

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

НЕДОСТРЕЛОВА Л.В.

ВПЛИВ КЛІМАТИЧНИХ ЗМІН НА ГАЛУЗІ ЕКОНОМІКИ УКРАЇНИ

ЧАСТИНА ІІІ

Конспект лекцій

Одеса
Одеський державний екологічний університет
2021

УДК 551.583

Нед 42

Рекомендовано методичною радою Одеського державного екологічного університету Міністерства освіти і науки України як конспект лекцій (протокол № 5 від 25.02.2021 р.)

Недострелова Л.В.

Вплив кліматичних змін на галузі економіки України. Частина III: конспект лекцій. Одеса, Одеський державний екологічний університет, 2021. 112 с.

Конспект лекцій призначений для підготовки магістрів за спеціальністю 103 «Науки про Землю» для освітньої програми «Метеорологія і кліматологія». Метою викладання частини III дисципліни «Вплив кліматичних змін на галузі економіки України» є висвітлення питань, що пов'язані із змінами та коливаннями клімату, особлива увага надається питанням антропогенного впливу на клімат та його наслідків для соціально-економічного розвитку країни. В конспекті лекцій розглянуті питання динаміки клімату України, оцінки геліоресурсів та вітроенергетики країни, надано прогностичні значення біокліматичних показників.

ISBN 978-966-186-119-9

© Недострелова Л.В. 2021

© Одеський державний екологічний університет, 2021

ЗМІСТ

	ВСТУП	4
1	ЕНЕРГЕТИЧНІ РЕСУРСИ КЛІМАТУ УКРАЇНИ	6
	1.1 Основні підходи до оцінки чутливості кліматичної системи до збурень	6
	1.1.1 Сценарії викидів парникових газів і їх вплив на зміни клімату	9
	1.1.2 Розподіл температури й опадів згідно зі сценаріями викидів RCP4.5 і RCP8.5 в Україні протягом 2021–2050 рр.	11
	1.1.3 Кліматичні ризики	19
	1.1.4 Вплив кліматичних змін на транспортну систему України	27
	1.2 Прогноз змін тривалості опалювального періоду за допомогою сценаріїв клімату	30
	1.2.1 Дослідження динаміки змін енергетичних ресурсів згідно з сценаріями RCP4.5 та RCP8.5	32
	1.3 Оцінка змін геліоресурсів в Україні в умовах потепління клімату	46
	1.3.1 Оцінка змін геліоресурсів в Україні в умовах потепління клімату	58
	1.3.2 Загальна характеристика радіаційного режиму на території України	66
	1.3.3 Оцінка вразливості геліоенергетичних ресурсів від екстремальних умов клімату	68
	1.3.4 Висновки	71
	1.4 Вплив змін клімату на вітроенергетичні ресурси України	74
2	БІОКЛІМАТИЧНІ РЕСУРСИ УКРАЇНИ	91
	2.1 Методика визначення біокліматичних показників	91
	2.2 Прогноз змін значень біокліматичних показників в умовах сучасних змін клімату	95
	2.3 Районування території України по еквівалентно-ефективних температурах	99
	2.4 Висновки	100
	ЛІТЕРАТУРА	105

ВСТУП

Глобальні зміни клімату, що відбуваються, викликають заклопотаність їх різноспрямованими наслідками. Активна господарська діяльність людини призводить до різкої глобальної зміни кругообігу речовин в біосфері, відбувається глобальна антропогенна зміна функціонування рослинності, йде ерозія ґрунтів, змінюється клімат Землі, відбувається глобальне потепління. При зміні клімату відбувається зміна природних ресурсів і це не лише чисто кліматичні ресурси, але і ті, які певною мірою залежать від стану клімату, зумовлені його станом.

Науково-технічний прогрес і, передусім, швидке зростання енергетичної потужності цивілізації породжує численні проблеми, які потребують оцінки, аналізу і глибокого вивчення. Вони зумовлені масштабом прямої дії людської діяльності на довкілля. Викиди CO₂ в атмосферу в результаті спалювання органічного палива, вирубування лісів, заміна природних фітоценозів антропогенними, ерозія ґрунтів, різні джерела і багато іншого змінюють, деформують сталий хід природних процесів і, отже, змінюють умови життя і діяльності людей.

