

УДК 551.586

Малицька Л. В.

Український гідрометеорологічний інститут ДСНС та НАН України, м.Київ

КІЛЬКІСНА ОЦІНКА КОМФОРТНОСТІ ПОГОДНИХ УМОВ ТА КЛІМАТУ

Ключові слова: біокліматичні індекси, кількісна оцінка, комфортність погоди та клімату.

Вступ. Погода та клімат впливає на здоров'я та працездатність людини. Цей вплив може бути як прямий так і опосередкований. Прямий вплив дуже різноманітний та обумовлений безпосередньою дією кліматичних факторів на організм людини і насамперед на умови його теплообміну з навколишнім природним середовищем. Причому на організм людини, як правило, впливає не один ізольований фактор, а їх сукупність. Ступінь термічного навантаження на організм людини у теплий період посилюється, коли відмічається сукупна дія температури повітря, вологості, хмарності та спостерігається ефект накопичення негативного впливу. У холодний період комфортність погодних умов залежить від поєднання низької температури повітря та великої швидкості вітру, яка посилює негативний вплив термічного фактору на організм людини і свідчить про суворість зими в цілому. Опосередкований вплив погодних умов не менш значимий і здійснюється через елементи навколишнього природного середовища – атмосферне повітря, воду тощо. Окремо або в комбінації вони можуть збільшити плин наявних захворювань, створити певні умови для розмноження збудників інфекційних захворювань. Сумарний ефект як прямого так і опосередкованого впливу на організм людини метеорологічних факторів характеризує комфортність погоди.

Формування мети статті. Метою роботи є огляд біокліматичних індексів, обґрунтування їх використання для практично-орієнтовних досліджень зміни комфортності погоди в Україні.

Виклад основного матеріалу. Перші спроби чисельно виразити вплив декількох метеорологічних показників на тепловідчуття людини були зроблені ще на початку ХХ століття. Американське товариство інженерів з опалення, охолодження та кондиціонування (ASHRAE) у 1923 році розробили концепцію «ефективної температури» (Effective Temperature - *ET*), емпірично визначеного індексу ступеня тепла, що сприймається при різних комбінаціях температури, вологості та руху повітря. Вхідними даними для його розрахунку є значення сухого та змоченого термометрів і швидкості вітру [1]. Гейдж у 1967 році продовжив запропоновану концепцію, представивши новий варіант розрахунку індексу New Standard Effective Temperature - *SET*. Він визначив *SET*, як температуру повітря, еталонного середовища, при якій людина має такі ж тепловідчуття як в природному навколишньому середовищі.

В 1945 році Сайпл та Пассел на основі результатів 89 експериментів проведених в Антарктиді, запропонували емпіричну формулу розрахунку охолоджуючого ефекту атмосфери:

$$K_o = (\sqrt{v * 100} + 10,45 - v)(33 - T_a), \quad (1)$$

де K_o – вітрово-холодовий індекс; v – швидкість вітру, м/с; T_a – температура повітря, °C

Індекс дозволяє оцінити охолодження організму людини, внаслідок дії вітру і низьких температур у тіні та не зважаючи на випарування, а швидкість охолодження визначається враховуючи середньозважену температуру шкіри людини - 33 °C. Вітровий індекс охолодження Сайпла та Пассела може бути визначений за формулою, по номограмі та за таблицями [2]. Головний недолік цього індексу полягає в тому, що він характеризує охолодження лише під впливом конвекції. За низьких температур конвективний теплообмін, а також теплопровідність різко зменшується внаслідок наявності одягу, що не враховано показником. Подальший розвиток дослідження отримали у роботі [3], в якій Р. Стедман розглядає тепловтрати людини, враховуючи не лише комбінований ефект низьких температур і швидкості вітру, а й фізіологічні особливості людини та термоізоляційні властивості одягу. На основі отриманих результатів був реалізований новий індекс холодового стресу Wind Chill Temperature – WCT , який з 2001 року і дотепер використовують в оперативній практиці Національної служби погоди США (NWS) і метеорологічній службі Канади. WCT створений на основі моделі людського обличчя, що рухається у напрямку до вітру зі швидкістю 3 милі на годину (1,37 м/с). Модель здійснює перерахунок фактично вимірної швидкості вітру (характерна висота анемометру - 33 фути) на висоту росту середньостатистичної дорослої людини (5 футів), припускаючи що людина знаходиться на відкритому полі. Результати цієї моделі можуть бути апроксимовані з точністю до одного градуса за наступною формулою:

$$WCT = 13,13 + 0,62 * T - 13,95 * V^{0,16} + 0,486 * T * V^{0,16}, \quad (2)$$

де WCT – значення індексу холодового стресу, °C; T – значення приземної температури повітря, °C; V – швидкість вітру, м/с.

