

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ТАРАСА
ШЕВЧЕНКА ГЕОГРАФІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
Кафедра фізичної географії та геоекології

На правах рукопису

УДК: 911.8

**ПРОЯВИ ГЛОБАЛЬНОЇ ЗМІНИ КЛІМАТУ В МІСТАХ УКРАЇНИ:
ТЕНДЕНЦІЇ ТА НЕБЕЗПЕКИ (НА ПРИКЛАДІ МІСТА КИЇВ)**

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Галузь знань **10** – природничі науки

Спеціальність **106** – географія

Освітня програма **Транскордонне екологічне співробітництво**

Кваліфікаційна робота бакалавра
студентки 4 курсу
Півень Софії Олексіївни

Наукова керівниця:
Гавриленко Олена Петрівна
кандидат географічних наук, доцент

КИЇВ – 2024

ЗМІСТ

ВСТУП	3
1 ВПЛИВ КЛІМАТИЧНИХ ЗМІН В УКРАЇНІ	6
1.1 Аналіз сучасного клімату України	6
1.2 Тенденції та можливі наслідки зміни клімату в Україні	10
1.3 Рішення протидії кліматичним змінам	16
2 ВРАЗЛИВІСТЬ МІСТ ДО ЗМІНИ КЛІМАТУ	18
2.1 Фактори, що впливають на вразливість міст до зміни клімату	19
2.2 Основні негативні наслідки зміни клімату для великого міста	20
2.3 Загальна оцінка зміни клімату українських міст	23
3 ТЕНДЕНЦІЇ ТА НЕБЕЗПЕКИ КЛІМАТИЧНИХ ЗМІН	
МІСТА КИЇВ	31
3.1 Прояви зміни клімату на території м. Київ	31
3.2 Заходи адаптації міста до кліматичних змін	42
ВИСНОВКИ	46
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	48

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Дослідження зміни клімату показали, що на початку 21 століття масштаби його прояву досягли дуже великого рівня, торкнувшись не лише окремих галузей економіки, а й глобальних економічних процесів, соціально-економічного розвитку суспільств, продовольчої та енергетичної безпеки. Поєднання урбанізації та негативних наслідків кліматичних змін, що спостерігаються у великих містах, створює пряму загрозу економічній, екологічній, та соціальній стабільності світу [42].

Детальний аналіз проявів і наслідків зміни клімату показує, що зміна клімату призводить до виникнення унікальних міських проблем, і що міські території є значно більш вразливими до зміни клімату, ніж інші регіони. Оскільки вразливість визначається як функція двох факторів: характеристик кліматичних змін та сприйнятливості й адаптивності соціальних систем, детальні та правдиві відомості про прояв кліматичних змін в українських містах забезпечує об'єктивну оцінку вразливості та розробити плани адаптації міста до кліматичних змін.

Щоб оцінити вразливість міст до несприятливих наслідків зміни клімату та які впливи очікуються в містах і для яких із них необхідно розробити адаптаційні заходи, оцінюють певні фактори, а саме:

- оцінка вразливості міста до теплового стресу;
- оцінка вразливості міста до підтоплення;
- оцінка вразливості міських зелених зон;
- оцінка вразливості до стихійних гідрометеорологічних явищ;
- оцінка вразливості до погіршення якості питної води;
- оцінка вразливості енергетичних систем міста [32].

Ступінь наукової розробки теми. На сьогодні тематика кліматичної зміни дуже актуальна і тому привертає увагу багатьох вітчизняних вчених. Шкода, що багато бажаючих долучитися до вивчення такої нагальної проблеми не мають освіти кліматолога. І як результат, останніми роками в українській

науковій літературі можна зустріти багато публікацій, які містять не зовсім точну інформацію про причини та наслідки кліматичних змін. Однак є детальне дослідження українських кліматологів, присвячене цьому питанню. Вони представлені працями В. О. Балабух, Н. П. Гребенюк, М. Б. Барабаш та О. Г. Шевченко та інші. Але жодне з цих досліджень повністю не прояснило питання як кліматичні зміни впливають на українські міста. Причиною цього є те, що у одних працях досліджується прояви зміни клімату на теренах нашої держави на території та окремих її районах, а у інших показані окремі аспекти прояву кліматичних змін для конкретного міста, а дослідження, до яких би включались усі ці аспекти разом, відсутні [42].

Метою дослідження є дослідити прояви глобальної зміни клімату в містах України, а саме тенденції та небезпеки на прикладі міста Київ.

Задля досягнення даної мети, були розв'язані наступні **завдання**:

- провести аналіз сучасного клімату України;
- визначити тенденції та можливості зміни клімату в Україні;
- розглянути рішення, які застосовують для протидії зміні клімату;
- проаналізувати чинники впливу на вразливість міст до змін клімату;
- окреслити основні негативні наслідки зміни клімату для великого міста;
- надати загальну оцінку змінам клімату в українських містах;
- дослідити, як зміна клімату впливає на територію міста Києва;
- визначити основні заходи адаптації міста Київ до кліматичних змін.

Об'єктом дослідження є явище зміни клімату на території України в цілому, та на території міста Київ зокрема.

Предметом дослідження є вплив кліматичних змін на довкілля та шляхи зменшення і подолання їх наслідків.

Методи дослідження. Методи дослідження зумовлені специфікою даної дослідницької роботи. На етапі збору та опрацювання інформації використовувалися методи: загальнонаукові (індукція та дедукція, аналіз та синтез, класифікація), та конкретно-науковий (статистичний).

Теоретичне значення полягає у загальному аналізі впливу зміни клімату

на територію України та м. Київ. Дана робота приділяє увагу дослідженням зміни клімату протягом великого проміжку часу. Визначається, як кліматичні зміни впливають на довкілля, виділяє проблеми пов'язані з цим та встановлює заходи щодо їх запобігання або адаптації.

Структура роботи. Кваліфікаційна робота бакалавра складається з 3 розділів, вступу та висновків, переліку використаних джерел. Список налічує 50 джерел. Загальний обсяг роботи становить 52 сторінки, робота також містить 17 ілюстрацій і 9 таблиць.

1 КЛІМАТИЧНІ ЗМІНИ В УКРАЇНІ ТА ЇХ МОЖЛИВІ НАСЛІДКИ

1.1 Сучасний клімат України та тенденції його змін

Клімат України помірно континентальний, за виключенням прибережних районів Чорного і Азовського морів, які характеризуються субтропічним середземноморським кліматом. На всій території країни середні температури за період з травня по серпень коливаються від 18°C до 22°C (рис. 1.1), при цьому найвищі середні температури спостерігаються в Криму. У зимовий період (з грудня по березень) середня температура коливається від -5°C до 2°C. Найнижча температура притаманна північно-східній частині України [12].

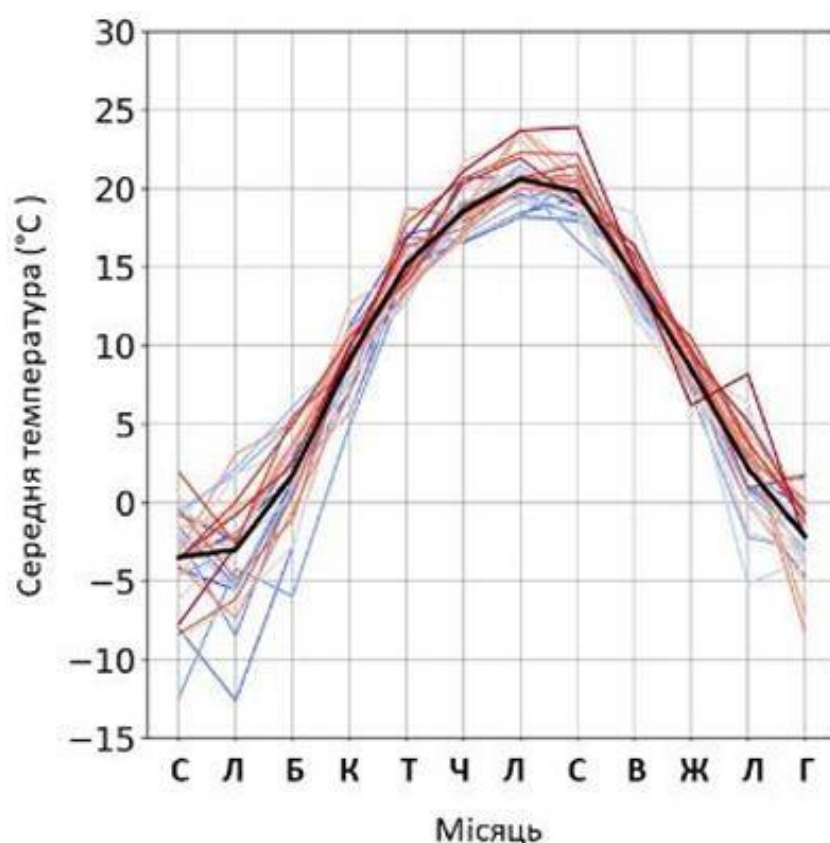


Рисунок 1.1. Середні місячні температури, за 30-річний базовий період 1981–2010 рр., °C [1]

Опадів мало протягом року, більше опадів випадає на півночі влітку та на півдні взимку (рис. 1.2). Найбільш вологими регіонами України є північні та західні гірські райони з рясними опадами влітку, які в Карпатах сягають 1600 мм,

і сильними снігопадами взимку, тоді як південна частина характеризується великою кількістю опадів. Наша країна характеризується малою кількістю опадів протягом літніх місяців [12; 23; 34].

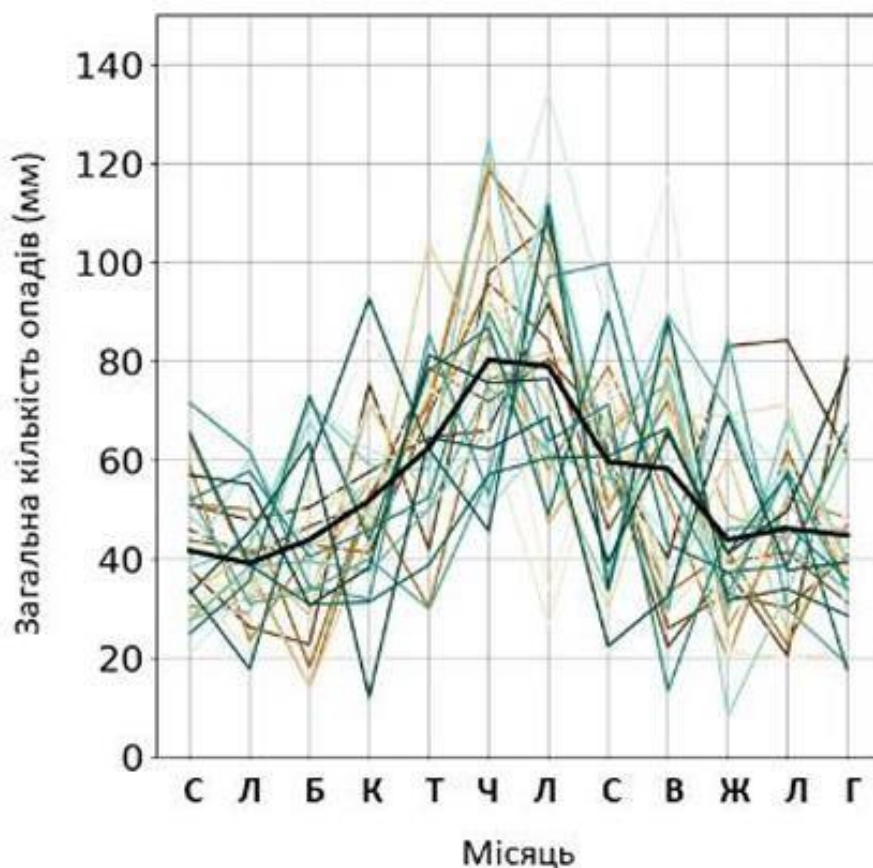


Рисунок 1.2. Місячна кількість опадів, за 30-річний базовий період 1981– 2010 рр., мм [1]

Графіки (рис. 1.1 та рис.1.2) відображають середню температуру за місяць, за Цельсієм, і місячну кількість опадів, мм. Спостереження на основі ERA5 [7], дає змогу аналізувати набір даних за 30-річний базовий період 1981-2010 рр. Базовий період використовується для опису середніх кліматичних характеристик України. Кожен рік представлений однією барвистою лінією, яка починається з самого раннього року і закінчується найпізніше. Середні значення температури чи кількості опадів за 30 років позначено темно-червоною лінією [1].

Через територію країни протікає важлива мережа річок, які впадають у Чорне море. Зокрема, такі великі річки, як Дніпро, притоки якої Прип'ять і Десна

утворюють Дніпропетровський водоспад, є важливими джерелами гідроенергії, на які припадає близько двох третин потреб сільського господарства та промисловості у воді та понад 30 млн. людей у країні [45; 48].

На *рис 1.3.* проаналізовані основні кліматичні показники, та вказані наслідки, у випадку їх змін.

