

Особливості динаміки хвиль тепла в окремих містах України

Тамерлан Абісалович Сафранов¹,

д. геол.-мін. н., професор, зав. кафедри екології та охорони довкілля

¹Одеського державного екологічного університету, вул. Львівська, 15, м. Одеса, 65016, Україна,

e-mail: safranov@ukr.net, <http://orcid.org/0000-0003-0928-5121>;

Галина Павлівна Катеруша¹,

к. геогр. н., доцент кафедри метеорології та кліматології,

e-mail: galina.od@rambler.ru, <http://orcid.org/0000-0002-6192-5555>;

Олена Володимирівна Катеруша¹,

асистент кафедри екології та охорони довкілля,

e-mail: katerusha17@ukr.net, <http://orcid.org/0000-0003-4593-0335>;

Камбіз Яраї²,

доктор клінічних лабораторних наук, доктор клінічної мікробіології, директор клінічної лабораторії,

²Регіональний медичний центр Коалінги, Фелпс авеню 1191, Коалінга, Каліфорнія, 93210, США,

e-mail: kaya@uw.edu, <http://orcid.org/0000-0003-0961-014X>

Нині, коли глобальне потепління є доведеним, оцінка змін термічного режиму та його впливу на здоров'я населення стала одним з пріоритетних напрямів діяльності Всесвітньої метеорологічної організації (ВМО) і Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ). У зв'язку з цим особливою важливістю набувають дослідження екстремальних проявів в режимі температури повітря окремих регіонів. Сучасні зміни клімату супроводжуються зростанням повторюваності та інтенсивності хвиль тепла (періодів з екстремально високою температурою), через це саме хвилям тепла наразі приділяється велика увага. Крім того, очікується, що в майбутньому негативні наслідки цих змін будуть посилюватись. В роботі проведено аналіз режиму максимальної добової температури повітря за фактичними даними за періоди більше, ніж шістьдесят років, і очікуваних – за 2021–2050 роки для трьох метеостанцій (Ужгород, Харків, Одеса). Для кожного дня року розраховано так званий «абсолютний поріг температури» за рекомендаціями ВМО. Визначено наявність хвиль тепла, виходячи з її дефініції, тобто період, коли максимальна добова температура повітря більше 5 послідовних днів перевищує середню максимальну температуру для даного календарного дня за основний період (1961–1990 рр.) більше, ніж на 5°C. Виявлено хвилі тепла на основі фактичних даних і модельних рядів за сценаріями низького (RCP2.6), середнього (RCP4.5) та високого (RCP8.5) рівнів викидів парникових газів; проаналізовано їх фізико-статистичні характеристики та прогноз динаміки до 2050 року у різних регіонах України. Найменша за рік кількість хвиль тепла зафіксована на півдні країни, а максимальна тривалість хвилі тепла приблизно однакова на всіх досліджуваних станціях. На заході України спостерігається тенденція зростання кількості хвиль тепла та їх тривалості за досліджуваній період за десятиріччями, на північному сході і півдні – ці показники зазнали коливань. Виявлено, що у всіх регіонах за фактичними даними найбільшу повторюваність (82% від загальної кількості хвиль за рік) мали хвилі тепла тривалістю 6–9 днів; за даними сценарію RCP2.6 їх повторюваність максимально зменшується (до 52%) на півдні країни. За всіма використаними траєкторіями кліматичних змін найбільша кількість хвиль тепла у прийдешні тридцять років очікується на півдні України, причому з максимумом у холодну пору року (жовтень–квітень). Інтенсивність хвиль тепла холодного періоду є вищою, ніж теплого у всіх регіонах України, особливо у південних регіонах. Досліджені хвилі тепла суттєво впливають на самопочуття та смертність людей, тому отримані дані про їх показники і тенденції зміни необхідні для розробки комплексу профілактичних і захисних заходів у плані ризиків для здоров'я населення, пов'язаних з кліматом.

Ключові слова: сценарії змін клімату, хвилі тепла, кумулятивна температура, часова динаміка.

Як цитувати: Сафранов Т. А. Особливості динаміки хвиль тепла в окремих містах України / Т. А. Сафранов, Г. П. Катеруша, О. В. Катеруша, Яраї Камбіз // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія», 2021. – Вип. 55. – С. 232-244. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2021-55-17>

In cites: Safranov T. A., Katerusha H. P., Katerusha O. V., Yaraei Kambiz (2021). Features of the dynamics of heat waves in selected cities of Ukraine. Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology", (55), 232-244. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2021-55-17> [in Ukrainian]

Постановка проблеми. Зміни клімату та їх наслідки є надзвичайно актуальною проблемою. Через глобальні зміни клімату у ХХІ сторіччі спостерігається, і очікується в майбутньому, підвищення температури приземного шару атмосфери та частоти і інтенсивності періодів аномальної спеки, які впливають зокрема і на здоров'я людей. Тривалі періоди високих температур повітря створюють фізіологічний стрес для організму людини, що погіршує перебіг захворювань

(респіраторних, кровотворних, цукрового діабету тощо) і може призвести навіть до смерті, а також нарощує соціально-економічні наслідки (наприклад, втрата працездатності, продуктивність праці тощо) [1].

Потепління клімату призводить до змін умов поширення інфекційних захворювань людини, у тому числі і трансмісивних. При цьому змінюються умови існування популяцій переносників трансмісивних захворювань і умови розвитку

збудників у переноснику, що спричиняє зміну можливостей передачі багатьох захворювань людини. Підвищення температури повітря прискорює розвиток збудників в організмі переносника, а сам процес передачі робить більш ефективним, поширює його нозоареал, полегшує передачу захворювання [2]. Якщо у холодному кліматі збудники інфекцій, попадаючи з організму зараженої людини у зовнішнє середовище, не можуть у ньому існувати, то в теплих умовах ситуація кардинально змінюється. Значні порушення здоров'я під час температурних хвиль характеризуються не лише його втратою, але й зниженням кількості здорових років життя, що відбивається і на економічних показниках – валовому продукті країни і регіону [3].

За даними Всесвітнього банку, Україна внаслідок розмірів території та різноманіття ландшафтів, більше інших країн Східної Європи схильна до впливу змін клімату. Найчутливішими до змін клімату є південні регіони України [4].

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Наслідки впливу температурних хвиль на здоров'я населення вивчають у різних країнах світу, і в основній медичній базі даних *PubMed* наведено понад 1000 публікацій у цій спрямованості досліджень [3]. Так, проблемі хвиль тепла у сучасному світі приділяється значна увага практично в усіх європейських країнах і Сполучених Штатах Америки [5–9 та ін.]. Проте не існує єдиного універсального визначення хвиль тепла, що використовувалося б як критерій для виявлення цієї аномалії у всіх дослідженнях. Це можна пояснити тим, що в залежності від завдань наукового дослідження або практичного обслуговування галузей економіки найбільшу зацікавленість можуть представляти хвилі певної інтенсивності або тривалості [8].

У наукових дослідженнях використовують різні підходи до визначення хвиль тепла. Використовуються відхилення як від середньої добової температури повітря, так і від максимальних її значень за добу. Так, деякі автори [8, 10–12] вважають, що хвилі тепла потрібно виявляти на основі середньої добової температури повітря через те, що вона є мірою температурного стресу на організм людини. У той же час, багато дослідників виявляють хвилі тепла на основі максимальної за добу температури повітря (тобто у денний час), коли людина є найбільш активною, перебуваючи зовні приміщення, а організм її відчуває значний тепловий стрес [13–18]. На основі їх можна виявляти аномально теплі або аномально спекотні дні (хвилі тепла) не тільки влітку, але й взимку. Хвиля тепла – це природне явище, що характеризується тривалим періодом аномально теплої погоди і поширені на певній

території [19].

Хвилею тепла, зазвичай, вважають період у кілька днів, температура під час якого перевищує заданий поріг, але специфічні особливості цього поняття варіюються залежно від фізико-географічного розташування району дослідження та ін. Найчастіше використовується визначення, рекомендоване ВМО: хвиля тепла – це період, коли максимальна добова температура повітря більше 5 послідовних днів перевищує середню максимальну температуру для даного календарного дня за основний період (1961-1990 рр.) більше, ніж на 5°C [14].

