

Л.І. КОПІЙ¹, О.І. ОЗАРКІВ²

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ПОГЛИНАННЯ ТА РОЗСІЮВАННЯ СО- НЯЧНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ ЛИСТКАМИ РОСЛИН

Наведено терморадіаційні характеристики (коефіцієнти відбивання, пропускання і поглинання) листкових поверхонь у дерев різних порід внаслідок їх сонячного опромінення, а також особливості проникливого видимого випромінювання і значення спрямованого (прямого) і дифузного (розсіяного) випромінювання для м. Львова. Розкрито закономірності поширення сонячного випромінювання в листках. Наведено формули розрахунку спрямованих і дифузних складових світла і їх взаємозв'язку із показником заломлення листків. Це дає змогу прогнозувати хід зміни показника поглинання в середині листка.

Ключові слова: лісові насадження, світло, терморадіаційні характеристики, листкова поверхня, спектральний склад, деревостан, пряме і розсіяне випромінювання, показник заломлення світла

Вступ. Відомо, що лісові насадження формують фітоклімат та контролюють рівень сонячного випромінювання на певній території регіонів України. За існуючими даними, зоною комфортності вважається зона, в якій температура навколишнього середовища становить 17,2-1,7°C. При цьому перепад температур, який залежить від типу насаджень і складу деревних порід, між затіненою ділянкою і відкритою, добре інсольованою галявиною становить 38,2 %, а перепад температур між затіненою ділянкою під кронами рідких насаджень, наприклад, у сквері та відкритою ділянкою газону – 24,4% [1]. При цьому дерева, чагарники, трав'яна рослинність беруть активну участь у формуванні та регулюванні радіальних теплових потоків, які рухаються вниз (катарадіалей) і вгору (анарадіалей). У кліматичних умовах України, тобто в умовах помірного клімату, коли сонячне випромінювання є найбільшим влітку, велике значення має температурне регулювання терморадіаційного балансу території за рахунок не-

¹ КОПІЙ Леонід Іванович – дійсний член Лісівничої академії наук України, доктор сільськогосподарських наук, професор, завідувач кафедри екології. Національний лісотехнічний університет України. м. Львів, Україна. Тел.: (032) 239-27-05. E-mail: kop.l@mail.ru

² ОЗАРКІВ Ольга Ігорівна – аспірант, Національний лісотехнічний університет України. м. Львів, Україна. Тел.: +38-097-987-44-00. E-mail: olja-ozarkiv@rambler.ru

великих груп або окремих дерев, що виконують захисну протитерморадіаційну функцію.

Варто зазначити, що рослини, як типові світлорозсіювальні матеріали, відбивають, поглинають і частково пропускають спадаюче сонячне випромінювання. У табл. 1 наведені терморадіаційні характеристики (коефіцієнти пропускання τ_λ , поглинання α_λ і відбивання ρ_λ) листкової поверхні основних деревних порід, запозичено з роботи [1].

Таблиця 1

Терморадіаційні характеристики листкової поверхні дерев за Лунцем [1]

№ з.п.	Порода дерев	Терморадіаційні характеристики дерев, %		
		пропускання τ_λ	поглинання α_λ	відбивання ρ_λ
1.	Береза повисла	6,5	55,5	38,0
2.	Дуб літній	8,5	41,0	50,5
3.	Гіркокаштан звичайний	10,0	58,5	51,5
4.	Клен гостролистий	6,0	44,0	50,0
5.	Липа дрібнолиста	5,0	72,0	23,0
6.	Вільха чорна	5,0	58,0	37,0
7.	Осика	9,5	29,0	61,5
8.	Тополя бальзамічна	5,5	55,0	39,5

Зауважимо, що сумарне сонячне випромінювання, тобто сума спрямованого (прямого) і дифузного (розсіяного) випромінювання під кроною окремих деревних порід майже в 9 разів менша, ніж на відкритому місці. Як стверджує Л.О. Машинський [3], п'ятиметрова зелена смуга озеленення між тротуарами і бруківкою може зменшити теплові опромінення більш ніж в 2,5 раза.

