

## ДИНАМІКА ГЛОБАЛЬНИХ ВИКИДІВ ПАРНИКОВИХ ГАЗІВ ТА ЕКСТРЕМАЛЬНА СПЕКА В УКРАЇНІ: ПРОГНОЗНІ КЛІМАТИЧНІ РИЗИКИ

Коваленко Ю.Л., Ломакіна О.С.

Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова  
вул. Черноглазівська, 17, 61002, м. Харків

[Yurii.Kovalenko@kname.edu.ua](mailto:Yurii.Kovalenko@kname.edu.ua), [olha.lomakina@kname.edu.ua](mailto:olha.lomakina@kname.edu.ua)

В останні десятиріччя спостерігається стійка тенденція до накопичення парникових газів в атмосферному повітрі за рахунок антропогенної діяльності людини та критичне зростання темпів накопичення енергії в кліматичній системі. Зазначені процеси призводять до почастищення кліматичних аномалій, зокрема, хвиль екстремальної спеки. Географічне розташування України обумовлює її вразливість до кліматичних змін.

Метою дослідження є встановлення наявності кореляції між зростанням глобальних викидів парникових газів та частотою екстремальних температурних явищ (перевищення температури атмосферного повітря вище за 35°C) у великих містах України за період 1950–2025 роки та оцінка прогностичних кліматичних ризиків на найближчі 25 років.

Проведено інтегрований аналіз архівних даних метеорологічних спостережень глобальних баз даних (EDGAR, IPCC, Global Carbon Project, NOAA GML) та атмосферний реаналіз (ERA5, GHCN-Daily). Застосовано методи статистичного аналізу часових рядів, порівняння кліматичних норм, математичного моделювання та сценарного моделювання (RCP 4.5, RCP 8.5).

Встановлено пряму залежність між накопиченням CO<sub>2</sub> в атмосфері та збільшенням кількості днів з температурою понад 35°C. Доведено перехід від рідкісних аномалій (1950–1999 р.р.) до регулярних теплових хвиль (2010–2025р.р.). Отримано прогностичні моделі для визначення кількості днів екстремальної спеки для п'яти обласних центрів України та визначено стійку подальшу тенденцію до зростання кількості днів з екстремальною спекою, зокрема для м. Дніпро, Запоріжжя та Київ. Також для цих міст зроблено прогностичний розрахунок середньорічної кількості днів з температурою понад 35°C за сценаріями IPCC (RCP 4.5 та RCP 8.5), що підтверджує зростання їх кількості до 2035 та 2050 р.р. *Ключові слова:* парникові гази, екстремальна температура повітря, адаптація до зміни клімату, прогностичні кліматичні ризики

### **Trends in global greenhouse gas emissions and extreme heat in Ukraine: projected climate risks Kovalenko Yu., Lomakina O.**

In recent decades, there has been a steady trend towards the accumulation of greenhouse gases in the atmosphere due to human activity, alongside a critical increase in the rate at which energy is stored within the climate system. These processes are leading to an increase in the frequency of climate anomalies, in particular heatwaves. Ukraine's geographical location makes it vulnerable to climate change.

The aim is to establish a correlation between the increase in global greenhouse gas emissions and the frequency of extreme temperature events (atmospheric temperatures exceeding 35°C) in major cities of Ukraine for the period 1950–2025, and to assess projected climate risks for the next 25 years.

An integrated analysis was conducted of archived meteorological observation data from global databases (EDGAR, IPCC, Global Carbon Project, NOAA GML) and atmospheric reanalysis (ERA5, GHCN-Daily). Methods of time series statistical analysis, comparison of climate norms, mathematical modeling and scenario modeling (RCP 4.5, RCP 8.5) were applied.

A direct correlation was established between the accumulation of CO<sub>2</sub> in the atmosphere and the increase in the number of days with temperatures exceeding 35°C. A transition from rare anomalies (1950–1999) to regular heatwaves (2010–2025) has been demonstrated. Predictive models have been developed to estimate the number of days of extreme heat for five regional centres in Ukraine, and a consistent upward trend in the number of days with extreme heat has been identified, particularly for the cities of Dnipro, Zaporizhzhia and Kyiv. Forecast calculations have also been made for these cities regarding the average annual number of days with temperatures exceeding 35°C under IPCC scenarios (RCP 4.5 and RCP 8.5), confirming an increase in their number by 2035 and 2050. *Key words:* greenhouse gases, extreme air temperatures, adaptation to climate change, projected climate risks

**Постановка проблеми.** Сучасна глобальна кліматична система перебуває у стані безпрецедентної трансформації, зумовленої антропогенною емісією парникових газів. За даними NOAA, станом на 2024 р. сукупний нагрівальний ефект довгоживучих

парникових газів призвів до поглинання атмосферою додаткових 3,54 Вт енергії на кожен квадратний метр поверхні Землі порівняно з доіндустріальною епохою, а річний індекс парникових газів (AGGI) досяг позначки 1,54 [1], що відображає критичне приско-



рення темпів накопичення енергії в кліматичній системі, що може вплинути на об'єкти інфраструктури та потребує кількісної оцінки.

