

Моделирование взаимодействия солнечной радиации с элементами растительности при помощи метода Монте–Карло

И. Д. Сергеев,^{*} Н. Т. Левашова[†]

*Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, физический факультет, кафедра математики
Россия, 119991, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 2*

(Поступила в редакцию 26.05.2022; подписана в печать 24.06.2022)

Целью данной работы является математическое моделирование переноса радиации в элементах растительного покрова, геометрия которых близка к реальным, с помощью программной реализации метода Монте–Карло. Информация об отраженной растением радиации нужна для моделирования фотосинтетической активности деревьев, а следовательно, для моделирования потоков углекислого газа, поглощаемых или выделяемых растениями, что является одной из важнейших задач экологии. По определению метод Монте–Карло — это метод моделирования случайных величин и процессов для вычисления характеристик их распределений. Процесс переноса излучения в неоднородных средах моделируется как случайная марковская цепь столкновений фотонов с веществом, и целью метода Монте–Карло является нахождение среднестатистических характеристик этого процесса. В данной работе в качестве объекта используется небольшая веточка березы. В связи с возможностью использования для проведения расчетов современных многопроцессорных систем, возникает необходимость обеспечения распараллеливания вычислений, что может позволить существенно снизить время проведения расчетов.

PACS: 02.90.+r.

УДК: 51-76, 519.6, 551.521.31.

Ключевые слова: метод Монте–Карло, солнечная радиация, древесная растительность, многократное переотражение.

ВВЕДЕНИЕ

Основным источником энергии для многих процессов и явлений, происходящих на земной поверхности, является солнечная радиация. От нее зависит распределение тепла в околосреднем слое, фотосинтетическая активность деревьев, углеродный и тепловой баланс земной поверхности, а следовательно, и климатические условия разных районов земного шара [1, 2]. Работы по моделированию взаимодействия солнечной радиации с неоднородными средами в околосреднем слое начали появляться в 60 годах прошлого века [3] и в настоящее время ему посвящено много работ, в основном, зарубежных авторов [4–6]. Работы отечественных авторов по этой тематике встречаются значительно реже [7–9]. В основном для описания радиационного режима используется два различных подхода: решение трехмерного уравнения радиационного переноса [10] и статистический метод Монте–Карло [11, 12]. Последний основан на моделировании траектории случайного блуждания отдельного луча света («фотона»), падающего на элементы растительности.

По определению метод Монте–Карло — это метод моделирования случайных величин и процессов для вычисления среднестатистических характеристик их распределений. В случае применения этого метода для описания процесса переноса излучения в неоднородных средах, моделируется случайная марковская цепь

столкновений фотонов с элементами растительности. Целью настоящей работы является математическое моделирование распределения плотности потока радиации в элементах растительного покрова, геометрия которых близка к реальным, с помощью программной реализации метода Монте–Карло.

Для реализации этого метода сначала прорабатывается детализированная модель элементов растительности. Затем производится симуляция последовательных случайных событий, состоящих из 1) выбора направления исходного луча, 2) выбора типа взаимодействия, 3) выбора пути, в котором фотон будет распространяться после взаимодействия.

С развитием вычислительной математики на базе ЭВМ открылись широкие возможности для описания радиации с применением детальных моделей элементов растительности [8, 12]. Следует отметить, что перебор всех элементов растительного покрова требует больших затрат машинного времени. Поскольку основные наиболее трудоемкие операции в методе Монте–Карло могут быть разделены на независимые подзадачи, то возможно эффективное применение распараллеливания вычислений.

1. МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТА РАСТИТЕЛЬНОСТИ

В работе в качестве объекта рассматривалась небольшая ветка дерева (березы), модель которой строилась исходя из внешнего сходства с натуральным прообразом. Соответствующая модель представлена на рис. 1.