Дерева, чагарники, ліани, а також дернина є ефективними як для зниження падаючої (прямої і розсіювальної) сонячної енергії, так і відбитої терморадіації. Загалом, дерева й чагарники поглинають теплове випромінювання, забезпечують утворення різних типів тіней (круглої, вертикальної, горизонтальної, вазоподібної, пірамідальної тощо) від деревних рослин. Отже, зелені рекреаційні насадження поглинають теплову енергію вдень, піднімають вечірню температуру, знижуючи її добову амплітуду. Це означає, що дерева різних порід, маючи різну висоту, будуть формувати багат шарову (складається з декількох шарів крон, включаючи й високі чагарники) захисну заслону і здійснювати бло-

кування терморадіаційного потоку сонячного випромінювання та його відбивання або ж фільтрації.

Освітленість і спектральний склад сонячного випромінювання під наметом деревостану формується під впливом географічного розташування регіону, сезону, висоти над рівнем моря, положенням Сонця над горизонтом, метеоумов, видового складу, будови і структури фітоценозу.

Під час перебування Сонця в зеніті максимум променевої енергії належить променям синім ($\lambda = 0,45-0,48$ мкм) і фіолетовим ($\lambda = 0,40-0,45$ мкм), тобто більш коротким, а під час низького сонцестояння над горизонтом в потоці сонячного випромінювання переважають оранжеві ($\lambda = 0,59-0,62$ мкм) і червоні ($\lambda = 0,62-0,76$ мкм) хвилі випромінювання. Поряд з цим, складовими видимого випромінювання є також жовта ($\lambda = 0,56-0,59$ мкм), зелена ($\lambda = 0,50-0,56$ мкм), голуба ($\lambda = 0,48-0,50$ мкм) області спектра сонячного випромінювання.

Під впливом крон значною мірою послаблюється сонячна енергія. Зокрема, частина видимого світла відбивається кроною, а частково поглинається нею. Частина світла поглинається і відбивається підліском і трав'яним вкриттям. Лише незначна кількість його надходить до поверхні ґрунту. Наприклад, в грабово-дубовому деревостані в сонячний квітневий день його надходить до 29%, а в серпні-місяці – лише 1% порівняно із відкритою територією. Влітку в полудень 43-річне дубове насадження поглинає до 90% сонячної енергії [1].

У старому буковому деревостані в період, коли дерева вкриті листям, кількість прониклого видимого випромінювання становить 49%; у дубовому – 35%; березовому – 20-30%; ялицевому – 20%, ялиновому – 40%, сосновому – 22-40%.

Зауважимо, що зміна освітлення піднаметового простору залежить від віку та структури самих деревостанів. Світловий клімат, створюваний хвойними деревостанами, є більш рівномірним впродовж року, ніж листяними деревостанами. Як стверджує проф. В.П. Кучерявий [1], у листяних лісах піднаметова освітленість впродовж вегетаційного періоду є значно нижчою, ніж взимку, рано навесні і пізно восени. Кількість світла під наметом у таких деревостанах є в 15 разів меншою, ніж у деревостанах без листя.

Відзначимо, що листя дерев й чагарників добре поглинають сині і ультрафіолетові, значно менше – жовті та червоні промені. За великої щільності (густоти) крон листяних і хвойних дерев сині і фіолетові промені можуть зовсім

не потрапляти на поверхню ґрунту. Так, у квітні спектральна освітленість під наметом листяного лісу становила: червоні промені – 14%, оранжеві – 4%, жовті – 5%, зелені – 4%, сині – 3%, фіолетові – 3% [1].

Як відомо, дерева, які розвиваються при повному надходженні сонячного випромінювання, формуються розлогими, мають нижче опущену крону, є довговічнішими, краще квітнуть й плодоносять, більше виділяють в атмосферу фітонцидів. Такі насадження краще осаджують атмосферні забруднювачі. Поряд з цим, рідкостійні деревостани є стійкішими до витоптування і створюють сприятливіші умови для відпочинку.

Термічний комфорт залежить від стану інфрачервоного випромінювання, яке становить 50% сонячного випромінювання. Інфрачервоні промені краще проникають через крони під намет і до поверхні ґрунту.