**Актуальність дослідження.** Україна розташована у помірно-континентальному кліматичному поясі та демонструє особливу вразливість до кліматичних змін. Спостерігається тенденція до зростання частоти та інтенсивності екстремальних температурних явищ, зокрема, дні з максимальною температурою понад 35°C, які у другій половині ХХ століття були рідкісними аномаліями, перетворюються на регулярну характеристику літнього сезону.

**Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями.** Прийнятий у 2024 р. Закон України «Про основні засади державної кліматичної політики» визначає основні засади державної кліматичної політики України, що спрямована на досягнення кліматичної нейтральності України до 2050 р., зокрема, в якості проміжної цілі встановлено скорочення викидів парникових газів не менше ніж на 65% відносно базового рівня 1990 р [2]. У грудні 2025 р. було схвалено оновлену Довгострокову стратегію розвитку України до 2050 р [3], яка встановлює як середньострокову ціль державної кліматичної політики скорочення викидів парникових газів для всіх секторів економіки з урахуванням поглинання на більше ніж 65% від рівня 1990 р. Проведення комплексного аналізу взаємозв'язку глобальних викидів парникових газів із кількістю щорічних екстремальних температур атмосферного повітря в Україні, визначення основних тенденцій та прогноз подальших температурних змін в крупних містах України, є підґрунтям для прийняття подальших управлінських рішень з адаптації до зміни клімату як на державному, так і на місцевому рівнях.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Дослідження глобальних викидів парникових газів базуються на даних провідних міжнародних інституцій. База даних EDGAR (Emissions Database for Global Atmospheric Research) Європейської Комісії забезпечує комплексний облік антропогенних емісій всіх країн світу з 1970 року [4]. Міжурядова група експертів з питань зміни клімату (IPCC) у своїх оціночних звітах систематизує наукові докази щодо впливу парникових газів на кліматичну систему [5]. Глобальний вуглецевий проект (Global Carbon Project) щорічно публікує дані про баланс вуглецю в атмосфері, океані та на суші [6]. Міжнародні проекти атмосферного реаналізу – ERA5 (Copernicus Climate Change Service) [7] та GHCN-Daily (NOAA) [8] – дозволяють верифікувати локальні дані та заповнювати прогалини у спостереженнях.

Питання зміни клімату в Україні, реальні та потенційні наслідки цих змін вже тривалий час знаходяться у фокусі уваги українських наукових інституцій та дослідників. Аналіз зміни температури повітря в окремих містах та областях України

за період 1991-2010 р.р. викладений у дослідженні [9]. Результати дослідження наслідків зміни клімату на окремі компоненти довкілля та сектори економіки, визначення пріоритетних заходів з адаптації до зміни клімату представлені у аналітичній доповіді Національного інституту стратегічних досліджень [10]. Вплив зміни клімату на сільськогосподарський сектор розглянуто у дослідженнях [11, 12], соціально-економічні наслідки – у [13].

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття.** Кліматична система Землі протягом останніх семи десятиліть зазнала трансформації, яка не має аналогів у голоценовій історії планети. Основним рушієм цих змін є антропогенне посилення парникового ефекту, зумовлене експоненціальним зростанням концентрації довгоживучих парникових газів (ПГ). Аналіз даних спостережень свідчить про те, що концентрація діоксиду вуглецю (CO<sub>2</sub>) зросла з приблизно 314 ppm у 1950 р. до понад 425 ppm станом на 2025 р. Це зростання радикально змінило радіаційний бюджет планети, створюючи «теплову пастку» для інфрачервоного випромінювання.

Попередні дослідження встановили регіональні особливості потепління в Україні: підвищення середньорічної температури на 1,2°C за останні 30 років, зростання за останні роки повторюваності днів з максимальними температурами влітку понад +35°C [10], приріст активних температур повітря вище +10°C для степової і лісостепової зон України та Полісся [12]. Однак комплексний аналіз взаємозв'язку глобальних трендів емісій парникових газів та локальних екстремальних температурних явищ не проводився. Згідно з класифікацією Всесвітньої метеорологічної організації (WMO) та Настановою з метеорологічного прогнозування Українського гідрометеорологічного центру дні з максимальною температурою повітря 35,0°C і вище відносяться до категорії небезпечних гідрометеорологічних явищ [14, 15, 16]. Результати прогнозу зростання кількості днів з температурою більше 35°C відсутні, що і стало чинником проведення цих досліджень.

