ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ
Т. 58, № 11/2 ФИЗИКА 2015

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОБРАЗОВАНИИ, ЭКОЛОГИИ, ЗДРАВООХРАНЕНИИ И ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

УДК 551.510+551.521.3

М.А. АЛЕКСЕЕНКО, И.Ю. ГЕНДРИНА

РАСЧЕТ УГЛОВОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЯРКОСТИ РАССЕЯННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ МЕТОДОМ МОНТЕ-КАРЛО

Предлагается реализация методом Монте-Карло расчета углового распределения интенсивности излучения для точечного источника в условиях безоблачного неба и при существовании облачного слоя.

Ключевые слова: *интенсивность, слоисто-однородная среда, облачный слой, коэффициент ослабления и рассеяния, индикатриса рассеяния.*

В настоящее время значительно увеличился объем оптической информации с искусственных спутников Земли, ракет, зондов. Освоение космического пространства не могло развиваться без использования ЭВМ. Тем самым оно послужило важным фактором для совершенствования ЭВМ, а также для формирования новых научных направлений, связанных с математическим моделированием радиационного поля Земли, теорией переноса изображения, теорией обработки и распознавание образов и т.д. [1].

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

Рассмотрим некоторую среду, которая имеет следующие характеристики:

- полный коэффициент ослабления $\sigma = \sigma_s + \sigma_c$, где σ_s – коэффициент рассеяния, σ_c – коэффициент поглощения;

- $g(h,\mu,r)$ – индикатриса рассеяния, где h – высота над поверхностью Земли, $\mu(\boldsymbol{\omega}',\boldsymbol{\omega})$ – косинус угла рассеяния. Для задания индикатрисы рассеяния атмосфера разбивается на слои, в каждом из которых индикатриса считается постоянной по высоте h.

В работе рассматриваются две модели атмосферы:

1. Первая модель атмосферы представляет собой вертикально ограниченную плоскопараллельную слоисто-однородную аэрозольно-молекулярную среду [2].
2. Вторая рассматриваемая модель представляет собой плоскопараллельную среду, включающую слой сплошной облачности. Для облачного слоя предполагается задание характеристик, отличных от характеристик первой модели: коэффициентов ослабления, поглощения, рассеяния и индикатрисы 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. [3].

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

$$f(\boldsymbol{x}) = \int_X k(\boldsymbol{x}',\boldsymbol{x}) f(\boldsymbol{x}') d\boldsymbol{x}' + \psi(\boldsymbol{x}), \qquad f = Kf + \psi,$$

где K – интегральный оператор с ядром $k(\boldsymbol{x}',\boldsymbol{x})$, таким образом $f_n = \int_X k(\boldsymbol{x}',\boldsymbol{x}) f_{n-1}(\boldsymbol{x}') d\boldsymbol{x}'$,

$$k(\boldsymbol{x}',\boldsymbol{x}) = \frac{\sigma_s(\boldsymbol{r}) g(\mu) \exp(-\tau(\boldsymbol{r}',\boldsymbol{r}))\sigma(\boldsymbol{r})}{\sigma(\boldsymbol{r}') 2\pi |\boldsymbol{r}-\boldsymbol{r}'|^2} \delta(\boldsymbol{\omega}) - \frac{\boldsymbol{r}-\boldsymbol{r}'}{|\boldsymbol{r}-\boldsymbol{r}'|}.$$

Алгоритм прямого моделирования представляет собой цепь Маркова в рассматриваемой среде, при котором столкновение частиц приводит 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 др. Решением такой проблемы является алгоритм локальной оценки.

Алгоритм локальной оценки заключается в расчете следующего функционала:

$$J(\Omega_i) = \int\limits_{\Omega_i} \Phi(\boldsymbol{r}^*, \boldsymbol{\omega}^*) d\boldsymbol{\omega}^* = \int\limits_{X} l_i(\boldsymbol{x}', \boldsymbol{x}^*) f(\boldsymbol{x}') d\boldsymbol{x}' = M \sum_{n=0}^{N} Q_n \cdot l_i(\boldsymbol{x}_n, \boldsymbol{x}^*); \quad (1)$$

$$l_i(\boldsymbol{x}, \boldsymbol{x}^*) = \frac{\exp(-\tau(\boldsymbol{r}, \boldsymbol{r}^*)) g(\mu^*)}{2\pi \left| \boldsymbol{r} - \boldsymbol{r}^* \right|^2} \Delta_i(\boldsymbol{s}^*). \quad (2)$$

Здесь $\boldsymbol{s}^* = \dfrac{\boldsymbol{r}^* - \boldsymbol{r}}{\left| \boldsymbol{r}^* - \boldsymbol{r} \right|}$; $\mu^* = (\boldsymbol{\omega}, \boldsymbol{s}^*)$ и $\Delta_i(\boldsymbol{s})$ – индикатор области Ω_i; Φ – поток частиц в заданной точке $\boldsymbol{x}^*$; Q_n – вес частицы; $f(\boldsymbol{x})$ – плотность столкновений.

