

що дає змогу відвідувачам вільно освоювати значні лісові площі, активно витоптуючи лісову рослинність та пошкоджуючи природне поновлення лісу.

Висновки. На досліджених ділянках рекреаційно-оздоровчих лісів Розточчя загалом спостерігалось незадовільне і недостатнє природне поновлення деревних порід. У складі підросту переважали бук лісовий, дуб звичайний, граб звичайний і клен-явір. За висотою на п'яти пробних площах переважав дрібний підріст висотою до 0,5 м і лише на одній – крупний висотою понад 1,5 м. У лісостанах з IV-V стадіями рекреаційної дигресії було пошкоджено від 28 до 38 % наявного підросту. Отримані дані будуть використані для розроблення рекомендацій щодо ведення лісового господарства у рекреаційно-оздоровчих лісах Розточчя.

Література

1. Бондаренко В.Д. Ліс і рекреація в лісі : навч. посібн. / В.Д. Бондаренко, О.І. Фурдичко. – Львів : Вид-во "Світ", 1994. – 232 с.
2. Географічна енциклопедія України. – В 3-ох т. / редкол.: О.М. Маринич (відпов. ред.) та ін. – К. : Вид-во "Українська радянська енциклопедія" ім. М.П. Бажана, 1989-1993. – Т. 3. – 480 с.
3. Курамшин В.Я. Ведення господарства в рекреаційних лісах / В.Я. Курамшин. – М. : Агропромиздат, 1988. – 208 с.
4. Порядок поділу лісів на категорії та виділення особливо захисних лісових ділянок / Постанова Кабінету Міністрів України від 16 травня 2007 р., № 733.
5. Прикладівська Т.Р. Моніторинг рекреаційних букових біогеоценозів зеленої зони Львова / Т.Р. Прикладівська // Лісове господарство, лісова, паперова і деревообробна промисловість : міжвідомч. наук.-техн. зб. – Львів : Вид-во УкрДЛТУ. – 2006. – Вип. 32. – С. 253-263.
6. Ширнин Ю.А. Технология и эффективность рубок с естественным возобновлением леса : учебн. пособ. / Ю.А. Ширнин, Успенский У.И., А.С. Белоусов. – Йошкар-Ола : Изд-во "МарПИ", 1991. – 100 с.
7. Шукель І.В. Рекреаційні дигресії в лісах Ківерцівського лісництва Волинської області / І.В. Шукель, С.Б. Марутяк, І.Ю. Поронник // Науковий вісник УкрДЛТУ : зб. наук.-техн. праць. – Сер.: Дослідження, охорона та збереження біорізноманіття. – Львів : Вид-во УкрДЛТУ. – 2004. – Вип. 14.2. – С. 120-128.

Луцишин В.Е., Лавный В.В. Влияние рекреационной нагрузки на естественное возобновление древесных пород в рекреационно-оздоровительных лесах Расточья

Проведен анализ современного состояния естественного возобновления древесных пород в рекреационно-оздоровительных лесах с учетом рекреационных дигрессий других компонентов леса. Исследованы видовой состав, количество и состояние подроста на примере пробных площадей, заложенных в насаждениях с минимальными и максимальными стадиями рекреационной дигрессии.

Ключевые слова: Расточье, рекреационно-оздоровительные леса, рекреационная нагрузка, рекреационная дигрессия, естественное возобновление.

Lutsyshyn V.Ye., Lavnyy V.V. Impact of recreational pressure on natural regeneration of trees in the recreational forests of Rostochia

The analysis of the modern state of natural regeneration of trees is conducted in the recreational forests taking into account recreational digression of other components of the forest. Stand composition, amount and state of understorey was investigated on example of the sample plots areas, that was establish in forests with the minimum and maximal stages of recreational digression.

Keywords: Rostochia, recreational forests, recreational pressure, recreational degradation, natural regeneration.

УДК 630*627.3:535.35 Аспір. О.І. Озарків; проф. Л.І. Копій, д-р с.-г. наук; доц. І.П. Тереля, канд. с.-г. наук – НЛТУ України, м. Львів

ОСОБЛИВОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ПОГЛИНАННЯ ТА РОЗСІЮВАННЯ СОНЯЧНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ В СЛАБКОПОГЛИНАЛЬНИХ СЕРЕДОВИЩАХ

Проаналізовано методи та результати досліджень різних вчених щодо розв'язання задач з перенесення випромінювання в слабкопоглинальних середовищах, зокрема метод "двопотокового" наближення. Запропоновано методи визначення показників поглинання та розсіювання.

