Расчет углового распределения яркости рассеянного излучения методом Монте-Карло

Алексеенко М. А.

Томский Государственный Университет

E-mail: [masha\_af6@mail.ru](mailto:masha_af6@mail.ru)

1. Введение

Проблема рассеяния и поглощения света связана с огромным числом задач, которые решает астрофизика. Нам необходимо знать, в какой степени земная атмосфера искажает световой поток, который доходит до Земли от звезд, галактик и т.д. [3]

Исследование процесса переноса частиц широко применяется при дешифровки снимков из космоса, а также используются для составления модели климата. При решении подобных задач прогнозирования важную роль играют радиационные модели реальной атмосферы, при построении которых могут быть использованы результаты работы.

Основной целью данной работы является исследование зависимости углового распределения яркости излучения на верхней границе атмосферы от геометрических и оптических условий наблюдения, а также условия применимости однородной модели и модели с облачным слоем.

2. Постановка задачи и основной результат

Рассмотрим некоторую среду, которая имеет следующие характеристики::

* полный коэффициент ослабления , где

– коэффициент рассеяния,

–коэффициент поглощения.

*  – индикатриса рассеяния. Здесь – высота над поверхностью Земли,  – косинус угла рассеяния. Для задания индикатрисы рассеяния атмосфера разбивается на слои, в каждом из которых индикатриса считается постоянной по высоте h.

Рассмотрим источник излучения на поверхности Земли, который расположен в начале координат (0,0,0). Данную точку будем называть точечным источником. Предполагаем, что рассеивающая модель атмосферы снизу ограничена подстилающей поверхностью, которой припишем границу z=0 и условно ограничена сверху плоскостью z=h, выше которой рассеяние отсутствует и где h – толщина среды. Начальное направление потока фотонов направлено вдоль оси ОZ. Приемник находится на верхней границе атмосферы и имеет координаты (0,0,h). Источник задается плотностью распределения первоначальных направлений , где - направление вылета фотона, определяется косинусом зенитного угла и азимутальным углом φ. В зависимости от плотности источник может быть:

* Мононаправленным, т.е. плотность распределения начальных направлений представляет собой функцию

)=

* Изотропным – этой источник, излучение которого одтнакого по всем направлениям. Плотность распределения начальных направлений в случае изотропного источника равна:
* Ламбертовским, то есть плотность распределения начальных направлений представляет собой величину вида:

В работе рассматриваются 2 модели атмосферы:

* Первая модель атмосферы представляет собой вертикально ограниченную плоскопараллельную слоисто-однородную среду.
* Вторая рассматриваемая модель представляет собой плоскопараллельную среду, включающую слой сплошной облачности. Для облачного слоя предполагается задание отличных характеристик среды: коэффициенты ослабления, поглощения, рассеяния и индикатриса рассеяния.

Одним из наиболее универсальных методов решения поставленной задачи является метод имитационного моделирования, или метод Монте-Карло.

Метод Монте-Карло (более «строгое» название ­­­– метод статистического моделирования) является численным методом теории переноса излучения. Он позволяет решать задачи расчета интенсивности излучения с учетом геометрии, поляризации, неоднородности атмосферы и поверхности и т.д. В атмосферной оптике существует несколько способов решения методом Монте-Карло: прямое моделирование, локальные оценки, моделирование на основе сопряженных траекторий и т. д. Исследование рассматриваемой задачи проводилось методами: методом прямого моделирования и методом локальной оценки Монте-Карло.

1. **Примененные методы**

Основой метода Монте-Карло является интегральное уравнение переноса 2-го рода с обобщенным ядром для плотности столкновений частиц.

 или . (1)

- интегральный оператор с ядром  ()

 (2)

Метод Монте-Карло обычно применяется для оценки линейных функционалов вида:

,

 - пр-во непрерывно ограниченных функций.

Выделим 2 основных алгоритма метода Монте-Карло:

1. Алгоритм прямого моделирования. Этот метод представляет собой физическую цепь столкновений частиц в рассматриваемой среде, которые приводят либо к рассеянию, либо к поглощению фотонов и позволяет просчитать интегральные характеристики излучения. Недостатком прямого моделирования является то, что он не позволяет с достаточной степенью точности вычислять такие характеристики как интенсивность, освещенность и другие. Решением такой проблемы является алгоритм локальной оценки.

