

ПРО РЕЖИМ ПРИРОДНОЇ ОСВІТЛЕНOSTІ В УКРАЇНІ

Наведено результати досліджень режиму природної освітленості в Україні. Досліджено зв'язок світлових еквівалентів кожного виду радіації з висотою Сонця та прозорістю атмосфери. Виявлено особливості добового, сезонного та річного ходу прямої, розсіяної та сумарної освітленості при ясному небі та хмарності.

Природна освітленість є одним із важливих елементів клімату, а її характеристики широко використовуються у практичній роботі (сільське господарство, будівництво, архітектура), а також у дослідницькій діяльності.

Світловий режим місцевості визначають три джерела світла: Сонце, небо, тобто атмосфера, що розсіює сонячне світло, та підстильна поверхня, яка з різною інтенсивністю його відбиває. Природна освітленість поверхні визначається астрофізичними та геофізичними факторами, а саме: висотою та азимутом Сонця, прозорістю атмосфери та хмарністю, властивостями підстильної поверхні відбивати сонячне світло.

Систематичні спостереження за природною освітленістю не проводяться, тому її показники отримують шляхом перерахунку даних спостережень за прямою, розсіяною та сумарною радіацією за допомогою світлових еквівалентів кожного виду радіації. Світлові еквіваленти є відношенням освітленості в кілолюксах до одночасної інтенсивності сонячної радіації (у кВт/ м²). Саме тому природна освітленість визначається, виходячи з умов її пропорційності густині потоку короткохвильової сонячної радіації.

Сумарна природна освітленість за умов ясного неба складається з прямої освітленості, створюваної прямим сонячним промінням, та розсіяної освітленості, яка надходить від неба та відбивається від підстильної поверхні. З розвитком хмарності вклад прямої освітленості в сумарну зменшується і, навпаки, зростає розсіяна освітленість; за умов суцільної хмарності сумарна природна освітленість дорівнює розсіяній.

Світловий еквівалент є досить стійкою характеристикою в різних фізико-географічних умовах, а мінливість його визначається висотою Сонця та хмарністю [1].

Світловий еквівалент прямої радіації знаходиться в тісному зв'язку з висотою Сонця та спектральним складом сонячної радіації. Процеси молекулярного та аерозольного розсіювання визначають її надходження в короткохвильовій ділянці сонячної радіації, а вміст вологи в атмосфері – у довгохвильовій [2].

Зміна висоти Сонця від 10^0 до 65^0 викликає зростання світлового еквівалента прямої радіації на 30% (табл. 1).

Таблиця 1

Світловий еквівалент прямої та сумарної радіації (клк/кВт м⁻²) за різної висоти Сонця та хмарності

Висота Сонця, град.	Пряма радіація	Сумарна радіація
	хмарність 0-3 бали	хмарність 1-10 балів
10	57...71	83...93
20	76...84	89...99
30	89...95	93...101
40	93...99	97...103
50	96...100	99...103
60	97...100	99...103
65	98...102	99...103

Світловий еквівалент сумарної радіації змінюється від 83 клк/кВт м⁻² до 103 клк/кВт м⁻². Його мінливість досить значна і також залежить від стану атмосфери. Вплив вмісту вологи на світловий еквівалент прямої та сумарної освітленості проявляється у збільшенні їх мінливості вранці та ввечері, коли зростає поглинання інтегральної радіації водяною парою.

Особливо істотна залежність світлового еквівалента прямої радіації від вмісту вологи в атмосфері: у разі незмінного коефіцієнта прозорості (0,7) зі збільшенням вмісту вологи від 15 до 30 мм цей показник зростає більше ніж удвічі (від 42,8 клк/кВт м⁻² до 107 клк/кВт м⁻²), оскільки у реальній атмосфері водяна пара послаблює інфрачервону радіацію, а доля видимої ділянки сонячного спектра зростає.

Розрахунковий світловий еквівалент розсіяної радіації змінюється від 70 клк/кВт м⁻² до 101 клк/кВт м⁻². Широкі межі, в яких варіює цей показник, пояснюються тісною залежністю розсіяної радіації від вмісту аерозолів в атмосфері.

Слід зазначити, що розподіл природної освітленості лише в загальних рисах відтворює поля прямої, розсіяної та сумарної радіації, оскільки цей елемент клімату формується в результаті складного одночасного впливу різних факторів. Освітленість підстильної поверхні, створювана прямими сонячними променями, за умов ясного неба визначається в основному висотою Сонця над горизонтом та прозорістю атмосфери. Максимальна освітленість (близько 170 клк) досягається за полуденної висоти Сонця та високої прозорості. Послаблюючий вплив значної мутності атмосфери (при коефіцієнті прозорості $P_2 = 0,6$) проявляється у зниженні прямої освітленості майже у 2 рази. Хмарність, яка значно послаблює надходження прямої сонячної радіації, аналогічно діє і на пряму освітленість [3].