**Новизна.** Встановлено кількісну залежність між динамікою глобальних викидів парникових газів та частотою екстремально високих температур (температура повітря вища за 35°C) у великих містах України за період 1950–2025 р.р. та оцінено прогнозні кліматичні ризики.

**Виклад основного матеріалу.** Аналіз динаміки глобальних викидів та концентрацій парникових газів за період з 1950 р. по 2025 р. виконувався на основі наступних даних:

1. Глобальні викиди парникових газів: річні викиди CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, F-газів по країнах та секторах економіки (1970–2025 р.р.) [4], глобальний баланс вуглецю, викиди від викопного палива та змін у землекористуванні (1950–2025 р.р.) [17], оціночні дані кліматичних характеристик для періоду

1950–1970 р.р. [5], національні історичні ряди емісії CO<sub>2</sub> (1950–2024 р.р.) [18];

2. Концентрації парникових газів: тренди атмосферних концентрацій CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O [19], бюлетені парникових газів всесвітньої метеорологічної організації [20], звіти та часові ряди до 2024 р. [4], оперативні індикатори стану Землі [21, 22];

3. Температурні дані по Україні [7, 8]. Для забезпечення повноти та достовірності температурних рядів пріоритет віддавався офіційним даним наземних метеостанцій, прогалини заповнювалися даними атмосферного реаналізу з використанням методу найближчого сусіда та білінійної інтерполяції для точки розташування міста; верифікація проводилася шляхом порівняння з альтернативними джерелами. Для збирання, накопичення та узагальнення інформації застосовано Gemini PRO.

Аналіз атмосферних концентрацій основних парникових газів за період 1950–2025 р.р. демонструє суттєву трансформацію хімічного складу повітряної оболонки Землі. Ключовим висновком є факт прискорення накопичення цих газів. Збільшення темпів росту CO<sub>2</sub> з 1960-х років та різкий стрибок вмісту метану після 2020 р. свідчать про те, що антропогенний вплив подолав природні буферні механізми.

Аналіз температурних рядів виконувався для п'яти обласних центрів України, розташованих у різних кліматичних зонах: міст Київ, Харків, Дніпро, Запоріжжя та Львів. В таблиці 1. наведено загальну кількість днів з температурою вище за 35°C та їх середньорічну кількість за період по містах, а також динаміка концентрації CO<sub>2</sub> в атмосфері.

Графічну інтерпретацію динаміки викидів CO<sub>2</sub> в процесі спалювання вихопного палива, загальних

викидів парникових газів та зміни концентрації CO<sub>2</sub> в атмосферному повітрі наведено на рисунку 1.

Узагальнені дані аналізу зміни концентрації CO<sub>2</sub> в атмосфері та середньорічної кількості днів з температурою більше, ніж 35 °C в містах Київ, Харків, Дніпро, Запоріжжя та Львів наведено на рисунку 2.

Проведений аналіз даних по обраних містах України свідчить про перехід від поодиноких аномалій у 1950–1999 р.р. до системних теплових хвиль у 2010–2025 р.р. Особливо показовим є приклад м. Дніпро, де середньорічна кількість днів із  $t \geq 35^\circ\text{C}$  зростає з 0,9 днів на рік у 1950-х роках до 17,4 днів на рік у поточному п'ятиріччі. Історичний рекорд 2024 року – 31 день екстремальної спеки у Дніпрі – став символом нової кліматичної реальності, де третину літнього сезону складають дні з критичним тепловим навантаженням. Дані свідчать про те, що м. Дніпро та м. Запоріжжя є епіцентрами потепління. Зокрема, у м. Дніпро середньорічна кількість спекотних днів у останньому десятилітті зростає майже у 20 разів порівняно з початком спостережень.

Запоріжжя традиційно демонструє високі показники, проте темп зростання тут дещо відрізняється від м. Дніпро. Це може бути пов'язано з локальними особливостями циркуляції та впливом великих водних мас Каховського водосховища (до його руйнування), які чинили пом'якшувальний ефект на мікроклімат. Тим не менш, середня кількість днів у 2010-х роках (9,1) майже вчетверо перевищує норму 1950-х (1,9).

Київ та Харків демонструють явище «кліматичного зсуву». Якщо до 2010 р. дні з температурою понад  $t \geq 35^\circ\text{C}$  у Києві були практично відсутні, то за останнє десятиріччя вони стали регулярними. Це вказує на розширення зони впливу гарячих тропіч-

Таблиця 1

Кількість днів з температурою з  $t \geq 35^\circ\text{C}$  та динаміка концентрації CO<sub>2</sub> в атмосфері