Основні висновки щодо кліматичних показників	
<p>Температура</p> 	<ul style="list-style-type: none"> Температура в Україні та прилеглих регіонах піднялася майже на 1,5°C за останні 30 років. 2020 рік став найспекотнішим для Європи й України за всю історію вимірів. За сценарієм помірної концентрації парникових газів (RCP4.5) очікується, що порівняно з показниками станом на кінець XX століття середньорічні температури можуть зрости на 1,2°C — 3,0°C до середини та на 1,6°C — 3,5°C до кінця XXI століття. За сценарієм високої концентрації парникових газів (RCP8.5), якщо порівнювати з показниками станом на кінець XX століття, можливе зростання середньорічних температур на 1,7°C — 4,1°C до середини та на 3,4°C — 6,2°C до кінця XXI століття.
<p>Екстремальна температура</p> 	<ul style="list-style-type: none"> За останні десятиліття в Україні збільшилася кількість та інтенсивність періодів спеки, і, за прогнозами, у майбутньому відбудеться подальше зростання. Якщо глобальна температура підвищиться на 4°C порівняно з доіндустріальними рівнями, екстремальні періоди спеки, які раніше спостерігалися раз на 50 років, можуть виникати майже щороку. Прогнозується, що кількість морозних днів зменшиться, і наприкінці XXI століття в деяких районах більше не буде днів із від'ємними температурами.
<p>Опади</p> 	<ul style="list-style-type: none"> Річна кількість опадів варіюється по всій Україні, зі значною міжрічною мінливістю, що призводить до деяких дуже вологих і деяких дуже посушливих років. Очікується, що ця значна мінливість збережеться і в майбутньому. Імовірно, до кінця XXI століття може значно зменшитися кількість опадів улітку, особливо на півдні та південному сході України, до кінця 21 століття. Є ймовірність збільшення дощів узимку, особливо на півночі України. Незважаючи на збільшення опадів узимку, проєкції вказують на ймовірність зменшення поширення та висоти снігового покриву в умовах теплішого клімату, що в західних гірських регіонах, через зменшення талої води відповідно зменшуватиметься весняний стік.
<p>Екстремальні опади</p> 	<ul style="list-style-type: none"> Прогнозується, що частота та інтенсивність дуже сильних опадів зросте на 10% — 25% до кінця XXI століття.

Рисунок 1.3. Основні висновки щодо кліматичних змін [1]

Україна є дуже вразливою до таких катастроф, як повені, спричинені дощами, затоплення сільськогосподарських територій та міських територій,

затоплення узбережжя, селі та зсуви ґрунту. Зменшення кількості снігових опадів через тепліші зими та весняне танення снігу позитивно вплинуло на екстремальні повені [50], але в останні десятиліття в Україні відбулось декілька руйнівних паводків (у 1998, 2001, 2008 роках) [51]. Наприклад, 2008 року внаслідок масштабної повені у Карпатах загинуло 47 людей і приблизно 40 тисяч було переселено [2; 3]. У 2020 році західні області України також постраждали від повені, внаслідок чого було затоплено понад 14 тис будинків [4]. Повінь завдала значної шкоди інфраструктурі, пошкодивши приблизно 500 км доріг і зруйнувавши деякі автошляхи [5].

Регіони, які ніколи раніше не відчували посухи, включаючи сільськогосподарські регіони на півночі та північному сході, переживають умови посухи через підвищений попит на воду та її дефіцит [6]. Нещодавно, починаючи з вересня 2019 року, температура вище середнього та постійний дефіцит опадів на південному заході та в центральній частині України призвели до посухи та відповідного зниження врожайності [7; 8; 9; 10]. У 2003 та 2007 роках посухи зменшили кількість виробленого зерна, що призвело до збитків приблизно 3 мільярдів євро [11; 13]. Крім того, посуха завдає значної шкоди ґрунту та спричиняє проблеми зі здоров'ям, санітарією та економікою. Крім того, підвищення температури призведе до зменшення кількості весняних заморозків, що позитивно позначиться на врожайності сільськогосподарських культур, наприклад озимої пшениці.

Збільшення кількості посушливих днів і підвищення температури за останнє десятиліття збільшили пожежну небезпеку в Україні [15].

За 10 років, починаючи з 2007 року, порівняно з попередніми 10 роками, середньорічна площа горіння в Україні зросла з 4,4 тисяч до 5,9 тисяч гектарів [16]. Це відповідає підвищеному ризику пожеж, що спостерігається в Європі [17]. Рівень знищення лісових пожеж в Україні зростає, за пожежонебезпечний сезон 2020 року вигоріло втричі більше, ніж у середньому за рік. Тепла суха зима та сильні весняні вітри у 2020 році спричинили поширення лісових пожеж у Чорнобильській зоні відчуження, вигоріло близько 11,5 тис. га [18; 19].

Триваючий військовий конфлікт на сході України знищив ділянки лісі і сільськогосподарських угідь, збільшивши інтенсивність і наслідки лісових пожеж [20]. Військові конфлікти також викликають значний стрес у місцевих громадах, зокрема: наприклад руйнування шахт перешкоджає видобутку корисних копалин і водночас знижує якість і доступність води [21]. У 2020 році пожежники в зоні конфлікту намагалися зупинити поширення лісових пожеж, які призвели до евакуації багатьох сіл Луганської області [22]. Триваючий військовий конфлікт ще більше зменшує ресурси, доступні для реагування на суворі погодні явища, зменшуючи здатність до адаптації та послаблюючи стійкість [1].

1.2 Прогнози та можливі наслідки зміни клімату в Україні

Розробляючи проєкцію зміни клімату моделюють реакцію кліматичної системи на майбутні сценарії змін концентрації парникових газів та інших факторів, що впливають на клімат, наприклад забруднювачів повітря. Прогнози зміни клімату робляться за допомогою кліматичних «моделей», використовують також комплексні математичні моделі атмосфери, океанів і суші за допомогою високопродуктивних комп'ютерів [1].

Майбутні зміни концентрації парникових газів в атмосфері залежатимуть від рішень, прийнятих і реалізованих урядами та людьми в усьому світі (наприклад, демографічного, соціально-економічного розвитку та технологічних змін), а також від того, як зі збільшення викидів парникових газів справлятимуться природні системи, такі як океани та ліси [24].

Вчені вирішують цю невизначеність, моделюючи різні можливі сценарії викидів парникових газів і аерозолів (частинки в повітрі, такі як пил і дим) в експериментах з моделювання клімату. Прогнози зміни клімату зазвичай включають різноманітні сценарії майбутнього, включаючи сценарії, в яких докладаються зусилля для значного обмеження антропогенних викидів парникових газів (наприклад, відповідно до РКЗК ООН-Паризька угода), і сценарії, в яких викиди тривають і збільшуються або зменшуються дуже повільно [1; 25].

Репрезентативні траєкторії концентрації (RCP), які використовуються в експериментах з моделюванням клімату описаних тут, являють собою часові ряди змін концентрацій парникових газів, аерозолів і хімічно активних газів в результаті змін у викидах і землекористуванні [26]. Слово «репрезентативний» відноситься до 21-ї поправки кожної RCP, це означає, що до кінця століття це може призвести до певного «радіаційного ефекту», спричиненого збільшенням викидів (тобто змінами потоку енергії в атмосфері, виміряному у вахтах на 1 квадратний метр). Можуть бути різні сценарії викидів, які будуть однакові RCP [1].

Прогнози зазвичай представлені як зміни середньої температури протягом наступних 30 років порівняно з останнім 30-річним базовим кліматом. Через природні річні коливання (наприклад, спекотне літо може змінюватися прохолодним), використовують стандартний 30-річний кліматичний цикл для розрахунку середніх значень температури, опадів та ін. Також обчислюються додаткові дані, наприклад, тривалість спеки, які відбулися за 30-річний період. Ця 30-річна кліматична статистика доступна в місцевому, національному, глобальному масштабі. Щоб полегшити координацію та порівняння глобальних досліджень та звітності, Всесвітня метеорологічна організація (ВМО) визначає стандартний історичний довідковий період [27]. IPCC також визначає часові горизонти майбутніх прогнозів і оновлює їх у наступних серіях оціночних звітів IPCC. На сьогоднішній день значна частина рецензованої літератури про наслідки зміни клімату ґрунтується на базовому сценарії 1981-2010 років і використовує звіти ВМО та МГЕЗК з п'ятої оцінки, які включають прогнози зміни клімату на основі різних RCP [1].

У цьому звіті прогнози зміни температури та опадів в Україні ґрунтуються переважно на кліматичних моделях, використаних у П'ятій доповіді IPCC (AR5), а саме Проекті порівняння сполучених моделей (CMIP5) (рис. 1.4) [1]. Середнє просторове значення для RCP4.5 позначено синім, а RCP8.5 позначено червоним.

Зміни температури (°C)				
Сезон	2050-ті, RCP4.5	2050-ті, RCP8.5	2080-ті, RCP4.5	2080-ті, RCP8.5
Груд.–лют.	+0.7 до +3.3	+1.6 до +4.2	+1.6 до +4.3	+3.5 до +7.3
Берез.–трав.	+0.8 до +2.9	+1.5 до +3.8	+1.3 до +3.3	+2.7 до +5.7
Черв.–серп.	+1.3 до +3.5	+1.7 до +4.9	+1.4 до +4.5	+3.3 до +7.7
Верес.–листоп.	+1.1 до +2.8	+1.8 до +3.9	+1.6 до +3.4	+3.4 до +6.2
Річні	+1.2 до +3.0	+1.7 до +4.1	+1.6 до +3.5	+3.4 до +6.2

Рисунок 1.4. Моделювання річних і сезонних змін температури повітря в Україні [1]

За сценаріями помірної (RCP4.5) і високої концентрацій ПГ (RCP8.5) для середини і кінця 21 століття порівняно з 30-річним базовим періодом 1981–2010 рр. концентрацій ПГ залишається високою. Сценарій високої концентрації ПГ загалом відповідає глобальному потеплінню наприкінці 21 століття між 3-5°C, а сценарій помірної концентрації ПГ відповідає глобальному потеплінню від 2,5-3°C. За додатковим сценарієм концентрації ПГ (RCP2.6), завдяки скороченню викидів може бути значне пом'якшення наслідків, тоді глобальне підвищення температури наприкінці століття становитиме 1,7°C-1,8°C [1; 28; 29; 30].

Щодо України, за прогнозами, до 2050-х років середня температура повітря може зрости на 1,2-3,0°C порівняно з кінцем 20 століття за сценарієм помірної концентрації ПГ (RCP4.5). За сценарієм високої концентрації ПГ (RCP8.5) – на 1,7-4,1°C. На період до 2080-х років, за сценарієм RCP4.5, середня температура повітря може зрости на 1,6-3,5°C, а за сценарієм RCP8.5 – на 3,4-6,2°C [1].

Щодо річних і сезонних змін кількості опадів в Україні, то їх моделюють щорічно (рис. 1.5). Середнє просторове значення для сценарію RCP4.5 позначено синім, для сценарію RCP8.5 – позначено червоним. Моделювання проведено для двох періодів – середини і кінця нинішнього століття [1].

Зміни сум опадів (%)				
Сезон	2050-ті, RCP4.5	2050-ті, RCP8.5	2080-ті, RCP4.5	2080-ті, RCP8.5
Груд.–лют.	-1 до +15	-2 до +17	0 до +20	0 до +28
Берез.–трав.	-5 до +22	-4 до +22	-2 до +23	-6 до +27
Черв.–серп.	-20 до +14	-26 до +10	-19 до +10	-44 до +6
Верес.–листоп.	-8 до +11	-13 до +13	-11 до +15	-17 до +11
Річні	0 до +10	-6 до +10	+1 до +12	-7 до +14

Рисунок 1.5. Моделювання річних і сезонних змін кількості опадів в Україні за сезонами року [1]

Динаміка кількості опадів в Україні залежить від сезону, але до середини 21 століття може бути важко відрізнити сезонні зміни від існуючих річних коливань. Більшість моделей серед усіх сценаріїв концентрації парникових газів вказують на можливість зменшення кількості опадів влітку на півдні та південному сході України. Взимку ж у північних регіонах України кількість опадів буде збільшуватися до 2080-х років. Однак також можливо, що кількість опадів протягом цих сезонів буде незначною. За прогнозами, через потепління у прибережних регіонах кількість опадів зменшиться. На півночі України, навпаки, кількість опадів зросте (рис. 1.6.) [1].

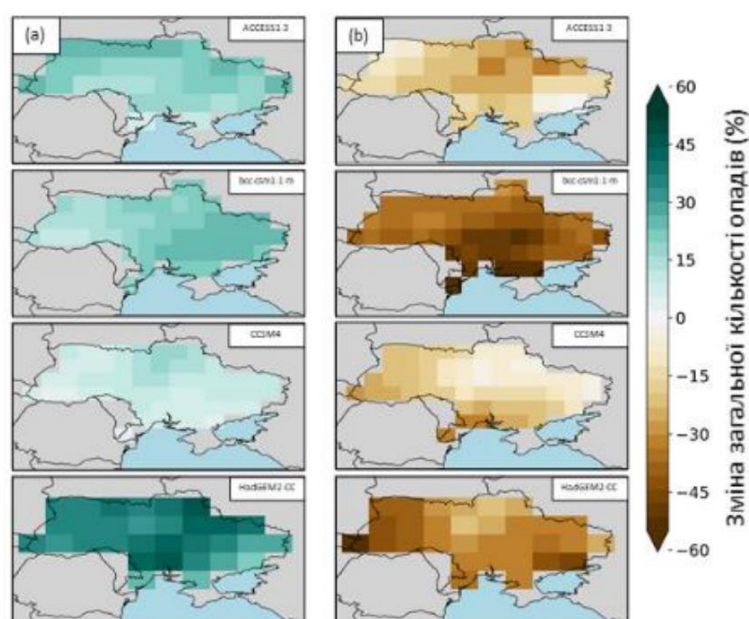


Рисунок 1.6. Прогнозовані сезонні зміни кількості опадів в Україні [1]

На рисунку 1.7. показано прогнозовані просторові зміни, залежно від рівнів зростання температури повітря в Україні. За прогнозами, потепління буде найсильнішим у центральній та північній частинах України, але процес відбуватиметься повільніше в прибережних регіонах, оскільки вплив Чорного та Азовського морів буде помірним [1].

