

Conference (November 17–19, 2021, Kyiv, Ukraine). Kyiv : Institute of Geology Taras Shevchenko National University of Kyiv, 2021. URL: <https://eage.in.ua/wp-content/uploads/2021/11/Mon-21-072.pdf> (Scopus).

4. Кравчук Я. С. Геоморфологія Скибових Карпат : навч. посіб. Львів : Вид-во Львівського університету ім. І.Франка, 2005. 231 с.

5. Рудько Г. І., Кравчук Я. С. Інженерно-геологічний аналіз Карпатського регіону України. Львів, 2002. 172 с.

Сіренко І. М. Динамічна геоморфологія : навч. посіб. Львів : Видавничий центр ЛНУ Івана Франка, 2003. 264 с.

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-235-7-17>

## **DETERMINATION OF ATMOSPHERIC TRANSPARENCY AND CLOUDINESS INDICES**

### **ВИЗНАЧЕННЯ ІНДЕКСІВ ПРОЗОРОСТІ ТА ХМАРНОСТІ АТМОСФЕРИ**

**Kyhtenko Ya. V.**

*junior researcher, graduate student  
Ukrainian Hydrometeorological Institute  
of the State Emergency Service  
of Ukraine and the National Academy  
of Sciences of Ukraine*

**Кихтенко Я. В.**

*молодший науковий співробітник,  
аспірант  
Український гідрометеорологічний  
інститут Державної служби України  
з надзвичайних ситуацій  
та Національної академії наук України*

**Tymofeev V. Ye.**

*Doctor of Geographical Sciences,  
Head of the laboratory  
of climate research and long-term  
weather forecasts,  
Ukrainian Hydrometeorological Institute  
of the State Emergency Service  
of Ukraine and the National Academy  
of Sciences of Ukraine  
Kyiv, Ukraine*

**Тимофєєв В. Є.**

*доктор географічних наук,  
завідувач лабораторією кліматичних  
досліджень та довгострокових  
прогнозів погоди  
Український гідрометеорологічний  
інститут Державної служби України  
з надзвичайних ситуацій  
та Національної академії наук України  
м. Київ, Україна*

Відомо, що сонячна радіація є головним кліматотворчим чинником і може бути перетворена у електричну енергію, що формує її як економічно, так і екологічно привабливим джерелом енергії, з-поміж

усіх видів енергії, особливо альтернативних. Крім того, сонячна радіація допомагає в дослідженні зміни клімату та проявів глобального потепління, зокрема в дослідженні оптичних властивостей атмосфери – індексу прозорості атмосфери ( $k_t$ ) та індексу хмарності атмосфери ( $k_d$ ). Розсіювання і поглинання частинками аерозолію і газів може призвести до різкого зниження сонячного випромінювання, яке досягає підстильної поверхні Землі. Розповсюдження сонячної радіації в атмосфері також може затримуватися хмарним покривом нижнього ярусу та ярусу вертикального розвитку хмар і поглинатися водяною парою, як основним парниковим газом у атмосфері Землі [5]. Тому, враховуючи ці процеси, виникає необхідність в визначенні індексу прозорості та індексу хмарності атмосфери.

*Індекс прозорості*  $k_t$  описує кількість сумарної сонячної радіації відповідно до реагування на позаземне випромінювання. Таким чином, це надійний інструмент для опису характеристик небосхилу для конкретної території [3]. Крім того,  $k_t$  визначає рівень надходження сонячної радіації та коливань атмосферних умов певного регіону. Отже,  $k_t$  є корисним не тільки для вимірювання характеристик хмарності вдень, але також є показником частки дифузного та прямого сонячного випромінювання. Чим вище значення  $k_t$  протягом дня чи місяця, тим менш хмарний день чи місяць, а отже, тим інтенсивніша пряма сонячна радіація і суттєвіша частка прямого сонячного випромінювання в сумарному, що формує і вище значення сумарного сонячного випромінювання [5].