Період, роки	Міста										Концентрація CO <sub>2</sub> в атмосфері, ppm
	Київ		Харків		Дніпро		Запоріжжя		Львів		
	Кількість днів з $t > 35^\circ\text{C}$	Середньорічна кількість днів з $t > 35^\circ\text{C}$	Кількість днів з $t > 35^\circ\text{C}$	Середньорічна кількість днів з $t > 35^\circ\text{C}$	Кількість днів з $t > 35^\circ\text{C}$	Середньорічна кількість днів з $t > 35^\circ\text{C}$	Кількість днів з $t > 35^\circ\text{C}$	Середньорічна кількість днів з $t > 35^\circ\text{C}$	Кількість днів з $t > 35^\circ\text{C}$	Середньорічна кількість днів з $t > 35^\circ\text{C}$	
1951-1960	0	0	4	0,4	9	0,9	19	1,9	0	0	314
1961-1970	0	0	0	0	6	0,6	10	1	0	0	321,3
1971-1980	0	0	6	0,6	12	1,2	19	1,9	0	0	332,2
1981-1990	0	0	0	0	4	0,4	14	1,4	0	0	346,6
1991-2000	0	0	8	0,8	29	2,9	34	3,4	0	0	362
2000-2010	2	0,2	29	2,9	70	7	51	5,1	1	0,1	379,7
2010-2020	0	0	22	2,2	110	11	91	9,1	1	0,1	400,7
2021-2025	4	0,8	31	0,62	87	17,4	44	8,8	2	0,2	425,7

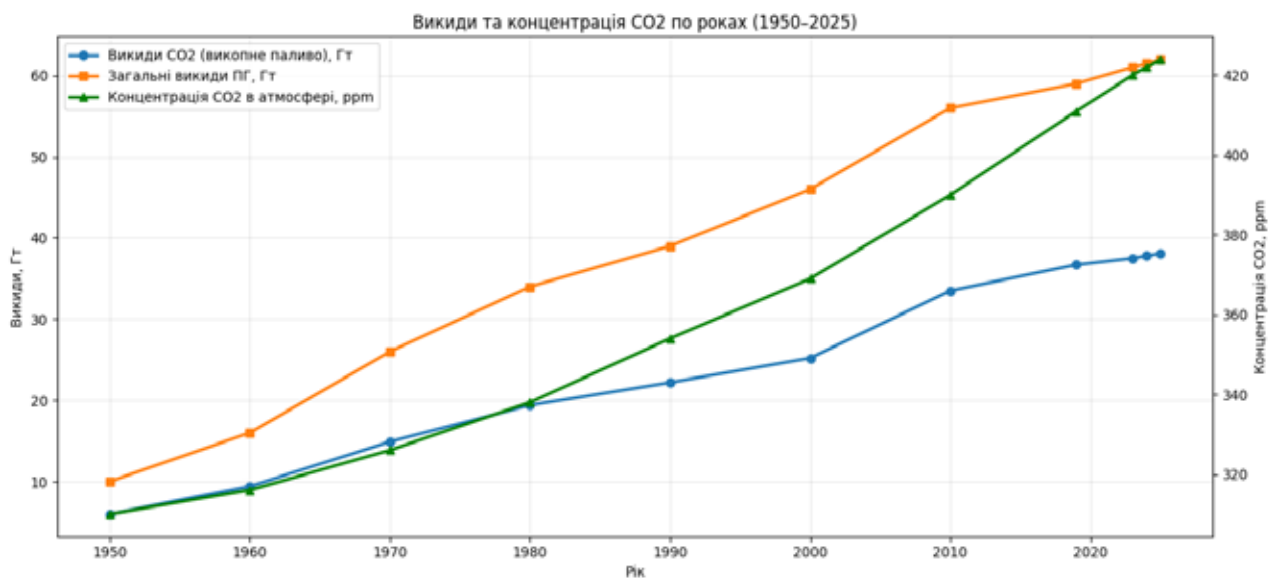


Рис. 1. Динаміка викидів парникових газів та зміни концентрації CO<sub>2</sub> за період 1950-2025 р.р.