Ключові слова: оптичні і світлорозсіювальні середовища, показники поглинання і розсіювання, оптично товстий шар.

У спектроскопії оптично неоднорідних середовищ основним є окреме визначення об'ємних показників поглинання m_i і розсіювання σ_i світлорозсіювального біологічного об'єкта. Для розв'язання цієї задачі найбільш перспективними є методи, запропоновані Г.В. Розенбергом [1, 2]. Він обґрунтував, що під час опромінення шару, найбільш близького до дифузного (повна дифузність можлива за відсутності поглинання) є справедливим так зване "двопотокове" наближення [3], тобто співвідношення, запропоновані М.М. Гуревичем [4], що отримані із загального рівняння перенесення випромінювання, такі:

$$\rho_{S1} = \rho_{\infty} \cdot \frac{1 - \exp(-2K \cdot S_1)}{1 - \rho_{\infty}^2 \cdot \exp(-2K \cdot S_1)}; \quad (1)$$

$$\tau_{S1} = \frac{1 - \rho_{\infty}^2}{1 - \rho_{\infty}^2 \cdot \exp(-2K \cdot S_1)} \cdot \exp(-K \cdot S_1), \quad (2)$$

де: S_1 – геометрична товщина певного шару; ρ_{∞} – коефіцієнт відбивання шару "безмежної" товщини (тобто шару, для якого коефіцієнт пропускання $\tau = 0$) у разі його опромінення; ρ_{S1} , τ_{S1} – коефіцієнти дифузного відбивання і пропускання досліджуваного шару відповідно; K – константа, яка пов'язана із σ_i і видом матриці розсіюваного шару; $\exp()$ – основа натуральних логарифмів ($e = 2,71828 \approx 2,718$), тобто число Ейлера.

Величина K дорівнює $K = \sqrt{K_2^2 - K_1^2}$, (3)

де: K_1 , K_2 – відповідно константи, що зв'язані із коефіцієнтом m_i і σ_2 . При цьому відомо, що

$$\rho_{\infty} = \frac{K_2 - K_1}{K_1}. \quad (4)$$

М.М. Гуревич [4] показав, що оптичні властивості світлорозсіювального шару, як цілого, можуть бути знайденими, якщо відомі ρ_{∞} і K або K_1 і K_2 , за співвідношеннями:

$$K_1 = \frac{2K \cdot \rho_{\infty}}{1 - \rho_{\infty}^2}; \quad K_2 = \frac{(1 + \rho_{\infty}^2) \cdot K}{1 - \rho_{\infty}^2}. \quad (5)$$

Ці рівності дають змогу отримувати співвідношення між константами K_1 і K_2

$$K_2 = K_1 \cdot \frac{(1 - \rho_\infty^2)}{2 \cdot \rho_\infty} \quad (6)$$

У випадку, коли поглинання опроміненого шару є дуже малим і коефіцієнт відбивання $\rho_{S1} > 0,85$, М.Ю. Сахновський [5, 6] отримав співвідношення

$$\rho_\infty = \frac{K_2}{K_1} - \sqrt{\frac{K_2^2 - K_1^2}{K_1^2}} \approx 1 - \sqrt{\frac{2(K_2 - K_1)}{K_1}} \quad (7)$$

Тоді показник поглинання можна буде визначити за формулою [6]

$$m_\lambda = \frac{(1 - \rho_\infty)^2}{4} \cdot K_1 \quad (8)$$

У роботах Г.В. Розенберга [1, 2] показано, що у разі квазидифузного опромінення плоского шару світлорозсіювального матеріалу із малим питомим поглинанням і оптичною товщиною $L = \rho_\lambda \cdot S_1$ коефіцієнти дифузного відбивання ρ і пропускання τ можна визначити за формулами

$$\rho = \frac{shx}{sh(x+y)}, \quad \tau = \frac{shy}{sh(x+y)}, \quad (9)$$

де:

$$x = L\gamma = (\alpha + \sigma_\lambda) \cdot \gamma; \quad y = \sqrt{\frac{\alpha}{q \cdot \sigma}} = \sqrt{\frac{\beta}{q}}, \quad (10)$$

тут параметр q характеризує кутове розподілення яскравості в середині вірця і залежить тільки від індикатриси розсіювання; параметр γ становить відношення показника ослаблення за оптичної товщини шару L , який забезпечує глибинний режим, до показника ослаблення за довільної товщини шару того ж матеріалу (речовини); α – коефіцієнт поглинання.