* sergeev.id18@physics.msu.ru

† natasha@wanaku.net

Форма листа задается посредством плоской кривой $x(z)$ следующим образом (рис. 2):

$$|x| = \begin{cases} X_L, & z_B \leq z \leq z_0, \\ \frac{1}{2}X_B, & 0 \leq z \leq z_B, \end{cases}$$

где X_B — ширина ножки листа,

$$X_L(z) = \begin{cases} R_{max} \times e^{(-k_U \times (z - L_T - k_M \times (z_0 - L_B))^2)}, & k_M(z_0 - L_T) + L_T \leq z \leq z_0, \\ R_{max} \times e^{(-k_L \times (z - L_T - k_M \times (z_0 - L_B))^2)}, & L_T \leq z \leq k_M(z_0 - L_T) + L_T. \end{cases}$$

В настоящей работе были использованы следующие значения параметров: $z_B = 0.3$, $R_{max} = 0.5$, $k_U = 15$, $k_L = 20$, $L_B = 0.3$, $k_M = 1/3$, $z_0 = 1.5$.

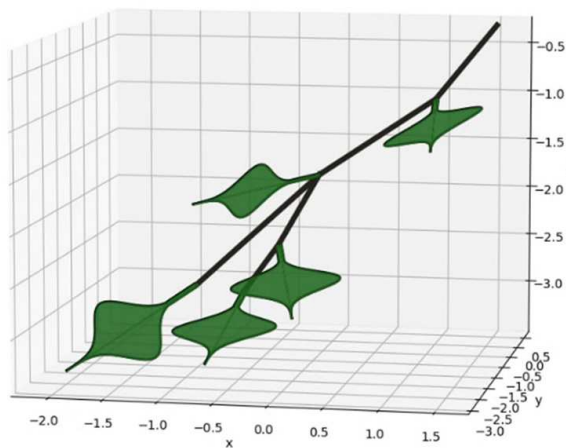


Рис. 1. Математическая модель элемента растительности

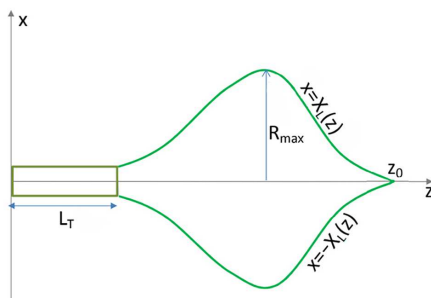


Рис. 2. Математическая модель формы листа

Ветви состоят из последовательно соединенных сфер радиуса $\frac{X_B}{2}$. Такое задание ветви крайне удобно для моделирования гладких изгибов ветвей. При попадании луча в ветку считается, что отражение происходит без учета скругления поверхности, перпендикуляр-

но кривой, проходящей через центры сфер. Расположение листьев задается известными значениями зенитного и азимутального углов наклона, а также точками крепления к веткам.

2. ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЭЛЕМЕНТОВ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА И ПОЧВЫ

Как известно, [13] оптические свойства растительности, в частности коэффициенты отражения и пропускания значительно зависят от длины волны падающего излучения. В настоящей работе расчеты проводились для излучения видимой части спектра при длинах волн 0.39–0.72 мкм.

В работе использовались следующие предположения относительно оптических свойств элементов растительности:

1. Считаем, что стебли и ветки достаточно толстые и не пропускают радиацию. Листья могут пропускать, отражать или поглощать излучение.
2. При взаимодействии с ветвями происходит частичное поглощение радиации. Часть радиации отражается. Коэффициент отражения $r_{st} = 0.04$ [14].
3. Пропускание излучения листовой поверхностью рассматривается как изотропное. Коэффициент пропускания $t = 0.07$ [14].
4. Отражение от листовой поверхности включает две составляющие: диффузную, как отражение от ламбертовой поверхности равновероятно во всех возможных направлениях и зеркальную, то есть происходящую по закону зеркального отражения. Коэффициент отражения $r = 0.08$ [14]. Показатель преломления воскового слоя листа $n = 1.5$.
5. Луч, дошедший до земли без столкновения с элементами растительности, отражается от почвы как от ламбертовой поверхности. Коэффициент отражения $r_{soil} = 0.02$

3. АЛГОРИТМ МЕТОДА МОНТЕ-КАРЛО

Приведем основные этапы применявшегося в настоящей работе алгоритма метода Монте-Карло.

1. Реализация модели растительного покрова. Описан в разделе 2.
2. Выбор начальной точки траектории. Полагаем, что местоположение начальной точки равномерно распределено на верхней грани выделенного участка.
3. Выбор направления полета и «веса» фотона.