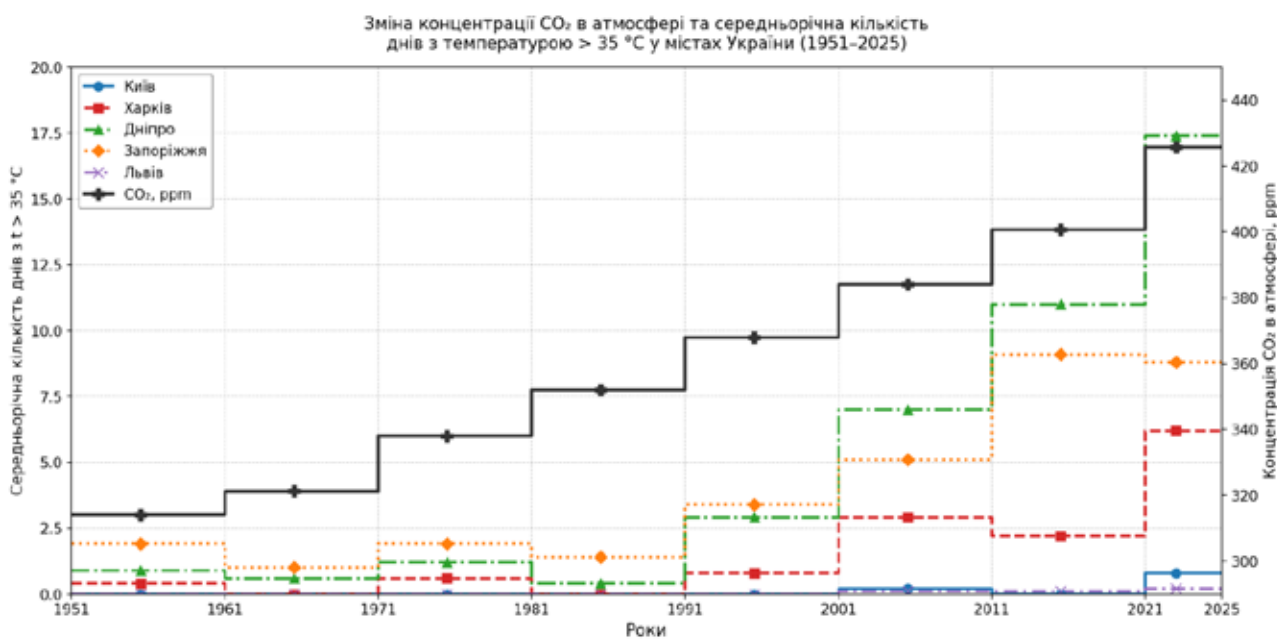


Рис. 2. Динаміка зміни концентрації CO<sub>2</sub> та середня кількість днів з температурою вище за 35°C у містах України за період 1951–2025 р.р

них повітряних мас та зміщення кліматичних поясів на північ. Харків, як найбільш східний і континентальний з досліджуваних центрів, також зафіксував різкий стрибок частоти спеки: з 0,4 дня у 1950-х до 2,2 дня у 2020-х.

Львів, незважаючи на свій статус найбільш прохолодного великого міста України, також почав фіксувати випадки перевищення літньої температури вище 35°C у 2010, 2015, 2021 та 2024 роках. Хоча середнє значення залишається низьким (0,1 дня), сам факт появи таких температур у перед-

гір'ях Карпат є індикатором глобальної дестабілізації клімату.

Зв'язок між глобальною концентрацією CO<sub>2</sub> та кількістю спекотних днів у м. Дніпро, Запоріжжя та Харків підтверджується коефіцієнтом кореляції. Це дозволяє перейти від описового аналізу до математичного моделювання локальних відгуків на глобальне потепління.

Для кожного з обраних для аналізу міст на основі наведених даних за період 1950–2025 р.р. була розроблена емпірична формула, що дозволяє прогнозу-

вати кількість днів екстремальної спеки. Враховуючи нелінійний характер зростання частоти екстремумів при досягненні критичних порогів глобальної температури, для апроксимації зв'язку між концентрацією CO<sub>2</sub> та кількістю днів спеки  $N$  застосовано квадратичну модель

$$N = ax^2 + bx + x,$$

де  $N$  – очікувана кількість днів із  $t \geq 35$  °C на рік;

$x$  – концентрація двоокису вуглецю в атмосфері, ppm.

Такий підхід дозволяє врахувати ефект «точки перелому», після якої частота екстремальних подій починає зростати з прискоренням.

Отримано прогнози моделі для кожного з обраних для аналізу міст, визначено кореляцію між концентрацією двоокису вуглецю та кількістю днів екстремальної спеки та оцінено основні тенденції зміни температурного режиму (таблиця 2).

Представлені у таблиці 2 математичні моделі є інструментом для оцінки ризиків у межах сценаріїв IPCC (RCP 4.5, RCP 8.5). Сценарії IPCC (Representative Concentration Pathways – RCP) є стандартизованими траєкторіями зміни концентрації парникових газів, які використовуються для моде-

лювання майбутнього клімату залежно від обсягів антропогенних викидів. [23]. Ці сценарії описують різні рівні додаткового радіаційного впливу на атмосферу до 2100 р. порівняно з доіндустріальним періодом.

RCP 4.5 (помірний сценарій) передбачає стабілізацію радіаційного впливу на рівні 4,5 Вт/м<sup>2</sup>. Це «середній» шлях, за якого світові викиди парникових газів досягають піку приблизно у 2040 р., а потім починають поступово знижуватися завдяки впровадженню нових технологій та кліматичної політики. Очікується, що концентрація CO<sub>2</sub> за цим сценарієм досягне приблизно 540 ppm до кінця століття.