Рівняння (9) за формою повністю збігається з рівняннями двопотокового наближення. Але параметри, які використовують у теорії перенесення випромінювання, визначають властивості речовини об'єкта досліджень, тобто параметри у разі двопотокового наближення включають в себе невідомі характеристики кутової структури поля випромінювання в середовищі. Двопотокове наближення дає змогу окремо визначити показники поглинання та розсіювання. Із рівнянь (9) і (10) для коефіцієнта відбивання "безмежно" товстого шару, тобто "безмежної" товщини отримано формулу для визначення показника поглинання

$$m_\lambda = \frac{1}{4} \cdot \frac{\sigma_\lambda}{4q} (\ln \rho_\infty)^2 \quad (11)$$

У випадку, коли шар має мале питоме поглинання, тобто $\sqrt{\beta} \ll 1$ ($\beta = \frac{m_\lambda}{\sigma_\lambda}$) і $y \ll 1$, то для товщини S_1 , значення показника поглинання можна визначити для двопотокового наближення

$$m = \frac{\sum}{4} \cdot \frac{(1 - \rho_\infty)^2}{\rho_\infty} = \frac{1}{4} \left(\frac{\sigma}{4q} \right) \cdot \frac{(1 - \rho_\infty)^2}{\rho_\infty} \quad (12)$$

Аналіз рівнянь (11) і (12) показує, що для знаходження показника поглинання m необхідно знати величини ρ_∞ і $\sigma / (4q)$. Величину ρ_∞ можна легко визначити експериментально. Складніше визначити величину $(\sigma / (4q))$. Для знаходження останньої можна використати експериментально виміряні коефіцієнти відбивання і пропускання шару під час дифузного опромінення і виміряні ці ж коефіцієнти у разі спрямованого опромінення шару світлорозсіювального об'єкта [7, 8].

Значення ρ_∞, τ_D можна знайти за експериментально виміряними коефіцієнтами відбивання та пропускання шляхом накладання двох, трьох, чотирьох і більше листків, внаслідок чого можна домогтися для кожної довжини хвилі λ практично повної відсутності пропускання ($\tau_\lambda = 0$).

Розв'язок диференціальних рівнянь, записаних для безмежно товстого шару (див. (1) і (2)), показує, що відбивання та пропускання завжди пропорційні товщині шару t . Накладання умови $K_t \ll 1$ на рівняння (1) і (2) приводить до збігу виразів для K_1 і K_2 .

Для вирахування впливу границь розділу "середовище – листок" можна використати відомі рівняння Райда-Купера [10], які враховують саме вплив границі розділу:

$$\rho_D = \rho_{вн} + (1 - \rho_{зов}) \cdot (1 - \rho_{вн}) \cdot \frac{\rho(1 - \rho \cdot \rho_{зов}) + \rho_{зов} \cdot \tau_\lambda^2}{(1 - \rho \cdot \rho_{вн})^2 - \rho_{вн}^2 \cdot \tau_\lambda^2}, \quad (11)$$

$$\tau_D = \tau_\lambda \frac{(1 - \rho_{зов}) \cdot (1 - \rho_{вн})}{(1 - \rho \cdot \rho_{зов})^2 - \rho_{зов}^2 \cdot \tau_\lambda^2}, \quad (12)$$

де: ρ_D, τ_D – коефіцієнти відбивання і пропускання у разі дифузного опромінення із врахуванням границь розділу відповідно, тобто величини, як і вимірюють експериментально; ρ, τ – коефіцієнти відбивання та пропускання без врахування границь розподілу, тобто речовиною листка; $\rho_{вн}, \rho_{зов}$ – коефіцієнти відбивання випромінювання, що спадає із середини шару (із речовини листка назовні) і ззовні на границю розділу відповідно.

