

Біокліматичні умови Львова під час проявів хвиль тепла

Шевченко О.Г.*, Сніжко С.І., Матвієнко М.О.

*Кафедра метеорології та кліматології, Географічний факультет, Київський національний університет імені Тараса Шевченка, м. Київ, Україна, e-mail: olga.s.meteo@gmail.com

Надійшла до редакційної колегії: 05.05.2021.

Прийнята: 20.05.2021.

Анотація. Хвилі тепла призводять до теплового стресу і здійснюють суттєвий вплив на самопочуття, працездатність та здоров'я людей і можуть призвести до помітного короточасного зростання захворюваності і

навіть смертності. Метою даного дослідження є оцінка біокліматичних умов міста Львова під час проявів хвиль тепла в літні місяці з використанням сучасного біокліматичного індексу – фізіологічно еквівалентної температури (ФЕТ). Для отримання значень ФЕТ в даному дослідженні нами була використана модель «RayMan». За період 1961–2015 рр. у Львові зафіксовано 23 випадки хвиль тепла, з яких 18 – у сучасний період (1991–2015 рр.), а 5 – за період кліматичної норми. Оцінка біокліматичних умов під час хвиль тепла, показала, що в ці періоди спостерігаються умови від легкого до екстремального теплового стресу. При цьому днів з легким тепловим стресом зафіксовано 11.4 % від загальної кількості, днів з помірним тепловим стресом – 47.2 %, з сильним – 35.2 %, з екстремальним – 6.3 % днів. Встановлено, що хвиля тепла серпня 2015 року була найтривалішою та найінтенсивнішою для Львова з 1961 року. Добовий хід значень ФЕТ під час цієї ХТ характеризувався мінімальними значеннями перед сходом Сонця або в ранкові години і максимальними значеннями о 15.00 за київським поясним часом (КПЧ). В більшості випадків тепловий стрес фіксувався з 9.00 і тривав до 18.00 КПЧ.

Ключові слова: біокліматичні умови, хвиля тепла, фізіологічно еквівалентна температура, тепловий стрес.

Thermal comfort conditions during heat wave events in Lviv

Shevchenko O., Snizhko S., Matviienko M.

Taras Shevchenko National University, Kyiv, Ukraine

Taras Shevchenko National University, Kyiv, Ukraine, e-mail: olga.s.meteo@gmail.com

Abstract. A meteorological phenomenon that consists of abnormally hot weather conditions, lasting several days or longer and that belongs to the atmosphere's synoptic-scale circulation is termed a Heat Wave. Heat waves cause heat stress and have significant impacts on the wellbeing, efficiency and health of humans, and can lead to marked short-term increases in morbidity and mortality. The aim of this work is an assessment of the thermal comfort conditions in Lviv during summer heat wave events for the period 1961–2015. The assessment is based on the thermal index Physiologically Equivalent Temperature (PET). The calculation of PET is performed utilizing the RayMan model. As shown in the study, during the period of 1961–2015, 23 heat wave events were found in Lviv. Those HWs were characterized by different duration (from 6 to 14 days) and intensity (with the maximum value of cumulative $T_{a,MAX}$ – 48.8°C). The obtained results suggest that the HW event of 2015 was the longest and the most strenuous HW in human-biometeorological terms in Lviv since 1961. Strong and extreme heat stress also prevailed in Lviv at 15.00 EEST during this HW event. The diurnal variation of PET values during the HW was similar to that of the air temperature with minimum values in the early morning and maximum in the afternoon (15.00 EEST). Mainly, throughout the period, days occurred on which heat stress occurred for 9 hours (9.00–18.00 EEST). The findings obtained in this study can be used in public health protection, regional and urban planning, various aspects of tourism and recreation areas, and research in climate change.

Keywords: human thermal comfort conditions, heat wave, physiologically equivalent temperature, heat stress.

Вступ. Хвиля тепла – це атмосферне явище, що проявляється у вигляді аномально спекотної погоди, яка зберігається протягом певного періоду і охоплює значні території. Хвилі тепла літнього періоду очолюють список екстремальних погодних і кліматичних явищ (Gershunov et al., 2009). Дуже потужні хвилі тепла спостерігалися в Центральній Європі в червні і серпні 2003 р. (Fink et al., 2004), в червні та липні 2006 р. (Fouillet et al., 2008; Rebetez et al., 2009), влітку 2015 р. (Hoy et al., 2017; Krzyżewska & Dyer, 2018), а також – в Східній Європі та Європейській частині Російської Федерації в липні та серпні 2010 р. (Grumm, 2011; Shevchenko et al., 2014). Хвилі тепла призводять до теплового стресу і здійснюють суттєвий вплив на самопочуття, працездатність та здоров'я людей і можуть призвести до помітного короточасного зростання захворюваності і навіть смертності (Basu, 2009; Kovats & Kristie, 2006). Оскільки, погодно-кліматичні умови конкретного регіону чи міста впливають на комфортність території для проживання населення і належать до визначальних чинників для розвитку рекреації та туризму, то зростання повторюваності хвиль тепла, їх тривалості та інтенсивності, може суттєво вплинути на біоклімат певної території і та її туристичну привабливість. Зважаючи на те, що Львів є одним із центрів міського туризму в Україні, очевидною є необхідність оцінки біоклімату цього міста під час прояву хвиль тепла, адже, результати таких досліджень можуть стати підґрунтям для розробки заходів адаптації міста до спеки.