4. Определения точки пересечения траектории фотона с листом, стеблем/веткой или почвой.
5. Определение типа взаимодействия (пропускание или отражение от ламбертовой поверхности).
6. Выбор пути (направления), в котором фотон будет распространяться после взаимодействия.
7. Вывод из внутреннего цикла. Внутренний цикл — это траектория одного фотона. Он включает в себя процедуры 3–6. Фотон выводится из цикла либо если он вышел за пределы расчетной области, либо если он участвовал более чем в трех взаимодействиях с неоднородностями.

4. ВЫБОР ТИПА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ И НАПРАВЛЕНИЯ ФОТОНА

Считаем, что на объект падает поток прямой и рассеянной солнечной радиации.

4.1. Направление прямой радиации

Направление прямой радиации, Ω_0 , задается зенитным углом θ_0 и азимутальным углом φ_0 . В случае прямой солнечной радиации «вес» фотона $W = 1$, а направление полета задается как (θ_0, φ_0) , причем $\cos \theta_0 < 0$. В настоящей работе в ходе численных расчетов были использованы значения $\theta_0 = 30^\circ$, $\varphi_0 = 0^\circ$

4.2. Направление рассеянной радиации

Для ясной погоды распределение плотности потока падающей рассеянной радиации в зависимости от зенитного угла задается как [11] $d(\theta) = \sin 2\theta$, $\theta \in (0, \frac{\pi}{2})$.

В пасмурный день: $d(\theta) = \frac{3}{7} (1 + 2\cos \theta) \sin 2\theta$.

Отметим, что в каждом случае выполняются условия нормировки: $\int_0^{\pi/2} d(\theta) d\theta = 1$.

Осуществление численной реализации алгоритма, очевидно, невозможно для всего континуума значений возможных направлений зенитного угла из отрезка $[0, 2\pi]$. В связи с этим применяется метод дискретных ординат [11]. В качестве набора дискретных ординат были выбраны координаты узлов квадратурных формул типа Гаусса–Маркова для сферы 9-го порядка точности [15]. Указанный набор содержит $L = 19$ узлов в верхней полусфере.

Статистический характер метода реализуется путем введения случайной величины ξ , равномерно распределенной на отрезке $[0; 1]$. Пусть имеется N независимых реализаций этой случайной величины: $\xi_j, j = \overline{1, N}$. Будем считать, что N — это количество падающих фотонов. В настоящей работе расчеты проводились для $N = 16384$.

Обозначив $\int_0^{\xi_j} d_j(\theta) d\theta = \alpha_j$, $\cos \xi_j = \sqrt{1 - \alpha_j}$, $\sin^2 \xi_j = \alpha_j$, можно получить значения величины $\cos \xi_j$. Далее из набора возможных направлений распространения луча, определяемых дискретными ординатами, выбирается то, третья координата которого наиболее близка к величине $\cos \xi_j$. Одну и ту же третью координату имеет восемь дискретных ординат: $(\pm a_1; \mp a_2; \cos \xi_j)$, $(\pm a_2; \mp a_1; \cos \xi_j)$, $a_{1,2}$ — известные значения узлов квадратурной формулы Гаусса–Маркова 9 порядка [15]. Выбор конкретного направления осуществляется случайным образом из этих восьми вариантов, считая их равновероятными.

Для определения типа взаимодействия введем вероятности пропускания и отражения как

$$W_R = \frac{r}{r+t} \text{ — вероятность отражения,}$$

$$W_T = 1 - W_R \text{ — вероятность пропускания.}$$

Выбор типа взаимодействия осуществляется по следующему правилу: если $\alpha_j < W_R$ — отражение, иначе — пропускание.

Выбор направления луча после взаимодействия осуществлялся описанным ранее способом.

После взаимодействия «вес» фотона умножается на коэффициент отражения или пропускания элемента растительного покрова или почвы в зависимости от типа взаимодействия.

На рис. 3 представлена иллюстрация реализации первых двух итераций метода Монте–Карло для 512 лучей. Оранжевым цветом обозначены падающие лучи. После взаимодействия красным цветом показаны лучи, отраженные поверхностью листа, синим — прошедшие сквозь листовую пластину.