Властивості Сонця, як природного джерела теплового й видимого випромінювання, детально розглянуто в нашій роботі [2]. До поверхні Землі від Сонця через атмосферу доходить випромінювання в діапазоні довжин хвиль 0,30-3,0 мкм. У табл. 2 наведено значення прямого і розсіяного випромінювання для м. Львова залежно від години дня за різних кутів нахилу.

Таблиця 2

**Значення прямого і розсіяного сонячного випромінювання для
50° північної широти, Вт/м² [2]**

Місяць та кут нахилу δ	Вид радіації	Години доби до полудня					
		6...7	7...8	8...9	9...10	10...11	11...12
Квітень, $\delta = +10$	пряма	125	251	375	522	585	647
	розсіяна	70	87	104	125	129	132
Травень, $\delta = +18$	пряма	215	345	473	612	668	724
	розсіяна	84	94	104	125	128	132
Червень, $\delta = +23$	пряма	250	373	434	625	686	745
	розсіяна	84	97	111	132	132	132
Липень, $\delta = +21$	пряма	216	362	434	584	666	724
	розсіяна	84	97	111	125	128	132
Серпень, $\delta = +13$	пряма	146	275	404	517	579	640
	розсіяна	63	84	104	118	122	125
Вересень, $\delta = +3$	пряма	63	181	299	445	512	578
	розсіяна	49	66	84	97	101	104

Відомо, що міський смог, дим від лісових пожеж і попіл, який переноситься з повітрям, понижують рівень питомого потоку сонячного випромінювання, збільшуючи при цьому розсіювання і поглинання сонячної радіації. Вказані чинники більшою мірою впливають на пряме сонячне випромінювання, ніж на сумарне. Наприклад, у разі сильного забруднення повітря (смогу) пряме сонячне випромінювання зменшується на 40%, а сумарне випромінювання – лише на 15-25%.

Актуальність проблеми. Спектральні дослідження листків рослин (дерев, чагарників) в широкому діапазоні хвиль електромагнітного сонячного випромінювання мають важливе значення під час оцінення впливу енергії Сонця на рекреаційні ліси. Листки рослин є складними структурами із великою кількістю поверхонь розподілу між повітряними включеннями, стінками клітин, цитоплазмою і вільною водою, що знаходиться в листках. Тому проходження випромінювання через таке середовище варто розглянути з допомогою методів спектроскопії світлорозсіювальних середовищ [4-9].

Теорія, методика та вирішення проблеми. У загальному випадку поширення випромінювання в світлорозсіювальному середовищі описується рівняннями перенесення [4, 5, 7 та ін.]. У зв'язку з тим, що розв'язання цих рівнянь є дуже складним і потребує використання спрощених способів розв'язання задач шляхом переходу від інтенсивностей до потоків, що дає змогу замінити рівняння перенесення випромінювання системою диференціальних рівнянь. Більшість методів знаходжень показників поглинання і розсіювання складових речовин листків рослин не враховують впливу границь розподілу. Але це легко усунути, якщо використати рівняння Райда-Купера, яке враховує вплив границь розподілу, тобто

$$R = \rho_1 + (1 - \rho_1) \cdot (1 - \rho_2) \cdot \frac{\rho \cdot (1 - \rho \cdot \rho_2) + \rho_2 \cdot \tau^2}{(1 - \rho \cdot \rho_2)^2 - \rho_2^2 \cdot \tau^2}, \quad (1)$$

$$T = \tau \cdot \frac{(1 - \rho_1) \cdot (1 - \rho_2)}{(1 - \rho \cdot \rho_2)^2 - \rho_2^2 \cdot \tau^2}, \quad (2)$$

де: R і T – відповідно, коефіцієнти відбивання та пропускання при дифузному (розсіяному) опроміненні із врахуванням границь розподілу;

ρ , τ – коефіцієнти відбивання і пропускання у разі спрямованого опромінення;

ρ_2, ρ_1 – коефіцієнти відбивання випромінювання, що падає на границю розподілу із середини (тобто речовини листка) і ззовні відповідно, тобто коефіцієнти зовнішнього і внутрішнього відбивання.