RCP 8.5 (високоемісійний сценарій), який часто називається сценарієм «бізнесу як зазвичай» (business as usual). Сценарій описує світ, у якому не вживається суттєвих заходів для обмеження викидів, і концентрація CO<sub>2</sub> продовжує стрімко зростати, досягаючи понад 940 ppm до 2100 р. Це призводить до екстремального потепління (понад 4 °C у глобальному масштабі) та різкого збільшення частоти небезпечних погодних явищ.

Виконано прогнозування на 2035 та 2050 роки за сценаріями IPCC. Для прогнозів використано наступні значення концентрації CO<sub>2</sub>:

аТаблиця 2

Основні тенденції та висновки щодо зміни температурного режиму у містах України

Місто	Прогнозна модель та коефіцієнт кореляції	Основні тенденції та висновки
Дніпро	$N = 0,0018x^2 - 1,17x + 189,4$ коефіцієнт кореляції $r = 0,93$ (дуже сильний зв'язок – добра кореляція)	Місто демонструє найвищу чутливість до зміни радіаційного балансу. Формула для м. Дніпро відображає стрімкий перехід до нового кліматичного стану. Згідно з моделлю, при досягненні концентрації CO <sub>2</sub> = 450 ppm, кількість спекотних днів у Дніпрі може перевищити 40 днів на рік.
Запоріжжя	$N = 0,0011x^2 - 0,69x + 110,6$ коефіцієнт кореляції $r = 0,95$ (найвищий ступінь статистичної значущості – відмінна кореляція)	Для міста характерна висока початкова ймовірність спеки, але дещо нижчий темп її зростання порівняно з сусіднім м. Дніпро. Значення коефіцієнта кореляції свідчить про стабільне, але менш вибухове зростання екстремумів у південно-східному регіоні.
Харків	$N = 0,0004x^2 - 0,26x + 43,1$ коефіцієнт кореляції $r = 0,82$ (сильний зв'язок – задовільна кореляція)	Модель відображає континентальний відгук північно-східного регіону
Київ	$N = 0,0003x^2 - 0,02x + 3,08$ коефіцієнт кореляції: $r = 0,55$ (зв'язок помірний через велику кількість нульових значень у минулому – слабка кореляція)	Формула описує ефект «активації» спеки, яка практично не спостерігалася до досягнення концентрацією рівня 380 ppm. За такої динаміки, подальше зростання концентрації CO <sub>2</sub> призведе до того, що київське літо вже у 2040-х роках нагадуватиме сучасне літо у м. Кривий Ріг або м. Миколаїв.
Львів	$N = 0,000015x^2 - 0,009x + 1,44$ коефіцієнт кореляції: $r = 0,68$ (зв'язок помітний – слабка кореляція)	Наразі місто залишається найбільш резистентним до хвиль спеки, однак модель фіксує початок трансформації.

2035 р.:  $\text{CO}_2 = 451$  ppm (для RCP 4.5) та 463 ppm (для RCP 8.5);

2050 р.:  $\text{CO}_2 = 487$  ppm (для RCP 4.5) та 541 ppm для RCP 8.5).

Результати прогнозних розрахунків за сценаріями наведено у таблиці 3 та на рисунку 3.

Грунтуючись на результатах прогнозних розрахунків, можна стверджувати, що у майбутньому кількість днів з екстремальною спекою у досліджуваних містах буде суттєво зростати.

**Висновки.** Проведений аналіз динаміки глобальних викидів та концентрацій парникових газів за період 2051–2025 р.р дозволяє зробити висновки про те, що має місце прискорення накопичення парникових газів в атмосферному повітрі. Збільшення швидкості зростання вмісту двоокису вуглецю та метану вказує на подолання природних буферних механізмів за рахунок антропогенних викидів.

Встановлено кількісну залежність між зростанням глобальних викидів парникових газів та частотою екстремальних температурних явищ в Україні. Відбувається суттєва трансформація температурного режиму великих міст України (м. Київ, Харків, Дніпро, Запоріжжя та Львів). Дні з максимальною температурою (більша за  $35^\circ\text{C}$ ), які у період 1950–1999 рр. були достатньо рідкісними аномаліями, перетворилися на регулярне явище у 2010–2025 рр.

Встановлено наявність кореляції між концентрацією двоокису вуглецю та кількістю днів екстремальної спеки у всіх аналізованих містах, причому для м. Дніпро, Запоріжжя та Харків цей зв'язок є дуже сильним.

Прогнозування значень середньорічної кількості днів з температурою понад  $35^\circ\text{C}$  в залежності від зміни концентрації  $\text{CO}_2$  за сценаріями IPCC підтвердило гіпотезу щодо подальшого зростання кількості днів з аномальними температурами до 2035 та 2050 р.р.