У випадку, коли $\tau_D = 0$, а ρ_D набуває значення $\rho_{D, \infty}$, то

$$\rho_{D, \infty} = \rho_{зов} + \frac{(1 - \rho_{вн}) \cdot (1 - \rho_{зов}) \cdot \rho_{\infty, D}}{1 - \rho_{\infty, D} \cdot \rho_{вн}} \quad (13)$$

З цього рівняння коефіцієнт відбивання "оптично товстого шару" визначаємо

$$\rho_{\infty, D} = \frac{\rho_{D, \infty}^{\text{експ}} - \rho_{вн}}{\rho_{зов}(\rho_{D, \infty}^{\text{експ}} - 1) + (1 + \rho_{вн})} \quad (14)$$

Для визначення дифузного коефіцієнта відбивання досліджуваного шару за експериментально виміряними коефіцієнтами відбивання цього шару ρ_i під час падіння на нього пучків променів під різними кутами Θ_i , що змінюються від 0° до 90° , можна використати метод кутових коефіцієнтів [11].

Виходячи із загальної теорії перенесення випромінювання, А.А. Гершун [10] наводить формули для визначення коефіцієнтів $\rho_{зов}$ і $\rho_{вн}$, тобто:

$$\rho_{вн} = \frac{3n^8 - 10n^7 - 6n^6 + 4n^5 + 16n^4 + 2n^2 - 10n^3 + 1}{3(n^4 - 1)^2} - \frac{n^2(n^2 - 1)}{(n^2 + 1)^3} \ln \frac{n+1}{n-1} + \frac{8n^4(n^4 + 1) \ln n}{(n^4 - 1)^2(n^2 + 1)} \quad (15)$$

$$\rho_{зов} = 1 - \frac{1 - \rho_{вн}}{n^2}, \quad (16)$$

де n – показник заломлення світла речовиною (в нашому випадку листком).

Зважаючи на те, що значення ρ_i під час змінного падіння ($\varphi \approx 90^\circ$) виміряти практично неможливо, П.М. Тиходеев [11] рекомендує приблизний вираз визначення дифузного коефіцієнта відбивання ρ_d

$$\rho_L \cong 0,5076 \sum_{\varphi_i=0^\circ}^{80^\circ} \rho_i \cdot c_i, \quad (17)$$

використовуючи яким значення ρ_i вимірюють через кожні 10° у межах від 0° до 80° . Зазначимо, що значення ρ_λ тонких шарів дуже залежить від довжини хвилі; то для "безмежно товстих" матеріалів спектральна селективність незначна і коефіцієнти спрямованого та дифузного відбивання практично збігаються. Враховуючи те, що показник заломлення рослинних клітин в області спектра $\lambda = 0,76-1,40$ мкм перебуває в межах $n_\lambda = 1,20-1,52$, то задавши значення, наприклад $n_\lambda = 1,42$, значення $\rho_{вн} \approx 0,082$ і $\rho_{зов} = 0,54$.

Якщо по осі абсцис прямокутної системи координат відкладати значення коефіцієнта ρ , а по осі ординат – коефіцієнт пропускання τ , то точки, що визначаються будь-якими комбінаціями цих величин, будуть знаходитись в середині прямокутного трикутника (або на його катетах) із катетами, спрямованими по осях координат і чисельно рівними одиниці (рис.). Це означає, що на площі трикутника можна завжди знайти геометричні місця точок, яким відповідають однакові значення ρ_∞ , але різні значення $(K \cdot t)$, і, навпаки.

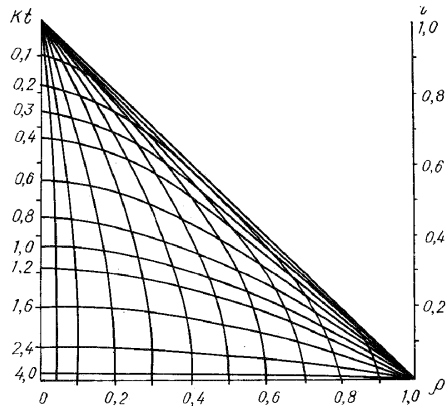


Рис. Номограма визначення значень ρ_∞ і K за експериментально виміряними коефіцієнтами ρ і τ за певної товщини листка

Отже, отримаємо два сімейства аналітичних функцій (в нашому випадку кривих), що утворюють в середині трикутника сітку, яка дає змогу за відомим значенням ρ і τ визначити параметри ρ_∞ і K досліджуваного листка за його товщини t .