Хвиля тепла характеризується такими показниками, як тривалість (дні) та інтенсивність (кумулятивна температура протягом окремої хвилі тепла). Кумулятивна температура – це сума різниць між максимальною добовою температурою повітря під час хвилі тепла і визначеним значенням середньої максимальної температури за цей період, тобто це сумарна максимальна температура (T_{max}) під час окремо взятої хвилі тепла [14] і вона характеризує, власне, інтенсивність хвилі тепла.

Виявлення хвиль тепла та їх фізико-статистичних характеристик на території України проводилось багатьма дослідниками лише в теплий період року і на основі фактичних даних. Необхідним є з'ясування, що відбувається в цьому контексті і в холодну пору року, оскільки хвилі тепла впливають протягом року не лише на здоров'я людей, а й на сільське господарство та інші галузі економіки. Крім того, для подолання негативних наслідків і адаптації людей до кліматичних змін потрібно враховувати і прогностичні значення метеорологічних величин, зокрема температури повітря, згідно сучасних сценаріїв змін клімату.

Формулювання мети статті. Метою роботи є виявлення хвиль тепла на основі фактичних і сценарних (RCP2.6, RCP4.5 CLMcom4, RCP4.5 MPI-CSC2, RCP4.5 SMHI5, RCP8.5) вихідних даних та аналіз їх фізико-статистичних показників динаміки до 2050 року.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для проведення дослідження використано величезну базу даних, яка являє собою ряди значень максимальної добової температури повітря з січня по грудень за доступні періоди для трьох метеостанцій України, розташованих в західному (Ужгород), північно-східному (Харків) та південному (Одеса) регіонах України. Вихідні дані отримано з сайту, який містить кліматичну інформацію для території Європи [20]. Крім того, було застосовано значення максимальної добової температури повітря для тих же репрезентативних метеостанцій протягом 2021–2050 років за

результатами моделювання згідно траєкторій RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5.

Аналіз виявлених фактичних випадків хвиль тепла з використанням критерію ВМО за досліджувані періоди для холодного (листопад-квітень) і теплого періодів (травень-жовтень) та їх тривалості засвідчив наступне. В Ужгороді кількість хвиль тепла становила 148, у Харкові – 137, найменше їх в Одесі – 84 випадки. Максимальна тривалість хвилі тепла (19 днів) була зафіксована в Ужгороді (22.07–09.08.1994 р.), а тривалість 18 днів – 08.04–25.04.2018 р. Найбільшу тривалість (18 днів) хвилі тепла мали 22.08–08.09.1938 р. і 14.06–01.07.1954 р. в Харкові та 08.11–25.11.1923 в Одесі. Середня тривалість хвилі тепла взимку коливалась від 7,5 (південь) до 8,0 днів (захід та північний схід країни),

весною – від 7,4 (південь) до 8,8 дні (північний схід країни), влітку – від 7,1 (північний схід) до 8,1 дні (захід країни), восени – від 7,4 (північний схід) до 8,7 дні (захід країни). В середньому за рік найтриваліші (8,1 дні) хвилі тепла – в Ужгороді, найменш тривалі (7,6 дні) – в Одесі.

Слід зазначити, що в роботі [21] для Одеси(за період з 1911 по 2010 рр.), також виділено хвилі тепла за критерієм ВМО: всього їх 16 з середньою тривалістю 8,4 доби. Різницю в отриманих результатах можна пояснити тим, що в даній роботі не враховується період з 2006 по 2010 рр., період на який припадали найбільш тривалі та інтенсивні хвилі тепла 2008 та 2010 років.

На рис. 1 для наочності представлено розподіл кількості хвиль тепла, виявлених на основі

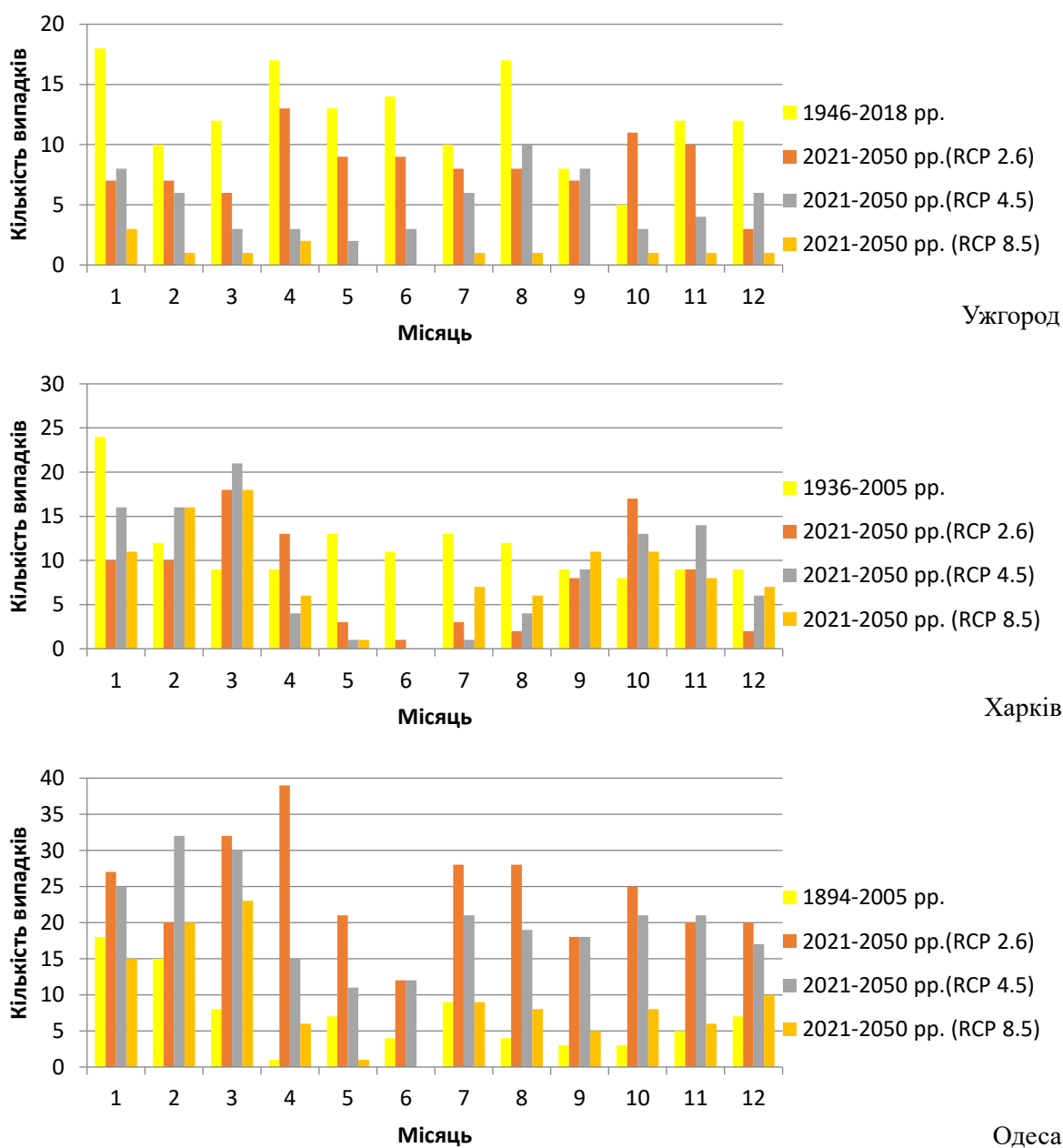


Рис. 1. Кількість хвиль тепла(фактичних і за різними сценаріями).
 Fig. 1. Number of heat waves (actual and according to the different scenarios)

фактичних даних і на основі модельних рядів для трьох станцій по кожному місяцю року за період з 2021 по 2050 рр. за сценаріями RCP 2.6, RCP4.5–усереднений і RCP8.5. З нього випливає, що хвилі тепла можуть спостерігатись з січня по грудень. Найвище зростання кількості хвиль тепла з 2021 по 2050 рр. очікується в Одесі й найбільшим (290 випадків) в середньому воно буде за сценарієм RCP2.6. З них максимум – 92 випадки – припадає на весну. За сценарієм RCP4.5 (усереднений) найбільша за рік кількість хвиль

(242) – в Одесі, у Харкові – 109, Ужгороді – 65; за сценарієм RCP8.5: в Одесі – 111, Харкові – 102, Ужгороді – всього 12 випадків.

Таким чином, за всіма досліджуваними траєкторіями кліматичних змін найбільша кількість хвиль тепла за рік очікується на півдні країни, причому з максимумом у холодну пору року.