Врахуванню кліматично зумовлених природних ресурсів завжди надавалося великого значення в тих галузях економіки, які тісно пов'язані із станом погоди і клімату. Паливний комплекс – тут в першу чергу важливі термічні ресурси території, які визначають режим опалювання, роботу вентиляційних пристроїв і холодильних установок. Кліматично зумовлені природні ресурси відіграють помітну роль в енергетичному комплексі, визначаючи такі його компоненти як гідроенергетичні ресурси, вітрові і геліоресурси антропогенні. Важлива роль належить екологічній компоненті кліматично зумовлених природних ресурсів, що відбиває ту їх частину яка впливає на здоров'я і, навпаки, на ризики захворюваності населення. Слід відзначити також водні ресурси, врахування природних ресурсів в будівництві, в плануванні і експлуатації транспортних мереж, туризмі і рекреаційному використанні територій та ін.

Зміни клімату спричиняють зміну кліматично зумовлених природних ресурсів. Це можуть бути в перспективі як сприятливі, так і несприятливі зміни, проте, у будь-якому випадку, в найближчому майбутньому вони спричинять перебудову відповідних соціальних і економічних умов. Для того, щоб пристосуватися до нових природних умов і пом'якшити наслідки змін необхідна перебудова ряду галузей економіки. Якою б не уявлялась картина цього майбутнього розвитку, розуміння цієї ситуації доводить необхідність вирішення проблеми спостережень, досліджень, аналізу і прогнозу зміни кліматично зумовлених природних ресурсів у зв'язку із змінами клімату. Її вирішення потребує проведення комплексних досліджень, пов'язаних із залученням спеціалістів різних галузей знань:

географічних, сільськогосподарських, біолого-грунтових, медико-біологічних, біофізичних, економічних, соціальних і політологічних. Для того, щоб забезпечити науково-обґрунтовану базу для прийняття адекватних рішень в галузі стійкого розвитку суспільства необхідно розробити механізм управління кліматичними ризиками та визначати їх кількісну оцінку.

Мета дисципліни – висвітлення питань, що пов'язані із змінами та коливаннями клімату, особлива увага надається питанням антропогенного впливу на клімат та його наслідків для соціально – економічного розвитку країни.

Завданням курсу є формування у студентів системи знань з питань зміни клімату та вплив таких змін на галузі економіки України.

Після вивчення дисципліни студент має засвоїти базові знання. Він повинен **знати**:

- антропогенні зміни клімату;
- зміни клімату у майбутньому;
- динаміку змін клімату України;
- вплив змін клімату на соціально-економічний розвиток країни;

вміти

- досліджувати за допомогою кліматичної довідникової літератури динаміку температурного, радіаційного режиму і режиму хмарності для різних регіонів України та різні кліматичні періоди;
- визначати тенденції змін режиму опадів і швидкості вітру за різні періоди часу;
- досліджувати сценарії кліматичних змін у майбутньому для глобального клімату та для території України;
- застосовувати базові знання фундаментальних дисциплін в професійній та науковій діяльності;
- застосовувати науково-методичні основи в області кліматології та використовувати їх у виробничій діяльності;
- володіти теоретичними основами кліматичного районування.

1 ЕНЕРГЕТИЧНІ РЕСУРСИ КЛІМАТУ УКРАЇНИ

1.1 Основні підходи до оцінки чутливості кліматичної системи до збурень

На кліматичну систему впливають різні види збурень: зміни у кількості сонячного випромінювання, яке надходить на поверхню Землі, в хімічному складі атмосфери, в топографії підстильної поверхні і т.п. Для порівняння величин тих збурень і оцінки їх впливу на клімат часто зручно проаналізувати їх вплив на радіаційний баланс Землі [1]. Точніше, радіаційний форсинг звичайно визначається як сумарна зміна у радіаційному балансі Землі на рівні тропопаузи, спричинена конкретним збуренням. Згідно цьому визначенню, при розрахунках змін направлених вгору і донизу радіаційних потоків потрібно, щоб температура повітря у стратосфері дозволила досягти нової радіаційної рівноваги, тоді як приземна і тропосферна температури залишаються незмінними [2]. Причиною вибору змін температурного профілю саме в стратосфері є швидкість пристосування до збурень, яка в стратосфері становить близько місяця, а в тропосфері – одне або більше десятиріччя. Таким чином, форсинг на рівні тропопаузи представляє вплив збурення на періодах довших за рік.