Метою даного дослідження є оцінка біокліматичних умов міста Львова під час проявів хвиль тепла в літні місяці з використанням сучасного біокліматичного індексу – фізіологічно еквівалентна температура.

Матеріали і методи досліджень. В метеорології на сьогоднішній день не існує єдиного універсального визначення хвиль тепла, що використовувалося б як критерій для виявлення цієї аномалії у всіх без винятку дослідженнях (Gershunov et al., 2009). Проте, множина існуючих підходів до ідентифікації ХТ, дозволяє обрати оптимальний залежно від мети дослідження і характеристик території. У наших попередніх дослідженнях (Shevchenko & Snizhko, 2012) обґрунтовано зручність використання визначення ХТ, що рекомендоване Міжнародною групою експертів зі зміни клімату, для дослідження проявів цього явища на території України. Тому для ідентифікації випадків ХТ та подальшого вивчення впливу цього явища на біокліматичні умови м. Львова нами застосовувалися наступні критерії: хвиля тепла – це період, протягом якого максимальна добова температура повітря понад 5 послідовних днів перевищує середню максимальну температуру повітря за цей день за період 1961–1990 рр. на 5°C. Для ідентифікації випадків ХТ в даному дослідженні була використана максимальна добова температура повітря за 1 червня–31 серпня 1961–2015 рр., отримана на метеорологічній станції Львів.

Значна мінливість термічного та вітрового режимів і поля вологості в межах урбанізованого середовища, а також висока густина населення (що, відповідно, зазнає впливу цього середовища) визначає необхідність застосування для оцінки біоклімату міста найбільш сучасних та об'єктивних біокліматичних індексів (БІ), що ґрунтуються на рівнянні енергетичного балансу, та при розрахунках яких враховується середня радіаційна температура.

Серед європейських вчених одним з найпопулярніших БІ є фізіологічно-еквівалентна температура (ФЕТ) (*physiological equivalent temperature (PET)* – англ.), запропонована Нөрре (1999). Фізіологічно-еквівалентна температура – це біокліматичний індекс, виведений з рівняння енергетичного балансу людини, що може застосовуватися для оцінки термічних складових різних кліматів. Одиницями вимірювання ФЕТ є °C, що робить даний індекс дуже зручним для використання не лише фахівцями, але й архітекторами, міськими чи регіональними планувальниками, які можуть бути не так добре знайомі з термінологією сучасної біокліматології та екологічної кліматології.

Lee et al. (2013) зазначають, що на сьогоднішній день за допомогою даного Бі здійснено оцінки біоклімату в різних куточках нашої планети. Ткачук (2012), провівши аналітичний огляд Бі, також дійшов до висновку, що ФЕТ є дуже вдалим універсальним біокліматичним індексом, адже, в ньому враховано повне рівняння теплового балансу, температура внутрішніх органів, інтенсивність потовиділення, вологість шкіри та метеорологічні параметри. Індекс може використовуватися для будь-якого клімату і, як для середньостатистичної людини, так і для кожного окремого індивідуума. Свідченням переваг та універсальності ФЕТ, є не лише його значне поширення серед науковців-метеорологів, а також те, що Директива Німецької асоціації інженерів (Verein Deutscher Ingenieure (VDI) – нім.) № 3787, частина II «Методи біокліматичної оцінки клімату для людини та якості повітря для міського та регіонального планування, частина I: клімат» (VDI, 1998), рекомендує використання ФЕТ для оцінки термальних компонентів різних кліматів.

Детальний аналіз статей з біометеорології, опублікованих у рецензованих журналах свідчить про те, що серед 165 Бі, які були розроблені, ФЕТ є найбільш вживаним. Фізіологічно-еквівалентна температура застосовувалася для дослідження біокліматичних умов у 30.2 % досліджень, проаналізованих Potchter et al. (2018). В той час як на застосування PMV – припадало 10.1 %, UTCI – 8.0 %, SET – 5.0 %, інші індекси виявилися значно менш вживаними. Для оцінки біоклімату та комфортності середовища за ФЕТ були розроблені наступні його градації (табл. 1).

Таблиця 1. Градації фізіологічно-еквівалентної температури [Matzarakis et al., 1999]

| ФЕТ (°C) | Тепловідчуття | Оцінка фізіологічного стресу |
|-------------|-------------------|-------------------------------|
| менше 4.0 | дуже холодно | екстремальний холодний стрес |
| 4.1–8.0 | холодно | сильний холодний стрес |
| 8.1–13.0 | прохолодно | помірний холодний стрес |
| 13.1–18.0 | злегка прохолодно | легкий холодний стрес |
| 18.1–23.0 | комфортно | відсутність термічного стресу |
| 23.1–29.0 | злегка тепло | легкий тепловий стрес |
| 29.1–35.0 | тепло | помірний тепловий стрес |
| 35.1–41.0 | спекотно | сильний тепловий стрес |
| більше 41.0 | дуже спекотно | екстремальний тепловий стрес |