Розподіл протягом року тривалості хвиль тепла (фактичної і здобутої на основі модельних рядів) зображено на рис. 2.

Саме кількість днів з хвилями тепла виявляє

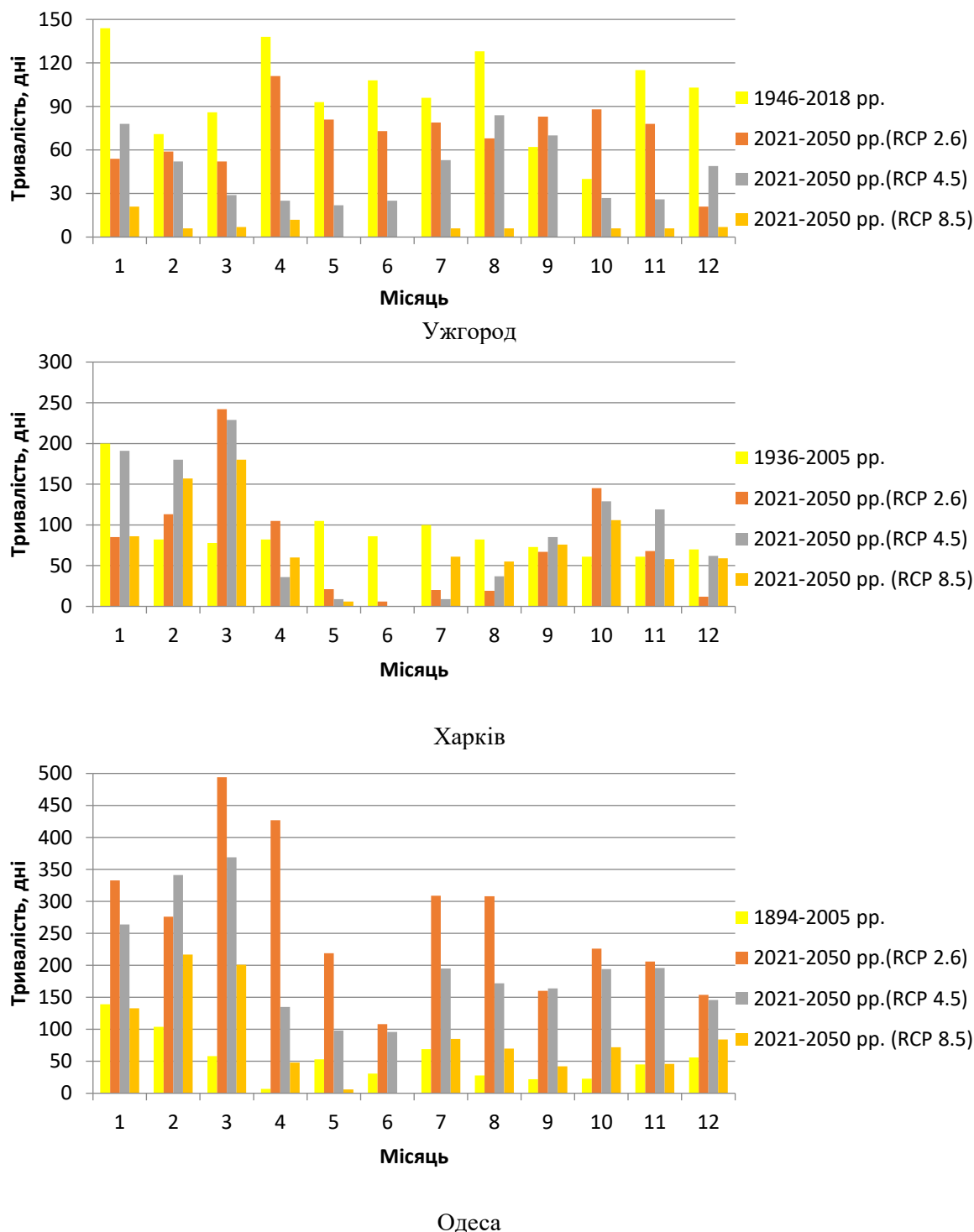


Рис. 2. Тривалість хвиль тепла (фактичних і за різними сценаріями).
Fig. 2. Heat wave lengths (actual and according to the different scenarios)

тенденцію краще, ніж кількість хвиль тепла. Їх аналіз засвідчує, що цей показник для Одеси за майбутні 30 років також найбільше перевищить фактичну тривалість хвиль тепла, особливо за сценарієм RCP2.6. Якщо загальна тривалість хвиль тепла була 635 днів (середня 7,6), то можлива за сценарієм RCP2.6 – 3220 дні (середня 11,1), RCP4.5 (усереднений) – 2371 (середня 9,8), RCP 8.5 – 1004 дні (середня 9,0).

Для Харкова очікувана середня тривалість хвиль тепла з 7,8 днів (фактичні дані) зростає до 9,4 днів (RCP2.6), 10,0 (RCP 4.5–усереднений), 8,9 (RCP8.5). В Ужгороді цей очікуваний показник з 8,1 дні підвищиться до 8,6 (RCP2.6), 8,3 (RCP 4.5–усереднений), а за сценарієм RCP 8.5 зменшиться до 6,4 дні.

У табл. 1 і 2 представлено кількість хвиль тепла та їх тривалість, визначені на основі попередніх 30 років: для Ужгорода за період 1989–2018 рр., а для Харкова і Одеси – 1976–2005 рр., і здобуті за різними сценаріями. З таблиць випливає, що саме для Одеси очікувані показники в 4–13 разів будуть перевищувати фактичні, а для Харкова – в 1,7–3,6 рази. Для Ужгорода кількість хвиль тепла та їх тривалість, здобуті на основі сценарію RCP4.5 MPI-CSC2, за своєю величиною є найближчими до фактичних, за сценарієм RCP2.6 – перевищують їх, а за сценарієм RCP8.5 – суттєво нижчі.

На рис. 3 представлено розподіл повторюваності випадків з хвилями тепла за десятиріччями.

Отже, якщо в Одесі раніше хвилі тепла спостерігались навіть не кожного десятиліття, то з 2021 по 2050 рр. такої особливості розподілу їх вже нема, хоча в окремі роки, звичайно, вони не виявлені. У Харкові хвилі тепла зафіксовано у всі десятиліття. Найбільша (26) кількість їх спостерігалась з 1951 по 1960 рр. і тривали вони 207

днів. І на півдні країни, і північному сході майже у всі три прийдешні десятиріччя кількість днів з хвилями тепла буде набагато вищою, ніж у минулі. В Ужгороді, починаючи з 1951-1960 рр. і по 2011-2018рр., відбулось поступове зростання кількості хвиль тепла (з 10 до 33). Лише у друге майбутнє десятиліття і тільки за сценарієм RCP2.6 цей показник може бути перевищеним.

Розподіл тривалості хвиль тепла по десятиріччях представлено на рис. 4. Найчастіше, збільшення кількості хвиль тепла призводить до зростання їх тривалості.

На рис. 5–7 показано повторюваність тривалості хвиль тепла. З них видно, що зазвичай найчастіше, як за фактичними даними, так і за всіма використаними сценаріями RCP, хвилі тепла будуть тривати 6 днів. Так за реальними даними, наприклад, у всіх досліджуваних регіонах найбільшу повторюваність (82% від загальної кількості хвиль за рік) мали хвилі тепла тривалістю 6–9 днів. З них на хвилі тривалістю 6 днів припадає від 30% (Ужгород) до 40% (Одеса), 7 днів – від 15% (Харків) до 21% (Ужгород), 8 днів – 17–19% (Одеса-Харків) і 9 днів – 7–13% (Одеса-Ужгород). За сценарними даними повторюваність тривалості хвиль тепла 6–9 днів найбільш суттєво зменшиться (до 52%) на півдні країни за сценарієм RCP2.6, а це означає, що хвилі будуть мати більшу тривалість.