Загалом, радіаційний форсинг (ΔQ), пов'язаний зі збуренням, представляється у вигляді середньорічних та глобальних осереднених величин. Інтерес саме до цих значень залежить від природи збурення: для проведення аналізу загалом корисніше, коли збурення відносно постійне в просторі і не залежить від сезонів, ніж коли потрібно враховувати мінливість збурень, які суттєво змінюються у просторі та по сезонах.

Радіаційні форсинги поділяються на природні та антропогенні. Якщо перші діють упродовж всієї історії глобальної кліматичної системи, вплив на глобальному рівні форсингів другої групи починається з промисловою революцією, тобто з 50-х років. XVIII ст.

До головних радіаційних форсингів відносять:

- форсинг, зумовлений змінами кількості сонячного випромінювання (сонячної сталої), що надходить до планети;
- форсинг, зумовлений змінами концентрації парникових газів в атмосфері;
- форсинг, зумовлений змінами концентрації аерозолів в атмосфері, включаючи вулканічну діяльність;
- форсинг, зумовлений змінами характеру підстильної поверхні, включаючи зміни у кріосфері та у землекористуванні.

У відповідь на радіаційний форсинг ΔQ відбуваються зміни різних параметрів, які характеризують стан кліматичної системи, що в свою чергу призводить до змін радіаційних потоків на рівні тропопаузи. Ці зміни відбуваються через дуже складні механізми. Однак, припускаючи, що зміни радіаційних потоків на рівні тропопаузи можна оцінити як функцію змін глобальної середньої приземної температури, ΔT_s , можна одержати приблизні оцінки поведінки кліматичної системи. Якщо позначити через ΔR незбалансованість цього радіаційного балансу, можна записати

$$\Delta R = \Delta Q + \lambda_f \Delta T_s, \quad (1.1)$$

де λ_f називається параметром зворотного зв'язку ($\text{Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{К}^{-1}$).

У рівнянні (1.1) передбачається, що низхідні течії є позитивними. Якщо збурення продовжується достатньо тривалий час, кліматична система через деякий час досягне нової рівноваги, при якій $\Delta R = 0$. Це міркування можна використати для розрахунку рівноважної зміни глобальної середньої температури у відповідь на ΔQ

$$\Delta T_s = -\frac{1}{\lambda_f} \Delta Q, \quad (1.2)$$

де $(-1/\lambda_f)$ – називається мірою рівноважної чутливості клімату, тобто зміною глобальної середньої температури, яка врівноважує деякий радіаційний форсинг.

Рівноважна чутливість клімату часто визначається за допомогою модельних розрахунків клімату. Тому в практичних задачах вона звичайно визначається як зміна глобальної середньої приземної температури, після якої кліматична система досягла нової рівноваги у відповідь на подвоєння концентрації CO_2 в атмосфері. Вона вимірюється у $^\circ\text{C}$ і згідно з недавніми оцінками ІРСС [3] її значення, ймовірно, знаходиться в діапазоні 2–4,5 $^\circ\text{C}$.

Зміни приземної температури T_s пов'язані зі змінами багатьох інших параметрів, які також впливають на глобальний тепловий баланс. Якщо ми розглянемо ансамбль з n -параметрів, які впливають на R і позначаються через x_i , та знехтуємо членами другого порядку, тоді загальний параметр зворотного зв'язку (λ_f) можна виразити як функцію цих параметрів

$$\lambda_f = \frac{\partial R}{\partial T_s} = \sum_{i=1, n} \frac{\partial R}{\partial x_i} \frac{\partial x_i}{\partial T_s}. \quad (1.3)$$

Таким чином λ_f можна представити сумою параметрів зворотного зв'язку, пов'язаних з кожним параметром x_i . Найбільш часто аналіз зосереджується на параметрах, які безпосередньо впливають через фізичні механізми на радіаційний баланс на рівні тропопаузи. Для простоти,