Для отримання значень ФЕТ в даному дослідженні нами була використана модель «RayMan» (Matzarakis et al., 2007), що є оптимальним інструментом для розрахунків сучасних біокліматичних індексів, і яка набула значного поширення серед вчених всього світу для вирішення аналогічних задач (Abreu-Harbach et al., 2014; Błażejczyk & Matzarakis, 2007; Katerusha & Matzarakis, 2015; Lin & Matzarakis, 2011; Mahmoud, 2011; Matzarakis & Endler, 2010; Matzarakis & Nastos, 2011; Omonijo et al., 2013). В якості вхідної інформації для моделі була використана температура та вологість повітря, швидкість вітру та хмарність за 12.00 за міжнародним скоординованим часом (МСЧ), отримана на метеорологічній станції Львів під час випадків хвиль тепла за червень–серпень 1961–2015 рр. Для дослідження добового ходу значень ФЕТ – значення тих же метеорологічних величин за всі строки спостережень за період з 3 по 16 серпня 2015 р. Моделювання здійснено для «стандартної людини» – зростом 175 см, вагою – 75 кг, віком – 35 років та чоловічої статі. Теплопродукція при здійсненні моделювання бралася рівною 80 В (що відповідає стану спокою людини, яка знаходиться у вертикальному положенні, а теплоопірність одягу – 0.9 КЛО (стандартна теплоопірність одягу для умов високих температур).

Результати та їх аналіз. Динаміка та аналіз характеристик хвиль тепла у Львові. В результаті аналізу рядів максимальної добової температури повітря було встановлено, що за червень–серпень 1961–2015 рр. у Львові зафіксовано 23 випадки ХТ, що відповідали критеріям визначення цього явища, яке використано в даному дослідженні. При цьому чітко простежуються

нерівномірність прояву в часі даного атмосферного явища: за період кліматичної норми (1961–1990 рр.) зафіксовано 5 випадків ХТ, а за 1991–2015 рр. – 18 випадків (рис. 1). Варто відмітити, що за 1965–1981 рр. у Львові не було зафіксовано жодного випадку хвиль тепла. За досліджуваний період загальна тривалість ХТ у Львові становила 176 днів, при цьому в сучасний період – 143 дні, що більш ніж у 4 рази перевищує тривалість хвиль тепла у місті за період кліматичної норми.

Середня тривалість ХТ у Львові за досліджуваний період становила 7.7 дня, коливаючись при цьому від 6 до 14 днів (табл. 2). Слід зазначити, що оскільки існує низка визначень цього явища, згідно яких хвилею тепла може бути визначений епізод (за умови якщо задовольняються інші критерії) мінімальною тривалістю від трьох днів (Ding et al., 2010; Kyselý, 2010) а також, зважаючи на негативний вплив спеки на людський організм, навіть випадки тривалістю 6 днів не можна вважати короткими і вони потребують подальшого аналізу. Адже, ці спекотні періоди могли призвести до суттєвого погіршення біокліматичних умов та вплинути на здоров'я людей.