Найтриваліші хвилі тепла (42 дні) очікуються в Одесі за сценарієм RCP2.6 у холодний період, у теплий період – 29 днів, за сценарієм RCP4.5-усереднений – 39 і 25 днів, за сценарієм RCP8.5 – 23 і 18 днів відповідно. В Ужгороді за досліджуваний період і сценарієм RCP2.6 найдовша хвиля тепла тривала 19 днів у теплий період, за сценарієм RCP4.5-усереднений – 25 днів у цей же період, за сценарієм RCP8.5 – 9 днів (у холод-

Таблиця 1

Кількість хвиль тепла фактичних (за попередні 30 років) і очікуваних.
The number of actual heat waves (for the previous 30 years) and expected

Станція	Фактичні	RCP2.6	RCP4.5				RCP8.5
			CLMcom4	MPI-CSC2	SMHI5	усереднений	
Ужгород	87	98	29	88	77	65	12
Харків	55	96	92	85	146	108	102
Одеса	31	290	203	297	228	242	111

Таблиця 2

Тривалість хвиль тепла фактичних (за попередні 30 років) і очікуваних.
The duration of actual and expected heat waves (for the previous 30 years)

Станція	Фактичні	RCP2.6	RCP4.5				RCP8.5
			CLMcom4	MPI-CSC2	SMHI5	усереднений	
Ужгород	716	847	199	749	675	541	77
Харків	439	903	889	768	1599	1085	904
Одеса	242	3220	1901	2915	2297	2371	1004

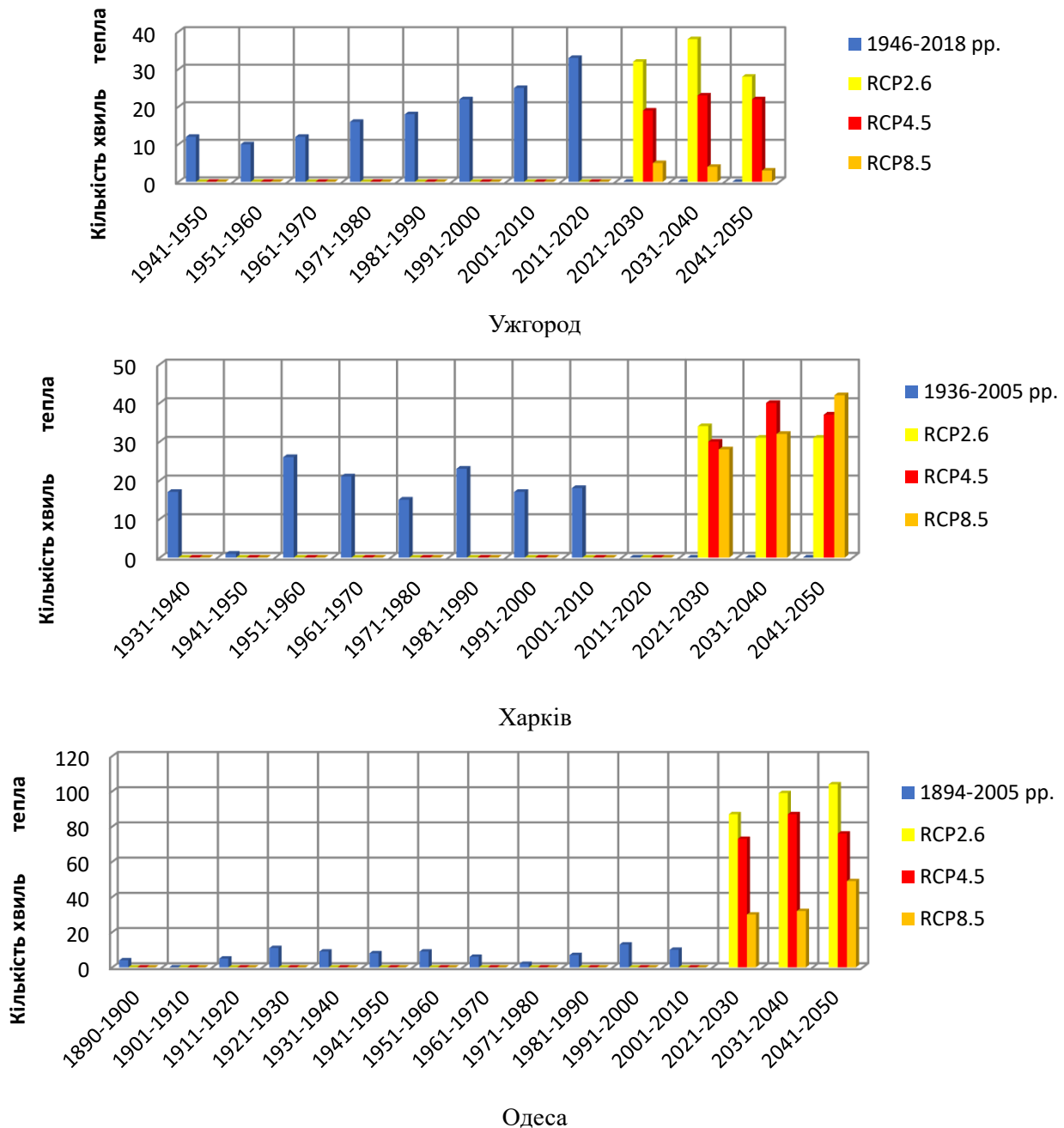


Рис. 3. Динаміка кількості хвиль тепла (фактичних і за різними сценаріями) по десятиріччях.
 Fig. 3. Dynamics of the number of heat waves (actual and according to the different scenarios) by decades

ний і теплий періоди). У Харкові згідно фактичних даних найдовше хвиля тепла тривала 17 днів у теплий період, а згідно всіх використаних нами сценаріїв – у холодний період: 26 днів (RCP4.5 і RCP8.5) і 30 днів (RCP2.6).

Ще однією характеристикою інтенсивності хвилі тепла є амплітуда хвилі тепла, тобто різниця між найвищим та найнижчим значенням середньої добової максимальної температури під час хвилі тепла.

За досліджувані періоди найвищу фактичну кумулятивну температуру T_{max} холодний період було зафіксовано: в Ужгороді – 56,0 °C (січень 2007р.), Харкові – 79,5 °C (квітень 1938 р.), Оде-

сі – 63,0 °C (лютий-березень 2002 р.), у теплий період – в Ужгороді – 56,2 °C (серпень 2015 р.), Харкові – 75,9 °C (серпень-вересень 1938 р.), Одесі – 37,8 °C (липень 2002 р.) (табл. 3). За даними, наведеними в роботі [21], які було здобуто для цих станцій в період до 2011 року, кумулятивна температура суттєво підвищилась в Харкові та Одесі і відповідно становила 117,0 °C та 46,4 °C у 2010 році, в Ужгороді – не змінилась.

Абсолютні максимуми температури повітря та найінтенсивніші хвилі тепла спостерігаються в один і той же час в Одесі й Харкові; в Ужгороді – в рік, коли зафіксовано абсолютний максимум температури повітря, спостерігалися потужні