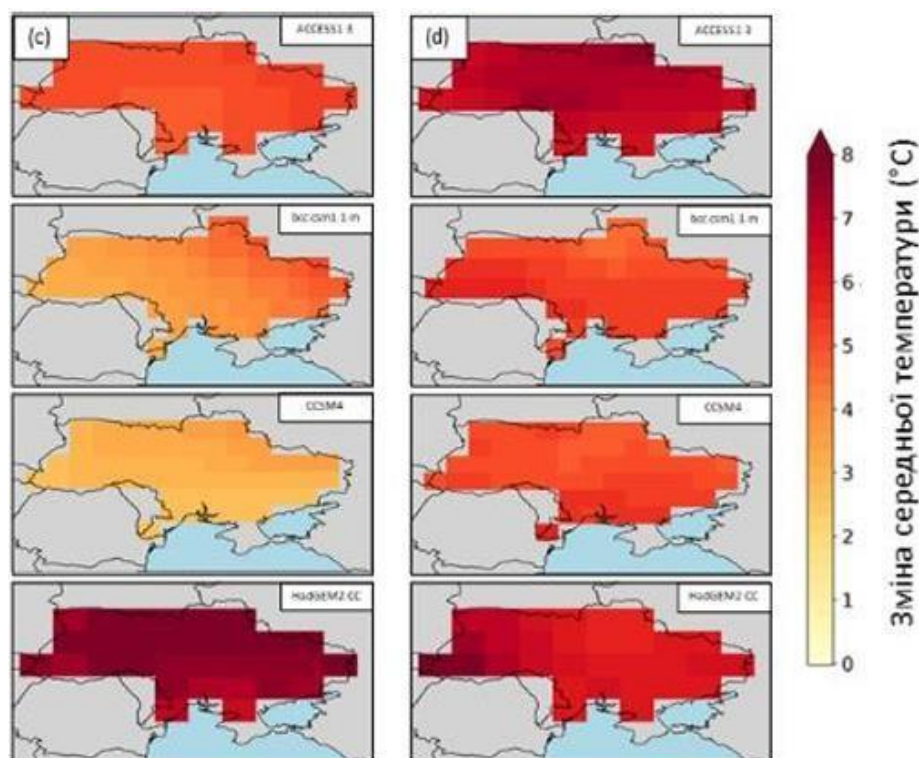


Рисунок 1.7. Прогнозовані просторові зміни залежно від рівнів зростання температури повітря в Україні [1]

Рис. 1.6 відображає моделювання змін за сценарієм високої концентрації ПГ (RCP8.5) для зимових (a) та літніх опадів (b). Рис. 1.7 демонструє моделювання змін температури повітря в Україні за сценарієм високої концентрації ПГ (RCP8.5) – зимові (c) та літні (d) [1].

1.3 Шляхи протидії кліматичним змінам

Український уряд був одним із перших серед країн, яка ратифікувала Паризьку угоду. А в 2021 році він оголосив про свої останні національно визначені внески, маючи на меті скоротити викиди газів, які спричиняють

парниковий ефект на 65% від стану 1990 року до 2030 року. Наші кліматичні цілі вперше передбачають реальне скорочення викидів газів, що створюють парниковий ефект порівняно з поточним рівнем (-7% у 2030 році у порівнянні з 2019 роком), а не збільшуються [31].

Для досягнення цієї амбітної мети Україна вже досягла своїх кліматичних цілей завдяки російській агресії, яка зупинила виробництво і використання викопного палива, підвищила енергоефективність і знищила понад 200 промислових підприємств з виробництва енергії з відновлюваних джерел. Країна пообіцяла переглянути і зміцнити свої плани до 2025 року [31].

Енергоефективність означає задоволення людських потреб з меншими витратами енергії. Тому що найкраща енергія – це негенерована енергія. Тому до 2050 року планується скоротити потребу в енергоресурсах щонайменше вдвічі. Максимальний потенціал енергозбереження в заходах з термомодернізації. Термомодернізація – це зменшення ресурсоемності шляхом встановлення енергоефективних регулюючих пристроїв та утеплення зовнішніх стін будівель. Усвідомлюючи необхідність економії електроенергії, 26 листопада 2021 року уряд анонсував масштабну програму термомодернізації. Він передбачає виділення протягом наступних трьох років 100 мільярдів гривень на підвищення енергоефективності житлового фонду та громадських будівель [31].

Одним з шляхів зменшити витрати енергії є використання відновлюваної енергетики. Відновлювальні джерела енергії (ВДЕ) отримується з природних джерел або процесів і постійно поповнюється. Наприклад, залежно від часу доби та погоди, сонячне світло та вітер продовжують світитися та дути. Викопні паливні ресурси, такі як вугілля, нафта, природний газ уранова руда, не є відновлюваними джерелами енергії, оскільки для їх відновлення потрібні сотні тисяч років. На рисунку 1.8. вказані помісячна встановлена потужність відновлювальних джерел енергії за 2018-2020 роки [31].

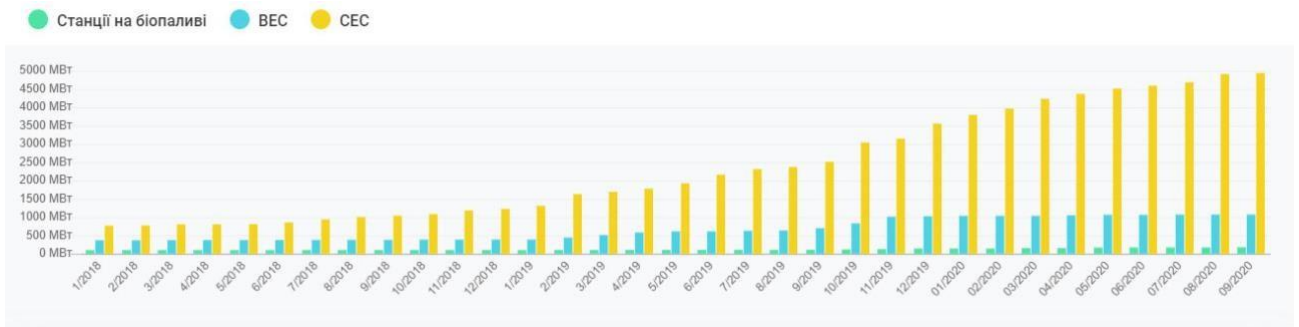


Рисунок 1.8. Помісячна встановлена потужність ВДЕ за 2018-2020 роки [31]

Частка відновлюваних джерел енергії в енергосистемі України у 2020 році становила 9,2%. Цей показник зростає щороку, але цього недостатньо, щоб досягти цілей Паризької угоди. На це є кілька об'єктивних причин. На жаль, після повномасштабного вторгнення росії 90% вітроенергетики України та близько 30% сонячної енергії знищені або знаходяться на окупованій території. У повоєнній відбудові важливою буде державна підтримка розвитку відновлюваної енергетики та енергонезалежності [31].

В Україні ввели найнижчий у світі податок на викиди CO₂. З 1 січня 2022 року становитиме тридцять гривень за тону CO₂. І хоча податок на викиди вуглецю в Україні зріс утричі порівняно з попередніми рівнями, все ще приблизно в 130 разів нижчий, ніж у Швеції. Комітет високого рівня з ціноутворення на викиди CO₂ заявив, що «ціни на викиди CO₂ мають становити щонайменше 40-80 доларів США за тону, що відповідає цілям Паризької угоди, і має зменшити ризик збільшення очікуваних викидів». Щоб досягти мети Паризької угоди щодо запобігання підвищення глобальної температури більше ніж на +1,5°C, нам потрібно буде платити від 50 до 100 доларів за тону CO₂ до 2030 року [31].

Висновки до розділу 1

За останні 30 років в Україні середньорічний температурний режим вже зріс на 1,2°C. Відрізок часу з кінця 20 століття до сьогодні є найтеплішим в метеорологічній історії України (з 1890-х років). З 1961 по 2013 рік стрімкість з якою змінювалась середня, максимальна та мінімальна температури становила

0,3 °C за десятиліття.

У місячному вимірі найбільше підвищення середньої температури сталося протягом двох місяців: січня (підвищення на 2,3 °C) та липня (підвищення на 1,4°C). Крім того, максимальні температури підвищуються влітку, що робить цей сезон ще спекотнішим і зими стають теплішими. З підвищенням середньої глобальної температури сильна спека траплятиметься частіше, а екстремальний холод – рідше. Хвилі спеки будуть довшими та частими. В результаті посилюється посуха, змінюються рівні води річок і озер, виникають нехарактерні для України екстремальні погодні явища.

Маючи на меті пом'якшити наслідки кліматичних змін і розробки національної політики адаптації до кліматичних змін в нашій державі проводиться комплексне дослідження з метою виявлення негативних і позитивних результатів глобального потепління. Ці дослідження стосуються різних сфер економічної діяльності та навколишнього середовища як на національному, так і на регіональному рівнях.

Крім того, українські науковці та експерти теж вивчають проблему кліматичних змін, постійно проводяться гідрометеорологічні спостереження за погодою в Україні, інформація з яких надходить до групи Всесвітньої метеорологічної організації.

2 ВРАЗЛИВІСТЬ МІСТ ДО ЗМІНИ КЛІМАТУ

2.1 Фактори, що впливають на вразливість міст до зміни клімату

Негативні наслідки змін клімату, що проявляються через посилення урбанізації, особливо у великих містах, можуть становити пряму загрозу глобальній екологічній, економічній та соціальній стабільності [33]. Зміна клімату у містах спричиняє проблеми, які не притаманні іншим типам поселень, зокрема сільським, що підтверджується аналізом негативних наслідків зміни клімату в містах [32].

Кліматичні зміни зумовлюють насамперед прямі загрози шляхом посилення інтенсивності повеней, сильної спеки, погіршення мікрокліматичних умов. Крім цього, порушуються умови нормального функціонування окремих міських систем, що може призводити до неможливості надання основних послуг для життєдіяльності населення (водопостачання, енергопостачання), може ускладнити транспортне обслуговування та інші проблеми [32].

У різних містах, залежно від їх географічного положення, місцеві ризики зміни клімату, вразливість і здатність до адаптації значно різняться. Проте для більшості великих міст світу можна окреслити деякі спільні позиції, зокрема:

- ступінь впливу зміни клімату на міських мешканців залежить від статі, віку та достатку;
- адаптивність міської інфраструктури до кліматичних змін обмежується неможливістю ефективного зонування вже сформованих міських територій, невідповідністю існуючих будівельних норм і стандартів, що в результаті може загрожувати життю людей та руйнуванням інфраструктури;
- ймовірні наслідки зміни клімату можуть бути довгостроковими та проявлятися у глобальному вимірі;
- найменш адаптованими до наслідків зміни клімату є міські райони, що активно розвиваються, при цьому мають недосконале управління, нерозвинену інфраструктуру тощо [33].

Унаслідок зміни клімату фізично змінюється інфраструктура міст (будівлі,

дороги, каналізація, системи водо- та енергопостачання), що не може не впливати на життєдіяльність міських мешканців. Якщо метеорологічні стихійні явища, зумовлені зміною клімату, посиляться, це може призвести до значних руйнувань житлових та інших будівель. З-поміж цих явищ найбільш руйнівними та небезпечними є масштабні повені [32].

Також на інфраструктуру міста, а особливо на міське населення, впливають високі температури повітря. Високі температури спричинюють руйнування асфальтового покриття, що тягне за собою необхідність частих ремонтів доріг та порушення функціонування міського транспорту. До того ж, в містах переважають штучні поверхні, які поглинають і утримують тепло. Через це населення міст (великих і малих) у літній період вимушене кондиціонувати повітря, споживаючи велику кількість електроенергії та викидаючи у повітря парникові гази [32].

Отже, зміна клімату впливає практично на всі сфери економічної діяльності, включаючи виробництво товарів і послуг, торгівлю, туризм тощо. Зростання інтенсивності кліматичних змін потенційно збільшує вразливість міст до них, відповідно зростають витрати на ведення бізнесу. І не тільки – все це негативно впливає на умови життєдіяльності широкого кола міського населення. При цьому посилюється так звана екологічна несправедливість – групи людей з низьким рівнем доходу стають більш вразливими до зміни клімату через відсутність належного житла, недосконале медичне обслуговування тощо. Ці групи зазвичай є найчисельнішою категорією населення у великих містах [32].

2.2 Основні негативні наслідки зміни клімату для великого міста

Серед головних негативних наслідків зміни клімату, які можуть виникнути та вже виникли у містах, можна назвати збільшення масштабів повеней; зменшення площ і руйнування видового складу міських зелених зон; почастищення стихійних метеорологічних явищ; зменшення запасів питної води та погіршення її якості; посилення інфекцій і алергічних симптомів; порушення нормального функціонування міських енергетичних та інших систем

життєзабезпечення [32].

Підвищення температури, частота хвиль спеки і посилення міських островів тепла можуть збільшити ризик теплового стресу в містах. Кількість літніх днів, коли максимальні температури повітря перевищують певні межі, постійно зростає. Подальше підвищення температури, прогнозоване на основі моделювання клімату, ймовірно, триватиме. Це підвищує інтенсивність теплового стресу для міських жителів і знижує комфорт проживання в містах. Міським островом тепла називають температуру аномалію в центрі міста, що характеризується підвищенням температури порівняно з периферією (рис. 2.1.) [32].