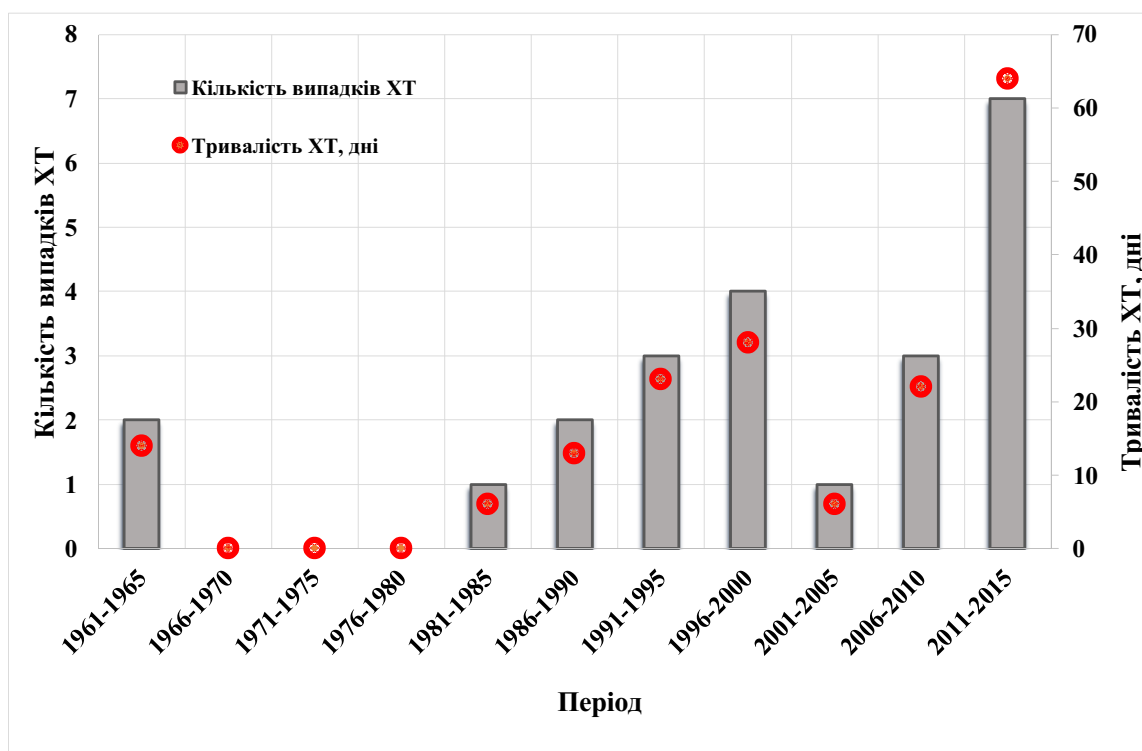


Рис. 1. Кількість випадків хвиль тепла та їх загальна тривалість у Львові за період 1961–2015 рр.

Для характеристики інтенсивності ХТ, як правило, використовується кумулятивна T_{MAX} протягом окремої ХТ. Kyselý (2002) зазначає, що ця характеристика є найзручнішою для вирішення такої задачі. Зазвичай кумулятивну T_{MAX} протягом окремої ХТ розраховують як суму різниць між максимальною добовою температурою повітря та певним граничним значенням, що залежить від визначення хвиль тепла, яке використовується.

Хвилі тепла, які спостерігалися у Львові за досліджуваний період, суттєво відрізнялися за інтенсивністю – від $7.5^{\circ}C$ за кумулятивною максимальною температурою (ХТ серпня 2001 р.) до 48.3 та $48.8^{\circ}C$ (ХТ липня 2012 р. та ХТ серпня 2015 р., відповідно). Середня максимальна температура повітря під час випадків хвиль тепла варіювалася несуттєво – від $27.2^{\circ}C$ (під час ХТ червня 1998 р.) до $31.9^{\circ}C$ (під час ХТ серпня 2015 р.).

Таблиця 2. Характеристика випадків ХТ у Львові за період 1961–2015 рр.

| Дати | Тривалість ХТ (дні) | Кумулятивна $T_{a,MAX}$ (°C) | Середня максимальна температура повітря під час ХТ (°C) |
|--------------------|---------------------|------------------------------|---|
| 01.08–08.08.1963 | 8 | 20.3 | 31.5 |
| 19.06–24.06.1964 | 6 | 13.0 | 29.3 |
| 01.06–06.06.1982 | 6 | 15.1 | 27.4 |
| 17.07–23.07.1987 | 7 | 10.9 | 29.6 |
| 07.07–12.07.1989 | 6 | 12.5 | 29.2 |
| 26.08–31.08.1992 | 6 | 33.9 | 31.6 |
| 25.07–03.08.1994 | 10 | 34.2 | 31.6 |
| 19.08–25.08.1995 | 7 | 19.6 | 28.9 |
| 07.06–12.06.1996 | 6 | 16.9 | 29.1 |
| 03.06–12.06.1998 | 10 | 13.7 | 27.2 |
| 10.06–15.06.1999 | 6 | 12.1 | 27.8 |
| 17.08–22.08.2000 | 6 | 28.1 | 31.5 |
| 17.08 – 22.08.2001 | 6 | 7.5 | 28.1 |
| 05.07–12.07.2006 | 8 | 11.5 | 28.5 |
| 13.06–18.06.2007 | 6 | 10.2 | 27.5 |
| 15.07–22.07.2007 | 8 | 28.8 | 31.7 |
| 01.06–08.06.2011 | 8 | 22.0 | 28.1 |
| 17.06–22.06.2012 | 6 | 21.9 | 30.1 |
| 30.06–11.07.2012 | 12 | 48.8 | 31.0 |
| 20.08 – 26.08.2012 | 7 | 21.4 | 29.1 |
| 05.08 – 10.08.2013 | 6 | 15.3 | 31.4 |
| 26.07–05.08.2014 | 11 | 29.3 | 30.9 |
| 03.08–16.08.2015 | 14 | 48.3 | 31.9 |

Біокліматичні умови під час хвиль тепла. Для аналізу біокліматичних умов під час літніх ХТ за багаторічний період, як правило, використовують дані за один із денних строків спостережень, коли фіксуються найвищі температури повітря і відповідно, інтенсивність теплового стресу – також найвища. В даному дослідженні оцінка біоклімату Львова під час ХТ здійснена з використанням значень фізіологічно еквівалентної температури за 12.00 МСЧ.

Аналіз біокліматичних умов під час двадцяти трьох хвиль тепла, що зафіксовані у Львові з 1961 р., показав, що в ці періоди спостерігаються умови від легкого до екстремального теплового стресу (табл. 3). Днів з комфортними умовами в ці періоди не спостерігалось, днів з легким тепловим стресом було зафіксовано лише 11.4 % від загальної кількості днів під час ХТ. Переважали дні з помірним (47.2 %) та сильним тепловим стресом (35.2 %). Екстремальним тепловим стресом характеризувалося 6.3 % днів. Крім того, слід зазначити, що дні з легким тепловим стресом фіксувалися переважно на початку або вкінці епізодів хвиль тепла, найчастіше вони пов'язані з хмарністю, яка помітно знижує опромінення людського організму прямою сонячною радіацією, впливає на середню радіаційну температуру та, відповідно, знижує значення ФЕТ.

