

УДК 630.6 (075):630\*181

І.М. ОЗАРКІВ<sup>1</sup>, О.І. ДЕРЕХ<sup>2</sup>

## НАУКОВІ ЗАСАДИ ПРОМЕНЕВО-КОНВЕКТИВНОГО ТЕПЛООБМІНУ В ПРОЦЕСІ ФОРМУВАННЯ СВІТЛОВОГО РЕЖИМУ ЛІСУ

Утворення органічної речовини визначається складною сукупністю дії абіотичних і біотичних чинників, які залежать від інтенсивності, спектрального складу і густини потоків сонячного випромінювання, а також від спектральних коефіцієнтів відбивання, пропускання і поглинання надхідного сонячного випромінювання. Тому великої ваги набуває величина енергії сонячної радіації, яка надійшла за відповідний проміжок часу із відповідною середньою температурою вегетації. Доведено, що енергія сонячного випромінювання залежить від енергії фотонів поглинання хлорофілу і вимагає знання смуг поглинання фітомасою деревостану.

Наведено карту сонячного випромінювання для Львова, його мінливість упродовж доби та місяця. Наведено формули для визначення конвективного складника терморадіаційно-конвективного теплообміну.

**Ключові слова:** пряме і розсіяне сонячне випромінювання, середня температура повітря, рослинний покрив, терморадіаційний режим, умови вільної конвекції, смуги поглинання, фотони, фітомаса, деревостан

**Вступ.** Дослідження терморадіаційного режиму різних видів біогеоценозів лісу має важливе значення у формуванні світлових режимів лісу. Відомо [1-7], що сонячне випромінювання відіграє головну роль в життєдіяльності рослин, адже останні синтезують органічні речовини із неорганічних речовин за рахунок енергії Сонця. Зауважимо, що середня ефективність використання сонячної енергії в рослинах становить близько 1%, а максимальна продуктивність фотосинтезу – 3-10%.

Лісові насадження формують фітоклімат певної території регіону України та контролюють рівень сонячного випромінювання їх. Сонце, як природне джерело випромінювання (ультрафіолетового, світлового й інфрачервоного зокрема), характеризується кутовими розмірами, енергетичними та спектральними характеристиками і ступенем їхньої змінності на земній поверхні. До поверхні Землі від Сонця через атмосферу доходить в основному випромінювання в діапазоні хвиль 0,30-3,00 мкм зі смугами поглинання, зумовленими парами води, що містяться в атмосфері, вуглекислим газом і озоном. Пари води є найбільш поглинальною сумішшю у складі атмосфери і змінюється в досить широких інтервалах залежно від температури, тиску, висоти над рівнем моря, пори року і географічного розташування.

Дослідженню інтегральної прозорості атмосфери в Україні присвячено роботи М.І. Гойси, Г.Ф. Приходько, Л.З. Проха, Л.І. Сакалі та ін. При опроміненні поверхні Землі існує потік випромінюван-

ня, що відбивається самою поверхнею та власне випромінювання (альbedo). Значення коефіцієнта відбивання її становить 0,10-0,80. Така широка зміна альbedo пояснюється різними метеоумовами на окремих ділянках земної поверхні і різними умовами їхнього освітлення Сонцем. Власне випромінювання Землі є порівняним за значенням з відбитим сонячним випромінюванням на довжинах хвиль, більших за 3-4 мкм. Наземні утворення (ландшафт) є найбільш поширеним фоном, на якому знаходяться ліси. Температура більшості земних покривів є функцією температури довкілля повітря регіону, а значення інтегральних коефіцієнтів випромінювання земних покривів знаходяться в діапазоні  $\varepsilon = 0,85-0,97$ . На практиці характер власного випромінювання земних покривів вважають розсіяним і вважають, що земна поверхня випромінює, як сіре тіло із коефіцієнтом випромінювання  $\varepsilon = 0,35$  у видимій області ( $\lambda=0,40-0,76$  мкм) і  $\varepsilon = 0,90$  в ближній інфрачервоній області спектра ( $\lambda= 0,76-3,0$  мкм). Для довжин хвиль, більших за  $\lambda>4$  мкм випромінювання багатьох природних покривів (грунту, рослинності) приймають рівними випромінюванню абсолютно чорного тіла за тієї ж температури.