Рисунок 2.1. Схема формування міського острова тепла [35]

Інтенсивність теплового острова оцінюється шляхом обчислення різниці між середньою температурою метеостанції в межах міста та середньою температурою метеостанції за межами міста або на невеликій відстані від міста. Наприклад, станція «Бориспіль» використовується як приміська станція для вимірювання інтенсивності київського теплового острова. Для розрахунків можна використовувати інформацію про температуру на метеостанціях у місті та поблизу малих міст і сіл з Гідрометеорологічного управління ДСНС. Чим

вище інтенсивність теплового острова, тим більше міські жителі страждатимуть від теплового стресу в спекотні періоди [32].

Однією з причин утворення міських островів тепла є переважання штучних ґрунтових покриттів. Штучні ґрунтові поверхні мають нижче альbedo, ніж природні, тому вони поглинають більше сонячного випромінювання, більше нагріваються та повільніше охолоджуються. Зелені насадження знижують місцеву температуру та зменшують ризик теплового стресу для міських жителів. Відповідно до «Правил охорони зелених насаджень у густонаселених територіях України» [36], у місті повинні бути зелені насадження різних структурних елементів: міських парків – з озелененістю 65-80%, громадські площі – 75-80%, житлові масиви - не менше 25%. Міста з неякісними або скороченими зеленими насадженнями підвищують вразливість міського населення до теплового стресу. Інформацію про те, який відсоток площі міста займають парки, зелені насадження, а який відсоток займають щільні багатоповерхові будівлі, заводи та магістралі, можна використовувати для аналізу основних районів міста. Це можна зробити за допомогою супутникової інформації за різні періоди часу [32].

Ключовим фактором оцінки вразливості міста до зростання температури є демографічний склад його населення. За фізіологічними показниками до вразливих груп населення належать люди похилого віку, діти та люди з хронічними захворюваннями (переважно серцево-судинними), за соціально-економічними – малозабезпечені верства населення. Відповідно до стандартів ООН, населення вважається літнім, якщо частка населення у віці 65 років і старше перевищує 7% [37]. За даними Державної служби статистики України на 01.01.2013 р., хоча ступінь старіння населення значно відрізняється залежно від регіону, частка осіб віком 65 років і старше в загальній чисельності постійного населення України становила 15,2% [38]. Чим вища частка вразливого населення в місті, тим більш вразливе місто до теплового стресу.

Затоплення міст може бути викликано великою кількістю опадів, що випадають за короткий проміжок часу, швидким таненням великої кількості снігу, підвищенням рівня води в міських водоймах, розливом річок, а у

прибережних містах – сильними хвилями, що супроводжуються високою хвилі, шторми або підвищення рівня моря. Підвищена частота опадів у поєднанні з нефункціональною міською інфраструктурою (відсутність або незадовільний стан зливових стоків) та фізико-географічними характеристиками міст (висота над рівнем моря, водні шляхи) підвищує ризик затоплення з міст [32].

Значна територія міської території знаходиться в зоні потенційного затоплення, і наявність людей, які проживають у цій зоні (зокрема, дітей та людей похилого віку, які потребують першочергової евакуації під час повені), підвищує вразливість міста до затоплення. А розміщення стратегічних об'єктів (лікарень, відділень зв'язку тощо) у місцях, де ризик затоплення мінімізований, зменшить вразливість міст до прояву цього негативного впливу зміни клімату [32].

Відсутність у місті власного водопостачання або його невідповідна якість призводить до використання привізної води для задоволення потреб мешканців. В Україні 80% питної води надходить із незахищених, часто забруднених поверхневих джерел [39]. Через скидання у поверхневі водойми неочищених або недостатньо очищених стічних вод підприємств, використання води з них підвищує ризик поширення інфекційних захворювань серед міського населення. Негативні тенденції річкових стоків і прогнози подальшого спаду значно підвищують вразливість міст, особливо коли домінує поверхневе водопостачання.

Якщо в місті є потужні промислові підприємства, які використовують велику кількість води, це призводить до збільшення споживання води. Крім того, скидання стічних вод підприємства завжди призводить до погіршення якості поверхневих водойм. Навіть за належної очистки стічних вод гарантувати якість води у водоймах неможливо. Цей фактор підвищує вразливість міст, де найбільш поширені джерела поверхневого водопостачання. Водопровідна мережа в справному стані забезпечує водопостачання та водовідведення споживачів без втрат, до яких призводять аварійні мережі подачі води [32].

Підвищення зимових температур призводить до поліпшення умов зимівлі

інфекційних збудників і паразитів та відповідно, до розширення ареалу їх існування. Крім того, підвищення температури може посилити поширення хвороботворних мікроорганізмів з їхнього природного середовища існування. Міські острови тепла ще більше підвищують температуру та створюють більш сприятливі умови для зимівлі патогенів у містах [32].

2.3 Загальна оцінка зміни клімату українських міст

Дослідження клімату України показують, що в останні десятиліття температури та інші метеорологічні параметри почали суттєво відхилятися від кліматичних норм. У великих містах ці явища можуть бути більш вираженими через характер поверхні, форму будівель, різницю в радіаційних і вітрових умовах і багато інших факторів. Наприклад, міські острови тепла можуть значно підвищити температуру та інтенсивність теплових хвиль у міських районах, що призводить до більшої кількості спекотних днів і тропічних ночей у міських районах, а також до коротших періодів снігового покриву, ніж у регіоні, де розташоване місто. Наслідки зміни клімату можуть завдати містам великої шкоди, масштаби якої залежатимуть від їх вразливості до основних проявів зміни клімату [42].

Щодо кліматичних змін у Києві, то температура повітря за чверть століття (1991–2014 рр.) вже зросла на $1,2^{\circ}\text{C}$ порівняно із кліматичною нормою. Збільшення середньої, мінімальної та максимальної температури повітря відбувалося в усі місяці та сезони, однак інтенсивність зростання була різною. Найбільше середня температура повітря в Києві зростала у січні (на $2,5^{\circ}\text{C}$) та у липні (на $2,1^{\circ}\text{C}$), найменше – в грудні (на $0,2^{\circ}\text{C}$) та у жовтні (на $0,4^{\circ}\text{C}$). тобто можна зробити висновок, що зростання середньої та максимальної температури повітря є найсуттєвішим влітку, а мінімальної – взимку. У інших містах України (Вінниці, Запоріжжі, Хмельницькому, Львові, Рівному, Полтаві, Івано-Франківську, Одесі) середня температура повітря за аналогічний період зросла на $0,71^{\circ}\text{C}$ порівняно із кліматичною нормою (табл. 2.1.) [42].

Таблиця 2.1. Зростання температури повітря в містах України у період 1991–2014 рр. за сезонами та за рік порівняно із кліматичною нормою [42]

Місто/ Сезон	Київ	Вінниця	Запоріжжя	Хмельницький	Львів	Рівне	Полтава	Івано-Франківськ	Одеса
Зима	1,2	0,8	0,6	0,7	1,1	1,1	1,3	1,1	0,7
Весна	1	0,9	1	0,8	1,0	1	1	0,8	1,1
Літо	1,5	1,2	1,3	1	1,3	1,3	1,2	1,3	1,6
Осінь	0,9	0,3	0,3	0,3	0,4	0,3	0,5	0,1	0,5
Рік	1,2	0,8	0,8	0,7	1,0	0,9	1	0,8	1

Майже у всіх містах України за останні десятиліття підвищилася повторюваність хвиль тепла (табл. 2.2). Кількість випадків теплових хвиль у літні місяці за чверть століття (1991–2015 роки) зросла більш ніж удвічі порівняно з періодом 1961–1990 рр. Наприклад, у Харкові кількість випадків хвиль тепла збільшилася з 12 за період кліматичної норми до 17 – за період 1991–2015 рр. У Житомирі, Львові та Черкасах хвилі тепла повторювалися у три і більше разів частіше порівняно із кліматичною нормою. І це при тому, що порівнювані періоди відрізняються за тривалістю – період 1991–2015 рр., на п'ять років коротший, але кількість випадків хвиль тепла за цей час суттєво вища [42].

Таблиця 2.2. Повторюваність випадків хвиль тепла за період 1991–2015 роки порівняно із кліматичною нормою [42]

Регіон	Місто	Кількість випадків хвиль тепла	
		1961–1990	1991–2015
Північ	Київ	7	12
	Житомир	6	19

Регіон	Місто	Кількість випадків хвиль тепла	
		1961–1990	1991–2015
	Суми	6	12
Захід	Івано-Франківськ	6	13
	Львів	5	18
	Рівне	7	14
	Тернопіль	5	12
	Хмельницький	6	12
Центр	Вінниця	7	13
	Кропивницький	8	22
	Полтава	7	15
	Черкаси	6	18
Схід	Донецьк	7	20
	Харків	12	17
Південь	Запоріжжя	3	22
	Одеса	0	14
	Херсон	3	22

До основних індексів зміни клімату, запропонованих Всесвітньою метеорологічною організацією та Експертною групою з виявлення зміни клімату та індексів (ETCCDI), належать тропічні ночі. Ними вважаються ночі, мінімальна температура яких не опускалася нижче $+20^{\circ}\text{C}$ [5]. Залежно від кліматичних умов в містах різних регіонів України, кількість днів з мінімальною температурою не нижче $20,0^{\circ}\text{C}$ є різною, але кількість таких днів значно зросла (табл. 2.3) [42].

Таблиця 2.3. Кількість тропічних ночей у містах України [42]

Місто	Чернівці	Харків	Львів	Одеса	Сімферополь	Ужгород	Вінниця	Київ
1961–1990	11	69	1	397	37	53	1	54
1991–2010	27	174	6	503	130	78	22	139

Середнє значення кількості опадів у великих містах України змінилося на $\pm 8\%$ між 1991 та 2014 роками порівняно із кліматичною нормою (табл. 2.4). Водночас відбувся сезонний перерозподіл опадів. Також дещо змінився характер опадів. Зменшилася кількість опадів, але зменшилася кількість випадків, коли протягом кількох годин випадає значна кількість опадів [42].

Це легко зрозуміти на прикладі Києва. У наш час середньорічна кількість атмосферних опадів у містах мало змінилася (зростання на 2,9%) порівняно з кліматичними нормами, але відбувся сезонний перерозподіл. Взимку кількість опадів зменшилася на 17,1%, а восени збільшилась на 19,6% (табл. 2.4). На фоні майже незмінної річної кількості опадів кількість дощових днів зменшилася в усі місяці з 1991 по 2015 рік (рис. 2.2) [42].

Таблиця 2.4. Динаміка кількості опадів (%) у містах України за 1991–2014 роки порівняно із кліматичною нормою [42]

Місто/ Сезон									
	Київ	Вінниця	Запоріжжя	Хмельницький	Львів	Рівне	Полтава	Івано-Франківськ	Одеса
Зима	-17,1	-26,2	-10,6	-12,5	-2	1,7	-13	-13	-15,3
Весна	6,8	-14,3	1,9	-1,7	12,8	12	4,2	-9,4	-5,7
Літо	2,4	-5,6	5,3	-5,8	-4,5	6,5	5,3	-11,8	9,8
Осінь	19,6	11,4	22,7	17	9,4	9,9	10,8	15,2	10
Рік	2,9	-8,3	3,6	-1,9	3,4	7,6	2,2	-6,4	-0,7

Літні опади стають все більш конвективними і супроводжуються такими небезпечними явищами, як град, шквали, сильний дощ. Тому на фоні незначних змін середньої кількості опадів відмічається погіршення стану вологості району.

Сценарії зміни клімату та кліматичні моделі створюються з використанням

різних підходів – від простих експериментів до інтегрованих моделей оцінювання. Основними рушійними силами зміни обсягів антропогенних викидів парникових газів є економічні й демографічні зміни, зміни способу життя та поведінки, технологічній та кліматичній політиці тощо [42].

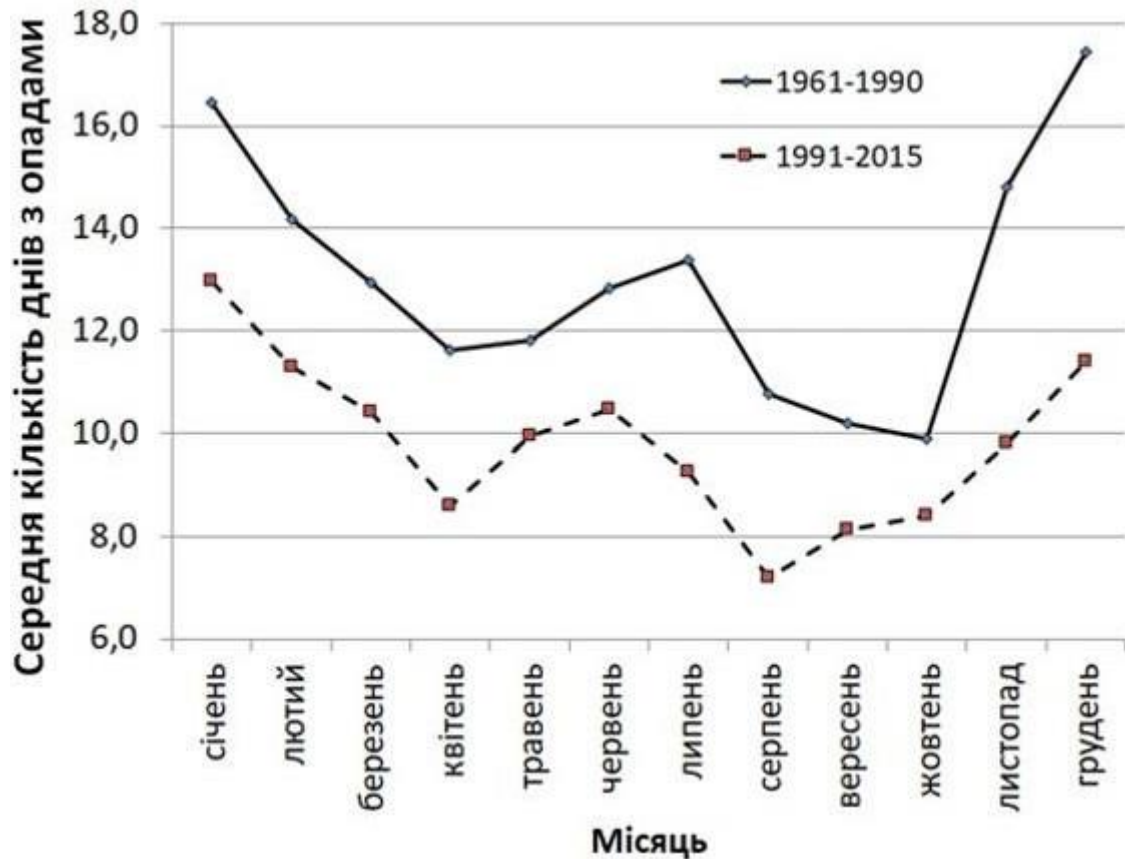


Рисунок 2.2. Середня кількість днів з опадами у місті Київ за періоди 1961–1990 та 1991–2015 років [42]

Стандартний набір сценаріїв, що описують чотири можливі варіанти викидів парникових газів та їх можливі концентрації, викидів забруднювальних речовин в атмосферу та землекористування у 21 столітті, мають назву репрезентативні траєкторії концентрацій (Representative Concentration Pathways, RCP). Визначено чотири репрезентативні траєкторії концентрацій парникових газів у атмосфері: RCP2.6, RCP4.5, RCP6, та RCP8.5 [42, 46].