Також в окремі дні легкий тепловий стрес о 12.00 МСЧ фіксувався у випадку випадання опадів у строк спостережень або близький до нього час, що відповідно знижувало температуру повітря, могло супроводжуватися зростанням швидкості вітру та, відповідно, призводило до зниження інтенсивності теплового стресу. Середнє значення ФЕТ під час окремої хвилі тепла о 12.00 МСЧ варіювалося від 29.8°C (ХТ червня 1999 р.) до 38.1°C (ХТ серпня 2015 р.), а найвище абсолютне значення становило 47.7°C (також під час ХТ серпня 2015 р.).

Таблиця 3. Біокліматичні умови під час випадків ХТ у м. Львові за 1961–2015 рр.

| Дати і тривалість (дні) | Середнє значення ФЕТ за період ХТ о 12.00 МСЧ (°С) | Діапазон значень ФЕТ (°С) о 12.00 МСЧ за період ХТ |
|-------------------------|--|--|
| 01.08 – 08.08.1963 (8) | 36.4 | 30.6 (помірний) – 47.3 (екстремальний) |
| 19.06 – 24.06.1964 (6) | 31.3 | 27.3 (легкий) – 36.3 (сильний) |
| 01.06 – 06.06.1982 (6) | 31.9 | 27.8 (легкий) – 44.7 (екстремальний) |
| 17.07 – 23.07.1987 (7) | 34.3 | 29.4 (помірний) – 45.9 (екстремальний) |
| 07.07 – 12.07.1989 (6) | 32.0 | 26.3 (легкий) – 34.2 (помірний) |
| 26.08 – 31.08.1992 (6) | 34.2 | 29.7 (помірний) – 37.0 (сильний) |
| 25.07 – 03.08.1994 (10) | 36.3 | 34.5 (помірний) – 38.2 (сильний) |
| 19.08 – 25.08.1995 (7) | 35.8 | 31.1 (помірний) – 43.9 (екстремальний) |
| 07.06 – 12.06.1996 (6) | 36.1 | 30.6 (помірний) – 45.5 (екстремальний) |
| 3.06 – 12.06.1998 (10) | 30.2 | 26.0 (легкий) – 41.9 (екстремальний) |
| 10.06 – 15.06.1999 (6) | 29.8 | 26.8 (легкий) – 32.5(помірний) |
| 17.08 – 22.08.2000 (6) | 36.2 | 25.3 (легкий) – 43.5 (екстремальний) |
| 17.08 – 22.08.2001 (6) | 34.2 | 31.2 (помірний) – 35.3 (сильний) |
| 05.07 – 12.07.2006 (8) | 33.4 | 29.4 (помірний) – 45.1 (екстремальний) |
| 13.06 – 18.06.2007 (6) | 30.3 | 27.6 (легкий) – 33.8 (помірний) |
| 15.07 – 22.07.2007 (8) | 37.3 | 29.4 (помірний) – 46.2 (екстремальний) |
| 01.06 – 08.06.2011 (8) | 31.6 | 28.4 (легкий) – 34.7 (помірний) |
| 17.06 – 22.06.2012 (6) | 33.3 | 23.2 (легкий)– 37.3 (сильний) |
| 30.06 – 11.07.2012 (12) | 35.6 | 30.7 (помірний) – 39.7 (сильний) |
| 20.08 – 26.08.2012 (7) | 32.5 | 27.7 (легкий) – 36.3 (сильний) |
| 05.08 – 10.08.2013 (6) | 36.5 | 32.7 (помірний) – 40.6 (сильний) |
| 26.07 – 05.08.2014 (11) | 34.1 | 28.7 (легкий) – 39.5 (сильний) |
| 03.08 – 16.08.2015 (14) | 38.1 | 34.4 (помірний) – 47.7(екстремальний) |

Таким чином, проведений аналіз випадків ХТ, що спостерігалися у Львові за досліджуваний період, свідчить, що хвиля тепла серпня 2015 року – була найтривалішою та найінтенсивнішою для цього міста з 1961 року. За даними (Krzyżewska & Dyer, 2018) середня температура повітря в першій половині серпня 2015 р. була найвищою для цього періоду з 1980 року на більшості метеорологічних станцій Польщі, для деяких метеорологічних станцій західної України, а також – для окремих станцій Білорусі та Литви.

Хвиля тепла першої половини серпня 2015 р. була однією з найпотужніших в Центральній та Східній Європі (Hou et al., 2017). Krzyżewska and Dyer (2018) відносять цей випадок до мегахвиль тепла (МХТ) і зазначають, що серед 6 МХТ, які зафіксовані з 1945 року на території Польщі, цей характеризувався найвищою тривалістю та охоплював більшу територію, ніж інші. За даними Krzyżewska (2020) та Tomczyk et al. (2020) під час ХТ серпня 2015 року в Польщі найбільшим тепловим стресом характеризувалися 7 та 8 серпня. Аналіз значень ФЕТ та максимальної температури під час цієї ХТ у Львові не підтвердив, що ці дні характеризувалися найсильнішим тепловим стресом у даному місті. Виникнення та існування ХТ першої половини серпня 2015 р. пов'язано з потужною системою високого тиску. Tomczyk et al. (2019) встановив, що антициклон стаціонував над більшою частиною північної, центральної та східної Європи, а його центр (з тиском понад 1020 гПа) був розташований над західною частиною Російської Федерації. Проаналізувавши карти баричної топографії для різних ізобаричних поверхонь, Tomczyk показав, що антициклональні блокуючі утворення над центральною Європою влітку стримують зональний потік повітряних мас та посилюють меридіональний, що призводить до адвекції тропічних повітряних мас.