Відбите випромінювання земного покриву визначається випромінюванням Сонця в діапазоні довжин хвиль, менших за 3-4 мкм, тобто відбите випромінювання перевищує власне. Потрібно зазначити, що коефіцієнт відбивання ( $R_{\lambda}$ ) для більшо-

<sup>1</sup> ОЗАРКІВ Ігор Мирославович – дійсний член Інженерної академії наук України, завідувач кафедри безпеки життєдіяльності, доктор технічних наук, професор, Національний лісотехнічний університет України, м. Львів, Україна. Тел.: +38(032)238-45-02. Тел.: +38-067-165-13-75. E-mail: nltu@ukr.net

<sup>2</sup> ДЕРЕХ Ольга Ігорівна – кандидат с.-г. н., асистент кафедри екології, Національний лісотехнічний університет України, м. Львів, Україна. Тел.: +38(032)234-36-86, +38(097)987-44-00. E-mail: olja.ozarkiv@gmail.com

сті рослин земної поверхні змінюється в діапазоні  $R_\lambda = 0,15-0,20$  і лише в діапазоні хвиль  $\lambda = 0,70-1,0$  мкм доходить до  $R_\lambda = 0,70-0,80$ . На Землю падає як пряме, так і розсіяне випромінювання.

**Фактори і властивості сонячного випромінювання для України.** Пряме (направлене) сонячне випромінювання – це випромінювання, що безпосередньо надходить від сонячного диску (який розглядають як точкове джерело випромінювання), яке вимірюється чітко у площині, перпендикулярній до напрямку Сонця. Розсіяне (дифузне) – надходить на земну поверхню від решти частин небесної напівсфери і яке потерпіло розсіювання під час проходження через атмосферу.

Співвідношення між прямою і розсіяною складовими частинами сонячного випромінювання залежить від висоти Сонця над горизонтом. Своєю чергою, потік сонячного випромінювання, який досягає земної поверхні, залежить від пори року, місцезнаходження території певного регіону України, часу доби і погоди (хмарної чи з чистим небом). Тому практично можливо передбачити заздалегідь величину сонячної інсоляції, яка буде мати місце упродовж певного часового періоду (години, доби, місяця тощо).

Як показали дослідження різних вчених [9-11 та ін.], добові та місячні суми прямої і розсіяної сонячної радіації при яасному й чистому небі мають широке розподілення по всій території України, а розподілення розсіяного сонячного випромінювання у межах цієї території не залежить від географічної широти території.

У табл. 1 наведено значення прямої і розсіяної складових частин сонячного потоку, що падає на 1 м<sup>2</sup> горизонтальної поверхні за безхмарного неба для Львова [10, 11, 13, 14].

Таблиця 1

**Значення прямої та розсіяної складових частин потоку сонячного випромінювання, що падає на 1 м<sup>2</sup> горизонтальної поверхні за безхмарного неба для Львова (50°)**

Місяць, кут нахилу, °	Географічна широта місцевості (φ), градуси	Вид радіації	Година доби до полудня					
			6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12
квітень δ = +10°	50°	пряма	125	251	375	522	585	647
		розсіяна	70	87	104	125	129	132
травень δ = +18°	50°	пряма	215	345	473	612	668	724
		розсіяна	84	94	104	125	128	132
червень δ = +23°	50°	пряма	250	373	434	625	686	745
		розсіяна	84	97	111	132	132	132
липень δ = +21°	50°	пряма	216	362	434	584	666	724
		розсіяна	84	97	111	125	128	132
серпень δ = +13°	50°	пряма	146	275	404	517	579	640
		розсіяна	63	84	104	118	122	125
вересень δ = +3°	50°	пряма	63	181	299	445	512	578
		розсіяна	49	66	84	97	101	104

Середню температуру повітря  $t_0$  в денні часи розрахункового місяця розраховують за формулою

$$t_0 = t_{cp} + 0,30 \cdot \mu_0 \quad (1)$$

де  $t_{cp}$  – середньодобова температура, яку приймають за кліматологічними картами;  $\mu_0$  – коефіцієнт, що враховує реальні умови хмарності. Значення  $t_0$  наведено для деяких міст України в табл. 2.