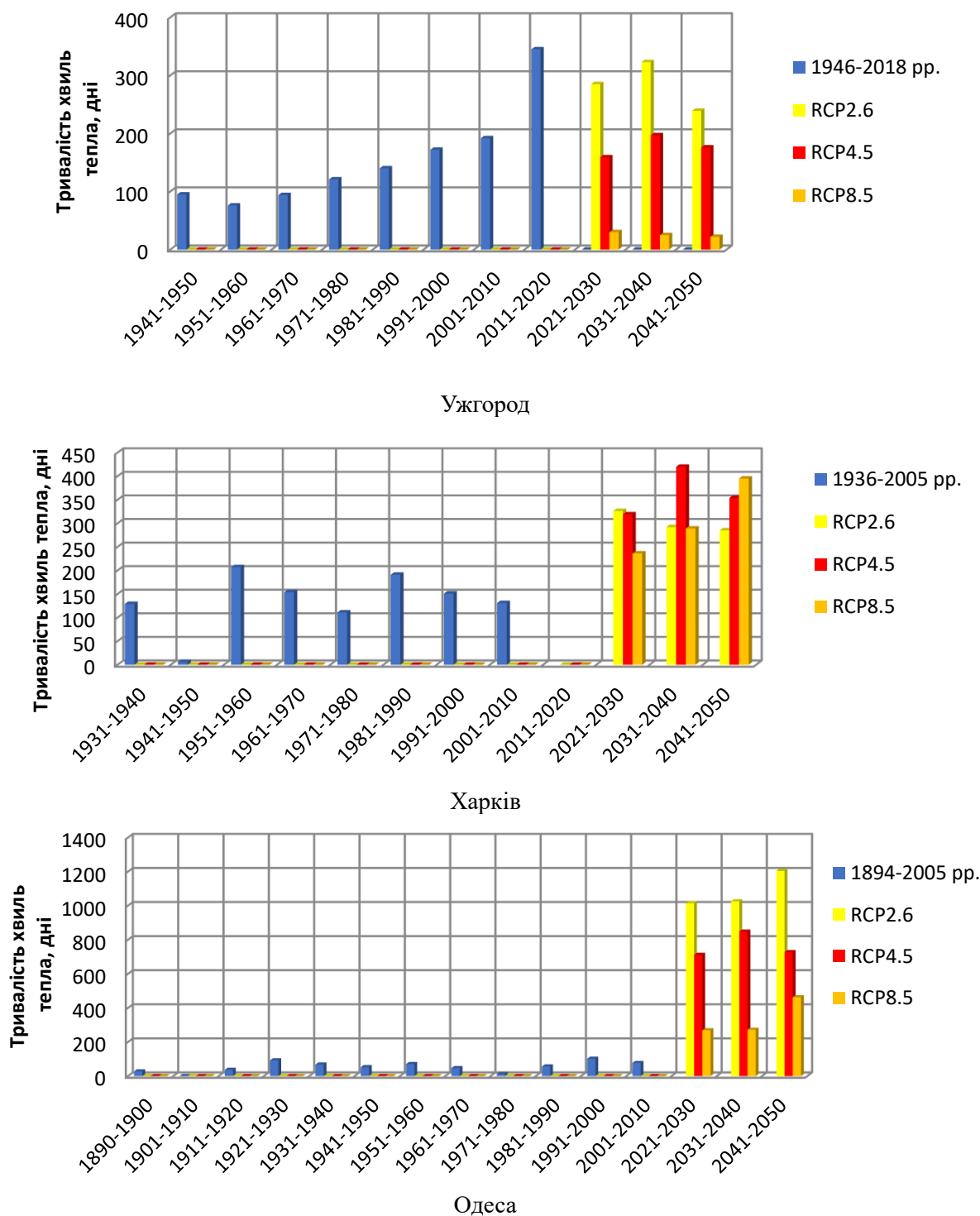


Рис. 4. Динаміка тривалості хвиль тепла (фактичних і за різними сценаріями) за десятиріччями.
 Fig. 4. Dynamics of heat wave duration (actual and according to the different scenarios) by decades

хвилі тепла [21].

Слід зазначити, що спостерігається досить значна узгодженість між всіма регіонами в повторюваності хвиль тепла в залежності від кумулятивної температури та амплітуди хвилі тепла, оскільки для всіх станцій найбільша кількість випадків з хвилями тепла має місце при кумулятивних температурах 10-50 °C та амплітудах 2-8 °C у холодний період.

У теплий період – така ситуація спостерігається за амплітуди 2-6 °C і різних значень кумулятивної температури: 10-25 °C (Одеса), 10-30 °C (Ужгород) і 10-40 °C (Харків). Амплітуда температури повітря під час хвиль тепла у холодний період коливається в значно ширших інтервалах в Одесі і Харкові (0,7-15,7 °C та 0,9-11,6 °C відповідно), ніж у теплий, а от в Ужгороді протягом року вона майже не змінюється (1,1-9,2 °C у ХП і

1,0-9,9 °C у ТП) про що свідчать дані, наведені в табл. 4.

Між кумулятивною температурою та амплітудою хвилі тепла також простежується суттєва залежність, особливо для випадків інтенсивних хвиль тепла. Подібного зв'язку не виявлено між

кумулятивною температурою та тривалістю хвилі тепла, тобто хвилі тепла однакової тривалості можуть мати досить різну інтенсивність. Для випадків інтенсивних хвиль тепла залежність між інтенсивністю та тривалістю стає більш помітною, що вказує на те, що найбільш інтенсивні

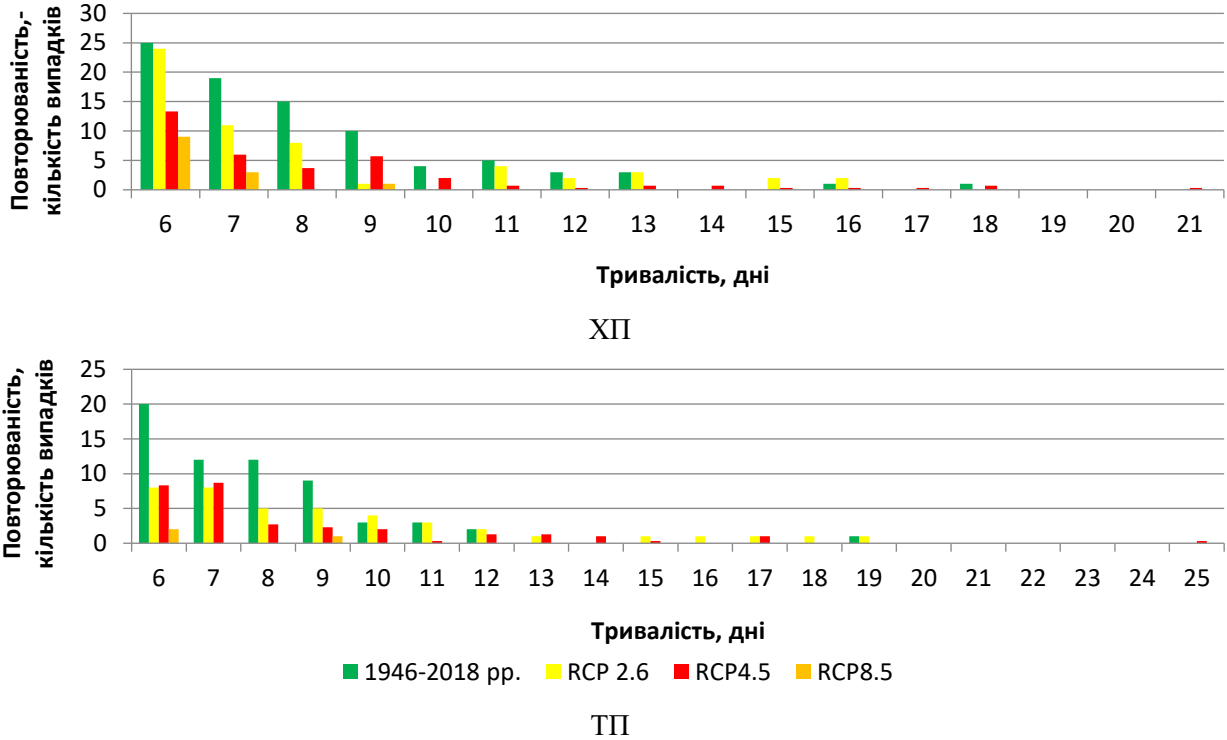


Рис. 5. Повторюваність тривалості хвиль тепла (фактичних і за різними сценаріям) – Ужгород.
 Fig. 5. Repeatability of heat wave duration(actual and according to the different scenarios) – Uzhgorod