Добовий хід значень ФЕТ під час хвилі тепла першої половини серпня 2015 року у Львові є близьким до типового добового ходу температури повітря з мінімальними значеннями перед сходом Сонця або в ранкові години (рис. 2) і максимальними значеннями о 15.00 КПЧ.

Слід зазначити, що аналогічний добовий хід значень ФЕТ під час хвиль тепла був отриманий в роботах (Konstantinov et al., 2014; A Matzarakis et al., 2009; Tomczyk et al., 2020).

Під час ХТ першої половини серпня 2015 р. тепловий стрес розпочинався з 9.00 КПЧ (або в окремі дні дещо пізніше) і тривав до 18.00 КПЧ, а 7 і 12 серпня – до 21.00 КПЧ. Таким чином, під час хвилі тепла мешканці міста майже кожного дня зазнавали теплового стресу тривалістю близько 9 годин. О 15-й годині КПЧ під час цієї хвилі тепла у Львові переважав сильний та екстремальний тепловий стрес.

За даними Tomczyk et al. (2020), на території Польщі в цей строк спостережень значення ФЕТ переважно належали до тих самих градацій.

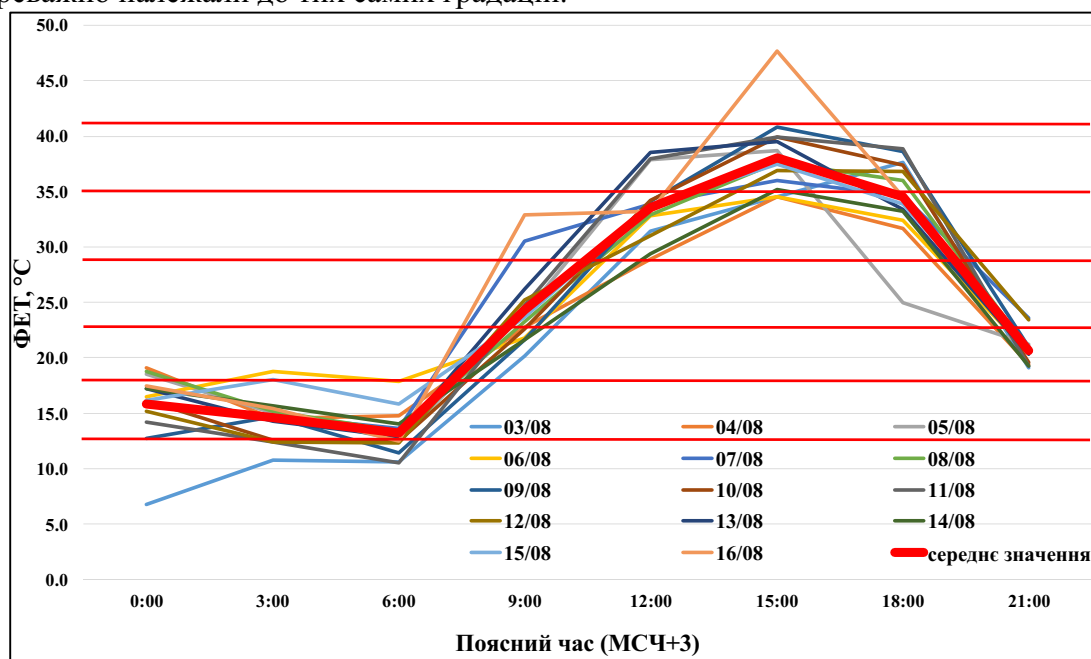


Рис. 2. Добовий хід значень ФЕТ під час ХТ першої половини серпня 2015 р.

Висновки. За період 1961–2015 рр. у Львові зафіксовано 23 випадки хвиль тепла (загальною тривалістю 176 днів), з яких 18 – у сучасний період (1991–2015 рр.), а 5 – за період кліматичної норми. Середня тривалість ХТ у Львові за досліджуваний період становила 7.7 дня, коливаючись при цьому від 6 до 14 днів. Найвища інтенсивність за кумулятивною максимальною температурою – 48.8°C (під час ХТ серпня 2015 р.). Оцінка біокліматичних умов під час хвиль тепла, здійснена з використанням сучасного біокліматичного індексу фізіологічно еквівалентної температури, показала, що в ці періоди спостерігаються умови від легкого до екстремального теплового стресу. При цьому днів з легким тепловим стресом зафіксовано 11.4 % від загальної кількості днів під час ХТ, днів з помірним тепловим стресом – 47.2 %, з сильним – 35.2 %, з екстремальним – 6.3 % днів. Встановлено, що за досліджуваний період у Львові хвиля тепла серпня 2015 року була найтривалішою та найінтенсивнішою для цього міста з 1961 року. О 15-й годині під час цієї хвилі тепла у Львові переважав сильний та екстремальний тепловий стрес, а добовий хід значень ФЕТ був близьким до типового добового ходу температури повітря з мінімальними значеннями перед сходом Сонця або в ранкові години і максимальними значеннями о 15.00 за КПЧ. Під час ХТ тепловий стрес розпочинався з 9.00 або в окремі дні дещо пізніше і тривав до 18.00, а 7 і 12 серпня – до 21.00. Отримані результати можуть бути використані для розробки заходів адаптації міста до теплового стресу, розробки та впровадження системи оповіщення про спекотну погоду, що може зашкодити здоров'ю (*Heat Health Warning System* –