Таблиця 2

**Значення температури  $t_0$  для деяких міст України**

№	Місто	Пн. широта, φ°	Місяці року									
			травень		червень		липень		серпень		вересень	
			$t_{cp}$	$\mu_0$	$t_{cp}$	$\mu_0$	$t_{cp}$	$\mu_0$	$t_{cp}$	$\mu_0$	$t_{cp}$	$\mu_0$
1	Ужгород	48	22	0,71	24	0,72	27	0,72	26	0,77	23	0,72
2	Чернівці	48	20	0,69	20	0,72	25	0,72	24	0,71	20	0,65
3	Одеса	46	21	0,77	25	0,82	28	0,86	27	0,86	23	0,78
4	Ів.-Франківськ	48	19	0,68	23	0,72	25	0,73	24	0,71	20	0,64
5	Черкаси	50	21	0,69	24	0,76	26	0,72	25	0,75	20	0,67
6	Полтава	50	21	0,64	24	0,71	27	0,72	26	0,70	20	0,67
7	Київ	50	21	0,68	24	0,75	26	0,72	25	0,74	20	0,67
8	Львів	50	19	0,64	21	0,72	23	0,73	22	0,70	19	0,67

Міський смог, дим від лісових пожеж і попіл, що переноситься повітрям, понижують можливість впливу сонячної енергії на довкілля, збільшуючи при цьому розсіювання і поглинання сонячної радіації. Останнє вказує на те, що зазначені вище чинники впливають на пряме випромінювання (у разі сильного забруднення повітря пряме сонячне випромінювання зменшується на 40%, а сумарне випромінювання – лише на 15-25%). Враховуючи те, що жит-

тєдіальність деревостану визначається сукупністю дій багатьох факторів навколишнього зовнішнього середовища, а також генетичними особливостями та внутрішнім станом рослин, то залежність будови і продуктивності рослинного світу доцільно розглядати з позиції вуглекислого газообміну листя дерев основних порід того чи іншого регіону і впливу особливостей світлового (терморадіаційного) режиму лісів на їхню фотосинтетичну реакцію.

Треба зазначити, що роль сонячного випромінювання є необмеженою для динамічних процесів в атмосфері. Адже, саме під дією сонячних променів утворюється основна маса рослинної продукції. Сюди можна віднести питання, що пов'язані із водним і тепловим балансами рослинного покриву.

На сьогодні складено карти сумарної фотосинтетичної активної радіації (ФАР) за вегетативний період залежно від теоретичних спектральних розподілень сонячного випромінювання. Зазначимо, що теоретичні спектральні розподілення сумарного (прямого і розсіяного) сонячного випромінювання на сьогодні є найбільш повними, що охоплюють різні висоти Сонця і різні стани атмосфери. Варто зазначити, що на сьогодні дані про коефіцієнти переходу від інтегральної (осередненої) розсіяної енергії сонячного випромінювання до розсіяної ФАР є майже відсутніми. Хоча ефективні коефіцієнти переходу від денної суми прямого випромінювання до денних сум ФАР для Львова (50° пн. ш.) наведено в табл. 3.

Таблиця 3

**Ефективні коефіцієнти переходу від денних сум прямої сонячної радіації до денних сум прямої ФАР в різний час**

Місяць / Час	тра- вень	чер- вень	ли- пень	сер- пень	вере- сень	жов- тень
до 12 год	0,41	0,42	0,42	0,41	0,41	0,39
після 12 год	0,41	0,42	0,42	0,41	0,40	0,38

Реальний питомий променевий потік сонячного випромінювання, що падає на поверхню за кожну годину при безхмарному небі протягом дня, визначають за формулою

$$q_{\phi} = q_{\Sigma} \cdot \eta_{атм} \cdot \eta_{втр} \text{ Вт/м}^2, \quad (2)$$

де  $q_{\Sigma}$  – сумарний (прямий і розсіяний) світловий потік, що падає на горизонтальну земну поверхню, Вт/м<sup>2</sup>;  $\eta_{атм}$  – коефіцієнт, що враховує ступінь прозорості атмосфери (для конкретної зони  $\eta_{атм} = 1,0$ , а для гірських регіонів  $\eta_{атм} = 1,10$ );  $\eta_{втр}$  – коефіцієнт, що враховує втрати сонячної енергії в діяльному шарі ( $\eta_{втр} = 0,85-0,98$ ).

У хмарну погоду густину сонячного випромінювання доцільно визначати при ясному небі, а хмарність потрібно враховувати через коефіцієнти сонячного сяяння  $\psi$ , який для середньої хмарності дорівнює 0,60-0,80 взимку і 0,30-0,55 – влітку.