Освітленість горизонтальної поверхні розсіяним світлом найбільш істотно, крім висоти Сонця над горизонтом та прозорості повітря, залежить від хмарності. Зі зростанням висоти Сонця розсіяна освітленість збільшується як за ясного неба, так і при суцільній хмарності, однак за хмарної погоди в результаті багаторазового відбиття світла від підстильної поверхні та хмар розсіяність світла істотно збільшується (на 60-80%).

Розподіл розсіяної освітленості залежно від прозорості має протилежний характер, який особливо проявляється за умов ясного неба: зменшення інтегрального коефіцієнта прозорості P_2 від 0,8 до 0,6 викликає зростання розсіяної освітленості в 2,5 рази, і навпаки – зростання прозорості (зменшення розсіюючих радіацію часток у атмосфері) її послаблює.

Не менш впливає на надходження розсіяного світла стан підстильної поверхні, а саме її властивість відбивати світло, яка, у свою чергу, залежить від висоти Сонця та хмарності. Максимальних значень розсіяне світло досягає у полудень при свіжому сніговому покриві, причому, при ясному небі сніговий покрив збільшує розсіяну освітленість на 10-30%, а за умов суцільної хмарності – у 1,5-2 рази.

Відмінності в режимі освітленості за умов ясного неба та суцільної хмарності показують дані табл. 2, де наведено добовий хід розсіяної та сумарної освітленості. При ясному небі мінімальне дифузне світло спостерігається в зимові місяці вранці та ввечері (4-6 клк), максимальні значення спостерігаються влітку у полудень; навесні зі зростанням впливу астрономічного фактора, коли ще є сніговий покрив, дифузна

Таблиця 2

Добовий хід освітленості (клк)

Год, хв.	Стан неба	Освітленість							
		розсіяна	сумарна	розсіяна	сумарна	розсіяна	сумарна	розсіяна	сумарна
		I		IV		VII		X	
Бориспіль									
6 30	Ясно			7	18	10	17		
	Похмуро			8		13			
9 30	Ясно	7	15	18	67	19	74	10	34
	Похмуро	6		23		31		14	
12 30	Ясно	9	32	17	81	18	81	10	52
	Похмуро	14		25		31		15	
15 30	Ясно	4	7	10	47	17	57	7	16
	Похмуро	5		17		26		8	
18 30	Ясно					8	14		
	Похмуро					9			
Карадаг									
6 30	Ясно			8	15	12	25		
	Похмуро			5		12			
9 30	Ясно	7	21	18	77	20	69	12	46
	Похмуро	8		26		27		17	
12 30	Ясно	10	43	17	86	18	93	12	61
	Похмуро	13		27		28		22	
15 30	Ясно	6	11	16	48	16	61	8	22
	Похмуро	5		18		17		9	
18 30	Ясно					6	9		
	Похмуро					6			

освітленість досягає досить високих значень (17-18 клк) внаслідок багаторазового відбиття світла від його поверхні.

Сумарна освітленість при ясному небі змінюється протягом дня взимку таким чином: у дополоуденні та післяполоудневї години вона становить 7-15 клк у північних районах та 11-21 клк у південних, досягаючи максимуму в полудень (32-43 клк). Характерним є те, що майже половину в потоці сумарної освітленості у дополоуденні та післяполоудневї години складає дифузне світло. З ростом висоти Сонця частка прямої та розсіяної освітленості у сумарній вирівнюється. Максимуму потік сумарної освітленості досягає влітку в полудень, коли його значення становлять 81-93 клк, а основна його складова – пряме сонячне світло (75-81%).

Хмарність значно послаблює потік сумарної освітленості, зменшуючи надходження прямих сонячних променів та посилюючи процеси дифузії, а при похмурому стані неба він складається з розсіяної освітленості. Його значення зменшуються у 1,5-2 рази порівняно з безхмарною погодою взимку у дополоуденні та післяполоудневї години, а в полудень – у 2,5-3,5 разу, причому ці відмінності зростають з півночі на південь. Це пояснюється зростанням у широтному напрямі вкладу прямого сонячного опромінення в сумарну освітленість. Ця тенденція зберігається і в інші сезони.

Річний хід полудневої освітленості показує роль прямого та дифузного світла в його сумарному потоці. У всі сезони співвідношення між прямою та розсіяною освітленістю як за умов ясного неба, так і за середніх умов хмарності зберігається: потік сумарної освітленості формується переважно за рахунок прямого сонячного світла. При ясному небі внесок прямої освітленості становить 80-81%, а розсіяної – 19-20%; така тенденція порушується лише у зимові місяці, коли дещо зростає вклад розсіяного світла (25-30%).