Формула (1) имеет смысл плотности вероятности того, что фотон, находящийся в точке столкновения $\boldsymbol{r}$ и имеющий направление $\boldsymbol{\omega}$, после столкновения попадет в точку приема $\boldsymbol{r}^*$ в направлении $\boldsymbol{\omega}^*$. Формула (2) фактически представляет собой плотность вероятности того, что фотон, находящийся в т. $\boldsymbol{x}$, которая характеризуется координатами и направлением, после столкновения попадает в т. $\boldsymbol{x}^*$.

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

$$I(\theta) = J(\theta)/\theta, \quad \theta \text{ – величина телесного угла.}$$

В методе сопряженных траекторий, в отличие от алгоритма прямого моделирования, рассматривается обратный порядок построения траекторий. Траектория представляет путь от детектора, который находится на нижней границе атмосферы, к источнику, расположенному на верхней границе соответственно. Достоинством этого метода является то, что траектории выходят из точки наблюдения непосредственно по интересующим нас направлениям [4].

В процессе работы для каждой модели атмосферы были получены численные значения интенсивности полного и однократного рассеяния прямой и сопряженной схем переноса при различных входящих параметрах.

На рис. 1 представлена зависимость интенсивности полного рассеяния I от углов приема для различных источников излучения для аэрозольно-молекулярной модели и модели с облачным слоем под названием «облако С1».

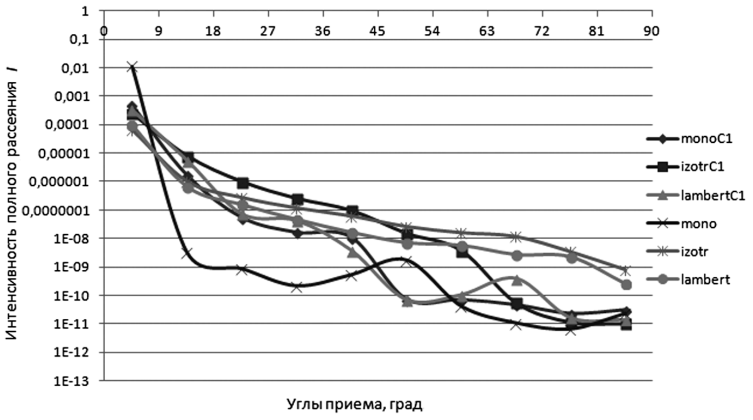


Рис. 1. Зависимость интенсивности от углов приема

Из графика рис. 1 видно, что наличие облачного слоя привело к уменьшению значения интенсивности при всех трех видах источников.

Таким образом, для расчета углового распределения интенсивности излучения точечного источника в условиях безоблачного неба и при существовании облачного слоя реализован алгоритм локальной оценки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Квач А.С. Исследование характеристик излучения различных источников на основе метода Монте-Карло: магист. дис. ... степ. магист. – Томск, ТГУ, 2013. – 85 с.
2. Gendrina I.Yu., Kvach A.S. The Monte Carlo method for determining the vision system characteristics // J. of International Scientific Publication: Education Alternatives. – Bulgaria, 2013. – V. 11. – Part 1. – P. 236–244.
3. Марчук Г.И., Михайлов Г.А., Назаралиев М.А. Метод Монте-Карло в атмосферной оптике / отв. ред. Г.И. Марчук. – Новосибирск: Наука, 1976. – 279 с.
4. Ермаков С.М., Михайлов Г.А. Курс статистического моделирования. – М.: Наука, 1976. – 319 с.

Национальный исследовательский Томский государственный университет,
г. Томск, Россия
E-mail: masha_af6@mail.ru

Поступила в редакцию 14.10.15.

Алексеенко Мария Александровна, магистрантка;
Гендрина Ирина Юрьевна, к.ф.-м.н., доцент.

M.A. ALEKSEENKO, I.Yu. GENDRINA

CALCULATION OF SCATTERED RADIATION BRIGHTNESS ANGULAR DISTRIBUTION USING MONTE-CARLO METHOD

In paper proposes to implement of the algorithms of Monte-Carlo's method for calculating the angular distribution of the radiation intensity of a point source with and without cloud layer.

Keywords: *intensity, layered homogeneous medium, cloud layer, the extinction and scattering coefficient, the indicatrix of scattering.*

REFERENCES

1. Kvach A.S. *Investigation the characteristics of various radiation sources on the basis Monte-Carlo's method*. Magister. diss. Tomsk, TSU, 2013, 85 p.
2. Gendrina I.Yu., Kvach A.S. The Monte Carlo method for determining the vision system characteristics. *J. of International Scientific Publication: Education Alternatives.* Vol. 11, Part 1. Bulgaria, 2013, pp. 236–244.
3. Marchuk G.I., Mikhailov G.A., Nazaraliev M.A. *The Monte-Carlo Method in Atmospheric Optics*. Novosibirsk, Nauka Publ., 1976, 279 p.
4. Ermakov S.M., Mikhailov G.A. *Course Statistical Modeling*. Moscow, Nauka Publ., 1976, 319 p.