Однак, WCT , як показник дискомфорності оточуючого середовища має обмеження. Він визначається лише за температури 10 C ° і нижче та швидкості вітру вище 3 м/с [4].

Другим напрямком розвитку біокліматичних індексів, які є непрямими індикаторами стану навколишнього природного середовища, стали дослідження Яглоу та Мінарда. Вони у 1957 році запропонували новий показник Wet Bulb Globe Temperature – $WBGT$, як альтернативний і більш зручний варіант розрахунку Effective Temperature (ASHRAE). Вони модифікували індекс, замінивши радіаційну складову ET на значення температури термометру, що використовується для визначення теплового стресу. Приймальна частина приладу має вигляд порожнистої мідної сфери діаметром 150 мм, що забарвлена матовою чорною фарбою, для поглинання теплового випромінювання від навколишніх предметів. Існує два варіанти розрахунку $WBGT$: для умов навколишнього природного середовища та в умовах приміщення. Початкова версія рівняння для розрахунку $WBGT$ в умовах навколишнього природного середовища (з врахуванням сонячної радіації) має наступний вигляд [5]:

$$WBGT = 0,7 * t_w + 0,3 * (a * 0,95 * (bgt - t_a) + t_a), \quad (3)$$

де a – коефіцієнт поглинання одягу для сумарної сонячної радіації; t_w – значення температури змоченого термометру, °C; t_a – значення температури повітря у тіні,

°C; *bgt* – значення температури термометру, приймальна частина якої має вигляд чорної сфери.

На даний час цей показник застосовують у багатьох країнах світу для визначення теплового стресу в різних сферах людської діяльності, включаючи військову, промислову, комерційну, спортивну, рекреаційну тощо. Також, *WBGT* використовуються в національних (наприклад Великобританії, Китаї, Японії, США, Австралія та ін.), регіональних (Європейський союз) та міжнародних (Heat Stress Standard ISO 7243) стандартах.

У доповнення до добре вивченого комбінованого ефекту низьких температур та вітру, відомого як «охолодження вітром» (Wind Chill), Стедман у 1979 році ввів поняття «приведеної температури» (Apparent Temperature – *AT*), як показника, що описує протилежний за дією ефект задухи, яка виникає при поєднанні високих температур та вологості повітря [6]. Отже, *AT* – це температура, приведена до величини реальної температури повітря, коли значення точки роси становить 14 °C. При вищих значеннях точки роси приведена температура перевищує фактичну, що означає підвищення теплового стресу та дискомфорту, пов'язаних з високою вологістю повітря. При нижчих значеннях навпаки, значення *AT* менше ніж фактична температура, відповідно умови погоди є більш комфортними. Цей індекс не враховує швидкість вітру та сонячну радіацію. Для його розрахунку необхідні лише значення сухого термометру та точки роси. Для зручності використання введеного показника автор наводить дві таблиці для розрахунку приведеної температури: використовуючи значення сухого та змоченого термометрів, та розрахунок за даними сухого термометру і значенням точки роси. В умовах приміщення використання лише цих двох параметрів, як найбільш значимих, для оцінки термічного навантаження є виправданим. Однак, в навколишньому природному середовищі, людина зазнає впливу комплексу метеорологічних параметрів, які можуть суттєво завищити чи понизити значення приведеної температури. Тому Стедман продовжив роботу у цьому напрямку вивчаючи вплив вітру, додаткового випромінювання, барометричного тиску на значення приведеної температури [7]. За результатами дослідження були побудовані карти просторового розподілу середніх значень приведеної температури для полуденних годин в середині літа на території Сполучених Штатів Америки та Канади та зміни значення *AT* залежно від швидкості вітру і від додаткового випромінювання, що стало першою спробою районування території за ознакою термічного комфорту.