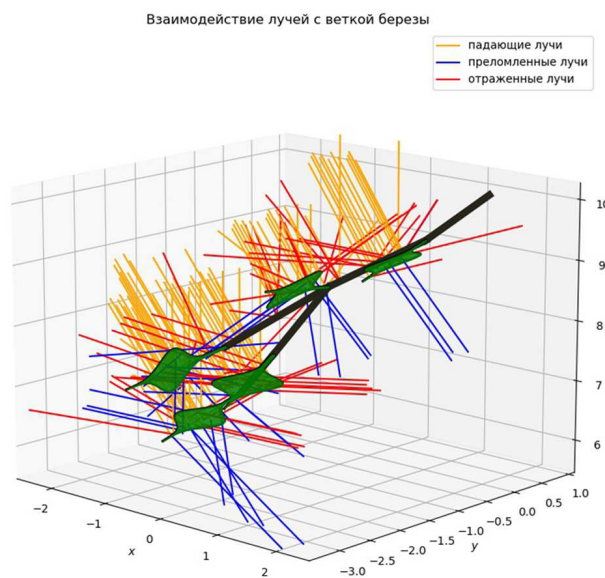


Рис. 3. Моделирование взаимодействия лучей с объектом

5. РАСЧЕТ ДИФФУЗИОННОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ

После взаимодействия с листвой или почвой, фотон отправляется в один из L углов $\Delta\Omega_i$, ($i = \overline{1, L}$), определенных направлением Ω_i . Для каждого фотона определим величины

$$Q_{i,j}(x_l) = p_i(x_l) \cdot W_j(x_l),$$

Здесь индекс $i = \overline{1, L}$ определяет направление распространения луча, индекс $j = \overline{1, N}$ означает номер исходного фотона, индекс $l = 0, 1, 2, 3$ означает количество взаимодействий j -го фотона (с элементом растительности или почвой), x_l — точка взаимодействия, $W_j(x_l)$ — вес фотона до l -го взаимодействия, $W_j(x_0) = 1$; p_i — вероятность того, что после столкновения фотон отправится в телесный угол $\Delta\Omega_i$. Она рассчитывается как

$$p_i(x_l) = \int_{\Delta\Omega_i} \gamma_D(\Omega_L, \Omega' \rightarrow \Omega) d\Omega.$$

Величина γ_D называется индикатриссой рассеяния. Она рассчитывается по формулам для листьев

$$\begin{aligned} \gamma_D(\Omega_L, \Omega' \rightarrow \Omega) &= \\ &= \frac{1}{\pi} \begin{cases} r_{LD} |(\Omega, \Omega_L)|, & (\Omega, \Omega_L) (\Omega', \Omega_L) < 0 \\ t_{LD} |(\Omega, \Omega_L)|, & (\Omega, \Omega_L) (\Omega', \Omega_L) > 0 \end{cases}, \end{aligned}$$

для земли

$$\gamma_D = \frac{1}{\pi} r_{soil}(\Omega, \Omega_{soil}), \quad \Omega_{soil} = (0, 0),$$

для стеблей и веток

$$\gamma_D = \frac{1}{\pi} r_{st}(\Omega, \Omega_{st}), \quad \Omega_{st} = \left(\frac{\pi}{2}, \varphi_{st}\right).$$

Здесь Ω' — направление падения фотона, Ω_L — направление нормали к листовой пластине, Ω — направление отраженного или прошедшего лучей. Соответствующее расположение углов представлено на рис. 4, а.

В теории рассеяния фотонов по физическому смыслу индикатрисса рассеяния — это функция плотности вероятности отражения фотона от рассеивающего объекта под определенным углом.

Величина $Q_{i,j}(x_l)$ есть вклад j -го фотона, находящегося в точке x_l в распределение радиации в направлении i . Количественное значение плотности потока радиации i -м направлением вычисляется как среднее от N случайных процессов:

$$I_i = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \sum_{l=1}^{+\infty} Q_{i,j}(x_l), \quad j = 1, \dots, N, \quad l = 0, 1, 2, 3.$$

6. РАСЧЕТ ЗЕРКАЛЬНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ

В связи с тем, что шероховатая поверхность листа покрыта слоем воска, при отражении возникает зеркальная составляющая. Согласно закону зеркального отражения, луч, падающий на лист, и луч, отраженный от него, составляют одинаковые углы с нормалью к листовой пластине (рис. 4, б). При этом вероятность того, что направление отраженного луча будет совпадать с одной из дискретных ординат, ничтожно мала. Поэтому вклад зеркальной составляющей рассчитывается как интегральная характеристика согласно методу, описанному в [11].