2. Алгоритм локальной оценки. Алгоритм локальной оценки заключается в расчете следующего функционала:

, (4)

 (4.1)

Здесь , 

и - индикатор области . Ф- поток частиц в заданной точке пространства x\*. Q(n)- вес частицы, f(x)- плотность столкновений.

Формула (4) имеет смысл плотности вероятности того, что фотон, находящийся в точке столкновения и имеющая направление  после столкновения попадет в точку приема  в направлении .

(4.1) фактически представляет собой плотность вероятности того, что фотон находящийся в т. x, которая характеризуется координатами и направлением после столкновения попадает в т. x\*.

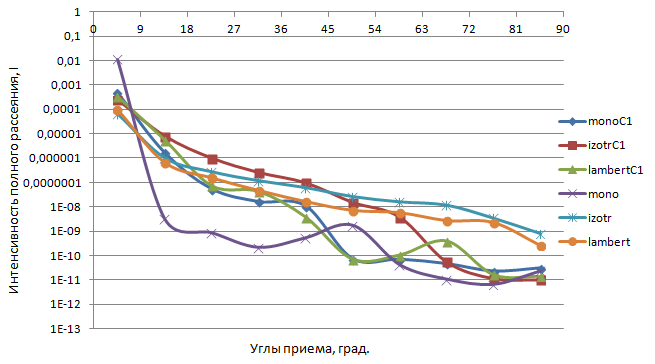
Данный алгоритм используется для расчета углового распределения яркости, которое представляет собой следующую величину:

 θ- величина телесного угла.

1. **Основные результаты**

Сравним распределение интенсивности полного рассеяния для двух рассматриваемых моделей: слоисто-однородная модель и модель, содержащая облачный слой «облако С1». На рисунке приведена зависимость интенсивности полного рассеяния для длины волны λ=0,694 мкм при расположении приемника на границе атмосферы, т. е. H=30 км, и при различных видах источников.

Из графика видно, что наличие облачного слоя повлияло на уменьшение значения интенсивности при всех трех видов источников. В частности, для мононаправленного источника наблюдается уменьшение значения интенсивности в начальном угле приема, но с ростом величины угла значения рапределения интенсивности увеличиваются, чем обусловлено расположение облачного слоя в нижних слоях атмосферы. Такое поведение излучения всех трех видов источников обусловлено большим коэффициетом ослабления при существовании облачного слоя и оно не противоречит физическим закономерностям.



1. **Вывод**

В ходе выполнения научной работы были поставлены и решены задачи:

1. Реализован алгоритм метода Монте-Карло для расчета углового распределения интенсивности излучения точечного источника в условиях безоблачного неба и при существовании облачного слоя.
2. Исследованы зависимости углового распределения яркости от длины волны, толщины модели атмосферы и источников излучения. Были выявлены следующие зависимости:
   * При уменьшении длины волны увеличиваются значения интенсивности полного и однократного рассеяния практически для всех углов рассеяния.
   * При уменьшении толщины среды увеличиваются значения интенсивности полного и однократного рассеяния.
3. Проведен анализ применимости однородной модели и модели с облачным слоем для расчета углового распределения интенсивности.

ЛИТЕРАТУРА

*1. Ермаков С. Курс статистического моделирования / С.Ермаков, Г.Михайлов.-М.:Наука,1976.-319с.*

*2. Марчук Г. Метод Монте-Карло в атмосферной оптике/Г.Марчук, Г.Михайлов , М.Назаралиев , Р.Дарбинян, Б.Каргин, Б. Елепов /отв. ред. Марчук Г. -Новосибирск: Наука,1976.- 279с*.

*3.* *Метод Монте-Карло[электронный ресурс]//Википедия:свободная энциклопедия.-Электрон.дан.-[Б.м.],2013.-URL: http://ru.wikipedia.org/wiki/Метод\_Монте-Карло(дата обращения:30.04.2014).*

*4*. Квач А. С. Исследование характеристик излучения различных источников на основе методов Монте-Карло: магист. дис. на соиск.степ. магист.(4.06.13)/ Квач Анна Сергеевна; ТГУ- Томск, 2013.- 85с.