Окрім цього, описану методику можна розглядати як перше наближення щодо системного використання кількісних фізичних методів дослід-

жень складних і одночасно мінливих біологічних об'єктів, якими є листки дерев. Це дає змогу також з'ясувати природу і механізми поглинання й трансформації енергії сонячного випромінювання, зокрема явище фотосинтезу в зеленому листку дерева будь-якої породи.

Література

1. Розенберг Г.В. Абсорбционная спектроскопия диспергированных веществ / Г.В. Розенберг // Успехи физических наук : научн. журнал. – 1959. – Т. 69, № 1. – С. 57-104.
2. Розенберг Г.В. Физические основы спектроскопии светорассеивающих веществ / Г.В. Розенберг // Успехи физических наук : научн. журнал. – 1967. – Т. 91, № 4. – С. 569-606.
3. Зеге Э.П. О двухпоточковом приближении в теории переноса излучения / Э.П. Зеге. – Минск, 1971. – 58 с. (Препринт/Ин-т физики АН БССР).
4. Гуревич М.М. Вопросы рациональной классификации светорассеивающих веществ. / М.М. Гуревич // Труды Государственного оптического института им. С.И. Вавилова : научн. сб., 1931. – Т. 6, № 57. – С. 1-23.
5. Сахновский М.Ю. Исследование оптических свойств светорассеивающих сред с малым удельным поглощением : автореф. дисс. на соискание учен. степени канд. физ.-мат. наук / М.Ю. Сахновский. – Л. : Изд-во ГОИ, 1965. – 20 с.
6. Розенберг Г.В. О методах абсорбционной спектроскопии плоских образцов слабо поглощающих светлорассеивающих веществ / Г.В. Розенберг, М.Ю. Сахновский, С.Г. Гуминецкий // Оптика и спектроскопия, 1967. – Т. 23, № 5. – С. 797-806.
7. Рвачев В.П. Методы оптики светлорассеивающих сред в физике и биологии / В.П. Рвачев. – Минск : Изд-во БГУ, 1978. – 240 с.
8. Гуминецкий С.Г. К вопросу определения показателей поглощения и рассеяния излучения древесины / С.Г. Гуминецкий, В.А. Кныш, И.М. Озаркив // Дальнейшее совершенствование теории, техники и технологии сушки : тез. докл. Всесоюз. научн.-техн. конф. – М. : 1981. – С. 94-96.
9. Озаркив И.М. Методы определения констант, характеризующих спектроскопические свойства древесины / И.М. Озаркив, С.Г. Гуминецкий // Современные проблемы древесиноведения : тез. докл. Всесоюз. конф. – Красноярск, 1987. – С. 127-128.
10. Гершун А.А. Избранные труды по фотометрии и светотехнике / А.А. Гершун. – М. : Изд-во "Физматгиз", 1958. – 548 с.
11. Тиходеев П.М. Световые измерения в светотехнике / П.М. Тиходеев. – М. : Л. : Госэнергоиздат, 1962. – 464 с.

Озаркив О.И., Копий Л.И., Тереля И.П. Теоретические основы определения показателей поглощения и рассеивания солнечного излучения в слабопоглощающих средах

Проанализированы методы и результаты исследований различных ученых относительно решения задач переноса излучения в слабопоглощающих средах, в частности метод "двухпоточного" приближения. Предложены методы определения показателей поглощения и рассеивания.

Ключевые слова: оптические и светорассеивающие среды, показатели поглощения и рассеяния, оптически толстый слой.

Ozarkiv O.I., Kopyi L.I., Terelja I.P. The theoretical basis for determining rates of absorption and scattering of solar radiation in weakly absorbing media

This paper analyzes the methods and findings of various researchers to solve problems of radiative transfer in weakly absorbing media, in particular the method of "two-streaming" approximation. The methods of determining rates of absorption and scattering.

Keywords: optical and light-scattering medium, rates of absorption and scattering, optically thick layer.