Доля радиации, отраженная зеркально от поверхности листа, определяется по формуле Френеля:

$$F_r(\alpha', n) = \frac{1}{2} \left(\frac{\sin^2(\alpha' - \theta_s)}{\sin^2(\alpha' + \theta_s)} + \frac{\text{tg}^2(\alpha' - \theta_s)}{\text{tg}^2(\alpha' + \theta_s)} \right),$$

где $\alpha' = \arccos(|\Omega' \cdot \Omega_L|) = \arccos(|\Omega \cdot \Omega_L|)$, $\theta_s = \arcsin\left(\frac{\sin \alpha'}{n}\right)$, Ω' — направление падающего луча, Ω — направление отраженного луча, Ω_L — нормаль к поверхности листа (рис. 2, б)). Отметим, что в предельном случае $\alpha' = 0$ (т.е. в случае падения по нормали) формула (??) не работает, однако можно вычислить предел выражения в правой части:

$$F_r(0, n) = \left(\frac{(n-1)^2}{(n+1)^2} \right).$$

Введем коэффициенты a_i , $i = 1, \dots, L$ (где L — число возможных направлений отраженного луча (дискретных ординат)) следующим образом:

$$a_i(\alpha') = \begin{cases} \sigma_{ij}, & \Omega \in \Delta\Omega_j, j = 1, \dots, L, \Omega' \cdot \Omega_L < 0, \\ 0, & \Omega' \cdot \Omega_L, \end{cases}$$

причем $\sum_{i=1}^L \sigma_{ij} = 1, j = 1, \dots, L$. В данной работе в качестве коэффициентов σ_{ij} брались удвоенные значения весов квадратурных формул типа Гаусса-Маркова.

При каждом столкновении фотона с листом для учета вклада зеркальной составляющей в i -й приемник (направление) мы суммируем величины $F_r(\alpha', n) a_i(\alpha') W_j(x_l)$. Здесь x_l — l -я марковская траектория j -го луча (после l взаимодействий), а «вес» фотона при столкновении $W_j(x_l)$ вычисляется по формуле $W_j(x_1) = 1$, $W_j(x_l) = (1 - k) W_j(x_{l-1})$, $l = 2, 3, \dots$, $k = 1 - (t + r)$ — коэффициент абсорбции.

Средний вклад в плотность потока радиации, распространяющейся в направлении $i = 1, \dots, L$ в результате зеркального отражения N_C провзаимодействовавших лучей рассчитывается как:

$$F_i = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^{N_C} \sum_{l=1}^{+\infty} F_r(\alpha', n) a_i(\alpha') W_j(x_l), \quad i = 1, \dots, L.$$

Отметим, что при столкновении с почвой и стеблем величина $F_r = 0$, следовательно $F_i(x_l) = 0$.

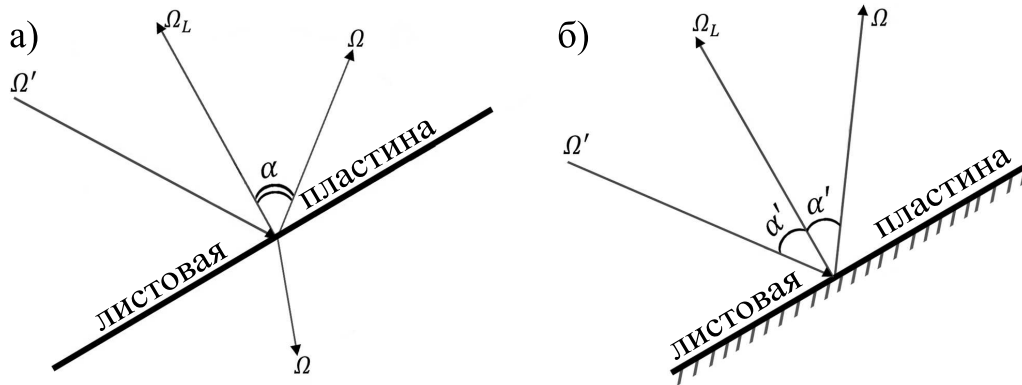


Рис. 4. Взаимное расположение направлений распространения фотона. *а* — для диффузионного взаимодействия: Ω' — направление падения фотона Ω_L — направление нормали к листовой пластине, Ω — направление отраженного или прошедшего лучей; *б* — для зеркального отражения: Ω' — направление падения фотона Ω_L — направление нормали к листовой пластине, Ω — направление отраженного луча, α' — угол падения

7. ЧИСЛЕННЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ

Численный эксперимент проводился с количеством лучей равным $N = 16384$. Считалось, что поток прямой солнечной радиации падает в направлении $\Omega_0 = (\theta_0, \varphi_0) = (30^\circ, 0^\circ)$.