А.А. Гершун [7], виходячи із загальної теорії перенесення випромінювання, наводить такі рівняння для визначення значень ρ_1 і ρ_2 :

$$\rho_{\text{вн}} \equiv \rho_1 = \frac{3 \cdot n^8 - 10 \cdot n^7 - 6 \cdot n^6 + 4 \cdot n^5 + 16 \cdot n^4 + 2 \cdot n^2 - 10 \cdot n^3 + 1}{3 \cdot (n^4 - 1)^2} - \frac{n^2 \cdot (n^2 - 1)}{(n^2 + 1)^3} \cdot \ln \frac{n+1}{n-1} + \frac{8 \cdot n^4 (n^4 + 1) \cdot \ln n}{(n^4 - 1)^2 \cdot (n^2 + 1)}; \quad (3)$$

$$\rho_{\text{зовн}} \equiv \rho_2 = 1 - \frac{1 - \rho_1}{n^2}. \quad (4)$$

Підставивши у формули (3) і (4) середнє значення показника заломлення світла листками рослин ($n = 1,43$), отримаємо $\rho_1 = 0,53$ (для води – $n_\lambda = 1,33$, повітря – $n_\lambda = 1,0$). Взаємозв'язок між коефіцієнтами відбивання та пропускання за дифузного (розсіяного) і спрямованого (прямого) випромінювання описується формулами Райда і Купера [5], тобто рівняннями (1) і (2). Це значить, що система рівнянь (1) і (2), з врахуванням рівняння (4) дає змогу знайти коефіцієнти ρ і τ (за спрямованого опромінення), якщо відомий показник заломлення n і виміряні R і T (за дифузного опромінення). З огляду на те, що такі розрахунки становлять значні труднощі, то рівняння 1-4 представлені у вигляді номограми (рис. 1), яка дає змогу за виміряними значеннями R і T знайти значення ρ і τ .

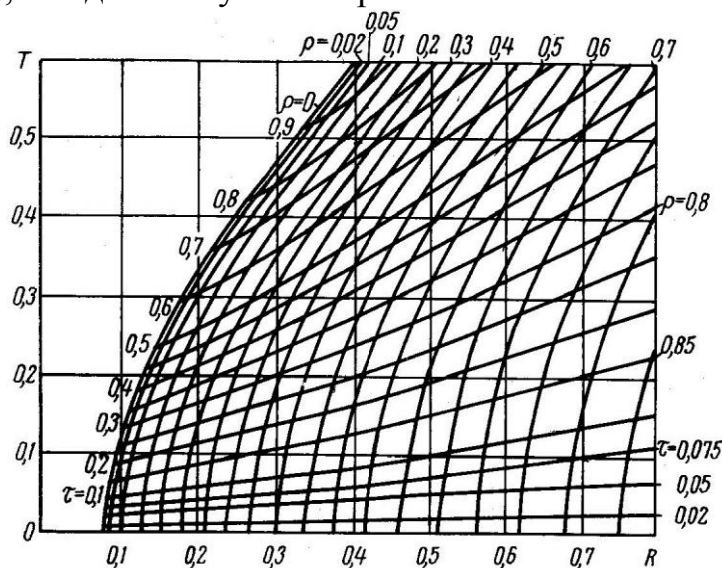


Рис. 1. Номограма для визначення коефіцієнтів ρ і τ за нормального (прямого) опромінення за виміряними експериментально R і T за дифузного опромінення [4]

У табл. 4 показано значення коефіцієнта відбивання за дифузного опромінення, отримані В.П. Рвачовим і С.Г. Гуминецьким [5]. Порівняння величини ρ_1 із значенням R показує, що в процесі досліджень необхідно враховувати явище, що проходять на границях розподілу листка, особливо в області фізіологічно активного випромінювання (0,40-0,71 мкм).

Таблиця 4

Коефіцієнти відбивання при дифузному опроміненні деяких рослин [5]

Назва виду	Значення $R(\%)$ при λ , мкм										
	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60	0,64	0,68	0,73	0,78	0,85	10,95
<i>Morus nigra</i>	9	9	9	18,7	11,4	10,3	10,3	39,0	44,6	45,0	46,0
<i>Ficus australis</i>	10	10	10	13,3	10,4	9,5	9,5	41,8	53,1	53,8	53,0

Теоретичні та експериментальні дослідження К.С. Шіфріна, В.В. Шулейкіна, В.П. Рвачова, С.Г. Гуминецького та ін. дають основу стверджувати, що для листової пластинки, яка має лінійний розмір (товщину центра – клітини) пластинки до 10 мкм, частку низхідного і висхідного потоків, тобто потоків, що розсіюються вниз і вгору, можна прийняти рівними 0,91.