1990 році за результатами множинного регресійного аналізу Ланс Розфуз вніс корективи у розрахунок приведеної температури Стедмана. Механізм визначення уточненої формули описаний у технічній документації Національної служби погоди США (SR 90-23) і наразі використовується в оперативній роботі для прогнозу теплового стресу в теплий період року.

Рівняння регресії Розфуза, або Індекс Спеки – Heat Index має вигляд:

$$HI = -42.379 + 2.04901523 * T + 10.14333127 * RH - 0.22475541 * T * RH - 0.00683783 * T * T - 0.5481717 * RH * RH + 0.0122874 * T * T * RH + 0.00085282 * T * RH * RH \quad (4)$$

де: *HI* – значення індексу спеки, °F; *T* – значення приземної температури повітря, °F; *RH* – відносна вологість, %.

Одиницею виміру *HI*, як і найпершого варіанту розрахунку *AT*, є градуси Фаренгейта. Якщо відносна вологість повітря менше 13%, а температура повітря знаходиться в межах 80 – 120 °F, то у розрахунок *HI* вводиться наступна поправка:

Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2016. – Т.2(41)

$$ADJUSTMENT = [(13 - RH)/4] * SQRT\{[17 - ABS(T - 95.)]/17\}, \quad (5)$$

де $SQRT$ – функція корінь квадратний ; ABS – абсолютна величина.

У випадку великих значень відносної вологості (більше 85 %) і діапазоні температур 80 – 87 °F, поправка має вигляд (6):

$$ADJUSTMENT = [(RH - 85)/10] * [(87 - T)/5]. \quad (6)$$

В інших випадках для розрахунку теплового стресу доцільніше використовувати форму розрахунку приведеної температури Стедмана.

В 1960-х роках змінюється підхід до оцінки теплового комфорту і виникає третій напрям визначення комфортності оточуючого середовища. Визнання наукового товариства отримують моделі, основою яких є рівняння енергетичного балансу людини. Однією з перших і досі актуальних моделей є рівняння комфорту мікроклімату приміщень, запропоноване у 1972 році Фангером, відоме як Predicted Mean Vote – PMV [8]. Вхідними даними для його розрахунку є:

- метеорологічні параметри: температура повітря, середня радіаційна температура, швидкість вітру, приведена до середнього росту дорослої людини, та парціальний тиск водяної пари;

- фізіологічні параметри: діяльність людини, теплоізоляція одягу.

В основу PMV покладено рівняння теплового балансу людського тіла, коли внутрішнє виробництво теплової енергії врівноважене її втратами. Референтна група при створенні індексу, налічувала більш ніж 1300 людей різного віку та статі, а вибірка даних містила інформацію про фізіологічні реакції терморегуляційної системи та суб'єктивне сприйняття температури. Отже, використання PMV , як індикатора теплового комфорту, є статистично обґрунтованим.

Розрахунок PMV здійснюється за наступною системою рівнянь (7):

$$PMV = (0.303 e^{-0.036M} + 0.028) \{ (M - W) - 3.05 * 10^{-3} * [5733 - 6.99(M - W) - p_a] - 0.42 * [(M - W) - 58.15] - 1.7 * 10^{-5} M(5867 - p_a) - 0.0014M(34 - t_a) - 3.96 * 10^{-8} f_{cl} * [(t_{cl} + 273)^4 - (\bar{t}_r + 273)^4] - f_{cl} h_c (t_{cl} - t_a) \},$$

$$t_{cl} = 35.7 - 0.028(M - W) - I_{cl} \{ 3.96 * 10^{-8} f_{cl} * [-f_{cl} h_c (t_{cl} - t_a)] \} \quad (7)$$

$$h_c = \begin{cases} 2.38(t_{cl} - t_a)^{0.25} \text{ для } 2.38(t_{cl} - t_a)^{0.25} > 12.1\sqrt{v_{ar}} \\ 12.1\sqrt{v_{ar}} \text{ для } 2.38(t_{cl} - t_a)^{0.25} < 12.1\sqrt{v_{ar}} \end{cases}$$

$$f_{cl} = \begin{cases} 1.00 + 1.290I_{cl}, & I_{cl} \leq 0.078 \text{ m}^2\text{C/W} \\ 1.05 + 0.645I_{cl}, & I_{cl} > 0.078 \text{ m}^2\text{C/W} \end{cases}$$

де: M – швидкість обміну речовин (метаболізм 1 met= 58.2 W/m²); W – внутрішня робота (W/m²); I_{cl} – теплоізоляція одягу (1 Кло = 0.155 m²°C/W); f_{cl} – співвідношення площі поверхні тіла захищеної одягом до оголеної; t_a – температура повітря, °C; \bar{t}_r – середня радіаційна температура, °C; v_{ar} – швидкість вітру, перерахована по відношенню до росту людини, м/с; p_a – парціальний тиск

водяної пари, Па; h_c – коефіцієнт конвективної передачі тепла, $W/m^2\text{°C}$; t_{cl} – температура поверхні одягу, °C .