Великої ваги набуває розрахунок теплового балансу досліджуваної території регіону залежно від закономірностей його складників і деяких параметрів загального кліматичного режиму.

Терморадіаційний баланс підстильної поверхні описується рівнянням

$$B = B_{к.хв} - E_{эф.} = q_{\Sigma}(1 - R) - E_{эф.}, \quad (3)$$

де  $B$  – терморадіаційний баланс підстильної поверхні;  $E_{эф.}$  – ефективне випромінювання підстильної

поверхні;  $q_{\Sigma}$  – сумарне випромінювання, що падає на горизонтальну поверхню;  $R$  – відбивання підстильної поверхні.

Визначення величини ефективного випромінювання можна виконати за методикою Чебакова – Садовничої, тобто

$$E_{эф.} = E_0(1 - n^m) + \Delta E, \quad (4)$$

де  $n$  – оцінка загальної хмарності в долях одиниці;  $E_0$  – ефективне випромінювання при ясному небі;  $\Delta E [ \Delta E = 4q_{пр} \cdot \sigma_0 \cdot T^3(T_{\omega} - T) ]$  – поправка до ефективного випромінювання за рахунок різниці температур підстильної поверхні  $T_{\omega}$  і повітря  $T$ . При розрахунках  $E_{эф.}$  за температуру підстильної поверхні приймають температуру поверхні ґрунту.

Здебільшого розрахунок сумарного випромінювання на горизонтальну поверхню проводять лише для теплих місяців року (травень – вересень). У зв'язку з чим, відповідно, розраховують терморадіаційний баланс саме для цих місяців. Таким чином, річний радіаційний баланс можна розраховувати шляхом алгебраїчного складання дійсних сум випромінювання та ефективного випромінювання за період «квітень – вересень», тобто

$$B = \sum q_{\Sigma t > 13^{\circ}C} \cdot (1 - R_{t > 13^{\circ}C}) - \sum E_{эф. t > 13^{\circ}C}. \quad (5)$$

Що стосується терморадіаційного балансу схилів (BS), то рівняння теплового балансу схилу буде мати вигляд

$$B^S = q_{\Sigma}^S(1 - R^S) - E_{эф.}^S, \quad (6)$$

де  $q_{\Sigma}^S$  – сумарне сонячне випромінювання, що надходить на схил;  $E_{эф.}^S$  – ефективне випромінювання зі схилу;  $R^S$  – коефіцієнт відбивання схилу (приймають таким же, що і для горизонтальної поверхні).

Ефективне випромінювання для схилів невеликої крутизни ( $\beta \leq 30^{\circ}$ ), якою є більша частина схилів регіону Опілля, що зайняті рослинністю, можна розраховувати за формулою

$$E_{эф.}^S = E_{эф.} \cdot \cos \beta, \quad (7)$$

де  $E_{эф.}$  – ефективне випромінювання рослинністю горизонтальної поверхні;  $\beta$  – кут нахилу схилу.

Треба зазначити, що достатньо надійні результати дає остання формула за умов суцільної хмарності, коли ефективне випромінювання є більш ізотропним (однорідним), ніж при безхмарному небі.

Що стосується сумарної фотосинтетично активної радіації, то для визначення денних і місячних ФАР О.А. Садовнича пропонує формулу виду

$$ФАР = 0,43 \cdot q_{пр.} + 0,57 \cdot q_{роз.}, \quad (8)$$

де  $q_{пр.}$  – пряме сонячне випромінювання на горизонтальну поверхню;  $q_{роз.}$  – розсіяне випромінювання.

Отже, наведені формули дають змогу розрахувати частку прямого та розсіяного потоків сонячного випромінювання залежно від чистоти неба, а наведені в таблицях значення цих складників сонячного випромінювання для Львова дають змогу спрогнозувати світловий режим лісів зеленої зони міста.

Значення теплового потоку сонячного випромінювання залежно від географічної широти і часу дня від 5 год ранку і до 20 год вечора наведено в табл. 4.

**Методика розрахунку світлового режиму лісу з урахуванням вільної (безвітряної) і примусової конвекції.** Утворення фітоклімату на фоні помірно-континентального клімату (для Львова зокрема) пов'язане із високою зональністю і трояндою панівних вітрів на території, а також висотою над рівнем моря, загальним напрямом підвищених висот тери-

торії, конфігурацією самого рельєфу та іншими особливостями ландшафту.