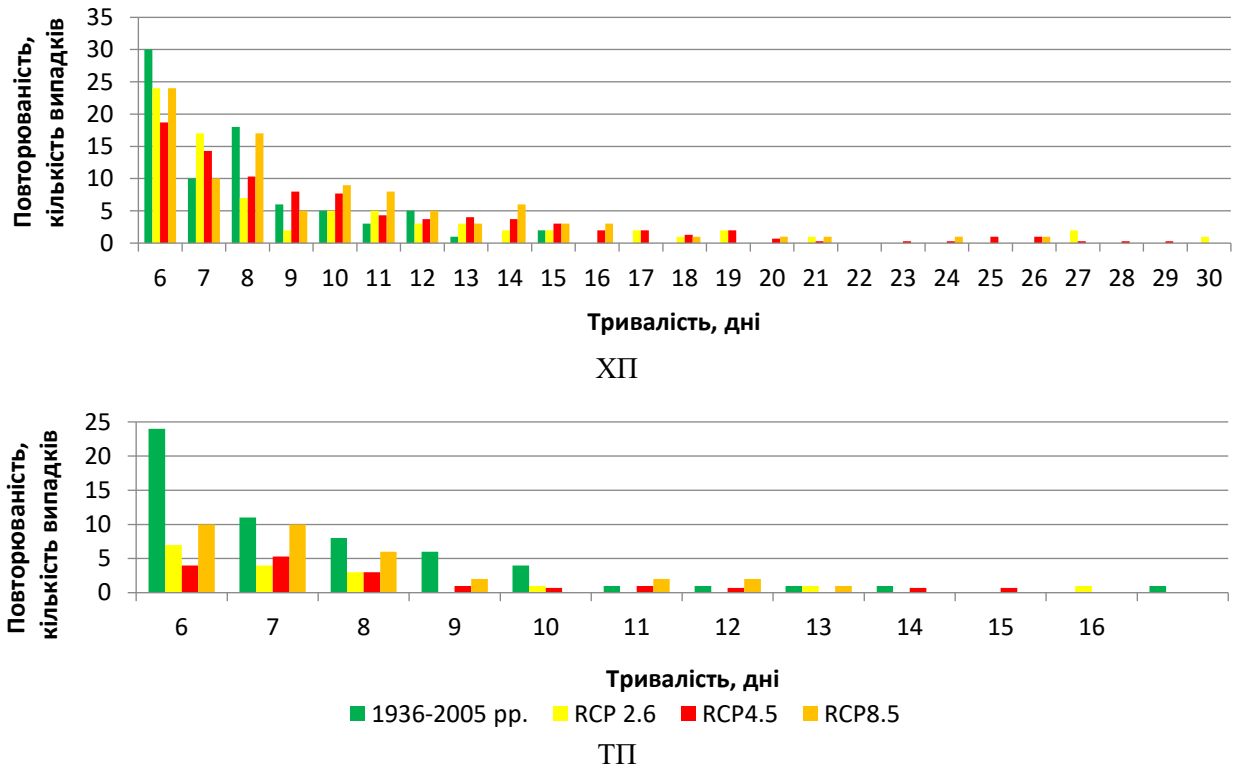


Рис. 6. Повторюваність тривалості хвиль тепла (фактичних і за різними сценаріям) – Харків.
 Fig. 6. Repeatability of heat wave duration (actual and according to the different scenarios) – Kharkiv

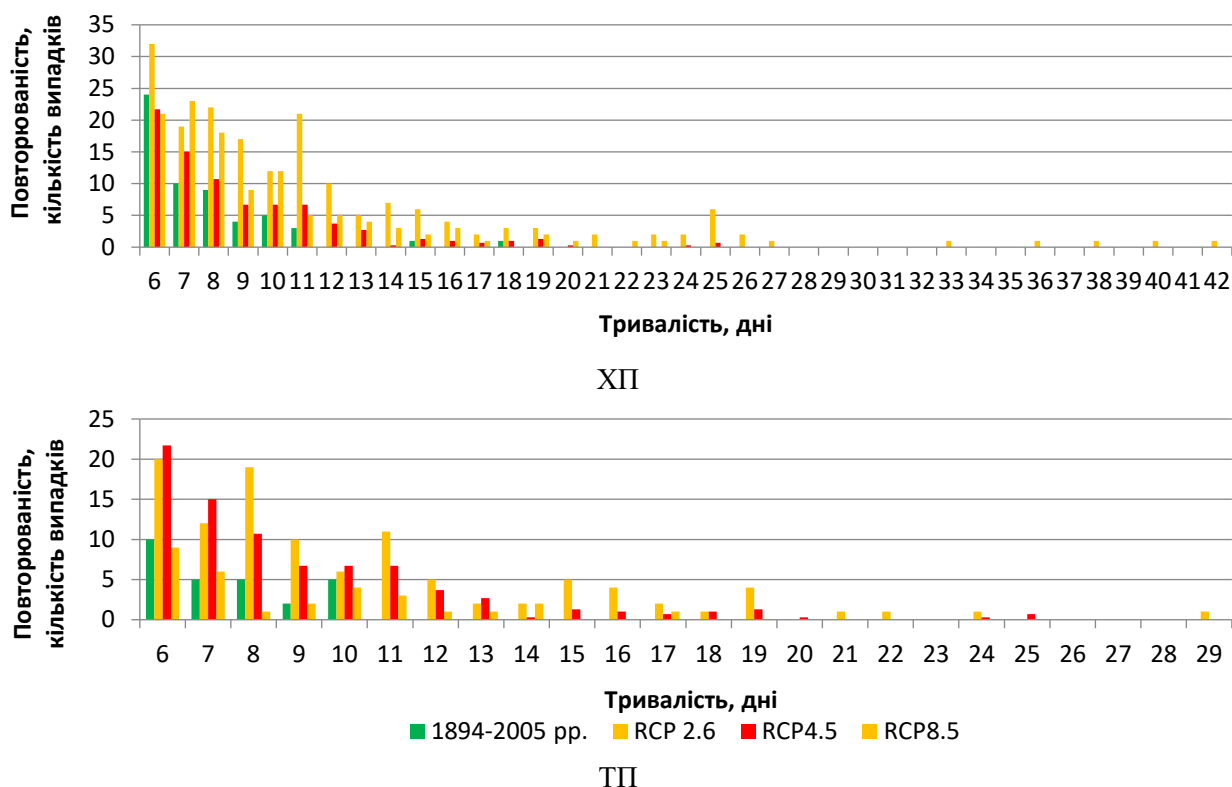


Рис. 7. Повторюваність тривалості хвиль тепла (фактичних і за різними сценаріям) – Одеса.
 Fig. 7. Repeatability of heat wave duration (actual and according to the different scenarios) – Odessa

Таблиця 3

Показники інтенсивності найпотужніших хвиль тепла протягом досліджуваних періодів.
 Indicators of the intensity of the most powerful heat waves during the study periods

Станція	T _{MAX} , °C		Тривалість, дні		Амплітуда, °C	
	ХП	ТП	ХП	ТП	ХП	ТП
Ужгород	56,0	56,2	16	12	6,7	3,4
Харків	79,5	75,9	12	18	11,6	6,0
Одеса	63,0	37,8	10	10	9,7	5,8

Таблиця 4

Показники хвиль тепла / Indicators of heat waves

Станція	Кількість хвиль тепла		Кумулятивна температура, °C		Амплітуда, °C	
	ХП	ТП	ХП	ТП	ХП	ТП
Ужгород	86	62	7,9–56,0	4,2–56,2	1,1–9,2	1,0–9,9
Харків	80	57	4,9–79,5	3,5–75,9	0,9–11,6	1,4–9,8
Одеса	57	27	5,4–63,0	6,0–37,8	0,7–15,7	1,8–5,9

хвилі тепла є найбільш тривалими

В Ужгороді під час фактичних хвиль тепла кумулятивна температура змінювалась в межах 7,9–56,0 °C у холодний період і від 4,2 до 56,2 °C – у теплий. При цьому вона коливалась від 10 до 50 °C у 91% за тривалості їх 6–14 днів у холодний період, у 87% – за тривалості 6-12 днів у теплий. Кумулятивна температура у Харкові змінювалась в інтервалах 4,9–79,5 °C (з них 88% припадає на 10–60 °C) з жовтня по квітень і 3,5–

75,9 °C (з них 88% припадає на 10–50 °C) з травня по вересень. В Одесі кумулятивна температура коливалась в інтервалі 5,4–63,0 °C (82% знаходиться в межах від 10 до 50°C) у холодний період і від 6,0 до 37,8 °C – у теплий (78% – в межах від 10 до 30°C).

Отже, інтенсивність хвиль тепла, яка виражена кумулятивною температурою, у холодний період декілька перевищує цей показник у теплий період на заході та північному сході й суттє-

во перевищує його на півдні країни.

Аналіз очікуваних характеристик хвиль тепла за різними сценаріями дозволяє зазначити наступне. Кількість хвиль тепла у холодний період буде суттєво домінувати порівняно з теплим періодом, особливо на півдні країни. Так в Одесі їх кількість за майбутні тридцять років у 2-3 рази може перевищити наявні за 104 роки в обидва періоди. В Одесі і Харкові з жовтня по квітень хвилі тепла будуть більш інтенсивними, ніж з травня по вересень, про що свідчать і значення кумулятивної температури і амплітуди температури. Не так однозначна ситуація в Ужгороді.

Висновки. На заході України спостерігається тенденція зростання кількості хвиль тепла та їх тривалості за досліджуваний період за десятиріччями, на північному сході й півдні – ці показники зазнали коливань. Виявлено, що у всіх ре-

гіонах за фактичними даними найбільшу повторюваність (82% від загальної кількості хвиль за рік) мали хвилі тепла тривалістю 6–9 днів; за даними сценарію RCP2.6 їх повторюваність максимальна зменшиться (до 52%) на півдні країни.