Накладанням двох, трьох і більше листків та вимірюючи значення R і T , можна для кожної довжини хвилі домогтися практично повної відсутності пропускання ($T = 0$). У цьому випадку значення R для «оптично товстого» шару можна знайти за формулою:

$$R_{\infty} = \rho_1 + \frac{(1 - \rho_1) \cdot (1 - \rho_2) \cdot \rho_{\infty}}{1 - \rho_{\infty} \cdot \rho_2}, \quad (5)$$

Звідси коефіцієнт відбивання «оптично-товстого» шару визначається для направленого (прямого) випромінювання

$$\rho_{\infty} = \frac{R_{\infty} - \rho_1}{\rho_2(R_{\infty} - 1) + (1 - \rho_1)}. \quad (6)$$

На рис. 2 наведено спектральну залежність показника поглинання m_{λ} (см^{-1}) і коефіцієнта поглинання α (%) для *Morus nigra* L. за даними роботи [10].

Знаючи залежності коефіцієнтів відбивання, пропускання і поглинання від кута падіння направленого пучка променів можна знайти, користуючись ме-

тодом кутових коефіцієнтів [11], відповідні коефіцієнти за дифузного (розсіяного) сонячного опромінення листків рослин за формулами

$$R_d = 0,5076 \cdot \sum R_i \cdot C_i; \quad T_d = 0,5076 \cdot \sum T_i \cdot C_i, \quad (7)$$

де: R_d , T_d – відповідно, коефіцієнти відбивання і пропускання спадаючого на листок дифузного випромінювання;

R_i , T_i – коефіцієнти загального (сумарного) відбивання і пропускання направленої під різними кутами на листок пучка променів;

C_i – кутові коефіцієнти, які становлять для кутів: 0° і 90° – 0,0302; 10° і 80° – 0,1170; 20° і 70° – 0,2198; 30° і 60° – 0,2962; 40° і 50° – 0,3368.

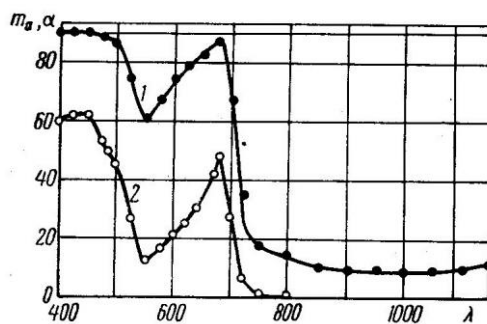


Рис. 2. Залежність показника поглинання сонячного випромінювання m_λ , см^{-1} (2) і коефіцієнта поглинання α , % (1) для *Morus nigra* L. [10]

Як показали теоретичні дослідження С.Г. Гуминецького [8], показник поглинання m_λ може бути визначено за формулами:

$$m_\alpha = \frac{1}{4} \left(\frac{\sigma}{4q} \right) \cdot (\ln R_\infty)^2; \quad (8)$$

$$m_\alpha = \frac{1}{4} \left(\frac{\sigma}{4q} \right) \cdot [1 - \sqrt{2 \cdot R_\infty - 1}]^2; \quad (9)$$

$$m_\alpha = \frac{1}{4} \left(\frac{\sigma}{4q} \right) \cdot (1 - R_\infty)^2; \quad (10)$$

$$m_\alpha = \frac{1}{4} \left(\frac{\sigma}{4q} \right) \cdot \frac{(1 - R_\infty)^2}{R_\infty}. \quad (11)$$

Дані формул 8-11 різняться лише множником $f(R_\infty)$. Це значить, що за незмінної величини $(\sigma/4q)$ спектральний хід показника поглинання світлорозсіювального об'єкта, в межах справедливості відповідних наближень, визначається видом функції $f(R_\infty)$ (табл. 5).