Зазначимо, що для Львова і зелених зон міста середньомісячна відносна вологість повітря коливається в межах 62-82,6%, а середня хмарність змінюється в діапазоні 55,7-71,38%. Це означає, що сонячний терморадіаційний режим є основним кліматотвірним чинником, що визначає температурно-вологісний режим території. Від останнього саме буде залежати структура самого фітоценозу. Крім того, рельєф території і рослинність на ній будуть впливати на густину надхідного сонячного випромінювання і його режим. Зокрема, залежно від часу, року, дня, години, намету, ліс буде затримувати ФАР. При цьому велику частку в сумарному сонячному потоці променів, особливо під наметом лісу, буде затримуватися розсіяне випромінювання.

Таблиця 4

**Значення теплового потоку прямого та розсіяного сонячного випромінювання для території України**

Географічна широта регіонів України	Істинний сонячний час, год		Тепловий потік(Вт/м <sup>2</sup> ) при заповненні світлових отворів із орієнтацією на напрямок							
	до полудня	після полудня	до полудня							
			Пн	Пн-Сх	Сх	Пд-Сх	Пд	Пд-Зх	Зх	Пн-Зх
			після полудня							
		Пн	Пн-Зх	Зх	Пд-Зх	Пд	Пд-Сх	Сх	Пн-Сх	
48	5...6	18...19	93/54	265/60	327/65	95/45	- /27	- /26	- /24	- /26
	6...7	17...18	35/69	385/98	472/114	237/87	- /55	- /43	- /44	- /44
	7...8	16...17	- /74	349/107	542/129	363/109	3/73	- /53	- /53	- /53
	8...9	15...16	- /70	222/99	497/121	427/112	80/81	- /60	- /58	- /59
	9...10	14...15	- /64	60/81	372/100	419/107	186/86	- /65	- /58	- /62
	10...11	13...14	- /60	- /71	193/80	352/94	271/87	7/70	- /60	- /64
	11...12	12...13	- /59	- /67	37/72	251/84	317/88	106/78	- /65	- /65
52	5...6	18...19	102/56	301/69	371/73	116/52	- /31	- /28	- /28	- /28
	6...7	17...18	26/69	391/98	497/119	272/91	- /59	- /43	- /44	- /44
	7...8	16...17	- /71	337/106	545/129	398/110	13/76	- /55	- /53	- /53
	8...9	15...16	- /67	197/97	498/123	448/114	94/85	- /63	- /57	- /58
	9...10	14...15	- /63	42/79	374/100	429/110	206/87	- /67	- /59	- /60
	10...11	13...14	- /60	- /69	193/84	363/98	299/90	14/72	- /60	- /62
	11...12	12...13	- /59	- /65	37/72	231/87	344/91	150/78	- /65	- /63

**Примітка.** У чисельнику подано величину прямого потоку, а в знаменнику – розсіяного потоку (Вт/м<sup>2</sup>)

Треба зазначити, що у Прикарпатті розсіяне випромінювання переважає пряме сонячне випромінювання. Із надхідного сонячного випромінювання значна його частина відбивається від поверхні рослинами, частина його поглинається, а частина пропускається наметом лісу.

Температурний режим є одним із найважливіших екологічних чинників, що відіграє певну роль у житті лісу, оскільки він впливає на вертикальне поширення лісотвірних порід, які досить чутливо реагують на добове коливання температур, а також на ріст та відновлення деревних порід. Отже, намет відіграє роль діяльної поверхні в деревостанах.

**Результати досліджень.** Як показують дослідження, за високих температур (30-40°C), у певних специфічних умовах в деревних порід різко знижується фотосинтез і порушується дихання рослин. Температурний оптимум для деревних порід помірної зони знаходиться в діапазоні температур 10-25°C, а мінімальні температури наявні вранці, максимальні – в обідній час, а проміжкові її значення – наприкінці дня.

Втрати теплоти за рахунок конвекції можна визначити за формулою (10, 11) для умов вільної (природної) конвекції – в необмеженому просторі, тобто коли вітер відсутній або він не перевищує швидкості 0,40 м/с, тобто

$$q_{\text{конв}} = \alpha(t_c - t_{\text{п.м.}}), \quad (9)$$

де  $\alpha$  – коефіцієнт теплообміну, Вт/(м<sup>2</sup>·°C);  $t_c$  – температура довкільного середовища (повітря);  $t_{\text{п.м.}}$  – температура зеленої поверхні або діяльного шару.