7.1. Распределение плотности потока радиации

Распределение плотности потока радиации вычислялось следующим образом: разобьем рассматриваемую область на малые подобласти и определим, какие лучи пересекают данные подобласти, а затем суммируем значение плотности потока. На рис. 5 приведено распределение в сечении на нижней границе выделенной области в случае ясного дня. Так же в этом случае не учитывается зеркальная составляющая, так как мы считаем, что она не дает вклад в область под объектом. Для ее наблюдения нужно выбрать сечение либо над объектом, либо над его частью. Соответствующие результаты будут приведены ниже.

Стоит отметить, что шаг сетки при расчете распределения плотности потока радиации следует брать не слишком большим, но и не слишком мелким, чтобы в каждую подобласть при отсутствии препятствий попадали фотоны. Так, например, на рис. 6 приведен пример слишком густой сетки. Видно, что плотность потока радиации во многих узлах сетки равна нулю, хотя этого быть не должно. Кроме того, густые сетки на порядок увеличивают время расчета.

В данной работе шаг сетки h вычислялся исходя из следующей формулы: $h \sim \sqrt{\frac{S}{\sqrt{N}}}$, где S — площадь расчетной области, N — количество лучей.

Также было построено распределение плотности потока радиации для пасмурной погоды. В данном случае отсутствует прямая радиация. Как видно из рис. 7,

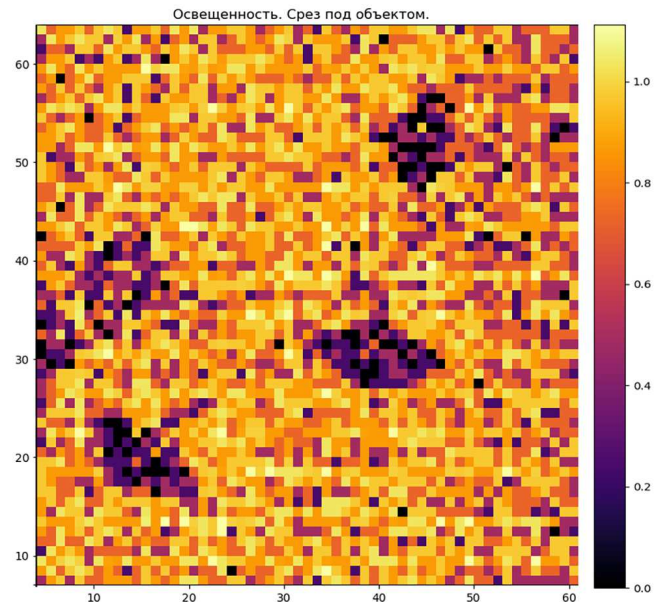


Рис. 5. Распределение плотности потока радиации на нижней границе расчетной области (ясный день)

тень стала менее четкой, чего и следовало ожидать в данном случае.

Если в случае рассеянной радиации тень от объекта дает прямую проекцию объекта на землю, то в случае прямой радиации тень представляет собой косую проекцию в направлении падающей радиации.

Для наблюдения вклада зеркальной составляющей, возьмем центральное сечение расчетной области горизонтальной плоскостью. В случае солнечной погоды распределение плотности потока излучения в этом сечении представлено на рис. 8. В рассматриваемом сечении можно наблюдать тень только от двухлистов. Отметим, что во многих узлах сетки значение плотно-