Значення функції $f(R_\infty)$ для різних наближень

R_∞	$\frac{2(1-R_\infty)}{1+R_\infty}$	$-\ln R_\infty$	$1-\sqrt{2R_\infty-1}$	$(1-R_\infty)$
1	0	0	0	0
0,95	0,0512	0,0513	0,0513	0,050
0,90	0,105	0,1054	0,1055	0,100
0,85	0,162	0,1625	0,1633	0,150
0,80	0,222	0,224	0,225	0,20
0,75	0,286	0,288	0,293	0,25
0,70	0,353	0,357	0,367	0,30
0,65	0,424	0,431	0,452	–
0,60	0,500	0,511	0,553	–
0,55	0,581	0,598	0,684	–
0,50	0,667	0,694	1,00	–

Показник поглинання клітини листка $n_2 = 1,43$. Якщо вважати, що клітина оточена в тканині листка тільки водою ($n_1 = 1,33$), то коефіцієнт відбивання на границі «клітина – зв’язуюче середовище» може бути визначений за формулою

$$r_0 = \left(\frac{n_2 - n_1}{n_2 + n_1} \right)^2 \quad (12)$$

і буде становити $r_0 = 0,0013$. Як показують розрахунки, коефіцієнт r_0 в діапазоні хвиль $\lambda = 0,40-0,76$ мкм змінюється слабко і становить близько 60%. З огляду на те, що в тілі листка є також границі розподілу «клітина – повітря», то значення $r_0 > 0,13\%$. Якщо враховувати значення відносного показника заломлення $n = n_2/n_1 = 1,0751 \approx 1,10$, то мінімальне значення коефіцієнта відбивання R_d за дифузного опромінення від границі розподілу клітин «клітина – зв’язуюче середовище» становить 3,2%. Отже, спектр істинного поглинання клітини живого листка можна визначити на основі модельного уявлення, коли речовина клітини є розсіюючою. Відомо, що клітини листків рослин мають складну будову. Усі складові частини клітин мало відрізняються показниками заломлення ($n_\lambda = 1,40-1,45$), що вказує на незначне розсіювання випромінювання всередині клітин.

Для середовищ із високим коефіцієнтом відбивання $R_\infty (\beta = m/\sigma \ll 1, \text{ де } \sigma - \text{показник розсіювання випромінювання})$ був розроблений метод визначення константи розсіювання за рахунок розкладання по степенях, тобто для шарів, товщина t яких задовольняє умову $t \ll x$, тобто, коли членами другого і вищого порядків можна знехтувати.

Висновки. Підйом мінімумів і згладжування максимумів поглинання, які характерні для спектрального коефіцієнта поглинання α_λ зумовлюються розсіюванням випромінювання всередині листка. Це явище приводить до значного збільшення оптичної довжини променя, а, значить, і до завищення значення коефіцієнта поглинання променів. Це особливо проявляється в мінімумі кривої поглинання ($\lambda \approx 0,55 \text{ мкм}$) і в ближній інфрачервоній області ($\lambda = 0,76-1,1 \text{ мкм}$), де питоме поглинання є невеликим (в області $\lambda = 0,76-1,1 \text{ мкм}$ коефіцієнт поглинання падаючого випромінювання становить 10-20% і зумовлений лише розсіюванням).

Спроба використання методів спектроскопії світло-розсіювальних середовищ для визначення оптичних показників поглинання і розсіювання листків рослин на сьогодні містить низку допущень і обмежень, будучи далекою від досконалості. Лише кількісні фізичні методи, які систематично використовуються під час дослідження біологічних матеріалів, зможуть забезпечити проявлення природи і виявлення механізмів поглинання та переміщення енергії сонячного випромінювання, яке обумовлює явище фотосинтезу.

Наведені формули розрахунку показника поглинання випромінювання різняться значеннями R_∞ . З форми записів виразів для R_∞ видно, що функція $(1 - R_\infty)$ дає занижені значення α , а функція $(-\ln R_\infty)$ – завищені значення. Функцію $\frac{2(1 - R_\infty)}{1 + R_\infty}$ можна вважати справедливою і використовувати її для спектроаналітичних задач, коли $R_\infty > 0,20$. Величину R_∞ , яка необхідна для знаходження m_λ , можна легко визначити експериментально.