Коефіцієнт тепловіддачі в умовах природної конвекції у великому об'ємі визначають за формулою виду

$$\overline{Nu} = C(G_r \cdot P_r)^n, \quad (10)$$

де  $n$ ,  $C$  – коефіцієнти, що залежать від режиму руху повітря (ламінарного, перехідного, турбулентного), який визначають температурою твердої поверхні, різницею температур ( $\Delta t = t_{\text{пов}} - t_{\text{п.м.}}$ ) між нею і довкілним середовищем, а також густиною теплового потоку.

Зокрема, для ламінарного режиму ( $G_r \cdot P_r < 5 \cdot 10^2$ )  $C = 1,18$  і  $n = 0,125$ . у випадку перехідного режиму ( $G_r \cdot P_r = 5 \cdot 10^2 - 2 \cdot 10^7$ )  $C = 0,54$ , а  $n = 0,25$ .

Критерій Нуссельта  $Nu$  розраховують за формулою виду

$$Nu = \frac{\alpha_k \cdot l}{\lambda}, \quad (11)$$

де  $\lambda$ ,  $\alpha_k$  – коефіцієнти теплопровідності і теплообміну за середньої температури  $t$  довкільного середовища;  $l$  – визначальний (характерний) розмір (у нашому випадку товщина або довжина певної території).

Критерій  $Nu$  є безрозмірним коефіцієнтом тепловіддачі, що визначає відношення термічного опору теплопровідності певного шару середовища (повітря) товщиною  $l$  до термічного опору тепловіддачі ( $R_\lambda = 1/\alpha$ ).

Критерій Прандтля  $P_r$  розраховують за формулою

$$P_r = \nu / a = \frac{C_p \cdot \mu}{\lambda} = \frac{C_p \cdot \rho \cdot \nu}{a}, \quad (12)$$

де  $C_p$  – ізобарна теплоємність середовища, кДж/кг·°C;  $\rho$  – густина повітря за певної температури, кг/м<sup>3</sup>;  $\nu$  – коефіцієнт кінематичної в'язкості, м<sup>2</sup>/с;  $\mu$  – коефіцієнт гідродинамічної в'язкості, Па·с;  $a$  – коефіцієнт температуропровідності, м<sup>2</sup>/с.

Критерій Грасгофа  $G_r$  розраховують за формулою

$$G_r = \frac{g \cdot \beta \cdot l^3}{\nu^2} \cdot \Delta t, \quad (13)$$

де  $g$  – прискорення земного тяжіння, м/с<sup>2</sup>;  $\beta$  – коефіцієнт температурного розширення, значення  $\alpha$  для повітря знаходиться в межах 10-20 Вт/м<sup>2</sup>·К за відсутності вимушеного руху, тобто у безповітряну погоду.

Максимальну температуру  $t_{\text{max}}$ , яка буде мати найбільше значення в полудень чи в будь-яку годину світлового дня, визначають за формулою [10, 11]

$$t_{\text{max}} = t_c + \frac{\overline{A}_\lambda \cdot E_{\text{випр}} \cdot k_f}{\lambda_k}, \quad (14)$$

де  $t_c$  – температура сухого термометра повітря в певну годину дня;  $\overline{A}_\lambda$  – середній (інтегральний) коефіцієнт поглинання земної поверхні на певній ділянці лісу;  $E_{\text{випр}}$  – сумарна густина (прямого і розсіяного) потоку сонячного випромінювання опроміненої земної поверхні, Вт/м<sup>2</sup>;  $\alpha_k$  – коефіцієнт конвективного теплообміну, Вт/(м<sup>2</sup>·°C);  $k_f$  – коефіцієнт, що виражає співвідношення опроміненої поверхні  $F_{\text{опр}}$  до загальної площі  $F$ , що бере участь у конвективно-радіаційному теплообміні ( $k_f = F_{\text{опр}}/F$ ).

Наближено значення коефіцієнта конвективного теплообміну визначають [10, 11] для поверхонь, розмішених:

А) вертикально  $\alpha_{\text{к.верт.}} = 2,524 \sqrt{t_{\text{нов.м.}} - t_{\text{max}}}; \quad (15)$

Б) горизонтально  $\alpha_{\text{к.гор.}} = 3,254 \sqrt{t_{\text{нов.м.}} - t_{\text{max}}}; \quad (16)$

де  $t_{\text{max}}$  – максимальна температура повітря в досліджуваній зоні лісового намету.

