

УДК 551.521.1 (477.63)

А. С. ГОРБ – к. геогр. н., доцент, Дніпропетровський національний університет ім. Олеся Гончара, Дніпропетровськ

РОЗРАХУНКИ РЕЖИМУ УЛЬТРАФІОЛЕТОВОЇ РАДІАЦІЇ СОНЦЯ НА ДНІПРОПЕТРОВЩИНІ

Статтю представив д. т. н., проф. В. Д. Петренко

Ультрафіолетова радіація (УФР) є важливою компонентою сонячної радіації і становить не більше 4% загального потоку сонячної енергії, що надходить на земну поверхню. Але екологи, гігієністи, розробники оздоблювальних полімерних матеріалів для машинобудування, біологи, онкологи, курортологи, будівничі, організатори туристичної діяльності та ін. вкрай зацікавлені у кількісній оцінці природної УФР в різних місцях і в різні сезони року.

Ультрафіолетова радіація – це оптичне випромінювання, що надходить на земну поверхню безпосередньо від Сонця, неба і хмар у вигляді прямого та розсіяного випромінювання, характеризується довжинами хвиль у діапазоні від 10 до 400 нм [2]. За біологічною дією діапазон спектру УФР поділяють на три області: А – 315-400 нм, В – 280-315 нм, С – <280 нм.

Завдяки великій енергії кванта випромінювання УФР області С має смертельну дію, але в малих дозах – бактерицидну. Вона практично не досягає земної поверхні, так як поглинається у більш високих шарах атмосфери (озоном, киснем), які захищають усе живе на Землі від пагубної дії УФР. Але, в умовах так званих «озонових дір», коли потужність озонового шару, як основного поглинача УФР, може інколи зменшуватися на декілька десятків відсотків, частина УФР проникає до земної поверхні, що створює загрозу не тільки живим організмам, а й приводить до руйнування полімерів, будівельних матеріалів тощо.

Найбільшу біологічну дію, зокрема еритемоутворюючу, має область В. Біологічна активність області А, набагато менша від області В, зате потік енергії в області А, приблизно, у стільки ж разів більший від області В. Тому загальна еритемоутворююча дія УФР області А має один порядок з областю В. Сума цих енергій становить значення, яке характеризує сприятливу дію УФР на живі організми.

В останні десятиліття у зв'язку із загостренням екологічних проблем, розвитком рекреаційної діяльності в Україні, відомості про режим УФР, її дію на організм людини і, взагалі, на всі живі організми та матеріали, користуються все більшим попитом.

Не дивлячись на велику значимість актинометричної інформації для різних сфер діяльності людини, кількість пунктів, що займаються вимірюванням УФР, дуже мала, а спостереження проводяться різними типами приладів, що приводять до помилок у визначенні радіаційних потоків. Тож, єдиним методом отримання необхідної інформації про цю важливу компоненту сонячної радіації на Дніпропетровщині, де подібні спостереження не проводяться, є розрахунковий.

До недавніх часів розрахункові методи в актинометрії використовувалися переважно для отримання кліматичних характеристик радіаційного режиму, які відповідають пересічним умовам певного пункту чи регіону. Але часто виникає необхідність у визначенні радіаційних характеристик корот-

ких періодів – місяців і навіть окремих днів.

За даними [5, 6] використання розрахункових методів стало можливим завдяки тому, що основні характеристики радіаційного режиму зв'язані як між собою, так і з найважливішими метеорологічними елементами. Ці зв'язки носять фізичний, а не кореляційний характер, тому кількісні залежності є дуже стійкими і можуть бути узагальненими для різних погодно – кліматичних умов.

У 70-ті рр. ХХ ст. на кафедрі кліматології Московського університету В.А. Белінським і співробітниками була розроблена радіаційна модель атмосфери (РМА) в ультрафіолетовій області спектра [1]. За даними моделі інтенсивність прямої монохроматичної радіації, що надходить на перпендикулярну поверхню, обчислюється за формулою Бугера

$$I_{\lambda} = I_{0,\lambda} \exp(-(\alpha X + \beta \lambda + \delta \lambda) m), \quad (1)$$

де $I_{0,\lambda} \exp$ – розподіл енергії у спектрі сонячної радіації за межами атмосфери; X – кількість озону в атмосфері (од. Добсона); α – коефіцієнт поглинання озону; $\beta \lambda$ – значення коефіцієнта релеївського розсіювання; $\delta \lambda$ – коефіцієнт аерозольного ослаблення радіації; m – оптична маса атмосфери.