За всіма використаними траєкторіями кліматичних змін до 2050 року найбільша кількість хвиль тепла очікується на півдні України, причому з максимумом у холодну пору року (жовтень-квітень). Інтенсивність хвиль тепла холодного періоду є вищою, ніж теплої у всіх регіонах України, особливо південних.

Отримані результати стосовно показників і тенденцій змін хвиль тепла важливі для розробки комплексу профілактичних й захисних заходів у плані ризиків для здоров'я населення, спричинених впливом кліматом.

Список використаної літератури

1. Воздействие жары на здоровье: информация и рекомендации по охране здоровья населения. Основные факты / ВОЗ. <https://www.who.int/global-change/publications/heat-and-health/ru/> (дата звернення 7.09.2021 р.).
2. Ревич Б.А. Изменения климата и здоровье населения России: Анализ ситуации и прогнозные оценки/ Б.А. Ревич, В.В. Малофеев. – Москва: ЛЕНАНД, 2011. – 208 с.
3. Шапошников Д.А. О некоторых подходах к вычислению рисков температурных волн для здоров'я / Д.А. Шапошников, Б.А. Ревич // Анализ риска здоровью. – 2018. – № 1. – С. 22–31. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2018.1.03>
4. Изменение климата в Восточной Европе. Беларусь, Молдова, Украина. <http://archive.zoinet.org/web/sites/default/files/publications/CCEE-Ebook-.pdf> (дата звернення 02.02.2020 р.)
5. Периоды сильной жары: угрозы и ответные меры // Серия: Здоровье и глобальное изменение окружающей среды/ ВМО. – 2005. – № 2. – 122 с.
6. Катеруша Г.П. Наслідки змін клімату для здоров'я людей / Г.П. Катеруша, О.В. Катеруша // Кліматичні зміни та їх вплив на сфери економіки України / за ред. С.М. Степаненка., А.М. Польового – Одеса: «ТЕС», 2015. – С. 202–256.
7. Слизька К. П. Дефініція поняття «хвиля тепла» / К. П. Слизька // Географія та туризм. – 2012. – № 22. – С. 332–339.
8. Steadman, R.G. The Assessment of Sultriness, Part I: A Temperature-Humidity Index Based on Human Physiology and Clothing Science. *Journal of Applied Meteorology*, July 1979. – P. 861–873.
9. Клещенко Л.К. Волны тепла и холода на территории России / Л.К. Клещенко // Анализ изменений климата и их последствий. Сборник трудов Всероссийского научно-исследовательского института гидрометеорологической информации – Мирового центра данных. – 2010. – № 175. – С. 76–91.
10. Ревич Б.А. Климатические условия, качество атмосферного воздуха и смертность населения Москвы в 2000–2006 гг./ Б.А. Ревич, Д.А. Шапошников. // Климат, качество атмосферного воздуха и здоровье москвичей / под ред. Б.А. Ревича. – Москва: АдамантЪ, 2006. – С. 102–140.
11. Морозова С.В. Статистическое исследование волн тепла и холода в Северо-Западном регионе зимой и летом (на примере Санкт-Петербурга)/ С.В. Морозова // Учёные записки. Метеорология. – 2014. – № 36. – С. 50–53.
12. Кузевская И.В. Температурные волны тепла как отражение изменчивости современных климатических условий жизнедеятельности на территории Томской области/ И.В. Кузевская, Д.В. Поляков, М.А. Волкова, Н.К. Барашкова // Экология человека. – 2015. – № 2. – С. 3–9.
13. Сніжко С.І. Методологія дослідження хвиль тепла / С.І. Сніжко, К.П. Слизька // Науковий часопис національного педагогічного університету імені М.П. Драгоманова. Серія 4: Географія та сучасність. – 2012. – Вип. 17(29). – С. 2–37.
14. Шевченко О.Г. Хвилі тепла та основні методологічні проблеми, що виникають при їх дослідженні / О.Г. Шевченко, С.І. Сніжко // Український гідрометеорологічний журнал. – 2012. – № 10. – С. 57–63.
15. Слизька К.П. Підходи до вивчення високих температур повітря на території України в контексті сучасних змін клімату/ К.П. Слизька // Геополітика і екогеодинаміка регіонів. – 2014. – Вип. 3. – С. 860–866.
16. Хоменко І.А. Зміни максимальних температур повітря в місті Одеса в контексті сучасних змін клімату / І.А. Хоменко, О.О. Дерев'яга // Вестник Гидрометцентра Черного и Азовского морей. – 2014. – № 2 (17). – С. 96–105.

17. Григорьева Е.А. Волны тепла в Хабаровске и здоровье населения / Е.А. Григорьева // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2014. – Том 16. – №5(2). – С. 843–846.
18. Клевец Н.Н. Волны тепла в Беларуси. Проблемы гидрометеорологического обеспечения хозяйственной деятельности в условиях изменяющегося климата/Н.Н. Клевец, В.И. Мельник, Е.В. Комаровская//Материалы Международной научн. конф. / Белорус. гос. ун-т; редкол.: П.С. Лопух (отв. ред.) [и др.]. – Минск, 2015. – С. 233–236.
19. Шевченко О.Г. Дослідження хвиль тепла літнього сезону, що спостерігалися в Києві за період 1911-2010 рр. / О.Г. Шевченко // Український гідрометеорологічний журнал. – 2013. – № 12. – С. 142–149.
20. European Climate Assessment & Dataset (ECAD). URL: <http://www.ecad.eu/> (дата звернення 17.09.2021 р.).
21. Shevchenko O., Lee H., Snizhko S., Mayer H. Long-term analysis of heat waves in Ukraine // International Journal of Climatology. – 2013. – Vol. 33, Issue 15. – P. 104–115. <https://doi.org/10.1002/joc.3792>

Внесок авторів: всі автори зробили рівний внесок у цю роботу

Особенности динамики волн тепла в отдельных городах Украины

Тамерлан Абисалович Сафранов¹,

д. геол.-мин. н., профессор, зав. кафедры экологии и охраны окружающей среды

¹Одесского государственного экологического университета,

ул. Львовская, 15, г. Одесса, 65016, Украина;

Галина Павловна Катеруша¹,

к. геогр. н., доцент кафедры метеорологии и климатологии;

Елена Владимировна Катеруша¹,

ассистент кафедры экологии и охраны окружающей среды;

Камбиз Яраи²,

доктор клинических лабораторных наук, доктор клинической микробиологии,

директор клинической лаборатории,

²Региональный медицинский центр Коалинги, Фелпс авеню 1191, Коалинга, Калифорния 93210, США

Теперь, когда глобальное потепление является доказанным, оценка изменений термического режима и его влияния на здоровье населения стала одним из приоритетных направлений деятельности Всемирной метеорологической организации (ВМО) и Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ). В этой связи особую важность приобретают исследования экстремальных проявлений в режиме температуры воздуха отдельных регионов. Современные изменения климата сопровождаются ростом повторяемости и интенсивности волн тепла (периодов с экстремально высокой температурой), поэтому именно волнам тепла сейчас уделяется большое внимание. Кроме того, ожидается, что в будущем негативный характер последствий этих изменений будет усиливаться. В работе проведен анализ режима максимальной суточной температуры воздуха по фактическим данным за периоды, превышающие шестьдесят лет, и ожидаемых – за 2021–2050 годы для трёх станций (Ужгород, Харьков, Одесса). Для каждого дня года рассчитан так называемый «абсолютный порог температуры» согласно рекомендаций ВМО. Определено наличие волн тепла, исходя из её дефиниции, то есть период, когда максимальная суточная температура воздуха больше 5 последовательных дней превышает среднюю максимальную температуру для данного календарного дня за основной период (1961–1990 гг.) больше, чем на 5 °С. Выявлены волны тепла на основе фактических данных и модельных рядов по сценариям низкого (RCP2.6), среднего (RCP4.5) и высокого (RCP8.5) уровней выбросов парниковых газов; проанализированы их физико-статистические характеристики и прогноз динамики до 2050 года в разных регионах Украины. Наименьшее за год количество волн тепла зафиксировано на юге страны, а максимальная продолжительность волны тепла примерно одинаковая на всех исследуемых станциях (Ужгород, Харьков, Одесса). На западе Украины наблюдается тенденция роста количества волн тепла и их продолжительности за исследуемый период за десятилетия, на северо-востоке и юге – этим показателям характерны колебания. Обнаружено, что во всех регионах по фактическим данным наибольшую повторяемость (82% от общего количества волн за год) имели волны тепла продолжительностью 6–9 дней; по данным сценария RCP2.6 их повторяемость максимально уменьшится (до 52%) на юге страны. По всем использованным траекториям климатических изменений в грядущие тридцать лет наибольшее количество волн тепла ожидается на юге Украины, причем с максимумом в холодное время года (октябрь-апрель). Интенсивность волн тепла холодного периода выше, чем теплого во всех регионах Украины, особенно в южных регионах. Изученные волны тепла существенно влияют на самочувствие и смертность людей, поэтому полученные данные об их показателях и тенденциях изменений необходимы для разработки комплекса профилактических и защитных мероприятий в плане рисков для здоровья населения, связанных с климатом.