**Висновки.** Встановлено, що приріст фітомаси залежить від величини енергії сонячного випромінювання і виявлена залежність дає змогу спрогнозувати величину приросту фітомаси. Наведені вище формули й таблиці дають змогу визначити рівень опромінення лісу, тобто вибрати і встановити світловий режим, а також розрахувати загальні величини потоків при прямому і розсіяному потоках випромінювання залежно від місця й години дня та визначити частки конвективного потоку, що підводиться, за рахунок природної чи примусової конвекції.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. **Алексеев В.А.** Световой режим леса: моногр. / Алексеев В.А. – Л.: Наука, 1975. – 228 с.
2. **Руднев Н.И.** Радиационный баланс леса: моногр. / Руднев Н.И. – М.: Наука, 1977. – 126 с.
3. **Методика розрахунку** складових теплового режиму лісу / О.І. Озарків, Л.І. Копій, І.П. Тереля, М.В. Чернявський // Наук. вісник Національного лісотехн. ун-ту України: зб. наук.-техн. праць. – 2012. – Вип. 22.12. – С. 48-55.
4. **Копій Л.І.** Фотобіологічна дія сонячного випромінювання на лісові насадження / Л.І. Копій, О.І. Озарків, І.П. Тереля // Наук. вісник Національного лісотехн. ун-ту України: зб. наук.-техн. праць. – 2012. – Вип. 22.5. – С. 72-78.
5. **Копій Л.І.** Аналіз фотометричних та спектроскопічних досліджень живих листків рослин /

Л.І. Копій, О.І. Озарків, І.П. Тереля // Наук. вісник Національного лісотехн. ун-ту України: зб. наук.-техн. праць. – 2012. – Вип. 22.6. – С. 50-56.

**6. Дерех О.І.** Діелектричні показники дерев дуба і бука на ділянках різних стадій дигресії зеленої зони Львова / О.І. Дерех // Наук. вісник Національного лісотехн. ун-ту України: зб. наук.-техн. праць. – 2014. – Вип. 24.8. – С. 119-124.

**7. Озарків О.І.** Особливості визначення показників поглинання та розсіювання сонячного випромінювання в слабко поглинальних середовищах / О.І. Озарків, Л.І. Копій, І.П. Тереля // Наук. вісник Національного лісотехн. ун-ту України: зб. наук.-техн. праць. – 2012. – Вип. 22.13. – С. 93-97.

**8. Дерех О.І.** Терморадіаційні характеристики клімату та їх екологічний зв'язок із фітоценозом / О.І. Дерех // Наук. вісник Національного лісотехн. ун-ту України: зб. наук.-техн. праць. – 2013. – Вип. 23.2. – С. 141-145.

**9. Застосування сонячної енергії** у житловому господарстві та деревообробці: моногр. / [Озарків І.М., Криницький Г.Т., Озарків О.І. та ін.]. – Львів: НВФ «Українські технології», 2012. – 338 с.

**10. Лісовиробничий комплекс:** екологічні аспекти: наук. видання / [Озарків І.М., Адамовський М.Г., Максимів В.М. та ін.]. – Львів: ЗУКЦ, 2014. – 264 с.

**11. Нетрадиційні джерела енергії:** теорія і практика: моногр. / [Мисак Й.С., Озарків І.М., Адамовський М.Г. та ін.]. – Львів: НВФ «Українські технології», 2013. – 356 с.

**12. Копій Л.І.** Дослідження процесів поглинання та розсіювання сонячного випромінювання листками рослин / Л.І. Копій, О.І. Озарків // Наук. праці Лісівничої акад. наук України: зб. наук. праць. – 2012. – Вип. 10. – С. 166-171.

**13. Дерех О.І.** Терморадіаційні характеристики клімату та їх екологічний зв'язок з фітоценозом / О.І. Дерех // Наук. вісник Національного лісотехн. ун-ту України: зб. наук.-техн. праць. – 2013. – Вип. 23.2. – С. 141-145.