англ.), що вже діють у багатьох Європейських містах, а також – при плануванні туристичних та бізнес-поїздок до Львова у літні місяці.

Список використаних джерел

- Abreu-Harbach, L. V., Labaki, L. C., Matzarakis, A., Abreu-Harbach, L. V., Labaki, L. C., & Matzarakis, A. (2014). Thermal bioclimate as a factor in urban and architectural planning in tropical climates-The case of Campinas, Brazil. 17, 489–500. <https://doi.org/10.1007/s11252-013-0339-7>
- Basu, R. (2009). High ambient temperature and mortality: a review of epidemiologic studies from 2001 to 2008. *Environmental Health*, 8(1), 40. <https://doi.org/10.1186/1476-069X-8-40>
- Błażejczyk, K., & Matzarakis, A. (2007). Assessment of bioclimatic differentiation of Poland based on the human heat balance. In *Geographia Polonica* (Vol. 80, Issue 1). [https://www.urbanclimate.net/matzarakis/papers/Bioclimatic differentiation of Poland.pdf](https://www.urbanclimate.net/matzarakis/papers/Bioclimatic%20differentiation%20of%20Poland.pdf)
- Ding, T., Qian, W., & Yan, Z. (2010). Changes in hot days and heat waves in China during 1961-2007. *International Journal of Climatology*, 30(10), 1452–1462. <https://doi.org/10.1002/joc.1989>
- Fink, A. H., Brücher, T., Krüger, A., Leckebusch, G. C., Pinto, J. G., & Ulbrich, U. (2004). The 2003 European summer heatwaves and drought -synoptic diagnosis and impacts. *Weather*, 59(8), 209–216. <https://doi.org/10.1256/wea.73.04>
- Fouillet, A., Rey, G., Wagner, V., Laaidi, K., Empereur-Bissonnet, P., Le Tertre, A., Frayssinet, P., Bessemoulin, P., Laurent, F., De Crouy-Chanel, P., Jouglu, E., & Hémon, D. (2008). Has the impact of heat waves on mortality changed in France since the European heat wave of summer 2003? A study of the 2006 heat wave. *International Journal of Epidemiology*, 37(2), 309–317. <https://doi.org/10.1093/ije/dym253>
- Gershunov, A., Cayan, D. R., & Iacobellis, S. F. (2009). The great 2006 heat wave over California and Nevada: Signal of an increasing trend. *Journal of Climate*, 22(23), 6181–6203. <https://doi.org/10.1175/2009JCLI2465.1>
- Grumm, R. H. (2011). The central European and Russian heat event of July-August 2010. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 92(10), 1285–1296. <https://doi.org/10.1175/2011BAMS3174.1>
- Höppe, P. (1999). The physiological equivalent temperature - a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment. *International Journal of Biometeorology*, 43(2), 71–75. <https://doi.org/10.1007/s004840050118>
- Hoy, A., Hänsel, S., Skalak, P., Ustrnul, Z., & Bochníček, O. (2017). The extreme European summer of 2015 in a long-term perspective. *International Journal of Climatology*, 37(2), 943–962. <https://doi.org/10.1002/joc.4751>
- Katerusha, O., & Matzarakis, A. (2015). Thermal bioclimate and climate tourism analysis for Odessa, Black Sea. *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography*, 97(4), 671–679. <https://doi.org/10.1111/geoa.12107>
- Konstantinov, P. I., Varentsov, M. I., & Malinina, E. P. (2014). Modeling of thermal comfort conditions inside the urban boundary layer during Moscow's 2010 summer heat wave (case-study). *Urban Climate*, 10(P3), 563–572. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2014.05.002>
- Kovats, R. S., & Kristie, L. E. (2006). Heatwaves and public health in Europe. *European Journal of Public Health*, 16(6), 592–599. <https://doi.org/10.1093/eurpub/ckl049>
- Krzyżewska, A., & Dyer, J. (2018). The August 2015 mega-heatwave in Poland in the context of past events. *Weather*, 73(7), 207–214. <https://doi.org/10.1002/wea.3244>
- Krzyżewska, A., Wereski, S., & Demczuk, P. (2020). Biometeorological conditions during an extreme heatwave event in Poland in August 2015. *Weather*, 75(6), 183–189. <https://doi.org/10.1002/wea.3497>
- Kysely, J. (2002). Temporal fluctuations in heat waves at Prague-Klementinum, the Czech Republic, from 1901-97, and their relationships to atmospheric circulation. *International Journal of Climatology*, 22(1), 33–50. <https://doi.org/10.1002/joc.720>
- Kysely, J. (2010). Recent severe heat waves in central Europe: how to view them in a long-term prospect? *International Journal of Climatology*, 30(1), 89–109. <https://doi.org/10.1002/joc.1874>
- Lee, H., Holst, J., & Mayer, H. (2013). Modification of Human-Biometeorologically Significant Radiant Flux Densities by Shading as Local Method to Mitigate Heat Stress in Summer within Urban Street Canyons.