Таблиця 3

Прогнозовані значення середньорічної кількості днів з температурою понад  $35^\circ\text{C}$  за сценаріями IPCC

Місто	Середньорічна кількість днів з температурою понад $35^\circ\text{C}$			
	2035 р. (RCP 4.5)	2035 р. (RCP 8.5)	2050 р. (RCP 4.5)	2050 р. (RCP 8.5)
Київ	0,1	0,2	0,5	1,0
Харків	7,1	8,4	11,5	19,4
Дніпро	28,4	33,5	47,8	82,7
Запоріжжя	23,0	26,6	35,5	58,9
Львів	0,4	0,5	0,6	1,0

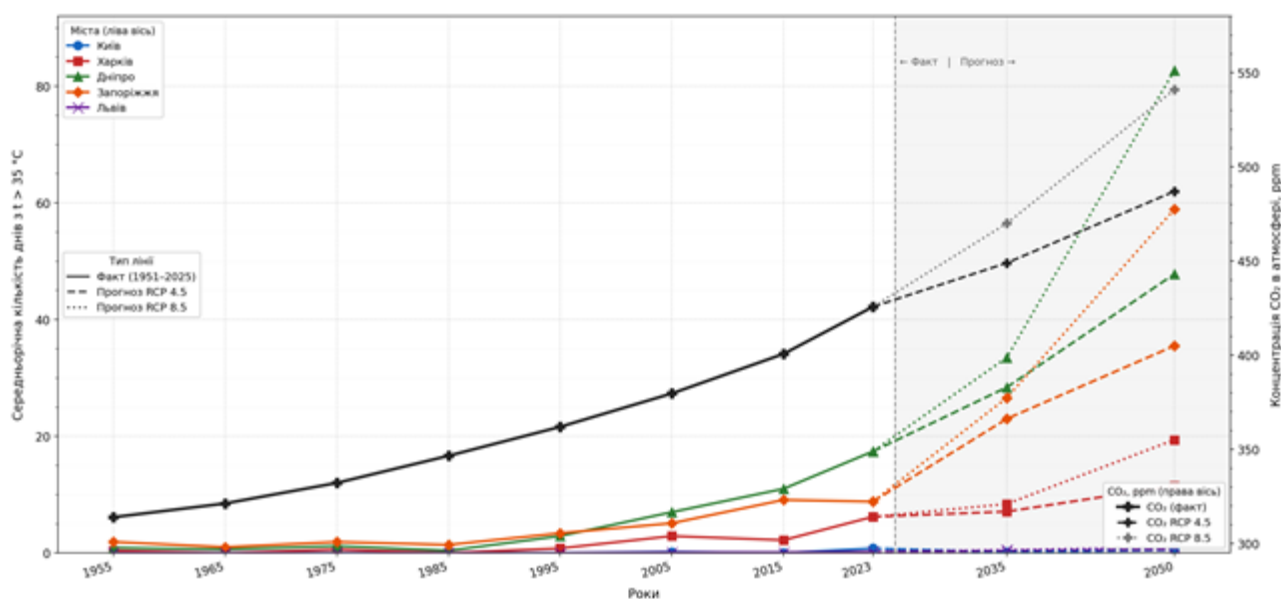


Рис. 3. Зміна концентрації  $\text{CO}_2$  в атмосфері та середньорічна кількість днів з температурами вище за  $35^\circ\text{C}$  у містах України (1951–2025 р.р.) та прогноз на 2035 та 2050 р.р. за сценаріями RCP 4.5 RCP 8.5

Таким чином, зростання глобальних викидів парникових газів стало прямим драйвером трансформації клімату України. Кумулятивний характер впливу CO<sub>2</sub> та ефект міського острова

тепла перетворили екстремальну спеку на регулярний чинник ризику, що вимагає негайної подальшої адаптації міських систем до кліматичних змін.