*И.М. Озаркив, О.И. Дерех*

## НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ ЛУЧЕ-КОНВЕКТИВНОГО ТЕПЛООБМЕНА В ПРОЦЕССЕ ФОРМИРОВАНИЯ СВЕТОВОГО РЕЖИМА ЛЕСА

Фотосинтетическая деятельность растений тесно взаимосвязана с энергией солнечного излучения. Ибо, образование органического вещества, как и другие проявления деятельности фотосинтезирующих систем, определяются сложностью систем, множеством абиотических (температуры, влажности, света, рельефа) и биотических факторов, которые зависят от интенсивности, спектрального состава и плотности потоков солнечного излучения, которое поступает к листьям деревьев, а также от спектральных коэффициентов отражения, про-

пускания и поглощения падающего солнечного излучения.

В связи с этим, важное значение приобретает необходимость изучения закономерностей светового режима леса, а также поглощения солнечной энергии лесным покровом.

Городской смог, дым от лесных пожаров и пепел, переносимые воздухом, снижают возможность влияния солнечной энергии на окружающую среду, увеличивая при этом рассеивание и поглощение солнечной радиации. Последнее указывает на то, что вышеуказанные факторы влияют на прямое излучение (при сильном загрязнении воздуха – смогом, в частности, прямое солнечное излучение уменьшается на 40%, а суммарное излучение – на 15-25%). Учитывая, что жизнедеятельность древостоя определяется совокупностью действий многих факторов окружающей внешней среды, а также генетическими особенностями и внутренним состоянием растений, то зависимость строения и производительности растительного мира целесообразно рассматривать с позиции углекислого газообмена листьев деревьев основных пород того или иного региона и влияния особенностей светового (терморadiационного) режима лесов на их фотосинтетическую реакцию.

Приведена карта солнечного излучения для Львова, ее изменчивость на протяжении суток и месяца. Приведены формулы для определения конвективной составляющей.

Установлено, что для Львова и его зеленых зон среднемесячная относительная влажность воздуха колеблется в пределах 62-82,6%, а средняя облачность изменяется в диапазоне 55,7-71,38%. Это означает, что солнечный терморadiационный режим является основным климатообразующим фактором, определяющим температурно-влажностный режим территории. Именно от последнего будет зависеть структура самого фитоценоза. Кроме того, рельеф территории и растительность на ней будут влиять на плотность падающего солнечного излучения и его режим. Установлено, что прирост фитомассы зависит от величины энергии солнечного излучения и установленная зависимость позволяет спрогнозировать величину прироста фитомассы.

**Ключевые слова:** прямое и рассеянное солнечное излучение, средняя температура воздуха, растительный покров, терморadiационный режим, условия свободной конвекции

*I. Ozarkiv, O. Derech*

## SCIENTIFIC BASIS OF RADIATION- CONVEKTIVE HEAT TRANSFER IN THE FORMATION OF LIGHT REGIME IN FOREST

Photosynthetic activity of plants is closely related to solar energy. The formation of organic matter, as well as other forms of photo synthesizing systems are determined by a complex set of abiotic (temperature, humidity, light, relief) and biotic factors that depend on

the intensity, spectral composition and flux density of solar radiation that enters the leaves of trees, as well as the spectral reflectivity, transmittance and absorption of incident solar radiation.

In this regard, it becomes greater importance of studying patterns of light regime of forest and absorption of solar energy by forest cover.

Urban smog, smoke from forest fires and the ash is carried by air, reduce the possibility of solar energy impact on the environment while increasing the dispersion and absorption of solar radiation. That indicates that the above factors affect on the direct radiation (under strong air pollution – smog, in particular, the direct sunlight is reduced by 40%, and the total radiation – by 15-25%). The vital functions of the stand is determined by the combined action of many environmental factors of an environment, and genetic characteristics and the internal state of the plant, the dependence of the structure and performance of the plant world should be considered in carbon gas exchange leaves of trees main species in a given region

and the influence of the features of the light regime in forest and on their photosynthetic reaction.

The paper present the map of solar radiation for Lviv, it's volatility during the day, the month. The formulas for determining the convective component proposed.

The average monthly relative humidity for Lviv and green areas of the city varies between 62-82.6 %, and the average cloudiness ranges 55.7-71.38 %. That means that the solar termoradiation mode is a basic climate factor that determines the temperature-humidity area mode. From the latter it will depend on the structure of the phytocenosis. In addition, the relief of the territory and vegetation on it will affect the density of incident solar radiation and its regime.

It is established that biomass growth depends on the solar energy and the dependence to predict the magnitude of increase in biomass.

**Key words:** direct and diffuse solar radiation, average temperature, vegetation, abiotic factors, termoradiation regime provided free convection