За усіма сценаріями, до кінця 21 століття середньорічна температура зростатиме поступово в містах усіх регіонів України. Найбільше підвищення

температури повітря очікується в південних областях України. За жорстким сценарієм (RCP 8.5), в Одесі в 2071–2099 роках можливе підвищення середньої температури повітря до 16,3°C, при цьому в окремі роки середньорічна температура сягатиме 17,0°C і вище. Таке зростання температури повітря може призвести до встановлення у місті субтропічного клімату. За помірним сценарієм, температура протягом 2071-2099 рр. становитиме в середньому 13,3°C. За м'яким сценарієм (траєкторія RCP4.5), підвищення середньої температури повітря очікується до 9,7°C. Також прогнозується значне зростання температури повітря в Запоріжжі та інших українських містах (табл. 2.5) [42].

Таблиця 2.5. Сценарії зростання температури повітря у містах України [42]

Місто	Сценарій	2041–2070 рр.	2071–2099 рр.
Київ	High-end scenario	11,6	13,3
	Intermediate scenario	10,6	10,7
	Low-end scenario	8,7	9,7
Вінниця	High-end scenario	10,8	12,5
	Intermediate scenario	9,8	9,9
	Low-end scenario	8,7	9,7
Рівне	High-end scenario	11,1	12,8
	Intermediate scenario	10,2	10,3
	Low-end scenario	8,7	9,7
Львів	High-end scenario	11,2	12,9
	Intermediate scenario	10,2	10,4
	Low-end scenario	8,7	9,7
Івано-Франківськ	High-end scenario	9,0	10,8
	Intermediate scenario	8,7	9,7
	Low-end scenario	8,1	8,3
Полтава	High-end scenario	11,7	13,4
	Intermediate scenario	10,6	10,8

Місто	Сценарій	2041–2070 рр.	2071–2099 рр.
	Low-end scenario	8,7	9,7
Запоріжжя	High-end scenario	13,3	15,1
	Intermediate scenario	12,1	12,3
	Low-end scenario	8,7	9,7
Одеса	High-end scenario	14,4	16,3
	Intermediate scenario	13,1	13,3
	Low-end scenario	8,7	9,7
Харків	High-end scenario	10,9	12,6
	Intermediate scenario	10,4	11,3
	Low-end scenario	9,9	10,0
Донецьк	High-end scenario	12,2	13,9
	Intermediate scenario	11,6	12,5
	Low-end scenario	11,0	11,2

Отже, у великих містах України середнє значення інтенсивності острова тепла може сягати до 2,5°C, але в більшості міст світу (включаючи місто Київ) цей показник не перевищує 1,0°C. При цьому діапазон очікуваних середніх значень температури досягає значно вищих значень за різними сценаріями. Зокрема, за жорстким сценарієм, цей діапазон для українських міст на період 2071-2099 рр. становить від 2,5 до 6,6°C) [42].

Висновки до розділу 2

Концентрація населення в містах і особливості місцевого мікроклімату посилюють більшість негативних наслідків зміни клімату. Заміна природних поверхонь штучними водонепроникними поверхнями, висотні будівлі, наявність мереж міського транспорту та розвиненої інфраструктури тощо роблять міста набагато більш вразливими до наслідків зміни клімату, ніж інші (неурбанізовані) території.

Крім того, міста потребуватимуть більше фізичних і людських ресурсів для

протидії негативним наслідкам зміни клімату. У міру посилення кліматичних змін багато погодних ризиків у містах стають гострішими. Проте, аналізуючи зміни, які відбуваються та очікуються в майбутньому, розробляючи та впроваджуючи плани дій з адаптації міст (з урахуванням особливостей міста), очікувані негативні наслідки можна пом'якшити, певною мірою мінімізувати. Тому дуже важливо включити заходи з адаптації до зміни клімату в генеральні плани розвитку українських міст.

3 ТЕНДЕНЦІЇ ТА НЕБЕЗПЕКИ КЛІМАТИЧНИХ ЗМІН МІСТА КИЇВ

3.1 Прояви зміни клімату на території м. Київ

Згідно з дослідженнями, за останні десятиліття клімат території України суттєво змінився. Ці зміни найчастіше спостерігаються при відхиленні значень температури від кліматичної норми, а також при зміні значень різних показників і частоти пов'язаних з ними явищ (наприклад, зміна пір року, підвищення частоти клімату під час тропічних ночей, збільшення хвиль тепла). Звичайно, зміна клімату не могла оминати місто Київ. Протягом останніх 25 років у проміжок часу з 1990 до 2015 років у місті Києві спостерігалася середньорічна аномалія температури з підвищенням температури поверхні на 1,2°C порівняно з кліматичними нормами. В 2014 і 2015 роки температура досягла понад 3°C, що показано на рисунку 3.1 [47].

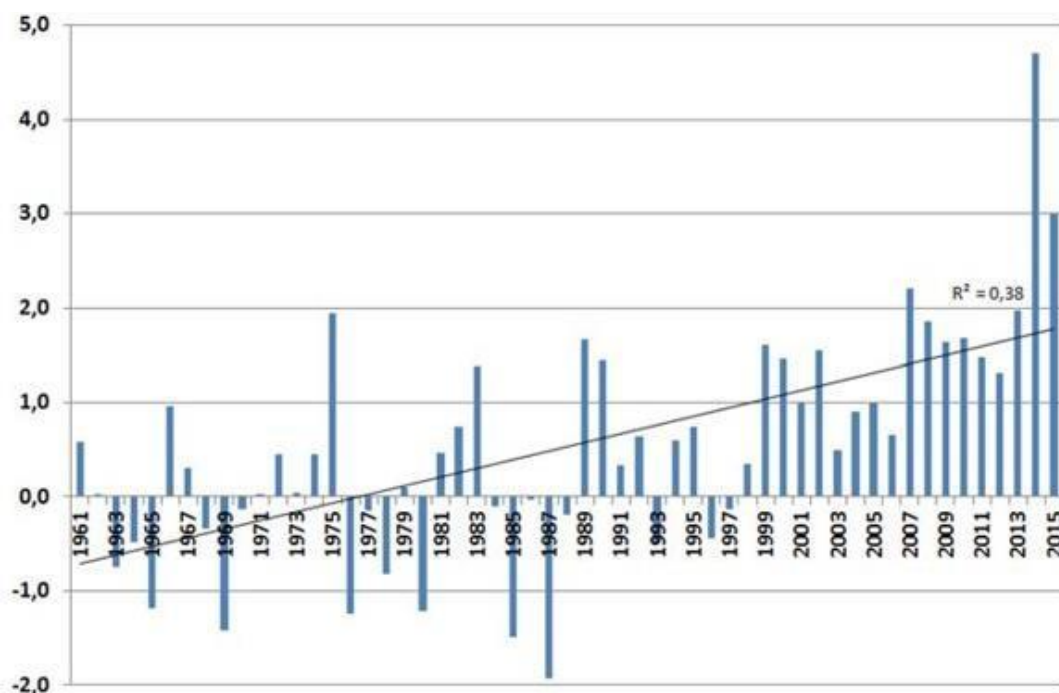


Рисунок 3.1. Зростання середньорічної температури повітря у м. Київ порівняно із кліматичною нормою [47]

Слід зазначити, що хоча підвищення температури (як середнє, мінімальне так і максимальне) відбувалося в усі місяці та пори року, їх сила була різною

(табл. 3.1) [47].

Таблиця 3.1. Середня, максимальна та мінімальна температура повітря у м. Київ за 1991–2015 роки порівняно із кліматичною нормою [47]

Місяць, сезон, рік	Середня температура, °С	Максимальна температура, °С	Мінімальна температура, °С
Січень	2,5	1,9	2,8
Лютий	1,5	1,4	1,4
Березень	1,6	1,8	1,2
Квітень	1,1	1,0	0,8
Травень	0,6	0,6	0,2
Червень	0,9	0,7	0,6
Липень	2,1	2,1	1,6
Серпень	1,7	1,6	1,2
Вересень	2,0	0,4	0,4
Жовтень	0,4	0,3	0,1
Листопад	0,5	0,5	0,4
Грудень	0,2	0,1	0,3
Весна	1,1	1,1	0,7
Літо	1,5	1,5	1,1
Осінь	0,9	0,4	0,3
Зима	1,4	1,1	1,5
Рік	1,2	1,0	0,9

Так, у Києві середня температура найбільше підвищилась у січні та липні (відповідно на 2,5°С та 2,1°С), найменше – у грудні та жовтні (відповідно на 0,2°С та 0,4 °С). Аналізуючи сезонні зміни в календарі, підвищення середніх і максимальних температур найбільше виражене влітку, досягаючи 1,5°С, а найменше – взимку (теж на 1,5°С) [47].

Хвилі тепла (ХВ) – тривалі періоди незвично теплої погоди, завжди негативно впливають на здоров'я людини та економіку. У деяких випадках тривала спека може призвести до серйозних жертв. У період з 1911 по 2010 роки це явище спостерігалось кожні 10 років, хоча кількість випадків хвиль тепле у місті Київ була невеликою. Часова динаміка випадків хвиль тепла за останні 100 років характеризується двома максимумами: 1931–1940 та 2000–2010 років. За ці періоди було зафіксовано шість і п'ять хвиль спеки відповідно [47].

Тривалість спеки, яка спостерігалася в Києві протягом досліджуваного періоду, у більшості випадків незначна: десять випадків (31%) із спеки тривали лише шість днів (така тривалість мінімальна згідно з хвилями тепла, рекомендованого IPCC [48]); дев'ять випадків (28%) хвилі тепла тривали довше десяти днів, і лише два випадки (6%) були довше п'ятнадцять днів. Найдовші хвилі спеки були зафіксовані в 2010 році (тривалість вісімнадцять днів) і 1946 році (тривалість шістнадцять днів) [47].

Біоклімат — сукупність кліматичних характеристик, що визначають комплексний вплив на організм людини в певному регіоні. В умовах глобальних змін клімату його яскраво виражені особливості призводять до локалізованого підвищення температури в центрі, тобто до появи феномену теплового острова, внаслідок чого міські жителі відчувають навіть більший тепловий стрес, ніж мешканці прилеглих сільських районів.

Біокліматична оцінка Києва виконана за даними Київської метеорологічної обсерваторії з використанням фізіологічного еквівалента температури (ФЕТ), одного з найбільш об'єктивних і широко використовуваних сучасних біокліматичних показників, наведено середню кількість повторюваних днів літній тепловий стрес значно зріс у період 1991–2015 роки (табл. 3.2) [47].

Таблиця 3.2. Повторюваність днів з тепловим стресом у літні місяці м. Київ за різні періоди [47]

Період/Місяць	Червень	Липень	Серпень
1961—1990 рр.	55,1%	64,9%	57,6%
1991—2015 рр.	64,1%	81,6%	73,4%
Аномалія повторюваності днів з тепловим стресом	9,0%	16,7%	15,8%

Найбільше збільшення кількості днів теплового стресу зафіксовано у липні – на 16,7%. У серпні спостерігалось незначне зниження, але воно зросло на 15,8%, при цьому найменше зростання відбулося в червні на 9,0% [47].

Зміни температурних характеристик – не єдине, що спостерігається в останні десятиліття. Дослідження показують, що температура підґрунтя також підвищується. Наприклад, В. І. Горний з колегами щорічно з 1983 по 2014 років проводили дослідження температури поверхні міста (ПМ) Києва та його області в період з 4 липня по 5 серпня і визначили збільшення цього показнику. Це дослідження було проведено з використанням даних космічних супутників NOAA (AVHRR) і Aqua/Terra (MODIS) (регіональний масштаб) і супутників серії Landsat (регіональний масштаб) [47].

Як і очікувалося, підвищення температури поверхні в містах неоднорідне, оскільки воно спричинене не лише глобальною зміною клімату, але й зміною під поверхнею протягом періоду дослідження. Найбільше підвищення температури (3,1-3,7°C) спостерігалось в центрі міста (Шевченківський, Солом'янський, Подільський, Печерський), найменше (2,3-2,5 °C) – у Голосіївському та Деснянському районах, де значні площі займають зелені зони, але навіть на цих територіях фіксується висока швидкість підвищення температури поверхні влітку – +0,015 °C (табл. 3.3) [47].