будемо називати ці механізми прямими фізичними зворотними зв'язками. До них відносяться зворотні зв'язки, пов'язані з температурою (λ_T), з водяною парою (λ_w), хмарністю (λ_c) та приземним альбедо (λ_a). Температурний зворотний зв'язок в свою чергу поділяється як $\lambda_T = \lambda_0 + \lambda_L$. При розрахунках λ_0 ми припускаємо, що зміни температури однакові по всій товщині тропосфери, а неоднорідність змін температури по вертикалі оцінюється завдяки величині λ_L , яка називається градієнтним зворотним зв'язком. Таким чином, можна записати

$$\lambda_f = \sum_i \lambda_i = \lambda_0 + \lambda_L + \lambda_w + \lambda_c + \lambda_a. \quad (1.4)$$

Хоча непрямі ефекти (такі, як наприклад, зміни динаміки океанів чи атмосфери або біогеохімічні зворотні зв'язки) можуть суттєво впливати на зміни клімату, вони виключені з формули (1.4). Що стосується непрямих зворотних зв'язків, в яких домінуючі процеси не можуть бути безпосередньо пов'язані з тепловим балансом тепла на рівні тропопаузи, то для їх детального аналізу відсилаємо читачів до спеціальної літератури.

Поняття радіаційного форсингу, кліматичного зворотного зв'язку і чутливості клімату є дуже корисними при загальному описі поведінки кліматичної системи. Однак при їх використанні ми повинні пам'ятати, що загальна схема, описана вище, є найпростішою та найгрубішою версією складної тривимірної кліматичної системи. По-перше, вона не надає пряму інформацію щодо поведінки багатьох важливих змінних клімату, таких, як наприклад, просторовий розподіл змін або вірогідність екстремальних подій, наприклад, ураганів. По-друге, значення кліматичних зворотних зв'язків і чутливість клімату залежать від природи форсингу. Чутливість клімату звичайно визначається через відгук системи на зростання концентрації CO_2 , однак, деякі види форсингу є більш «ефективними», ніж інші при одному значенні радіаційного форсингу, тобто вони генерують більші відгуки. По-третє, зворотні зв'язки залежать від середнього стану кліматичної системи. Наприклад, досить очевидно, що зворотні зв'язки, пов'язані з кріосферою, відіграють більшу роль у відносно холодних періодах, коли на земній поверхні присутні великі маси льоду, ніж у більш теплі періоди. По-четверте, нелінійність кліматичної системи приводить до значних змін, коли вони перевищують деяке порогове значення у відповідь на збурення. В таких випадках кліматичні зміни відбуваються переважно за рахунок внутрішньої динаміки системи і мало пов'язані з величиною форсингу [1].

1.1.1 Сценарії викидів парникових газів і їх вплив на зміни клімату

Майбутні зміни клімату є однією з найбільших проблем, що постали перед людством в новому сторіччі. Потреба в інформації про зміни клімату необхідна для того, щоб оцінити їх вплив на людину і природні системи з метою розвитку відповідних засобів адаптації і стратегії пом'якшення негативного впливу кліматичних змін на національному і навіть регіональному рівні [4].

Діяльність людини змінила і продовжує змінювати поверхню Землі і склад її атмосфери. Деякі з цих змін мають прямий або опосередкований вплив на енергетичний баланс Землі і, таким чином, є чинниками, що впливають на зміну клімату. Радіаційний вплив (РВ) є результатом зміни енергетичного балансу системи Земля як реакції на певні зовнішні фактори, при цьому позитивний РВ веде до потепління, а негативний РВ – до похолодання кліматичної системи. Крім глобального середнього радіаційного й енергетичного впливу, просторовий розподіл і часова еволюція впливу і зворотний кліматичний зв'язок також відіграють значну роль у визначенні можливого впливу різних факторів на клімат. Зміни поверхні суші можуть також впливати на локальний і регіональний клімат за допомогою процесів, які не є радіаційними за своєю природою [5].