Відношення  $k_t$  сумарної сонячної радіації, що надходить на горизонтальну поверхню, до горизонтальної складової позаземного випромінювання, має вигляд [2]:

$$k_t = \frac{F_{Global}^H}{S_0 \cos \theta_z}, \quad (1)$$

де  $F_{Global}^H$  – сумарна сонячна радіація, що надходить на горизонтальну поверхню;

$S_0$  – сонячна стала.  $S_0 = 1.38$  кВт/м<sup>2</sup>;

$\theta_z$  – годинний кут.

В умовах чистого неба пряма (променева) радіація  $g_{bh}$ , потрапляючи на горизонтальну поверхню, буде послаблюватися внаслідок різного розсіювання та поглинання. Існує безліч одночасних явищ, що сприяють цьому згасанню.

Вони детально описані в рівнянні (2), але достатньо описати це послаблення за допомогою одного коефіцієнта передачі  $\tau_\alpha$  в діапазоні від 0 до 1. Отже, буде

$$g_{bh} = g_{in} \cdot \tau_\alpha. \quad (2)$$

Тоді отримуємо [6]

$$k_t = \frac{g_{bh} + g_d}{g_{in}} = \frac{g_{in} \cdot \tau_\alpha + g_d}{g_{in}} = \tau_\alpha + \frac{g_d}{g_{in}}, \quad (3)$$

де  $\tau_\alpha$  – коефіцієнт передачі в діапазоні від 0 до 1;

$g_d$  – дифузний компонент;

$g_{in}$  – віртуальне випромінювання, що потрапляє на поверхню за відсутності атмосфери (без послаблення) [6].

Індекс прозорості має можливість виділити стохастичну складову у часовому ряду сумарного сонячного випромінювання. Для кожного дня часовий ряд індексу прозорості є випадковим і майже нерухомим та майже стаціонарним часовим рядом.

Сонячна радіація послаблюється атмосферним шаром та хмарами, перш ніж вона досягне підстильної поверхні Землі. Таким чином, можна отримати частку між земною та позаземною сонячною радіацією, відому як індекс прозорості атмосфери Землі  $k_t$ .

Індекс хмарності  $k_d$  є функцією місячної сумарної пропускну здатності атмосфери Землі. Поведінка індексу хмарності не є однорідною і залежить від індексу прозорості атмосфери. При цьому значення, отримане для індексу прозорості, від додавання значень зважених часток атмосферного аерозолу, повітряної маси, коефіцієнта відбиття поверхні (альbedo) і характеристик хмарності не обов'язково може призводити до чітких значень для індексу хмарності [4].

За формулою  $k_d$  має такий вигляд [6]:

$$k_d = \frac{g_d}{g_{bh} + g_d} = \frac{g - g_{bh}}{g_{bh} + g_d} = 1 - \frac{g_{in}}{g_{bh} + g_d} \tau_\alpha. \quad (4)$$

Отже,

$$k_d = 1 - \frac{\tau_\alpha}{k_t}, \quad (5)$$

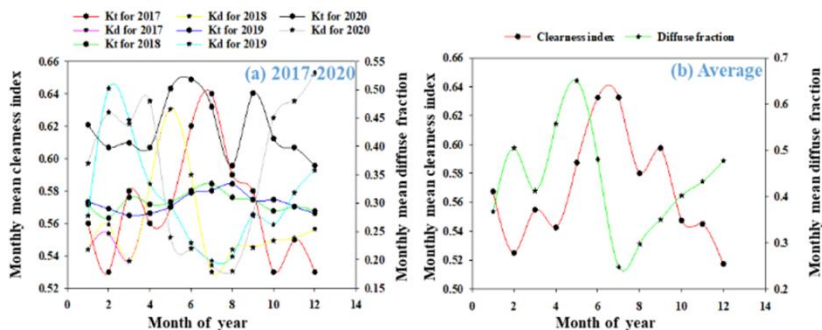
де  $\tau_\alpha$  – коефіцієнт згасання (послаблення).

При  $\tau_\alpha = 0,7$

$$k_d = 1 - \frac{0,7}{k_t}, \quad (6)$$

де  $k_t$  – індекс прозорості атмосфери Землі.