Таблиця 3.3. Середні ранкові температури поверхні міста Київ за матеріалами зйомок супутниками серії Landsat [47]

Адміністративні одиниці	Температура ПМ 1985 р., °С	Температура ПМ 2014 р., °С
м. Київ (в межах міста)	27,3	30,3
Дарницький район	27,7	30,4
Деснянський район	27,5	29,8
Дніпровський район	28,8	31,5
Голосіївський район	27,4	29,9
Оболонський район	27,3	30,4
Печерський район	29,5	32,6
Подільський район	29,2	32,5
Святошинський район	27,1	30,0
Солом'янський район	30,8	34,3
Шевченківський район	30,3	34,1
Приміська зона	27,9	30,7

У Києві добове підвищення температури поверхні міста також виявилось на 1,7°C вищим, ніж підвищення температури поверхні в Київській області. Результати цього дослідження свідчать не лише про вплив глобальних кліматичних змін на температуру приземного шару Києва та Київської області, а й про наявність у місті поверхневого острова тепла в літній період [47].

З огляду на наявні дослідницькі роботи періодом до 2014 року було вирішено провести власне дослідження та виявити температурні аномалії міста Києва в період після 2014 року з використанням супутників серії Landsat 8-9. Для отримання даних про температуру поверхні використовувався 10 канал, так як саме він працює у дальньому інфрачервоному діапазоні та є тепловим. На відміну від метеорологічних станцій, які фіксують температуру повітря, цей канал Landsat відображає рівень тепла поверхні ґрунту, який зазвичай гарячіший за повітря.

На першому етапі було створено дві карти: температура поверхні м. Київ у 2014 (рис. 3.2) та 2023 (рис. 3.3) роках. Використовувалися супутникові знімки за червень, так як для кінцевого результату було важливо мати дані за вегетаційний період. Для отримання температурних значень була проведена обробка знімку 10 каналу шляхом аналізу пікселів та вилучення неякісних. Використовуючи калькулятор растрів та табличні величини із специфікації Landsat, наявні значення було інтерпретовано у температурну шкалу за Цельсієм.

Для отримання температурних значень була проведена обробка знімку 10 каналу шляхом аналізу пікселів та вилучення неякісних. Використовуючи калькулятор растрів та табличні величини із специфікації Landsat, наявні значення було інтерпретовано у температурну шкалу за Цельсієм.

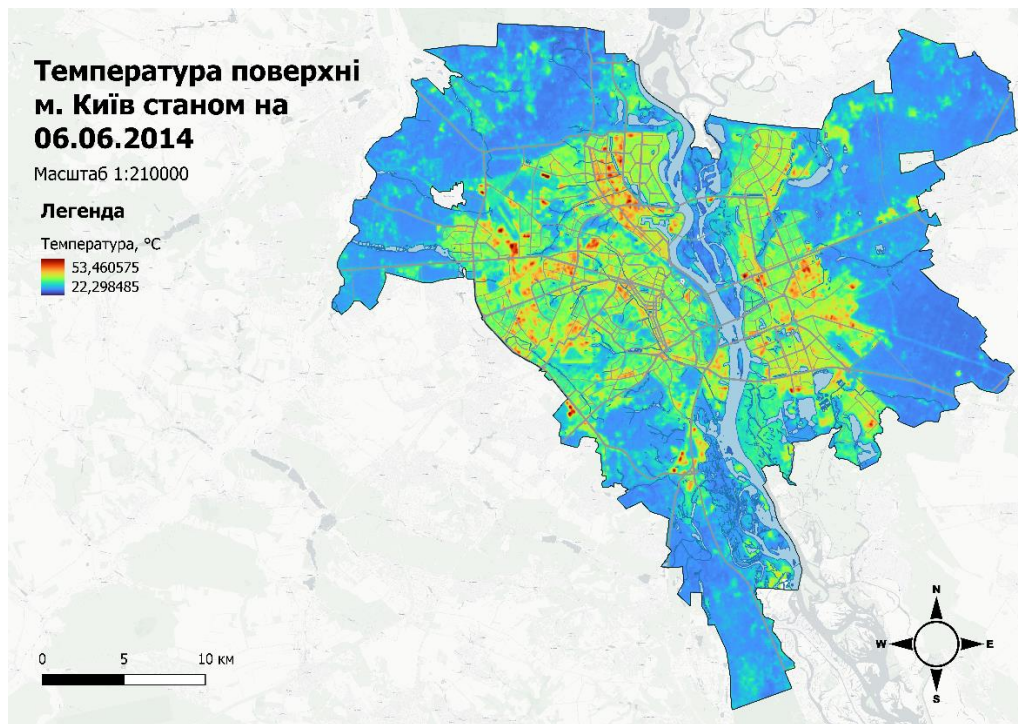


Рисунок 3.2. Температура міської поверхні за 2014 рік у м. Київ

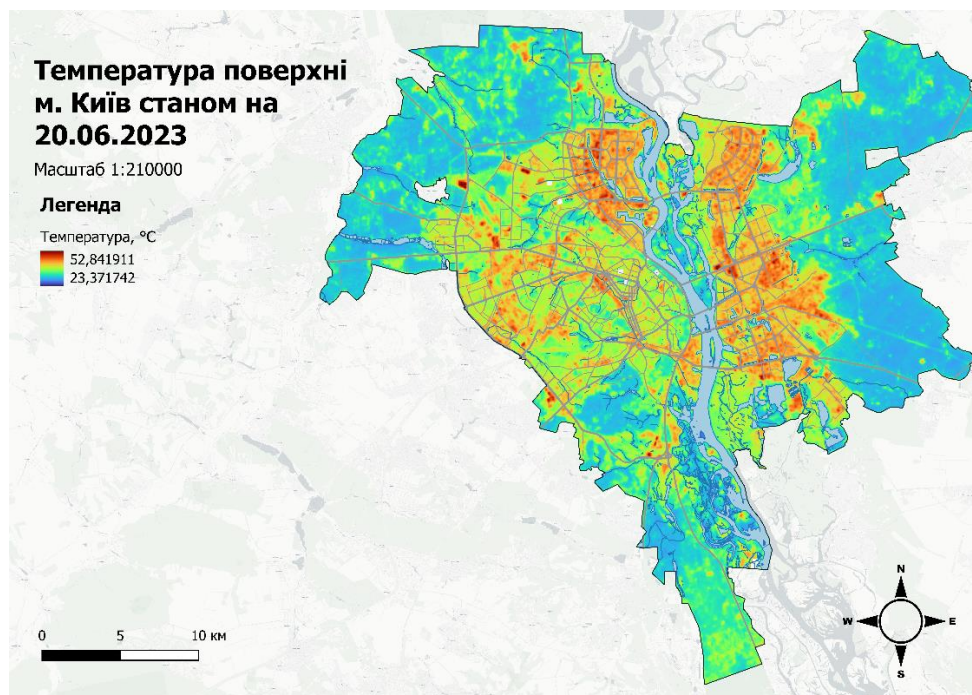


Рисунок 3.3. Температура міської поверхні за 2023 рік у м. Київ

Аналіз отриманих карт показав, що спостерігається загальне потепління міської поверхні та поява нових теплових ареалів. Зважаючи на це, наступним етапом стало створення карти, яка візуалізуватиме різницю між 2014 та 2023 рр. та покаже точки з найбільшою різницею температур. Для цього була проведена векторизація та об'єднання наявних растрів (рис. 3.2 та 3.3) з подальшим визначенням різниці між значеннями температури у досліджувані роки.

З отриманої карти (рис. 3.4) можемо бачити, що спостерігаються острови значного потепління в районі ТРЦ «Lavina Mall», полігону будівельного сміття № 6, на території Межигірського лісництва в Оболонському районі та Білодубравного лісництва в Деснянському районі, де температура зросла більше ніж на 15°C. Загальне підвищення температури поверхні спостерігається на лівобережній частині міста у житловій зоні Деснянського, Дніпровського та Дарницького районів. Теплові острови в лісових зонах пов'язані безпосередньо з вимушеною чи навмисною вирубкою лісів, а в інших випадках з підвищенням антропогенної діяльності та збільшенням площі водонепроникних поверхонь.

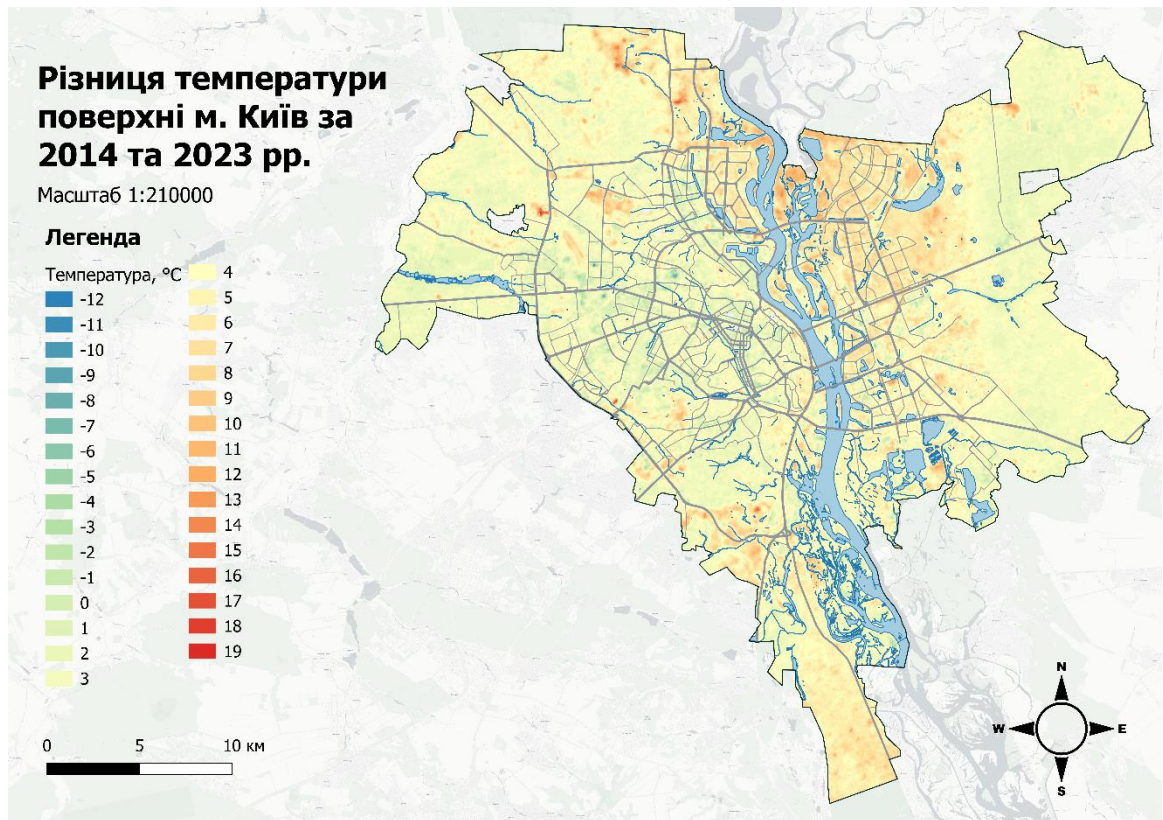


Рисунок 3.4. Різниця температури поверхні м. Київ за 2014 та 2023 роки

Міські зелені зони здатні знижувати температуру поверхні міста та позитивно впливати на формування мікроклімату. В контексті даної роботи доцільним було б підтвердити або спростувати це твердження для міста Київ. Тож, для досягнення цієї мети було створено шар з усіма зеленими зонами і шляхом використання інструменту зональної статистики та растру з температурою поверхні у 2023 році (рис. 3.3) для кожної із зон було обраховано середню температуру (рис. 3.5).

З рис. 3.5 можемо бачити, що найменшу температуру мають зелені зони, що розташовані поблизу водних об'єктів. Можна зробити висновок, що в даному випадку визначальним фактором є не лише рослинність, а і охолоджувальна здатність води. Наступними за значеннями температури (30-35°C) є більшою мірою лісові насадження на периферії міста, а також на острівній його частині. Окремо виділяються ареали цієї ж категорії, що розташовані у середмісті та охоплюють собою головним чином яри та території навколо малих річок та озер. Температурна зона 35-40°C охоплює переважно забудовану територію.