### Література

1. The NOAA Annual Greenhouse Gas Index (AGGI). *NOAA Global Monitoring Laboratory*. 2025. URL: <https://gml.noaa.gov/aggi/aggi.html>
2. Про основні засади державної кліматичної політики: Закон України від 08.10.2024 р. № 3991-IX. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3991-20#Text>
3. Довогострова стратегія низьковуглецевого розвитку України до 2025 року. URL: <https://me.gov.ua/view/ba4565a8-544b-4c90-af84-49b2b718f629>
4. GHG emissions of all world countries. Report. *EDGAR – Emissions Database for Global Atmospheric Research*. 2025. URL: [https://edgar.jrc.ec.europa.eu/report\\_2025#data\\_download](https://edgar.jrc.ec.europa.eu/report_2025#data_download)
5. Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. IPCC Sixth Assessment Report. *IPCC Working Group III: Mitigation of Climate Change*, 2022. URL: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/>
6. P. Friedlingstein et al. Global Carbon Budget 2025. *Earth System Science Data*. Preprint. URL: <https://essd.copernicus.org/preprints/essd-2025-659/>
7. Copernicus Climate Change Service (2025): ERA5 hourly time-series data on single levels from 1940 to present. *Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS)*. URL: <https://cds.climate.copernicus.eu/datasets/reanalysis-era5-single-levels-timeseries>
8. Menne, Matthew J., Imke Durre, Bryant Korzeniewski, Shelley McNeill, Kristy Thomas, Xungang Yin, Steven Anthony, Ron Ray, Russell S. Vose, Byron E. Gleason, and Tamara G. Houston. Global Historical Climatology Network – Daily (GHCN-Daily), Version 3. *NOAA National Climatic Data Center*. 2012. doi:10.7289/V5D21VHZ. URL: <https://www.ncei.noaa.gov/metadata/geoportals/rest/metadata/item/gov.noaa.ncdc:C00861/html#>
9. Осадчий В.І., Бабіченко В.М. Температура повітря на території України в сучасних умовах клімату. *Український географічний журнал*. 2013/ Вип. 4. С. 32–39. URL: [https://ukrgeojournal.org.ua/sites/default/files/UGJ\\_2013\\_4\\_32-39.pdf](https://ukrgeojournal.org.ua/sites/default/files/UGJ_2013_4_32-39.pdf)
10. Іванюта С.П., Коломієць О. О., Малиновська О. А., Якушенко Л. М. Зміна клімату: наслідки та заходи адаптації: аналіз. доповідь / ред. С. П. Іванюта. Київ : НІСД, 2020. 110 с. URL: [https://niss.gov.ua/sites/default/files/2020-10/dop-climate-final-5\\_sait.pdf](https://niss.gov.ua/sites/default/files/2020-10/dop-climate-final-5_sait.pdf)
11. О. В. Шевченко. Вплив кліматичних змін на сільськогосподарське землекористування в Україні. *Збалансоване природокористування*. 2023. Вип. № 4. С. 108–114. URL: <https://journals.urau.ua/bnusing/article/view/292725/290986>
12. Кривохижа С. М., Матвішин А. І., Бринь В. Т. Вплив зміни клімату на врожайність основних сільськогосподарських культур в Україні. *Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка*. 2024. Вип. № 3(44). С. 33–37. URL: [https://journals.pdu.khmelnytskyi.ua/index.php/podilian\\_bulletin/article/view/397/356](https://journals.pdu.khmelnytskyi.ua/index.php/podilian_bulletin/article/view/397/356)
13. Сарвас С., Мідяний Р., Богдан І., Гадуп'як Н., Марунчак Р. Соціально-економічні наслідки глобальної зміни клімату. *Академічні візії*. 2023. Вип. № 24. 9 с. URL: <https://academy-vision.org/index.php/av/article/download/627/633/641>
14. Heatwave. *World Meteorological Organization*. URL: <https://wmo.int/topics/heatwave>
15. Manual on the WMO Integrated Global Observing System. Annex VIII to the WMO Technical Regulations. *World Meteorological Organization*. 2023. 139 p. URL: [https://amc.namem.gov.mn/wp-content/uploads/WMO/14.%20WMO-1160-2023-Upd-2024\\_en.pdf?t=1638837870](https://amc.namem.gov.mn/wp-content/uploads/WMO/14.%20WMO-1160-2023-Upd-2024_en.pdf?t=1638837870)
16. Настанова з метеорологічного прогнозування. *Український гідрометеорологічний центр (УкрГМЦ)*. Київ. 2019. 35 с. URL: [https://www.meteo.gov.ua/f/pro\\_nas/normativni\\_akt/Nastanova%20z%20meteoprognozuvannia.pdf](https://www.meteo.gov.ua/f/pro_nas/normativni_akt/Nastanova%20z%20meteoprognozuvannia.pdf)
17. The critical annual update revealing the latest trends in global carbon emissions. *Global Carbon Budget*. URL: <https://globalcarbonbudget.org/>
18. Gütschow J., Busch D., Pflüger M. The PRIMAP-hist national historical emissions time series (1750-2024) v2.7. *Zenodo*. 2025. URL: <https://zenodo.org/records/17090760> (дата звернення: 25.01.2026).
19. Trends in CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, SF<sub>6</sub>. Carbon Cycle Greenhouse Gases. *Global Monitoring Laboratory. NOAA*. URL: <https://gml.noaa.gov/ccgg/trends/data.html>
20. Greenhouse Gas Bulletin. *World Meteorological Organization*. URL: <https://wmo.int/publication-series/greenhouse-gas-bulletin>
21. Carbon Dioxide – Earth Indicator. *NASA*. URL: <https://science.nasa.gov/earth/explore/earth-indicators/carbon-dioxide/>
22. Methane – Earth Indicator. *NASA*. URL: <https://science.nasa.gov/earth/explore/earth-indicators/methane/>
23. The Intergovernmental Panel of Climate Change. IPCC. URL: <https://www.ipcc.ch/>

Дата першого надходження статті до видання: 16.03.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 24.04.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 29.05.2026