Інтенсивність розсіяної УФР, що надходить на горизонтальну поверхню, виражається у РМА за формулою Берлаге

$$D_{\lambda} = 0,50 (I_{no,\lambda} - I_{\lambda}) \cdot \sin(h_o), \quad (2)$$

а інтенсивність сумарної радіації

$$Q_{\lambda} = 0,50 (I_{no,\lambda} - I_{\lambda}) \cdot \sin(h_o), \quad (3)$$

де I_{no} – «підозонова» сонячна постійна; h_o – висота Сонця над горизонтом.

Формули (2) і (3) використовуються для розрахунків УФР в літніх умовах. У зимових умовах числовий коефіцієнт 0,50 у формулах (2) і (3) замінюється на 0,62. Помилки в обчисленні УФР за цими формулами не перевищують 15 %.

На жаль, скористатися виразами (2) і (3) для обчислення УФР на території Дніпропетровської області напрямку не можливо, оскільки ні в області, ні поблизу немає озонметричних станцій. Було прийнято рішення скористатися напрацюваннями О.І. Незваль [4], яка на основі РМА В.А. Белінського та співробітників, виконала розрахунки і склала таблиці залежності УФР областей **В** і **А+В** від висоти Сонця та інтегрального коефіцієнта прозорості атмосфери P_2 при оптичній щільності, приведений до двох мас атмосфери ($m=2$). Таблиці розраховані на обчислення характеристик УФР також у південних районах СНД і в тому числі в Україні.

Для оцінки УФР Сонця на Дніпропетровщині на основі таблиць [4], побудовані графіки залежності УФР від висоти Сонця над горизонтом у безхмарних і середніх умовах хмарності й прозорості атмосфери. З графіків зняті показання характеристик для дев'яти нині діючих метеорологічних станцій у Дніпропетровській області: ультрафіолетова радіація області **А** і області **А+В** на 6, 9, 12, 15 і 18 годину 15 числа кожного місяця теплого періоду. Результати обчислень занесені до таблиць 1-3, з аналізу яких слідує, що УФР Сонця з'являється зазвичай при досягненні Сонцем висоти 8-10 кутових градусів, нижче якої кількість УФР, що надходить на земну поверхню, мізерна і становить тисячні й десятитисячні долі вата.

У табл. 1, 2 одним рядком подані значення УФР на 6 і 18 та на 9 і 15 години, хоча умови прозорості атмосфери до і після полудня можуть бути різними й крива часового розподілу досліджуваних величин може бути асиметричною. Але врахувати цей фактор неможливо, оскільки в обчисленнях використовуються лише середні за день значення прозорості атмосфери [3].

Часова динаміка прямої УФР залежить від пори року та тривалості світлового дня: у березні та у жовтні о 6-й годині ранку УФР ще відсутня, а у квітні та травні в області **В** становить уже 0,004...0,016 Вт/м², сягає максимуму у червні – 0,400...0,420 Вт/м², а в області **А+В** – 25,5...27,1 Вт/м². Найбільше надходження прямої УФР на земну поверхню опівдні. Її значення в середині літа в два рази і більше

перевищують березневі в області **В** і в 1,2 - 1,3 рази – в області **А+В**.

Добова та місячна динаміка сумарної УФР подібна до прямої. Максимальні значення сумарної радіації в області **В** сягають 2,5 Вт/м², в області **А+В** – 63-67 Вт/м².

Значення розсіяної радіації можна визначити по різниці величин між даними табл. 1 і 2.

Таблиця 1

Інтенсивність прямої ультрафіолетової радіації Сонця (Вт/м²) в області спектра **А+В** при ясному небі

Метеостанція	Час, години	Місяць							
		ІІІ	ІV	V	VI	VII	VIII	IX	X
Комісарівка	6, 18	-	1,5	4,2	5,9	4,8	3,7	0,8	-
	9, 15	15,8	20,6	23,5	25,5	24,0	22,8	21,3	13,0
	12	27,0	30,0	31,1	31,8	30,8	30,5	29,0	22,1
Губиниха	6, 18	-	1,4	4,0	5,6	4,6	3,5	0,7	-
	9, 15	15,7	20,2	23,4	25,0	23,5	21,9	20,2	13,0
	12	26,8	29,7	30,6	30,8	29,3	28,8	28,6	21,6
Кривий Ріг	6, 18	-	1,7	4,3	5,9	4,9	4,3	1,7	-
	9, 15	17,0	22,3	24,3	26,9	24,7	24,5	21,6	14,4
	12	28,1	31,7	32,2	32,6	32,3	31,8	29,7	24,8
Лошкарівка	6, 18	-	1,7	4,3	5,9	4,9	4,2	1,7	-
	9, 15	16,9	22,2	24,2	26,9	24,6	24,4	21,5	14,3
	12	28,0	31,5	32,1	32,5	32,2	31,7	29,6	24,2
Дніпропетровськ	6, 18	-	1,6	4,3	5,8	4,8	3,8	1,6	-
	9, 15	16,2	22,0	24,0	26,7	24,5	24,2	21,0	13,4
	12	27,4	30,4	31,6	32,4	31,3	31,2	29,4	23,5
Павлоград	6, 18	-	1,4	4,1	5,8	4,7	3,6	0,7	-
	9, 15	15,7	20,4	23,5	25,3	23,7	22,5	20,8	13,2
	12	26,9	29,8	30,8	31,9	29,8	29,4	28,9	21,9
Синельникове	6, 18	-	1,6	4,6	6,2	5,0	4,0	1,0	-
	9, 15	16,3	22,2	24,3	26,8	24,7	24,3	21,7	13,5
	12	27,6	30,5	31,8	32,5	32,2	31,0	29,3	23,6
Чаплине	6, 18	-	1,8	4,7	6,3	5,1	4,3	1,0	-
	9, 15	16,5	22,2	24,2	26,7	24,7	24,3	21,5	14,3
	12	27,8	30,6	31,0	31,8	32,0	31,4	29,5	23,9
Нікополь	6, 18	-	2,2	4,4	6,0	5,2	4,6	1,9	-
	9, 15	17,3	22,8	24,6	27,1	24,9	24,8	22,1	14,8
	12	28,3	31,9	32,5	32,6	33,3	33,1	30,2	25,7