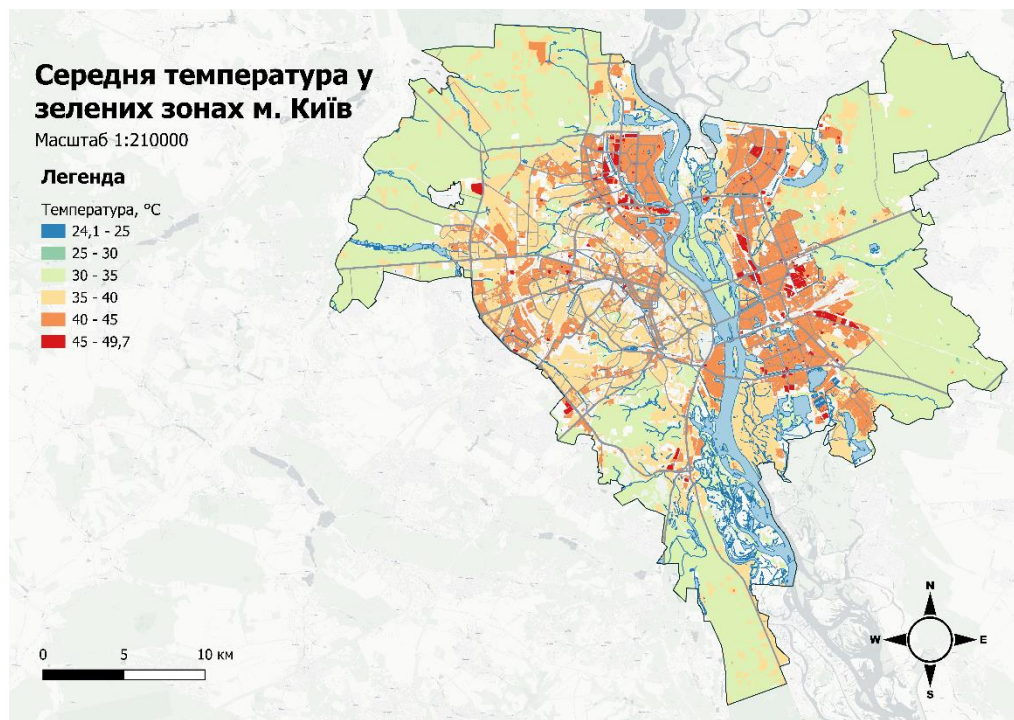


Рисунок 3.5. Середня температура у зелених зонах м. Київ

Примітним є те, що на правому березі це багатоповерхова забудова, а на лівому – садибна. Також вкраплення ділянок з температурою 35-40°C спостерігаються і в лісових насадженнях, що можна пов'язати з нерівномірним деревним покривом. Температуру 40-45°C має поверхня усіх житлових масивів лівого берега Києва, а також центру міста, Оболоні та житлових мікрорайонів, що розташовані вздовж Кільцевої дороги та Берестейського проспекту. Окремо виділяються промислові зони у Оболонському, Подільському та Голосіївському районах. Найвища температура поверхні, більше 45°C, спостерігається на території промислових зон та низки ТРЦ.

Тож, підсумовуючи найбільш визначальними негативними факторами формування температури поверхні зелених зон у Києві можна назвати антропогенну діяльність та площу водонепроникних поверхонь навколо. Щодо позитивних факторів – це безперечно наявність водних об'єктів. Однак такий аналіз є поверхневим та не бере до уваги якість та склад зелених зон. Водночас з рис. 3.5. видно, що деревні, а конкретно лісові, насадження мають нижчу температуру поверхні, ніж певні інші категорії. Однак на цьому етапі цей

взаємозв'язок є лише гіпотезою, для підтвердження якої було вирішено створити карту ефективності охолодження поверхні зеленими зонами в залежності від їхнього типу та видового складу.

Першочергово було створено шар, який містить інформацію про видову різноманітність зелених зон Києва. Для цього використовувалися дані продукту ESA WorldCover 2021, що включають у себе інформацію про класи земного покриву (забудова, водні об'єкти, деревна рослинність, трав'яна рослинність, чагарники тощо), а також дані з порталу Copernicus Global Land Service про типи лісів (хвойні, широколистяні, мішані). Була здійснена векторизація растрів та їх об'єднання зі збереженням атрибутів, що містять дані про тип та склад зелених насаджень. Після цього, за допомогою калькулятора полів, до шару, що містить результати зональної статистики з рис. 3.5. була додана інформація про тип і склад зелених зон. Наступним кроком було обрахування мінімального, максимального значень та різниці між ними за кожною з категорій зелених зон. Для наочності також була створена карта з типами зелених зон міста Києва (рис. 3.6).

Як було зазначено вище, на температуру поверхні зеленої зони впливають побічні фактори, такі як антропогенна діяльність та водопроникність поверхонь навколо. Отже, за умови ефективності конкретного типу зелених насаджень він буде мати приблизно однакові значення температури поверхні в усіх ареалах свого поширення, не зважаючи на вплив побічних факторів. Отже, базуючись на цій залежності було вирішено оцінювати ефективність типу насаджень за величиною різниці між максимальним та мінімальним значеннями температури поверхні серед усіх ареалів його поширення. Іншими словами, чим менша різниця – тим ефективнішим є конкретний тип насаджень. За даним показником була створена карта охолоджуючого ефекту зелених зон у м. Київ (рис. 3.7).

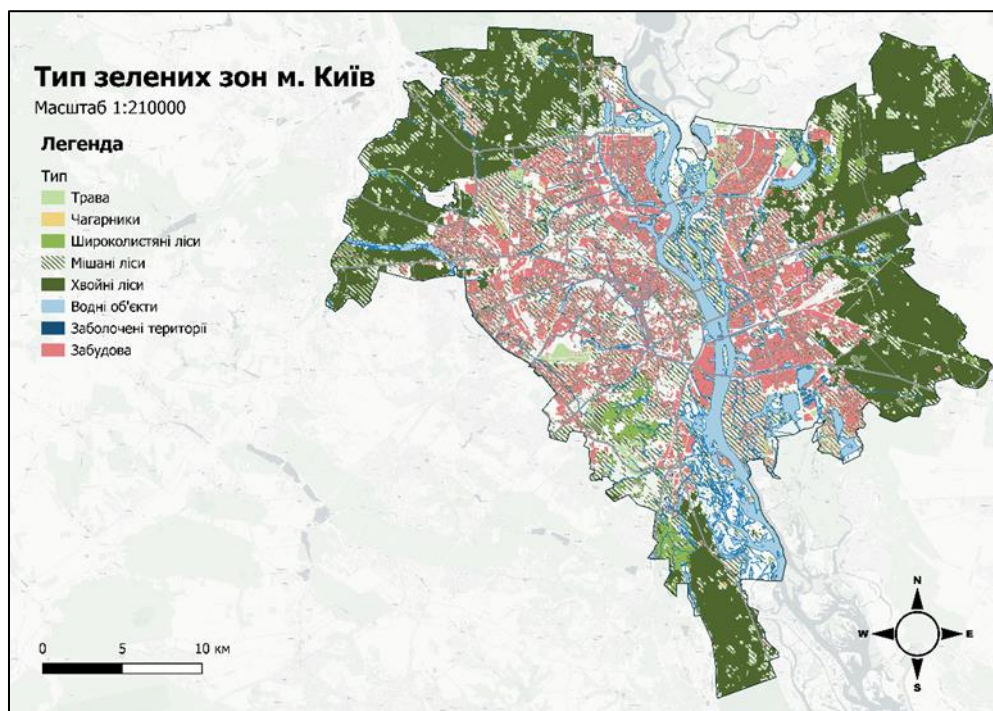


Рисунок 3.6. Типи зелених зон м. Київ

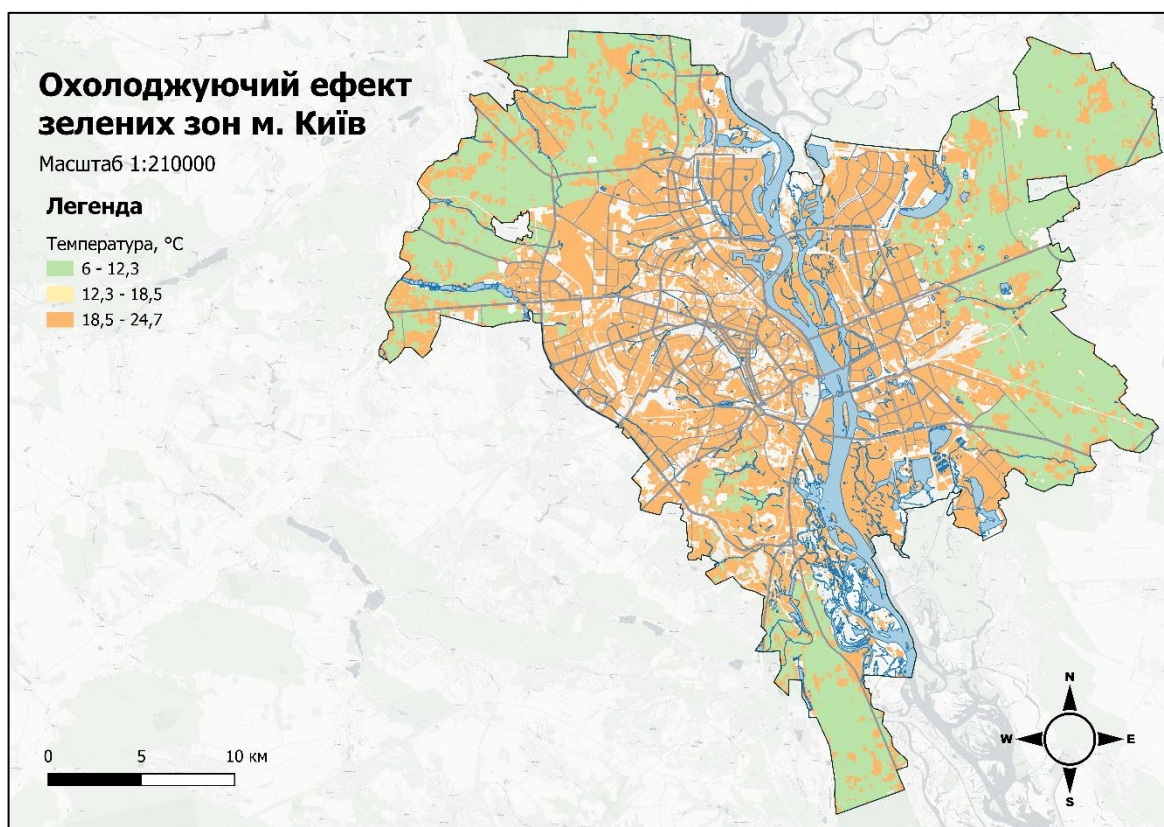


Рисунок 3.7. Охолоджуючий ефект зелених зон м. Київ

Також для детальнішого розуміння складена табл. 3.4. З неї можемо

бачити, що найвищу ефективність мають широколистяні та хвойні зелені зони. При цьому чагарники, забудова та трав'яна рослинність мають більш ніж 3 рази нижчу ефективність ніж ліси.

Таблиця 3.4. Ефективність охолоджувального ефекту зелених зон м. Києва за типами насаджень

Тип	Різниця, °C	min, °C	max, °C
Широколистяні ліси	6,02	29,33	35,35
Хвойні ліси	9,82	30,08	39,90
Мішані ліси	14,19	29,22	43,41
Заболочені території	18,10	24,87	42,98
Чагарники	20,94	27,40	48,34
Забудова	22,11	27,54	49,65
Трава	23,11	26,22	49,33

3.2. Заходи адаптації міста до кліматичних змін

Вразливість — це сприйнятливність системи до негативних наслідків зміни клімату (IPCC, 2012). Економічні, соціальні та інші фактори відіграють важливу роль у створенні вразливості до певних негативних наслідків. За однакових умов впливу фізичних факторів різний ступінь уразливості призводить до різних видів пошкоджень і втрат. Варто також зазначити, що вразливість міст і регіонів до певних негативних наслідків зміни клімату може змінюватися з часом. Цього можна досягти шляхом впровадження цільових профілактичних програм, спрямованих на підвищення стійкості міських екосистем і зміну економічних, соціальних та інших умов, що впливають на їхню вразливість [47].

У світовій практиці існує два види реагування на зміну клімату: пом'якшення та адаптація. Оскільки найбільш вагомою причиною зміни глобального клімату вважається діяльність людини, це обмеження спрямоване насамперед на зменшення викидів у атмосферу парникових газів для уповільнення процесу потепління. Адаптація — це розробка та реалізація

заходів, які дозволяють пристосуватися до змін [47].

Для адаптації до кожного негативного впливу зміни клімату можна вжити різноманітних заходів. Вони розділені на такі групи, як організація, будівництво та інженерія, технологія та економіка. Заходи з адаптації також значно відрізняються за вартістю, часом впровадження та ефективністю [47].

Основними принципами розробки заходів адаптації міського клімату до зміни клімату є:

- адаптація міст до змін клімату потребує комплексних підходів та впровадження заходів на різних рівнях;
- для певних несприятливих наслідків зміни клімату важливо розробити системи моніторингу населення, раннього попередження, управління ризиками;
- одним із важливих організаційних завдань у розробці міських адаптаційних заходів є проведення ефективних інформаційних кампаній;
- у ситуації, коли проблема зміни клімату стає дедалі гострішою, усі міські проблеми (планування забудови нових районів, розвиток транспортної інфраструктури тощо) мають вирішуватися з урахуванням прогнозованих змін;
- ефективним є використання методики «подвійного дивіденду», тобто використання екологічних технологій, технології боротьби зі зміною клімату, які дають змогу досягти певних економічних цілей.

Розробляючи загальноміські плани адаптації міст до зміни клімату, слід мати на увазі, що існують заходи, які можуть сприяти зниженню кількох негативних наслідків зміни клімату одночасно, наприклад, озеленення міст [47]. Заходи адаптації, пов'язані із зеленими зонами, можуть бути дуже ефективними для пом'якшення деяких наслідків зміни клімату. Оскільки зелені зони відрізняються від міських антропогенних матеріалів своїми вологими, аеродинамічними та тепловими властивостями, міські ландшафти можуть впливати на формування приземної температури повітря через велику кількість процесів. Важливим процесом є евапотранспірація, під час якої рослини

втрачають воду в атмосферу у вигляді випаровування. Евапотранспірація передбачає поглинання сонячної енергії та збільшення прихованого тепла, що знижує температуру листя та повітря навколо нього. Гідроізоляційні матеріали в містах (асфальт, бетон тощо) не накопичують воду (тому біля їх поверхні не відбувається поглинання сонячної енергії шляхом випаровування), вони швидко поглинають сонячне випромінювання та тривалий час утримують тепло. Сьогодні міське озеленення може виконувати різні функції, як засіб адаптації міст до зміни клімату та покращення мікроклімату міського середовища [47].

