэлектрическая проницаемость на высоких частотах, для льда равная 3.1, ϵ_s – относительная диэлектрическая проницаемость на низких частотах, f – частота электромагнитного поля, Гц, τ_p – время релаксации диэлектрической проницаемости.

Значение ϵ'' в соответствии с теорией Дебая рассчитывается по формуле:

$$\epsilon'' = \frac{(\epsilon_s - \epsilon_{\infty}) \cdot 2\pi f \tau_p}{1 + (2\pi f \tau_p)^2}$$

Для математического описания взаимодействия излучения с отдельными аэрозолями они моделируются геометрическими телами. Простейшая – однородный шар. Для расчета характеристик взаимодействия электромагнитных волн используется теория Ми. Поэтому, для получения всех необходимых оптических характеристик шара достаточно задать лишь отношение

$$y = 2\pi r / \lambda,$$

где r – радиус шара, λ – длина волны излучения, а также комплексный показатель преломления (КПП) вещества шара m .

Здесь вещественная часть КПП – это относительный показатель преломления, а мнимая часть КПП соответствует поглощению излучения веществом.

В процессе работы формулы теории Ми были преобразованы к удобному виду для вычислений. Важно, что реально частицы в атмосфере имеют существенно разные размеры и разную концентрацию по ним [1, 3]. Следовательно, необходимо ввести характеристику аэрозоля, связывающую концентрацию и радиус.

С учетом выше сказанного, была разработана программа на ЯП Python для вычисления и реализации расчета оптических характеристик, с получением результатов детерминированного и стохастического моделирования.

Результатом данной модели является расчет КПП при температуре 273.15 К и длин волн лежащих в диапазоне от 0.3 до 15 мкм, так как в этом диапазоне происходит энергетическое ослабление оптических волн. На основе полученных результатов были построены графики зависимости КПП от длины волны. Получены зависимости коэффициентов показателей преломления и поглощения кристаллов льда от длины волны. Полученные данные совпадают в пределах погрешности с результатами моделей, полученных с помощью различных программных кодов. При написании кода, разница между полученными данными составляет погрешность порядка 0.001% [2].

Используя параметры КПП мнимой и вещественной частей, а также параметры функции распределения частиц по размерам были рассчитаны объемные коэффициенты.

В заключение можно утверждать, что разработанная программа более простая и скоростная, по сравнению с ее аналогами, а модель адекватна и применима для определения загрязнения атмосферы.

Литература

1. Довгалюк Ю.А., Ивлев Л.С. Физика атмосферных аэрозольных систем. — СПб.: НИИХ СПбГУ. 1999. — 194с.
2. Зуев В.Е., Креков Г.М. Оптические модели атмосферы. Ленинград Гидрометеоздат. 1986. – 253 с.
3. Тимофеев Ю.М., Васильев А.В. Основы теоретической атмосферной оптики – СПб., 2007. – 152 с.

MODEL FOR CALCULATING OPTICAL OF ICE CRYSTALS USING THE MIE THEORY, USING THE PYTHON PROGRAMMING LANGUAGE

Yegorov A.D.¹, Kalinichev D.V.¹, Kostsov V.V.¹, Kuklin O.A.¹,
Potapova I.A.¹, Khlyabich P.P.¹

¹ – Russian state hydrometeorological University. St. Petersburg, Russia, egorovad@rambler.ru

Abstract. The model is based on the equations of calculation of refractive indices, absorption, volume absorption and scattering coefficients of ice crystals, as well as ready-made models that are implemented in the Python programming language. A comparative analysis of the data of the model is performed.

Key words: model, optics, sensing, Python, Mie theory, aerosol, ice crystals.