У просторовому розподілі спостерігається збільшення прямої УФР при ясному небі з півночі на південь Дніпропетровщини на 3...5 %. Спостерігається також не-

значне зменшення потоків із заходу на схід території. Сумарна УФР у безхмарних умовах розподіляється територіально подібно прямій.

Таблиця 2

Інтенсивність сумарної ультрафіолетової радіації Сонця ($\text{Вт}/\text{м}^2$) в області спектра **A+B** при ясному небі

Метеостанція	Час, години	Місяць							
		III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
Комісарівка	6, 18	0,0	3,2	7,0	12,0	12,0	10,6	3,0	0,0
	9, 15	23,5	36,9	39,5	48,0	45,4	45,5	33,1	23,0
	12	39,0	49,8	54,8	63,0	62,9	60,0	46,3	37,0
Губиниха	6, 18	0,0	3,0	6,8	10,6	10,6	10,0	2,5	0,0
	9, 15	23,1	36,4	39,2	46,0	45,4	43,0	32,8	24,1
	12	38,7	49,4	54,3	62,0	60,9	58,1	45,7	36,6
Кривий Ріг	6, 18	0,0	3,8	7,6	14,0	14,0	12,0	3,9	0,0
	9, 15	25,7	37,05	41,2	50,0	50,0	46,5	36,8	25,2
	12	40,4	50,0	57,0	66,0	66,0	61,9	47,2	39,4
Лошкарівка	6, 18	0,0	3,7	7,5	13,8	13,8	11,9	3,8	0,0
	9, 15	25,5	37,4	41,0	49,8	49,9	46,4	36,6	26,1
	12	40,2	49,8	56,8	65,8	65,8	61,7	47,0	39,2
Дніпропетровськ	6, 18	0,0	3,6	7,4	13,5	13,6	11,6	3,6	0,0
	9, 15	23,9	37,3	40,5	49,5	49,6	46,0	36,0	23,8
	12	39,6	49,3	55,2	65,0	65,4	61,0	46,9	37,6
Павлоград	6, 18	0,0	3,2	7,1	12,1	12,1	10,7	3,1	0,0
	9, 15	23,6	37,0	39,6	48,1	46,5	45,6	33,2	23,1
	12	39,2	49,4	54,9	63,1	63,01	60,1	46,4	37,1
Синельникове	6, 18	0,0	3,7	7,5	13,6	13,7	11,7	3,7	0,0
	9, 15	24,0	37,4	40,6	49,6	49,7	46,1	36,1	27,9
	12	39,8	49,4	55,3	65,1	65,5	61,1	47,0	37,7
Чаплине	6, 18	0,0	3,6	7,4	13,6	13,7	11,7	3,7	0,0
	9, 15	24,6	37,3	40,7	49,6	49,7	46,2	36,3	25,0
	12	39,9	49,5	56,0	65,4	65,6	61,3	46,9	39,9
Нікополь	6, 18	0,0	4,2	8,3	15,2	14,5	11,9	4,3	0,0
	9, 15	26,5	38,0	41,9	52,0	54,0	47,0	37,3	27,0
	12	41,5	50,5	58,0	67,0	66,8	62,5	48,5	40,2

Вплив хмарності на інтенсивність УФР можна врахувати за допомогою функції пропускання g :

$$g = \dot{I} / \dot{I}_0, \quad (4)$$

де \dot{I} та \dot{I}_0 – радіація у хмарний та безхмарний день при одній і тій же висоті Сонця

над горизонтом. М.П. Гараджа [2] на основі вимірювань УФР на різних географічних широтах отримав функції пропускання для різних умов хмарності.