Отже, в контексті даної роботи базуючись на проведеному дослідженні температури поверхні м. Київ та, зокрема, зелених зон, а також ефективності їхнього охолоджувального ефекту пропонуються наступні заходи з адаптації до змін клімату:

1. Збільшувати площі деревних насаджень, зважаючи на їхню ефективність за табл. 3.4
2. Беручи до уваги виявлений охолоджувальний ефект малих водних об'єктів, розробити стратегію з відновлення мережі малих річок Києва.
3. Використання моделі міста-губки у подальшому розвитку міста. Серед конкретних заходів можуть використовуватися водонепроникні покривні матеріали (наприклад, водонепроникна бруківка), впроваджуватися вертикальне озеленення, зелених дахів й зупинки тощо.

Висновки до розділу 3

В результаті аналізу проведених досліджень, можна зробити висновок, що за останні десятиліття клімат міста Києва змінився. Поєднання проявів зміни клімату та негативних наслідків урбанізації виявляє. Зараз у містах спостерігаються десятки різних негативних наслідків змін клімату, які не спостерігаються в інших типах населених пунктів. Деякі з найпоширеніших включають: тепловий стрес, повені, зменшення кількості питної води та погіршення якості води, порушення нормального функціонування енергетичної системи міста, посилення інфекцій і алергічних симптомів, зменшення площі

міських зелених насаджень і руйнування видового складу, гідрометеорологічні явища природного походження [46].

У ході роботи було проведене власне дослідження динаміки температури поверхні міста Києва, зокрема у розрізі зелених зон різних категорій. Було виявлено, що визначальними факторами є антропогенна діяльність, наявність водних об'єктів та видовий склад зелених зон. Найбільший ефект охолодження мають зелені зони з деревною рослинністю, а саме широколистяною та, меншою мірою, хвойною.

На основі отриманих результатів було запропоновано низку адаптаційних заходів для зменшення негативного впливу змін клімату.

ВИСНОВКИ

У роботі розглянуто прояви глобальної зміни клімату в містах України, зокрема тенденції та небезпеки на прикладі міста Київ. Дослідивши різні показники, можна визначити основні кліматичні показники та спрогнозувати різні сценарії:

- температура в Україні та прилеглих регіонах піднялася майже на $1,5^{\circ}\text{C}$ за останні 30 років. 2020 рік став самим спекотним для Європи й України за всю історію вимірів;
- за сценарієм помірної концентрації парникових газів (RCP4.5) очікується, що порівняно з показниками кінця 20 ст., середньорічні температури можуть зрости на $1,2^{\circ}\text{C}$ - $3,0^{\circ}\text{C}$ до середини та на $1,6^{\circ}\text{C}$ - $3,5^{\circ}\text{C}$ до кінця 21 століття;
- за сценарієм високої концентрації парникових газів (RCP8.5), якщо порівнювати з показниками кінця 20 ст., можливе зростання середньорічних температур на $1,7^{\circ}\text{C}$ - $4,1^{\circ}\text{C}$ до середини та на $3,4^{\circ}\text{C}$ - $6,2^{\circ}\text{C}$ до кінця 21 століття;
- взимку можливе збільшення кількості опадів, однак висота снігового покриву, ймовірно, зменшиться, що призведе до зменшення танення снігу та весняного стоку.
- очікується, що частота та інтенсивність дуже сильних дощів зросте на 10-25% до кінця 21 століття.

Проаналізувавши дослідження різних вчених, у період з 1991 по 2015 роки, підсумуємо, що середня температура в Києві порівняно з кліматичною нормою підвищилася на $1,2^{\circ}\text{C}$, а максимальна і мінімальна – на $1,0^{\circ}\text{C}$ і $0,9^{\circ}\text{C}$ відповідно. Хоча підвищення температури спостерігається в усі місяці та пори року, воно нерівномірне протягом року, причому середні та максимальні температури найбільше підвищуються влітку, а найнижчі взимку.

Біоклімат міст став менш комфортним. Частота теплових стресових днів сучасного літа порівняно з кліматичними нормами зросла на 9,0% у червні, на 16,7% у липні та на 15,8% у серпні.

Було проведене дослідження динаміки температури поверхні міста Києва

та впливу на неї зелених зон. Основним результатом стала низка карт, які містять інформацію про динаміку поширення різних теплових зон та ефективність охолоджувального ефекту окремих видів зелених насаджень.

Виявлені зміни свідчать про необхідність розробки та реалізації заходів щодо адаптації Києва до наслідків зміни клімату.

Базуючись на отриманих результатах запропонована низка адаптаційних рішень, серед яких відновлення мережі малих річок, дотримання моделі міста-губки у майбутньому розвитку міста та збільшення площі деревних насаджень. Міські зелені насадження зокрема вважаються «м'якою інженерією» — ідеальною стратегією адаптації до зміни клімату для країн з низьким рівнем доходу.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Wilson, L., New, S., Daron, J., Golding, N. (2021). Climate Change Impacts for Ukraine. Met Office.
2. World Health Organization. Floods in Moldova, Romania and Ukraine (summer 2008). <https://www.euro.who.int/en/healthtopics/health-emergencies/from-disaster-preparedness-and-response/policy/response/floods-2008> (2021).
3. Didovets, I. et al. Climate change impact on regional floods in the Carpathian region. J. Hydrol. Reg. Stud. 22, 100590 (2019).
4. Emergency Management Service. Flooding in western Ukraine, June 2020. Copernicus EMS - European Flood Awareness System <https://www.efas.eu/en/news/flooding-western-ukraine-june-2020> (2020).
5. Bezpiatchuk, Z. Ukraine floods: Why climate change and logging are blamed. BBC World News (2020).
6. Nikolayeva, L. et al. Climate Change and Security in Eastern Europe: Republic of Belarus, Republic of Moldova, Ukraine Regional Assessment. <https://www.osce.org/files/f/documents/8/1/355496.pdf> (2016).
7. Barbosa, P. et al. Droughts in Europe and worldwide 2019-2020. EUR 30719EN (2021).
8. Semenova, I. Some Meteorological Aspects of Severe Agricultural Drought in the Northern Black Sea Region in 2019–2020. Environ. Sci. Proc. 2021, Vol. 8, Page 18 8, 18 (2021)
9. EU Science Hub. Severe drought in south-eastern Europe . EU Science Hub <https://ec.europa.eu/jrc/en/scienceupdate/severe-drought-south-eastern-europe> (2020).
10. Hurska, A. The Risk of Water Shortage and Implications for Ukraine’s Security. Eurasia Dly. Monit. 17, (2020).
11. Walz, Y. et al. Understanding and reducing agricultural drought risk: Examples from South Africa and Ukraine, Policy Report No. 3. (2018).
12. World Bank. Climate Change Knowledge Portal: Ukraine. <https://climateknowledgeportal.worldbank.org/country/ukraine> (2021).
13. Adamenko, T. Agricultural drought monitoring in Ukraine: Presentation during

- EvIDENz Workshop 2017. (2017).
14. Vogel, E. et al. The effects of climate extremes on global agricultural yields. *Environ. Res. Lett.* 14, 054010 (2019).
 15. Balabukh, V. & Malytska, L. Impact of climate change on natural fire danger in Ukraine. *Idojaras* 121, 453–477 (2017).
 16. Melnyk, Y. & Voron, V. Tendencies of Fire Development in the Forests of Ukraine. *Environ. Sci. Proc.* 3, (2021).
 17. Khabarov, N. et al. Forest fires and adaptation options in Europe. *Reg. Environ. Chang.* 16, 21–30 (2016).
 18. Deutsche Welle. Chernobyl fires still burning on anniversary of accident. Deutsche Welle <https://www.dw.com/en/chernobyl-fires-still-burning-on-anniversary-of-accident/a-53253968> (2020).
 19. Filtenborg, E. & Weichert, S. Chernobyl fires: how neglected forests, poor coordination and old equipment could spark disaster. *Euronews* (2020).
 20. Bezruk, T. Climate change, war and forest fires in eastern Ukraine. *Open Democracy* (2021).
 21. CSSF. Agenda of the Ukraine Stabilisation Mechanism Strategic Design Workshop. 7-8 June, 2021. (2021).
 22. Euronews. At least nine killed as forest fires rage in eastern Ukraine. *Euronews* <https://www.euronews.com/2020/10/01/atleast-nine-killed-as-forest-fires- rage-in-eastern-ukraine> (2020).
 23. Didovets, I. et al. Climate change impact on water availability of main riverbasins in Ukraine. *J. Hydrol. Reg. Stud.* 32, 100761 (2020).
 24. Stocker, T. F. et al. Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* CEUR Workshop Proc. 1542, 3336 (2015).
 25. UNFCCC. Paris Agreement. Conf Parties its twenty-first Sess 32FCCC/CP/2015/L.9/Rev.1. (2015).
 26. Moss, R. H. et al. The next generation of scenarios for climate change research

- and assessment. *Nature* 463, 747–56 (2010).
27. World Meteorological Organization. New Two-Tier approach on “climate normals”. WMO News (2015).
 28. Rogelj, J. et al. Mitigation Pathways Compatible with 1.5°C in the Context of Sustainable Development. in *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change*, (eds. Masson-Delmotte, V. et al.) (Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2018).
 29. O’Neill, B. C. et al. The Scenario Model Intercomparison Project (ScenarioMIP) for CMIP6. *Geosci. Model Dev.* 9, 3461–3482 (2016).
 30. van Vuuren, D. P. et al. RCP2.6: Exploring the possibility to keep global mean temperature increase below 2°C. *Clim. Change* 109, 95–116 (2011).
 31. Зміна клімату в Україні та світі: причини, наслідки та рішення для протидії [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://ecoaction.org.ua/zmina-klimatu-ua-ta-svit.html>
 32. Оцінка вразливості до зміни клімату: Україна [Електронний ресурс]. Режим доступу: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://necu.org.ua/wp-content/uploads/ukraine_cc_vulnerability.pdf
 33. Міста і зміна клімату: напрям стратегії. Глобальна доповідь про населені пункти 2011 року [Електронний ресурс] – Режим доступу: www.unhabitat.org/pmss/getElectronicVersion.aspx?nr=3101&alt=1
 34. Ministry of Environment and Natural Resources of Ukraine, State Service of Ukraine of Emergencies, National Academy of Sciences of Ukraine, Ukrainian Hydrometeorological Institute & Ministry of Ecology and Natural Resources of Ukraine. VI National Communication of Ukraine on Climate Change. (2012).
 35. Urban adaptation to climate change in Europe // Challenges and opportunities for cities together with supportive national and European policies // EEA Report No

- 2/2012 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.eea.europa.eu/publications/urban-adaptation-to-climate-change>
36. Правила утримання зелених насаджень у населених пунктах України [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/z0880-06/page3>
37. Пономаренко І.В. Дослідження впливу старіння населення на чисельність та структуру економічно активного населення в Україні та країнах Європи [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.economy.nauka.com.ua/?op=1&z=1769>.
38. Загальна характеристика статеві-вікового складу населення України [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://database.ukrcensus.gov.ua/PXWEB2007/ukr/publ_new1/2013/dop_age_01012013.pdf
39. Аналіз актуальних чинників погіршення якості питного водопостачання в контексті національної безпеки України». Аналітична записка [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.niss.gov.ua/articles/1037/>
40. Elizbarashvili M. Climatology and Historical Trends in Tropical Nights over the Georgian Territory / M. Elizbarashvili, E. Elizbarashvili, N. Kutaladze, S. Elizbarashvili, R. Maisuradze, T. Eradze, T. Jamaspashvili, N. Gogia // *Earth Sciences*. 2017. Vol.6 (5–1). P. 23–30. DOI: 10.11648/j.earth.s.2017060501.14
41. Fifth Assessment Report (AR5) // [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.ipcc.ch/report/ar5/mindex.shtml>
42. Шевченко О. Сніжко С. Зміна клімату та українські міста: прояви та проєкції до кінця XXI століття на основі RCP-сценаріїв. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Географія*. 2019. Вип. 2(75). С. 11-18. <http://doi.org/10.17721/1728-2721.2019.75.2>
43. Shevchenko O., Lee H., Snizhko S., Mayer H. Longterm analysis of heat waves in Ukraine. *International Journal of Climatology*. 2014. Vol. 34 (5). P. 1642-1650.
44. Khilchevskiy, V. et al. Hydrographic characteristic of ponds distribution in Ukraine – Basin and regional features. *J. Water L. Dev.* 46, 140–145 (2020).

45. Шевченко О.Г., Власюк О.Я., Ставчук І.І., Ваколюк М.В., Ілляш О.Е. Оцінка вразливості до зміни клімату: Україна: монографія. Київ: Муфлаер, 2014. 62 с.
46. Шевченко О. Прояв зміни клімату на території м. Києва та основні підходи до його адаптації. *Часопис картографії*. 2017. Вип. 1. С. 108-122.
47. Pidlisnyuk, V., Borisuyk, M. & Pidlisnyuk, I. Sustainable use of water resources: Perspective for Ukraine. *Sustain. Dev.* (1999).
48. Copernicus Climate Change Service (C3S). ERA5: Fifth generation of ECMWF atmospheric reanalyses of the global climate . Copernicus Climate. (2017).
49. Blöschl, G. et al. Changing climate both increases and decreases Europeanriver floods. *Nature* 573, 108–111 (2019).
50. Kovalets, I. V, Kivva, S. L. & Udovenko, O. I. Usage of the WRF/DHSVMmodel chain for simulation of extreme floods in mountainous areas: a pilot study for the Uzh River Basin in the Ukrainian Carpathians. *Nat. Hazards* 75, 2049–2063(2015).