- Advances in Meteorology, 2013, 1–13. <https://doi.org/10.1155/2013/312572>
- Lin, T.-P., & Matzarakis, A. (2011). Tourism climate information based on human thermal perception in Taiwan and Eastern China. *Tourism Management*, 32(3), 492–500. https://www.academia.edu/22483431/Tourism_climate_information_based_on_human_thermal_perception_in_Taiwan_and_Eastern_China
- Mahmoud, A. H. A. (2011). Analysis of the microclimatic and human comfort conditions in an urban park in hot and arid regions. *Building and Environment*, 46(12), 2641–2656. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.06.025>
- Matzarakis, A., Mayer, H., & Iziomon, M. G. (1999). Applications of a universal thermal index: physiological equivalent temperature. *International Journal of Biometeorology*, 43(2), 76–84. <https://doi.org/10.1007/s004840050119>
- Matzarakis, A., & Endler, C. (2010). Climate change and thermal bioclimate in cities: impacts and options for adaptation in Freiburg, Germany. *International Journal of Biometeorology*, 54(4), 479–483. <https://doi.org/10.1007/s00484-009-0296-2>
- Matzarakis, A., & Nastos, P. (2011). Analysis of tourism potential for crete island, greece. In *Global NEST Journal* (Vol. 13, Issue 2). https://journal.gnest.org/sites/default/files/Journal_Papers/141-149_774_Matzarakis_13-2.pdf
- Matzarakis, A., Rocco, M., & Najjar, G. (2009). Thermal bioclimate in Strasbourg - the 2003 heat wave. *Theoretical and Applied Climatology*, 98(3–4), 209–220.
- Matzarakis, A., Rutz, F., Matzarakis, A., Rutz, F., & Mayer, H. (2007). Modelling radiation fluxes in simple and complex environments - Application of the RayMan model. *Modelling radiation fluxes in simple and complex. Int J Biometeorol*, 51, 323–334. <https://doi.org/10.1007/s00484-006-0061-8>
- Omonijo, A. G., Adeofun, C. O., Oguntoke, O., & Matzarakis, A. (2013). Relevance of thermal environment to human health: a case study of Ondo State, Nigeria. *Theoretical and Applied Climatology*, 113(1–2), 205–212. <https://doi.org/10.1007/s00704-012-0777-9>
- Potchter, O., Cohen, P., Lin, T.-P., & Matzarakis, A. (2018). Outdoor human thermal perception in various climates: A comprehensive review of approaches, methods and quantification. *The Science of the Total Environment*, 631–632, 390–406. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.02.276>
- Rebetez, M., Dupont, O., & Giroud, M. (2009). An analysis of the July 2006 heatwave extent in Europe compared to the record year of 2003. *Theoretical and Applied Climatology*, 95(1–2), 1–7. <https://doi.org/10.1007/s00704-007-0370-9>
- Shevchenko, O., & Snizhko, S. (2012). Khvyli tepla ta osnovni metodolohichni problemy, shcho vynykaiut pry yikh doslidzhenni. [The heat waves main methodological problems, which appears during the research.] *Ukranian Hydrometeorological Journal*, 11, 101–108. <http://uhmj.odeku.edu.ua/wp-content/uploads/2012/10/13.pdf> (In Ukrainian)
- Shevchenko, O., Lee, H., Snizhko, S., & Mayer, H. (2014). Long-term analysis of heat waves in Ukraine. *International Journal of Climatology*, 34(5), 1642–1650. <https://doi.org/10.1002/joc.3792>
- Tkachuk S. V. (2012). Obzor indeksov stepeni komfortnosti pogodnykh usloviy i ikh svyaz' s pokazatelyami smertnosti. [A review of indexes of the degree of comfort of weather conditions and their relationshi p with mortality rates] *Transactions of the Hydrometeorological Research Center of the Russian Federation*, 347, 194–214. <http://www.meteoinfo.ru> (In Russian)
- Tomczyk, A. M., Bednorz, E., & Matzarakis, A. (2020). Human-biometeorological conditions during heat waves in Poland. *International Journal of Climatology*, 40(12), 5043–5055. <https://doi.org/10.1002/joc.6503>
- Tomczyk, A. M., Bednorz, E., Półrolniczak, M., & Kolendowicz, L. (2019). Strong heat and cold waves in Poland in relation with the large-scale atmospheric circulation. *Theoretical and Applied Climatology*, 137(3–4), 1909–1923. <https://doi.org/10.1007/s00704-018-2715-y>
- VDI – Verein Deutscher Ingenieure e.V. <https://www.vdi.de/>