Список використаних джерел

1. **Кучерявий В.П.** Фітомеліорація: Навч. посібник. / Кучерявий В.П. – Львів: Світ, 2003. – 540 с.
2. **Озарків І.М.** Застосування сонячної енергії у житловому господарстві та деревообробці: Наук. видання / [Озарків І.М., Мисак Й.С., Криницький Г.Т. та ін.] – Львів: НВФ «Українські технології», 2012. – 338 с.
3. **Машинский Л.О.** Город и природа / Машинский Л.О. – М.: Стройиздат, 1973. – 227 с.
4. **Озаркив И.М.** Спектрофотометрические и поляризационные характеристики древесины: дис. ... канд. техн. наук / Озаркив Игорь Мирославович. – Львов: ЛЛТИ, 1989. – 256 с.
5. **Рвачев В.П.** Введение в биофизическую фотометрию / Рвачев В.П. – Львов: Изд-во Львовского ун-та, 1966. – 378 с.
6. **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. – М.: МЛТИ, 1981. – С. 94-96.
7. **Гершун А.А.** Избрание труды по фотометрии и светотехнике / Гершун А.А. – М.: Физматиз, 1958. – 548 с.
8. **Розенберг Г.В.** О методах абсорбционной спектроскопии плоских образцов слабопоглощающих светорассеивающих веществ / Г.В. Розенберг, М.Ю. Сахновский, С.Г. Гуминецкий // Оптика и спектроскопия. – 1967. – Т. 23. – № 5. – С. 797-806.
9. **Озаркив И.М.** Методы определения констант, характеризующих спектроскопические свойства древесины / И.М. Озаркив, С.Г. Гуминецкий // Современные проблемы древесиноведения. – Красноярск: Сиб. отделение АН СССР, 1987. – С. 127-128.
10. **Гуминецкий С.Г.** Об истинном спектре поглощения смеси пигментов в живых клетках листьев растений / С.Г. Гуминецкий, В.П. Рвачев // Журнал прикладной спектроскопии. – 1966. – Т. V. – Вып. 1. – С. 674-678.
11. **Тиходеев П.М.** Световые измерения в светотехнике / Тиходеев П.М. – М.-Л.: Госэнергоиздат, 1962. – 464 с.
12. **Шульгин М.А.** Солнечная радиация и растение / Шульгин М.А. – Л.: Гидрометеиздат, 1967. – 425 с.

13. Сапожников В.А. Теоретическая фотометрия / Сапожников В.А. – М.-Л.: Госэнергоиздат, 1967. – 268 с.

Л.И. Копий, О.И. Озаркив

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПОГЛОЩЕНИЯ И РАССЕЯНИЯ СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ЛИСТЬЯМИ РАСТЕНИЙ

Раскрыты особенности лиственных поверхностей деревьев при их солнечном облучении. Приведены терморadiационные характеристики (коэффициенты отражения, пропускания и поглощения) листьями деревьев различных пород, а также особенности проникающего видимого излучения и значения направленного (прямого) и диффузного (рассеянного) излучения для г. Львова. Раскрыты закономерности распространения солнечного излучения в листьях. Приведены формулы расчета направленных и диффузных составляющих света, их взаимосвязь с показателем преломления листьев, что позволяет прогнозировать ход изменения показателя поглощения в середине листка.

Ключевые слова: лесные растения, свет, терморadiационные характеристики, листовая поверхность, спектральный состав, древостой, прямое и рассеянное излучение, показатель преломления света

L.I. Kopyi, O.I. Ozarkiv

INVESTIGATION PROCESSES OF ABSORPTION AND SCATTERING SOLAR RADIATION OF PLANTS LEAVES

In scientific work the features of leafy trees in the sunny surface of irradiation have been studied. An radiation characteristics (coefficients of reflection, transmission and absorption) of trees of different species, and especially visible penetrating radiation and directional value (direct) and diffuse (scattered) radiation for the city of Lviv. In the theoretical part series patterns of distribution of solar radiation in the leaves analysed. The formula directed and diffuse light components and their relationship with a refractive index layers are presented. This allows predicting the course of the absorption rate of change in the middle of leaf.

Key words: forest, light, radiation characteristics, leaf surface, spectral composition, direct and diffuse radiation, the refractive index of light