Цей індекс широко застосований в інженерних розрахунках для кондиціонування чи опалення приміщень. Використовується для уточнення умов термічного комфорту в міжнародних стандартах (ISO 7730: 2005). Знаючи величину PMV , можна визначити протилежний за своєю суттю індекс – Predicted percentage dissatisfied (PPD), який також був запропонований Фангером. PPD – це індекс, що чисельно встановлює/прогнозує відсоток людей, незадоволених термічним середовищем, які відчувають надмірний холод чи спеку. Оцінюється за семибальною шкалою в умовних одиницях в межах від -3 до +3, що відповідає тепловідчуттям від «холодно» до «спекотно».

PPD визначається за формулою (8):

$$PPD = 100 - 95 * \exp(-0.03353 * PMV^4 - 0.2179 * PMV^2), \quad (8)$$

де PMV – розрахункове значення.

Колектив вчених, на чолі з Жендрицьким у 1981 році модифікували PMV , пристосувавши індекс до умов навколишнього природного середовища. Вони додали до розрахунку блок, що описує вплив сонячної радіації та терморегуляцію організму. Одержаний показник наразі відомий як Модель Кліма-Мішеля (Klima-MichelModel – KMM).

Хоппе в 1999 році запропонував універсальний показник біометеорологічної оцінки теплового середовища – фізіологічну еквівалентну температуру (Physiological Equivalent Temperature – PET). PET – це величина, еквівалентна температурі повітря, що необхідна для відтворення у стандартному закритому приміщенні у середньостатистичної людини таких же значень температури шкіри та внутрішньої температури тіла, що і в умовах, які оцінюються [9]. Для оцінки умов стандартного закритого приміщення були зроблені наступні припущення: середня радіаційна температура рівна температурі повітря ($T_{mrt} = T_a$), швидкість вітру дорівнює 0,1 м/с, і тиск водяної пари – 12 гПа, що приблизно дорівнює відносній вологості повітря 50 % за температури повітря 20 °C .

В основу фізіологічної еквівалентної температури покладено Мюнхенську модель енергетичного балансу людини (MEMI), що моделює теплові умови людського тіла в фізіологічно ревалентний спосіб. MEMI ґрунтується на рівнянні теплового балансу:

$$M + W + R + C + E_D + E_{Re} + E_{Sw} + S = 0, \quad (9)$$

де M – швидкість обміну речовин (метаболізм); W – потовиділення при роботі; R – випромінювання тіла; C – конвективний потік тепла; E_D - прихований потік тепла для випарування з поверхні тіла; E_{Re} – сумарний потік тепла для зігріву та зволоження повітря, що вдихає людина, E_{Sw} – потік тепла для випарування поту; S – потік тепла для підтримки температури тіла (нагрівання чи охолодження).

Складові цього рівняння описують як надходження енергії до організму так і її втрату. Одиниця виміру всіх потоків тепла – Ват.

Індивідуальні потоки тепла залежать від метеорологічних параметрів. Так, температура повітря визначає C та E_{Re} , вологість повітря впливає на E_D , E_{Re} , E_{Sw} , швидкість вітру зумовлює значення C , E_{Sw} , а середня радіаційна температура – величину випромінювання тіла. Також при визначенні PET додатково враховують

термо-фізіологічні параметри: тепловий опір одягу (0,9 Кло) і активність людини (додатковий метаболізм при легкій фізичній діяльності – 80 Ват).

Розрахунок *PET* включає наступні кроки:

1) розрахунок, відповідно до моделі MEMI, теплового режиму тіла для даного поєднання метеорологічних параметрів;

2) введення розрахункових значень середньої температури шкіри та внутрішньої температури тіла в модель MEMI та розв'язок рівняння енергетичного балансу людини, залежно від температури повітря. Вхідні параметри рівняння: $v = 0,1$ м/с, $VP = 12$ гПа, $T_{mrt} = T_a$.