За середніх умов хмарності роль розсіяного світла зростає, особливо у північних районах, його вклад у сумарний потік становить 60-70% взимку та 32-42% влітку. Частка прямої освітленості досягає максимальних значень влітку (55-70%). Полудневий потік сумарної освітленості змінюється у широтному напрямі та протягом року від 32 клк (січень, Бориспіль) до 90 клк (липень, Карадаг).

Добові суми освітленості за середніх умов хмарності протягом року відзначаються великою мінливістю. Сумарна освітленість у зимові місяці

на півночі становить $0,29 \text{ клк} \cdot 10^4$ (Бориспіль), зростаючи на півдні згідно з широтним розподілом сонячної радіації на 50-70% ($0,53 \text{ клк} \cdot 10^4$, Карадаг). У літні місяці її значення досягають відповідно 3,70-4,10 $\text{клк} \cdot 10^4$ (табл. 3).

Добові суми розсіяного світла за середніх умов хмарності становлять $0,22\text{-}0,35 \text{ клк} \cdot 10^4$ у грудні, поступово збільшуючись та досягаючи максимуму у травні-червні ($1,53\text{-}1,77 \text{ клк} \cdot 10^4$). Частка розсіяного світла в його добовому сумарному потоці коливається взимку від 70% на півдні до 80% в північних районах; влітку цей показник становить відповідно 40% та 50%.

Таблиця 3

Середня добова сума освітленості ($\text{клк} \cdot 10^4$) за середніх умов хмарності

Станція	Освітленість	I	II	III	IV	V	VI
Бориспіль	Сумарна	0,48	0,93	1,33	2,10	3,16	3,70
	Розсіяна	0,39	0,68	0,81	1,17	1,61	1,77
Полтава	Сумарна	0,48	0,86	1,32	1,93	3,03	3,57
	Розсіяна	0,35	0,64	0,81	1,07	1,54	1,60
Одеса	Сумарна	0,55	1,00	1,42	2,37	3,39	3,97
	Розсіяна	0,39	0,64	0,87	1,20	1,58	1,60
Карадаг	Сумарна	0,65	1,00	1,55	2,30	3,39	4,03
	Розсіяна	0,45	0,68	0,87	1,17	1,55	1,53

Продовження таблиці 3

Станція	Освітленість	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Бориспіль	Сумарна	3,52	2,87	2,17	0,90	0,47	0,29
	Розсіяна	1,74	1,39	1,00	0,52	0,33	0,22
Полтава	Сумарна	3,45	2,94	2,10	0,90	0,50	0,29
	Розсіяна	1,52	1,32	0,97	0,52	0,33	0,22
Одеса	Сумарна	3,97	3,39	2,57	1,19	0,70	0,39
	Розсіяна	1,45	1,22	0,97	0,58	0,40	0,29
Карадаг	Сумарна	4,10	3,48	2,70	1,35	0,83	0,52
	Розсіяна	1,42	1,22	0,93	0,61	0,50	0,35

За режимом освітленості протягом року виділено два періоди: зимовий та літній. Зимовий період триває з вересня по березень, літній – з травня по липень, квітень та серпень за режимом освітленості є перехідними від одного періоду до іншого. Для обох періодів характерним є поступове послаблення з півночі на південь України годинних сум освітленості вранці та ввечері, особливо в літній період.

Показники освітленості за сезон та рік представлені в табл. 4. Зима характеризується невисокими значеннями та сутінковим режимом

сумарної освітленості ($50-64 \text{ клк} \cdot 10^4$). При середній хмарності її суми в цей сезон на 70-75% формуються за рахунок розсіяного світла. Навесні відбувається перебудова зимового режиму освітленості на літній. Пряма освітленість, узгоджуючись з астрономічним фактором та широтним ходом сонячної радіації, порівняно із зимою зростає на 80-90%, а її доля в сумарному потоці зростає від 45% на півночі до 60% на півдні. Навесні суми прямої освітленості становлять $92-132 \text{ клк} \cdot 10^4$.

Літо – сезон найбільшої інтенсивності світла, коли світловий коефіцієнт усіх видів радіації найбільший, а полудневі значення сумарного потоку освітленості досягають 95-100 клк. Максимальна сумарна освітленість спостерігається на півдні і досягає $347-356 \text{ клк} \cdot 10^4$, а доля прямого сонячного світла становить 60-65%. У північних районах літні суми сумарної освітленості на 10-15% менші, а вклад прямого сонячного світла зменшується до 50-55%. Розглядаючи особливості її сезонного ходу в пунктах, розташованих на одній широті, але у різних умовах антропогенного впливу, слід відзначити послаблюючий вплив на неї забрудненої міської атмосфери.