На рис. 1 показана характеристика, що існує між середніми місячними значеннями  $k_t$  і  $k_d$ . Чітко видно, що обидва параметри мають практично незмінну форму дзвона з максимальними значеннями в травні та липні відповідно. На рис. 1a та 1b показано, що місяці з мінімальними значеннями  $k_t$  мають максимальні значення  $k_d$  і навпаки. Ця картина однакова протягом чотирьох-річного періоду дослідження [5].



**Рис. 1. Кореляція між індексами прозорості та хмарності атмосфери**  
(a) за 2017–2020 рр.; (b) середні значення: за 2017–2020 роки [5]

Середні місячні значення  $k_d$  і  $k_t$  на рисунку 1b мають обидва пікові значення приблизно 0,65 у травні та 0,63 у липні відповідно. Так само найнижчі значення  $k_d$  і  $k_t$  становлять 0,24 у липні та 0,51 у грудні відповідно. Виявлено, що середньорічні значення  $k_d$  і  $k_t$  за чотирирічний період 2017 – 2020 років становлять 0,57 і 0,43 відповідно [5].

Отже, індекси прозорості та хмарності атмосфери Землі є важливими показниками оптичних властивостей атмосфери. Відповідно, чим вище значення індексу прозорості атмосфери, тим менша загальна кількість хмарного покриву і вищі потоки прямої та сумарної сонячної радіації, що формують більшу сонячну енергію. Чим вище значення індексу хмарності атмосфери, тим більша загальна кількість хмарного покриву і нижчі показники прямої та сумарної сонячної радіації на фоні високого показника розсіяної радіації, що зумовлює меншу сонячну енергію. Це виступає дуже важливим фактором для наукових досліджень та є ключовим для оцінки потенціалу сонячної енергії на території певної держави, тим більше що як показали наші останні дослідження, Україна розташована у кліматичному поясі, що сприяє

використанню потенціалу сонячної радіації, а тривалість сонячного сьйва зростає в умовах сучасного клімату.

Адже на початку XXI ст. на території України відмічалось збільшення кліматичних ресурсів сонячної радіації. За 2001–2014 рр. підвищилась річна сума сумарної та прямої сонячної радіації відносно першої кліматологічної стандартної норми 1961–1990 рр. У потоці сумарної сонячної радіації спостерігалось зростання прямої радіації, що підтверджує не лише високий та достатній для розвитку геліоенергетики потенціал сонячної радіації, а й необхідність дослідження оптичних властивостей атмосфери на території України, що впливають на потоки сонячної радіації, до яких і належать індекси прозорості та хмарності атмосфери [1].

#### Література:

1. Рибченко Л. С., Савчук С. В. Потенціал геліоенергетичних кліматичних ресурсів сонячної радіації в Україні. *Український географічний журнал*. 2015. № 4. С. 16–23.
2. Meena D. Lysko. Measurement and Models of Solar Irradiance. Trondheim, August 2006. 201 p.
3. Okogbue, E. C., Adedokun, J. A. The estimation of solar radiation at Ondo, Nigeria. *J. Phys.* 2002. 14. 97–99 p.
4. Olanrewaju Olukemi Soneye. Evaluation of clearness index and cloudiness index using measured global solar radiation data: A case study for a tropical climatic region of Nigeria Department of Physics, Anchor University Lagos, Nigeria 10-Feb-2021. URL: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0187-62362021000100025](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-62362021000100025)
5. Oliver O. Apeh , Ochuko K. Overen, Edson L. Meyer. Monthly, Seasonal and Yearly Assessments of Global Solar Radiation, Clearness Index and Diffuse Fractions in Alice, South Africa. Fort Hare Institute of Technology, University of Fort Hare, Alice South Africa, 17 February 2021. 15 p.
6. Scarpa F., Marchitto A., Tagliafico L.A. Splitting the solar radiation in direct and diffuse components; insights and constrains on the clearness-diffuse fraction representation. Genoa, Italy 2, June 2017. 325–329 p.