Результати обчислень, отримані для сумарної УФР в середніх умовах хмарності, дано в табл. 3.

Таблиця 3

Інтенсивність сумарної ультрафіолетової радіації Сонця (Вт/м²) в області А+В в середніх умовах хмарності

Метеостанція	Час, години	Місяць							
		III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
Комісарівка	6, 18		2,4	5,2	9,5	9,2	7,4	2,4	
	9, 15	17	258	29	38	35	32	27	11
	12	28	38	42	47	51	48	36	21
Губиниха	6, 18		2,2	4,8	8,6	8,1	2,4		
	9, 15	17	2,7	28	37	35	32	26	11
	12	28	37	41	47	50	47	34	20
Кривий Ріг	6, 18		3,0	5,9	10,6	11,1	9,2	3,2	
	9, 15	19	30	32	38	40	36	30	13
	12	31	40	44	49	53	49	39	23
Лошкарівка	6, 18		2,9	6,2	10,8	11,4	9,2	3,0	
	9, 15	20	29	34	39	41	36	29	13
	12	31	40	43	48	53	49	39	23
Дніпропетровськ	6, 18		2,7	5,2	10,2	10,0	8,8	2,7	
	9, 15	18	28	29	38	36	35	27	12
	12	29	38	43	48	52	49	36	21
Павлоград	6, 18		2,4	5,2	9,5	9,2	8,1	2,5	
	9, 15	17	258	29	38	35	35	27	11
	12	28	38	42	47	51	49	36	21
Синельникове	6, 18		2,9	5,4	10,6	10,0	8,9	2,8	
	9, 15	18	29	2,9	38	36	35	28	12
	12	29	38	43	48	52	49	3,7	21
Чаплине	6, 18		2,9	5,8	10,8	11,1	5,1		
	9, 15	19	30	32	39	40	36	12	12
	12	31	40	44	49	53	50	22	22
Нікополь	6, 18		3,7	6,8	11,8	14,3	12,8		
	9, 15	22	33	34	40	53	50	13	14
	12	33	41	44	50	53	51	22	24

Так, відношення сумарної УФР при хмарності 3...7 балів (за десятибальною шкалою) до її значення при безхмарному небі

становить 0,95...0,97; при повністю похмурому небі, що закрито щільними потужними хмарами, відношення зменшується до

0,57...0,59. Тож УФР суттєво і складно залежить від умов хмарності (форми, щільності, висоти над землею поверхнею, вертикальної товщини, стану закритості хмарами сонячного диску тощо) і врахувати вказані фактори в обчисленні УФР дуже складно. Більш надійні результати обчислень отримані для сумарної УФР в середніх умовах хмарності (див. табл. 3).

У підсумку можна зробити висновок про те, що основними факторами, які обумовлюють просторово-часовий розподіл УФР є висота Сонця над горизонтом, прозорість атмосфери та хмарність.

Бібліографічний список

1. Белинский, В. А. Ультрафиолетовая радиация Солнца и неба – важный элемент географической среды [Текст]: в кн.: Вопросы географии, т.29 / В. А. Белинский. – М.: Мысль, 1972. – С. 17-29.
2. Гараджа, М. П. Режим естественной УФР по данным измерений в метеорологической обсерватории МГУ [Текст]: в кн.: Климат большого города. / М. П. Гараджа. – М.: Изд-во МГУ, 1965. – С. 20.
3. Горб, А. С. Режим прямої та сумарної сонячної радіації на Дніпропетровщині [Текст] / А. С. Горб // Вісник ДНУ «Ге-

ологія, географія». – 2003. – Вип. 5. – С. 64-68.

4. Незваль, Е. И. Определение прямой ультрафиолетовой радиации на различных высотах на юге СССР [Текст] / Е. И. Незваль. Труды IX Всесоюзного совещания по актинометрии. – Л.: Гидромеоиздат, 1974. – С. 269-272.
5. Русин, Н. П. Прикладная актинометрия [Текст] / Н. П. Русин. – Л.: Гидромеоиздат, 1979. – 232 с.
6. Сивков, С. И. Методы расчёта характеристик солнечной радиации [Текст] / С. И. Сивков. – Л.: Гидромеоиздат, 1968. – 232 с.

Ключові слова: ультрафіолетова радіація сонця (УФР), просторово-часовий розподіл, інтенсивність, хмарність.

Ключевые слова: ультрафиолетовая радиация солнца (УФР), пространственно-временное распределение, интенсивность, облачность.

Keywords: ultraviolet solar radiation (UVR), space-time distribution, intensity, cloudiness.

Надійшла до редколегії 11.09.2012