Таблиця 4

Сезонні і річні суми освітленості ($\text{клк} \cdot 10^4$)

Станція	Освітленість	Зима	Весна	Літо	Осінь	Рік
Бориспіль	Пряма	12	92	159	51	314
	Розсіяна	38	110	150	56	354
	Сумарна	50	202	309	107	668
Полтава	Пряма	11	88	169	51	319
	Розсіяна	37	105	136	55	333
	Сумарна	48	193	305	106	652
Одеса	Пряма	18	108	216	76	418
	Розсіяна	39	112	131	59	341
	Сумарна	57	220	347	135	759
Асканія-Нова	Пряма	18	105	183	75	381
	Розсіяна	45	111	136	59	351
	Сумарна	63	216	319	134	732
Карадаг	Пряма	20	132	228	86	466
	Розсіяна	44	90	128	62	324
	Сумарна	64	222	356	148	790

Розсіяна освітленість влітку значно менша прямої і становить $51-56 \text{ клк} \cdot 10^4$ на півночі та $59-62 \text{ клк} \cdot 10^4$ на півдні.

Починаючи з серпня, відбувається перебудова освітленості на зимовий режим: її значення в цьому місяці у 1,5 разу менші, ніж у червні, а періоди однакової освітленості вранці та ввечері спостерігаються перед сходом і заходом сонця.

Восени, уже починаючи із середини вересня, закінчується перебудова освітленості на зимовий режим, а в жовтні він повністю встановлюється. Для листопада характерний сутінковий режим освітленості. З півдня на північ зростає частка дифузного світла в його сумарному потоці від 42% (Карадаг) до 52% (Бориспіль).

Річна сума освітленості змінюється по території таким чином: сумарна освітленість у північних районах становить $668 \text{ клк} \cdot 10^4$, зростаючи на півдні до $790 \text{ клк} \cdot 10^4$, тобто на 15%. Річна сума розсіяного світла на півночі більша ніж прямого, і становить $333\text{-}354 \text{ клк} \cdot 10^4$. На півдні співвідношення між прямою та розсіяною освітленістю у річній сумі її сумарного потоку інше: пряма освітленість на 25-30% переважає розсіяну ($381\text{-}466 \text{ клк} \cdot 10^4$).

У практичній діяльності, зокрема у будівництві, потрібні дані про режим освітленості вертикальної поверхні різної орієнтації. Її значення більше залежать від положення Сонця та характеру підстильної поверхні, ніж її прихід на горизонтальну поверхню. Між ними існує залежність:

$$E_e = E_z \cdot ctgh_0,$$

де E_e – пряма освітленість вертикальної поверхні, E_z – пряма освітленість горизонтальної поверхні, h_0 – висота Сонця.

Максимум прямої та розсіяної освітленості при середній хмарності спостерігається за висоти Сонця близько 35° на поверхнях, перпендикулярних до сонячних променів. Найбільш освітлена орієнтована на південь вертикальна поверхня в полудень та близько нього. Максимум сумарної освітленості на вертикальних поверхнях, орієнтованих на схід, спостерігається вранці, на захід – у післяполудневі години.

Згідно з [2] у широтному поясі, який охоплює північні райони, тривалість природного освітлення, яке коливається залежно від критичної освітленості, становить 2500-3900 год., у центральних та південних районах – 2500-4000 год. У Криму тривалість природного освітлення зростає від 2800 до 4100 год.

Отримані показники режиму природної прямої, розсіяної та сумарної освітленості на території України можуть знайти застосування в

дослідженні світлового клімату рослин та процесів фотосинтезу, світлового клімату будівель для раціонального проектування їх природної освітленості та для подальшого нормування і проектування систем природного та інтегрального освітлення міст.

* *

Приведены результаты исследований режима природной освещенности в Украине. Исследована связь световых эквивалентов каждого вида радиации с высотой Солнца и прозрачностью атмосферы. Выявлены особенности суточного, сезонного и годового хода прямой, рассеянной и суммарной освещенности в условиях ясного неба и облачности.

* *

1. Бартенева О.Д., Полякова Е.А., Русин Н.П. Режим естественной освещенности на территории СССР. – Л.: Гидрометеиздат, 1971. – 239 с.
2. Евневич Т.В., Никольская Н.П. Некоторые характеристики наружной части освещенности в Москве // Естественное освещение и инсоляция зданий. – М.: Изд-во литературы по строительству, 1968. – С.11-23.
3. Дмитренко Л.В. Природна освітленість // Клімат України. – Київ. Видавництво Раєвського, 2003. – С.72-75.

*Український науково-дослідний
гідрометеорологічний інститут, Київ*