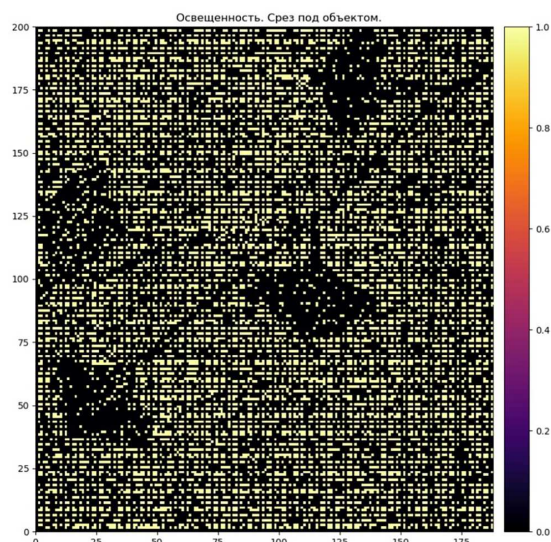


Рис. 6. Пример слишком густой сетки

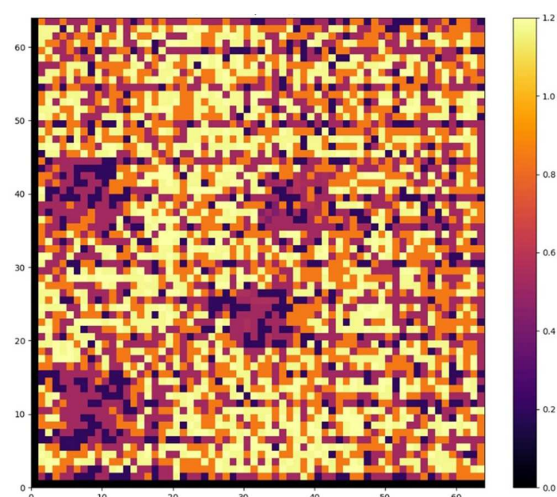


Рис. 7. Распределение плотности потока радиации на нижней границе расчетной области (пасмурный день)

сти потока радиации выше, чем на рис. 5, что свидетельствует о верном учете вклада зеркальной составляющей.

8. Итоги

В работе было проведено

1. Математическое и программное моделирование ветки одного из основных представителей растительного покрова — березы.
2. Разработка программного комплекса для матема-

тического моделирования радиационного переноса с использованием метода Монте-Карло.

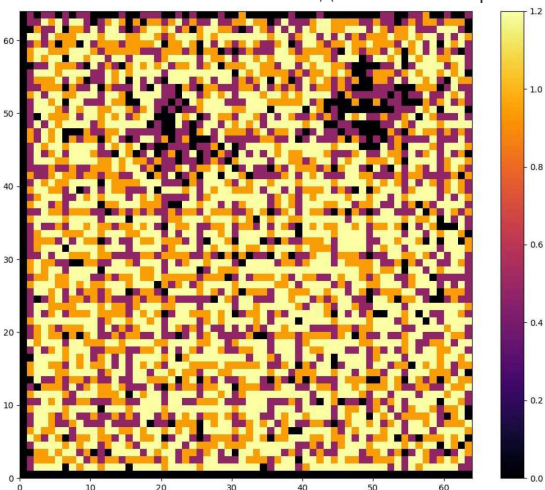


Рис. 8. Распределение плотности потока радиации в центральном горизонтальном сечении с учетом зеркальной составляющей. (солнечный день)

3. Расчет распределения плотности потока радиации в двух случаях: ясная и пасмурная погода.
4. Эффективное распараллеливание программы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты, представленные в данной работе, показывают, что метод Монте-Карло является полезным инструментом для построения распределения плотности потока радиации. Непосредственно данные о распределении радиационного поля в растительном покрове необходимы для моделирования фотосинтетической активности деревьев и, следовательно, распределения углекислого газа, что является одной из важнейших задач экологии. Метод Монте-Карло имеет важное преимущество по сравнению с другими методами решения задач переноса: он позволяет производить расчеты характеристик радиационного поля в случае такого модельного растительного покрова, архитектура которого существенно ближе к реальному растительному покрову. Метод дает возможность учитывать такие параметры растения, как размеры и форма листьев, их число и размещение на стебле, высота растения, а также размещение растений в посадке и т.д. Детализация учета структуры посева ограничивается лишь возможностями вычислительной техники.

Все программные реализации в ходе настоящего исследования проводились с помощью компиляторов CUDA C++ (для параллельных вычислений) и Python (для последовательной части расчетов и вывода графической интерпретации).