Фізіологічно еквівалентну температуру використовують для оцінки теплових навантажень на організм як у теплий, так і холодний періоди року. Від'ємні значення *PET* характеризують ймовірність обмороження, додатні – теплового удару. Діапазон значень *PET* для різних рівнів сприйняття людьми теплового стресу представлені в таблиці 1.

Таблиця 1. Ступінь сприйняття теплового стресу людиною за значеннями *PET*

Значення індексу <i>PET</i> , °C	Сприйняття тепла	Клас теплового стресу
<4	дуже холодно	екстремальний холодний стрес
4-8	холодно	сильний холодний стрес
8-13	прохолодно	помірний холодний стрес
13-18	трохи прохолодно	незначний холодний стрес
18-23	комфортно	не має теплового стресу
23-29	трохи тепло	незначний тепловий стрес
29-35	тепло	помірний тепловий стрес
35-41	спекотно	сильний тепловий стрес
>41	дуже спекотно	екстремальний тепловий стрес

PET, як показник біометеорологічної оцінки середовища, апробований в багатьох дослідженнях і може бути застосований для оцінки теплового комфорту різних кліматичних зон [10, 11, 12]. Це є важливим з точки зору дослідження регіональних особливостей комфортності погоди та клімату. Крім того, вимір *PET* в градусах Цельсія робить цей показник доступним для розуміння населення, який є основним споживачем метеорологічної інформації.

У 2000 році президент Міжнародного товариства з біометеорології (ISB) професор Пітер Хоппе, виніс на порядок денний питання про створення універсального біометеорологічного індексу, який би інтегрував накоплений науковий досвід та знання про погоду і клімат, їх вплив на термічний комфорт людини, емпіричні бази даних, науково-технічний прогрес та досягнення інженерної думки. Для його розробки була створена інтернаціональна комісія вчених (International Society of Biometeorology, Commissions 6), яка розпочала свою діяльність вже того ж року. З 2005 року ініціатива отримала підтримку в рамках проекту «Співпраця в галузі науки і технічного розвитку» (COST Action 730 – Cooperation in Science and Technical Development) за фінансування Європейського Союзу. Метою проекту є забезпечення співпраці європейських вчених з 19 країн, а також експертів з Австралії, Канади, Ізраїлю та Нової Зеландії для досягнення істотного прогресу в роботі з визначення такого показника. Робоча назва індексу – Universal Thermal Climate Index (*UTCI*) [13]. Під терміном «універсальний біометеорологічний індекс» мається на увазі показник, що може бути застосований для оцінки термічного комфорту навколишнього середовища в основних галузях

Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2016. – Т.2(41)

людської діяльності, включаючи службу прогнозу погоди (щоденні прогнози і попередження населення про екстремальні погодні умови) побудова біометеорологічних карт для міського та регіонального планування, екологічні та епідеміологічні дослідження (системи охорони здоров'я та планування безпеки населення), дослідницька діяльність в області змін клімату та їх впливу на здоров'я і життєдіяльність людини тощо. Це охоплює сфери інтересу як державного сектору економіки так і приватний бізнес. В майбутньому *UTCI* має стати міжнародним стандартом. Однак, до нього висунуто ряд вимог. Універсальний індекс повинен:

- бути фізіологічно значущим у всьому діапазоні теплообміну;
- працювати в будь-яких кліматичних умовах незалежно від пори року, масштабу синоптичного процесу чи території;
- бути легко-інтегрованим та корисним додатком (програмою широкого вжитку) в різних напрямках біометеорології. Такими напрямками є оперативне робота Державної служби погоди, попередження про небезпеку екстремальних температур (вітрове охолодження, теплове навантаження) тощо та наукові дослідження: біокліматологічна оцінка, біокліматологічне районування всіх масштабів, міський дизайн і проектування, консультації щодо містобудівництва, кліматотерапія, відпочинок і оздоровлення, епідеміологічні дослідження, дослідження впливу клімату.