Глобальні кліматичні моделі є основними інструментами, що використовуються для проектування тривалості та інтенсивності змін клімату в майбутньому. При цьому використовуються кліматичні моделі різних рівнів складності, від простих кліматичних до моделей перехідної складності, повних кліматичних моделей і моделей усієї Земної кліматичної системи. Ці моделі розраховують майбутні кліматичні режими на основі низки сценаріїв зміни антропогенних факторів. Для нових кліматичних розрахунків, виконаних у рамках проекту Coupled Model Intercomparison Project Phase 5 (CMIP5) Всесвітньої програми досліджень клімату (World Climate Research Programme), використовується новий набір сценаріїв, а саме Репрезентативні траєкторії концентрацій (Representative Concentration Pathways – RCP).

Репрезентативні траєкторії концентрацій – сценарії, які включають часові ряди викидів і концентрацій всього набору парникових газів, аерозолів і хімічно активних газів [5]. Слово репрезентативний означає, що кожна RCP показує лише один з багатьох можливих сценаріїв, які призвели б до визначення конкретних характеристик радіаційного впливу. Термін траєкторія підкреслює, що розглядаються не тільки рівні довгострокових концентрацій, але також і їх очікувана зміна, побудована в часі для визначення кінцевого результату. В усіх сценаріях RCP

атмосферна концентрація CO₂ є вищою за сьогоднішній рівень унаслідок зростання сукупних викидів CO₂ протягом XXI сторіччя.

Сценарії RCP визначаються приблизною сумарною величиною радіаційного впливу до 2100 року порівняно з 1750 р.: 2,6 Вт·м⁻² для RCP2.6; 4,5 Вт·м⁻² для RCP4.5; 6,0 Вт·м⁻² для RCP6.0 і 8,5 Вт·м⁻² для RCP8.5. Ці чотири RCP містять один сценарій зменшення викидів, який передбачає низький рівень впливу (RCP2.6); два сценарії стабілізації (RCP4.5 і RCP6.0) і сценарій з дуже високими рівнями викидів парникових газів (RCP8.5) [5, 6]. Згідно RCP6.0 і RCP8.5, радіаційний вплив не досягає максимального значення до 2100 р., а продовжує постійно збільшуватись; в RCP2.6 цей вплив досягає максимуму і потім знижується; і в RCP4.5 він стабілізується до 2100 р. (рис. 1.1).