- [1] Будыко М.И. Климат и жизнь. Л., 1971.
- [2] Будыко М.И. Изменения климата. Л., 1974.
- [3] Tanaka S. Estimation of sunlight leaf area in tobacco plant community by the Monte-Carlo method. Estimation of direct sunlight. In: Photosynthesis and Utilization of Solar Energy. Level III Experiments 1968, Tokyo, 1969, P. 76.
- [4] Kuusk A. Canopy radiative transfer modeling. In: S. Liang (Ed.) Comprehensive Remote Sensing. Terrestrial Ecosystems. Elsevier, 2018. **3**. P. 9.
- [5] Marshak, A., Knyazikhin Y. // J. Quant. Spectrosc. Radiat. Trans. 2017. **191**. P. 7.
- [6] Widlowski J-L., Pinty B., Clerici M., Dai Y., De Kauwe M., de Ridder K., Kallel A., Kobayashi H., Lavergne T., Ni-Meister W. et al. // Geophysical Research. 2011. **116**. P. G02019
- [7] Levashova N., Lukyanenko D., Mukhartova Y., Olchev A. Remote Sensing. 2018. **10**, N 10. P. 1661.
- [8] Гандилян Д.В., Левашова Н.Т., Ольчев А.В. // Вестн. Моск. ун-та. Физ. Астрон. 2020. № 6. С. 55.
- [9] Pyushin Y.A., Kutuza B.G., Sprenger A.A., Merzlik V.G. // AIP Conference Proceedings. 2017. **1810**. 040003.
- [10] Knyazikhin Y., Marshak A. Fundamental equations of radiative transfer in leaf canopies, and iterative methods of their solution. In Applications in optical remote sensing and plant ecology Photon-vegetation interactions. R. Myneni and J. Ross (Eds.). Berlin: Springer, 1991.
- [11] Ross J., Myneni Ranga B., Ross Juhan et al. Photon-Vegetation Interactions. Applications in Optical Remote Sensing and Plant Ecology. Springer-Verlag, Berlin (Chapter 14), 1991.
- [12] Mahan J.R. Radiation Heat Transfer. / A Statistical approach. John Wiley & Sons, N.Y., 2002.
- [13] Росс Ю.К. Радиационный режим и архитектура растительного покрова. Л.: Гидрометеиздат. (Ross J. The radiation regime and architecture of plant stands. Dr. W. Junk. Publishers: The Hague, Netherlands, 1981. ISBN-13: 978-94-009-8649-7., 1975).
- [14] Lukeš P., Stenberg P., Rautiainen M., Miettus M., Vanhatalo K.M. // Remote Sensing Letters. 2013. **4**. P. 667.
- [15] Лебедев В.И. // Ж. вычисл. матем. и матем. физ. 1975. **15**, № 1. С. 48.

Modeling the interaction of solar radiation with vegetation elements using the Monte Carlo method

I.D. Sergeev^a, N.T. Levashova^b

Department of Mathematics, Faculty of Physics, Lomonosov Moscow State University. Moscow 119991, Russia
E-mail: ^asergeev.id18@physics.msu.ru, ^bnatasha@wanaku.net

The aim of this work is mathematical modeling of radiation transfer in vegetation cover elements, the geometry of which is close to real, using a software implementation of the Monte Carlo method. Information about the radiation reflected by a plant is needed to model the photosynthetic activity of trees, and consequently to model the carbon dioxide fluxes absorbed or released by plants, which is one of the most important tasks of ecology. By definition, the Monte Carlo method is a method for modeling random variables and processes to calculate the characteristics of their distributions. The process of radiation transfer in inhomogeneous media is modeled as a random Markov chain of collisions of photons with matter, and the purpose of the Monte Carlo method is to find the average statistical characteristics of this process. In this work, a small branch of birch is used as an object. In connection with the possibility of using modern multiprocessor systems for calculations it becomes necessary to distribute calculations, which can significantly reduce the time of realization.

PACS: 02.90.+p.

Keywords: Monte Carlo method, solar radiation, woody vegetation, multiple re-reflection.

Received 26 May.

Сведения об авторах

1. Сергеев Иван Дмитриевич — студент; e-mail:sergeev.id18@physics.msu.ru.

2. Левашова Наталия Тимуровна — канд. физ.-мат. наук, доцент; тел.: (495) 939-10-33, e-mail: natasha@wanaku.net.