UTCI наслідує концепцію ефективної температури: реальні метеорологічні умови порівнюють з еталонним середовищем, коли відносна вологість дорівнює 50 %, штиль (швидкість вітру = 0.1 м/с) і середня радіаційна температура рівна температурі повітря. Розробка індексу передбачає декілька етапів роботи. По-перше це аналіз доступних термофізіологічних моделей енергетичного балансу людини. Ґрунтуючись на проведених дослідженнях Комісією була обрана модель теплообміну Фіала. Наступний крок – вибір оптимальної моделі, що описує теплоізоляцію одягу. Модель має характеризувати поведінку міського населення у виборі одягу залежно від температури повітря, враховувати співвідношення відкритої та захищеної одягом площі тіла і зниження теплоізоляційних властивостей одягу під впливом вітру та рухів людини. Розрахунок, визначеного подібним чином індексу, займає занадто багато часу та вимагає наявності важкодоступної інформації, що знижує його ефективність у оперативній роботі, моделюванні клімату або чисельних прогнозах погоди. Тому, на разі *UTCI* ще перебуває в процесі розробки. Однак, уже запущена офіційна он-лайн платформа проекту, де у вільному доступі розміщені матеріали робочої групи (ISBC6), а також можна за спрощеною моделлю визначити значення *UTCI*. Домінік Фроліч та Анрдеас Матзаракіс провели порівняльний аналіз чутливості *UTCI*, *PET* та *PT* в умовах спеки та сильного вітру [14]. У дослідженні значення універсального індексу визначали за спрощеною моделлю. Вчені прийшли до висновку, що жоден із перевірених індексів, ще не відповідає всім вимогам висунутим до «універсального» індексу, але можуть використовуватись для вирішення різних прикладних задач біометеорології.

На даному етапі розвитку біометеорології найбільш перспективними для оцінки та прогнозу комфортності погодних умов є ті показники, які враховують ефект накопичення негативного впливу комплексу умов. Одним з таких показників є індекс теплового стресу (Heat Stress Index – *HSI*), який був запропонований у 2001 році Ларі Калькстейном [15]. Він визначає теплове навантаження в літній період. *HSI* враховує окрім основних метеорологічних параметрів, що впливають на тепловідчуття людини акумуляцію негативної дії тепла протягом певного періоду, наприклад декількох днів (хвилі спеки).

Алгоритм розрахунку *HSI* (для пункту спостережень, теплий період року) передбачає чотири кроки.

1. Розрахунок значення приведеної температури *AT* за формулою Стедмана для кожного строку спостережень [6]:

$$AT = 2,719 + 0,994 * t + 0,016 * (t_d)^2, \quad (10)$$

де *AT* – значення приведеної температури, °С; *t* – строкові значення приземної температури повітря, °С; *t_d* – строкові значення температури точки роси, °С.

2. Обчислення параметрів атмосфери, пов'язаних з тепловим стресом:

– щоденні середні, максимальні та мінімальні значення приведеної температури (*AT_{min}*, *AT_{max}*, *AT_{mean}*).

– сумарне теплове навантаження за день (Heating Degree Days–HDD) визначається за умови, якщо строкове значення *AT* >18.3 °С:

$$HDD = \sum(AT - 18,3);$$

– середня за день хмарність, виражена у балах(*CCMEAN*);

– кількість послідовних екстремально- теплих днів за декаду (*CONS*).

Екстремально теплим вважається день, якщо *AT_{max}* > δ+ *AT_{mean}*.

3. Визначення для кожної декади значення процентілі параметрів за базовий період. Процентіль - це сота частка обсягу сукупності, виражена у частці від одиниці, якій відповідає певне значення ознаки.

4. Розрахунок теплового навантаження *HSI*, як суми процентілей:

$$HSI = AT_{max} + AT_{min} + HDD + CONS + (1 - CCMEAN). \quad (11)$$

У формулі 11 *CCMEAN* віднімається від одиниці, це пояснює той факт, що саме ясні, а не похмурні погодні умови додають теплове навантаження в денні години.

HSI може приймати значення від 0 до 5. Ступені теплового навантаження, відповідно до значення *HSI*, представлені в таблиці 2.