Ключевые слова: сценарии изменений климата, волны тепла, кумулятивная температура, временная динамика.

Features of the dynamics of heat waves in selected cities of Ukraine

*Tamerlan Safranov*¹,

DSc (Geology and Mineralogy), Professor, Head of Department of Ecology and Environmental Protection of
¹Odessa State Environmental University, 15 Lvivska St., Odessa, 65016, Ukraine;

*Halyna Katerusha*¹,

PhD (Geography), Associate Professor of Department of Meteorology and Climatology;

*Olena Katerusha*¹,

MSc (Ecology), Assistant of Department of Ecology and Environmental Protection;

*Kambiz Yaraei*²,

DSc (Clinical Laboratory), PhD (Clinical Microbiology), Clinical Laboratory Director,

²Coalinga Regional Medical Center, 1191 Phelps Ave, Coalinga, CA, 93210, USA

ABSTRACT

Formulation of the problem. One of the main manifestations of regional climate changes in Ukraine on the background of global warming is substantial rise of air temperature and increasing of extreme weather conditions. Therefore heat waves became a concern. Detection of heat waves and their physical and statistical characteristics on the territory of Ukraine was done by many researchers only during warm period of the year and on the basis of fact data. But it's interesting to find out what happens in this context during cold period as well because heat waves affect not only human health but also agriculture, transportation etc throughout the year. Besides in order to overcome negative consequences and for adaptation of people for climate changes prognostic values of meteorological indices, in particular air temperature according to modern climate change scenarios.

Review of previous publications. Consequences of thermal waves impact on population health is being studied in different countries of the world and in the main medical data base PubMed there are more than 1000 publications in this branch of research. But still there is no universal definition of heat waves which could be used as criteria for detecting this anomaly in all the researches. This can be explained that depending on challenges of scientific research or practical service of household activity waves of certain intensity or duration can be the most interesting.

Purpose. The aim of this work is detection of heat waves on the basis of actual and scenario data and analysis of their physical and statistical characteristics and dynamics until 2050.

Methods. Heat waves were detected on the base of actual data and model ranges by low (RCP 2.6), medium (RCP 4.5), high (RCP 8.5) levels of greenhouse gases emissions and also there were analyzed their physical and statistical characteristics and dynamics until 2050 in different regions of Ukraine.

Results. The smallest annual number of heat waves is recorded in the south of Ukraine and the maximum heat wave duration is approximately the same at all the research stations (Uzhgorod, Kharkiv, Odessa). According to all climate change trends that were used, the greatest number of heat waves in the next thirty years is expected in the south of Ukraine, with a maximum in the cold season (October-April). The intensity of heat waves, expressed by the cumulative temperature, during the cold period slightly exceeds this index during the warm period in the west and north-east and substantially exceeds it in the south, and heat waves of the same duration can have quite different intensities.

Conclusions. In the west of Ukraine, there is a trend of increasing the number of heat waves and their duration over the studied period by decades, in the northeast and south - these indicators have fluctuated. It was discovered that in all regions, according to actual data, heat waves of 6-9 days have the highest recurrence (82% of total amount of heat waves per year); according to the RCP2.6 scenario, their recurrence will be minimized (up to 52%) in the south of the country. According to all used climate change trends by 2050, the highest number of heat waves is expected in southern Ukraine, with a maximum during the cold season (October-April). The intensity of heat waves of the cold period is higher than during the warm period in all regions of Ukraine, especially the south.

Keywords: *climate change scenarios, heat waves, cumulative temperature, time dynamics.*

References

1. *Health effects of heat: information and recommendations for protecting public health. Key facts/WHO.* <https://www.who.int/globalchange/publications/heat-and-health/ru/>
2. Revich B.A., Maleev V.V. (2011). *Climate Change and Population Health in Russia: Situation Analysis and Forecasts.* Moscow: LENAND, 208.
3. Shaposhnikov D.A., Revich B.A. (2018). *About some approaches to calculation of health risks caused by temperature waves.* *Health Risk Analysis*, 1, 22–31. DOI: <https://doi.org/10.21668/health.risk/2018.1.03>
4. *Climate change in Eastern Europe. Belarus, Moldova, Ukraine.* <http://archive.zoinet.org/web/sites/default/files/publications/CCEE-Ebook-.pdf>
5. *Heatwaves: threats and responses. Series: Health and Global Environmental Change/WHO (2005), 2, 11.*
6. Katerusha G.P., Katerusha O.V. (2015). *The effects of climate change on human health. Climate change and their impact on the Ukrainian economy.* Ed. Stepanenko S.M., Polyoviy A.M. Odessa: TPP, 202–256.
7. Slizka K.P. (2012). *Definition of concept "heat wave".* *Geography and tourism*, 22, 332–339.
8. Steadman R.G. (1979). *The Assessment of Sultriness, Part I: A Temperature-Humidity Index Based on Human Physiology and Clothing Science.* *Journal of Applied Meteorology*, 861–873.

9. Kleshchenko L.K. (2010). *Cold and heat waves on the RF territory. Analysis of climatic changes and their consequences: collection of works issued by the Russian Scientific-research Institute for Hydrometeorological Information – World Data Center*, 175, 76–91.
10. Revich B.A., Shaposhnikov D.A. (2006). *Climatic conditions, air quality and mortality in Moscow in 2000-2006 // Climate, air quality and the health of population of Moscow*. Ed. prof. B.A. Revich. Moscow, Adamant. 102–140.
11. Morozova S.V. (2014). *Statistical studies of heat and cold waves in the North Western region in winter and summer (St. Petersburg as the example)*. *Scientific messages. Meteorology*, 36, 50–53.
12. Kuzhevskaya I. V., Polyakov D. V., Volkova M. A., Barashkova N. K. (2015). *Heat Waves as Reflection of Variability of Current Climatic Conditions of Vital Activity in Tomsk Region*. *Human Ecology*, 2, 3–9.
13. Snizhko S.I., Slizka K.P. (2012). *Methodology for the study of heat waves*. *Scientific journal of the National Pedagogical University named after M.P. Drahomanov. Series 4: Geography and Modernity*. 17(29), 2–37.
14. Shevchenko O.G., Snizhko S.I. (2012). *Waves of heat and the main methodological problems that arise in their study*. *Ukrainian Hydrometeorological Journal*. 10, 57– 63.
15. Slizka K.P. (2014). *Approaches to the study of high air temperatures in Ukraine in the context of modern climate change*. *Journal of Geopolitics and Ecogeodynamics of Regions*. 3, 860–866.
16. Khomenko I.A., Derevyaga O.O. (2014). *Changes in maximum air temperatures in Odessa in the context of current climate change*. *Bulletin of the Hydrometeorological Center of the Black and Azov Seas*. 2 (17), 96–105.
17. Grigoryeva E.A. (2014). *Heat waves in Khabarovsk and health of the population*. *Bulletin of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 16, 5(2), 843–846.
18. Klevets N.N., Melnik V.I., Komarovskaya E.V. (2015). *Heat waves in Belarus. Problems of hydrometeorological support of economic activity in a changing climate*. *Materials of International conference. Belarusian State University*. Minsk, 233–236.
19. Shevchenko O.G. (2013). *Research of the heat waves of the summer season observed in Kiev during the period 1911-2010*. *Ukrainian Hydrometeorological Journal*. 12, 142–149.
20. *European Climate Assessment & Dataset (ECAD)*. <http://www.ecad.eu>
21. Shevchenko O., Lee H., Snizhko S., Mayer H. (2013). *Long-term analysis of heatwaves in Ukraine*. *International Journal of Climatology*, 33, 15, 104–115. <https://doi.org/10.1002/joc.3792>

Authors Contribution: All authors have contributed equally to this work

Received 26 July 2021
Accepted 31 October 2021