Таблиця 2. Ступінь теплового навантаження за значеннями *HSI*

Значення індексу <i>HSI</i>	Ступінь теплового навантаження
4-5	екстремальний
3-4	високий
2-3	середній
1-2	низький
0-1	відсутній

Таким чином індекс теплового стресу *HSI* є відносним показником комфортності погодних умов, що враховує відносний стрес і адаптацію людини до погодних умов залежно від місцезнаходження та пори року. Він дає змогу оцінити щоденні середні значення відносного термічного стресу окремо для кожного пункту. Значення *HSI* визначають ступінь термічного навантаження на організм людини певного дня відносно базового періоду, за який може бути прийнято стандартний кліматичний період (1961–1990 рр.) або період сучасного клімату (1981–2010 рр.) тощо. Тобто індекс теплового стресу може слугувати індикатором зміни ступеня теплового навантаження на організм людини, що відбувається внаслідок змін клімату.

Висновки і перспективи дослідження. Протягом останнього століття науковці різних галузей намагались розробити універсальний індекс чи модель, які б точно описували теплове навантаження на організм людини та визначали зони дискомфорту. Більшість робіт окрім, академічного інтересу, мали і практичне застосування, оскільки встановлювали критерії безпеки для працівників, які страждають від теплового стресу. Сучасні методи оцінки комплексного впливу метеорологічних факторів на стан людини досить різноманітні. Всі розроблені біометеорологічні показники, відповідно до їх обґрунтування, можуть біти об'єднані у три групи: прямі, раціональні та емпіричні індекси. Прямі індекси засновані на прямих вимірюваннях метеорологічних величин, які застосують для моделювання теплового навантаження. Раціональні індекси створені на основі рівняння теплового балансу організму людини, що враховує такі метеорологічні показники як температуру оточуючого середовища, сонячне випромінювання, вологість повітря, швидкість вітру, а також процеси обміну речовин, теплоізоляцію одягу тощо. В перші дві групи входять складні показники, для розрахунку яких використовуються дані багатьох фізіологічних показників та факторів навколишнього середовища. В той час, емпіричні показники основані на даних стандартних метеорологічних вимірювань. Очевидно, що прямі та раціональні індекси є більш інформативними і комплексними, ніж емпіричні. Однак, їх практичність в повсякденному використанні сумнівна, оскільки вимагає наявності значної кількості важкодоступної вхідної інформації. Крім того збільшення числа змінних призводить до росту невизначеності показника і споживачам (населення, медичні працівники та ін.) їх важко зрозуміти. Таким чином у практично орієнтованих дослідженнях біоклімату України доцільним є використання групи саме емпіричних індексів.

Перспективою подальшого дослідження у цьому напрямку є проведення порівняльного аналізу чутливості біокліматичних показників у кліматичних умовах що змінюються, дослідження зміни комфортності погоди та клімату на середньострокову та довгострокову перспективи, виявлення зон з найбільш комфортними/дискомфортними для людини умовами.

Список літератури

1. *National Institute of Occupational Safety and Health (NIOSH)*. Occupational Exposure to Hot Environment. – 1986. – P. 140. 2. *Siple P. A.* Measurements of dry atmospheric cooling in subfreezing temperatures / P. A. Siple, C. F. Passel // *Proceedings of the American Philosophical Society*. – April 1945. –V. 89 (1). – P. 177–199 3. *Steadman R G.* Indices of Windchill of Clothed Persons / R. G. Steadman // *Journal of Applied Meteorology*. – February 1971. – V. 10. – P. 674–683. 4. *Williamson S. P.* (coord.). Report on wind chill temperature and extreme heat indices: evaluation and improvement projects / S. P. Williamson // Washington: Office of The Federal Coordinator For Meteorological Services And Supporting Research. 2003. 5. *Parsons K.* Heat Stress Standard ISO 7243 and its Global Application / K. Parsons // *Industrial Health*. – Vol. 44. – P. 368–379. 6. *Steadman R G.* The Assessment of Sultriness. Part I: A Temperature-Humidity index based on Human physiology and clothing science /R.G.Steadman // *Journal of Applied Meteorology*. - July 1979. – V. 18. –P. 861–873. 7. *Steadman R.G.* The Assessment of Sultriness. Part II: Effects of Wind, Extra Radiation and Barometric Pressure on Apparent Temperature /R.G.Steadman // *Journal of Applied Meteorology*. – July 1979. — V. 18. – P. 874–885. 8. ISO 7730, 2005, Ergonomics of the thermal environment—Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria. Geneva: International Standards Organisation. 9. *Hoppe P.* The physiological equivalent temperature – a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment / P. Hoppe // *International Journal of Biometeorology*. – May 1999. – V. 43. – P. 71–75. 10. *Matzarakis A.* Applications of a universal thermal index: physiological equivalent temperature / Andreas Matzarakis, Helmut Mayer, Moses G. Iziomon // *International Journal of Biometeorology*.

Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2016. – Т.2(41)

– May 1999. V. 43. – P. 76–84. **11. Matzarakis A., Amelung B.** Physiological Equivalent Temperature as Indicator for Impacts of Climate Change on Thermal Comfort of Humans / [M.C. Thomson et al.] // Seasonal Forecasts, Climatic Change and Human Health. Springer Science + Business Media B.V, 2008. – Chapter 9. – P. 161–172. **12. Mohan M.** A Modified Approach to Analyze Thermal Comfort Classification/ Manju Mohan, Anuj Gupta, Shweta Bhati // Atmospheric and Climate Sciences. – 2014. – V. 4. – P. 7–19. **13. Hoppe P.** Different aspects of assessing indoor and outdoor thermal comfort / Peter Hoppe // Energy and Buildings. – 2002. –V. – 34. – P. 661–665. **14. Jendritzky G.** The Universal Thermal Climate Index UTCI Goal and state of COST Action 730 / G. Jendritzky, G. Havenith, P. Weihs, E. Batchvarova, R. DeDear // Geophysical Research Abstracts. – 2007. –ISBN 978-80-228-17-60-8 **15. Fröhlich D.** A quantitative sensitivity analysis on the behaviour of common thermal indices under hot and windy conditions in Doha, Qatar / Dominik Fröhlich, Andreas Matzarakis // Theor Appl Climatol. – February 2015.

Кількісна оцінка комфортності погодних умов та клімату

Малицька Л.В.

У статті розглянуто сучасні методи оцінки комплексного впливу метеорологічних факторів на стан людини. Представлено огляд біокліматичних показників, як непрямих індикаторів стану навколишнього середовища. Надана об'єктивна оцінка можливостей їх використання для вирішення практично-орієнтованих задач біокліматології в кліматичних умовах, що змінюються.

Ключові слова: біокліматичні індекси, кількісна оцінка, комфортність погоди та клімату.

Количественная оценка комфортности погодных условий и климата

Малицкая Л.В.

В статье рассмотрены современные методы оценки комплексного влияния метеорологических факторов на состояние человека. Подано обзор биоклиматических показателей, как непрямых индикаторов состояния окружающей среды. Предоставлена объективная оценка возможностей их использования для решения практически-ориентированных задач биоклиматологии в условиях изменения климата.

Ключевые слова: биоклиматические индексы, количественная оценка, комфортность погоды и климата.

Quantitative assessment of weather and climate comfort

Malynska L. V.

The article deals with modern methods of assessing the combined effect of meteorological factors, such as solar radiation, cloud cover, air temperature, relative humidity, wind velocity and others, plus additional factors like considerable sweating rates or heavy clothes, on the human comfort condition. The assessment of the thermal stress and the translation of the stress in terms of physiological and psychological strain is really difficult procedure, that consisting of many different and connected parts. Quantitative assessment of weather and climate comfort is carried out by bioclimatic indices as indirect environmental indicators. The following review summarizes the current knowledge on bioclimatic indices and their correlates to thermal sensation and comfort of human being. This research focuses on the objective assessment of the possibilities to use them to solve bioclimatology-oriented tasks in climate change conditions. All indices that have been suggested can be categorized into one of three groups: “rational indices”, “direct indices”, or “empirical indices”. The first two groups are sophisticated indices, which integrate environmental and physiological variables; they are difficult to calculate and are not feasible for daily use. The latter group comprises of simple indices, which are based on the measurement of basic environmental variables. It is apparent that the “direct indices” and the “rational indices” are more comprehensive than the “empirical indices”, but their practicality in daily use is questionable. Empirical indices are the most user-friendly.

From 2000's to nowadays attempts have been made to construct a universal thermal climate index, which would integrate the accumulated experience and scientific knowledge about weather and climate, and their impact on human thermal comfort, an empirical database, scientific and technical progress and achievement of engineering. Now this issue is still open and needs to be resolved.

Keywords: bioclimatic indices, quantitative assessment, weather and climate comfort.

Надійшла до редколегії 25.03.2016