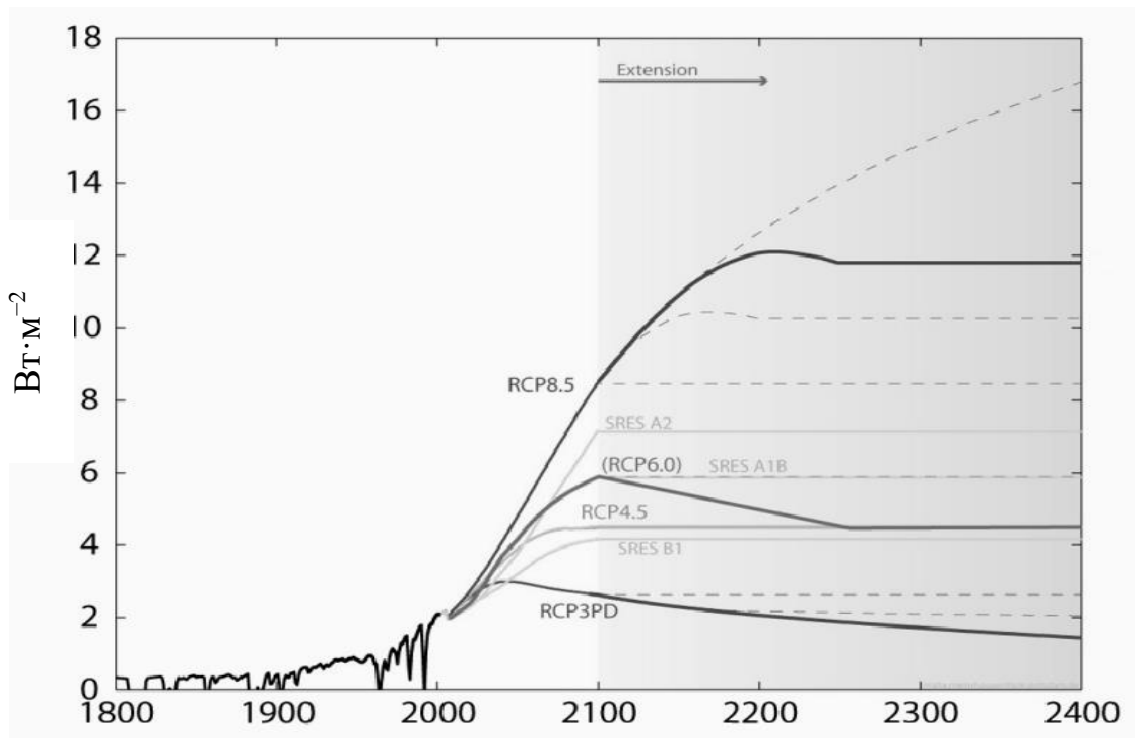


Рис. 1.1 – Схематичне зображення радіаційного впливу (товсті лінії – рекомендовані траєкторії, пунктирні – траєкторії з врахуванням додаткових можливостей, визначених за альтернативними правилами) [7]

Таким чином, RCP можуть відображати результати цілого ряду заходів в області клімату в XXI сторіччі в порівнянні з їх відсутністю в Спеціальній доповіді про сценарії викидів (СДСВ), що використовувались в попередніх доповідях з питань зміни клімату [8]. Сценарії СДСВ були розроблені лише з використанням послідовного підходу, іншими словами, із залученням соціально-економічних, демографічних і технологічних

факторів, які потім використовувались в простих кліматичних моделях для визначення концентрацій парникових газів.

З іншого боку, кожен сценарій RCP представляє набори даних з високим просторовим розділенням щодо змін у землекористуванні і викидів забруднюючих повітря речовин за секторами економіки, а також визначає річні концентрації парникових газів і антропогенних викидів.

Сценарії RCP ґрунтуються на комбінації комплексних оцінних моделей, простих кліматичних моделей та моделей атмосферної хімії і глобального вуглецевого циклу. Хоча RCP охоплюють широкий діапазон значень сукупних впливів, вони не включають весь спектр викидів, описаних в літературі, особливо що до аерозолів [5, 6].

В цих дослідженнях при моделюванні прогностичних змін режиму температури й опадів використовувались дані експерименту CORDEX – Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment, створеного Всесвітньою програмою досліджень клімату для формування ансамблю прогностичних регіональних кліматичних моделей на всіх континентах в глобальному масштабі. Також CORDEX використовується для проектування клімату в регіональному масштабі, використовуючи статистичні та динамічні методи. Структура проектування клімату в межах CORDEX базується на новому наборі глобальних кліматичних моделей CMIP5. При проектуванні клімату CORDEX зосереджується на експериментах з використанням сценаріїв викидів – RCP4.5 і RCP8.5, які є сценаріями середнього і високого рівня викидів [2, 9].

Для досліджень використовувались дані гідрометеорологічних параметрів, реалізованих в регіональній кліматичній моделі RASMO2. Модель RASMO2 поєднує в собі фізичні схеми, розроблені Європейським центром середньострокових прогнозів погоди (ECMWF) [10], і динамічну основу від моделі HIRLAM [3]. Вона пристосована для використання на льодяних поверхнях і включає складну схему визначення альbedo снігу. RASMO2 має 40 вертикальних атмосферних рівнів з кроком сітки по горизонталі ~ 11 км, що забезпечує високу точність отриманих результатів. Також RASMO2 виконує моделювання атмосферних полів з 6-годинною часовою дискретністю [11].

1.1.2 Розподіл температури й опадів згідно зі сценаріями викидів RCP4.5 і RCP8.5 в Україні протягом 2021–2050 рр.

З метою оцінки очікуваних змін клімату в Україні використовувались прогностичні значення температури повітря й опадів згідно двох сценаріїв викидів – RCP4.5 та RCP8.5 протягом періоду 2021–2050 рр. [12].

Як зазначалось раніше, сукупні викиди CO_2 значною мірою визначають глобальні зміни клімату, зокрема збільшення середньої температури повітря. В даній роботі з метою порівняння впливу різного рівня викидів парникових газів на можливі зміни режиму опадів і температури повітря застосовувались дані для двох сценаріїв викидів – RCP4.5 і RCP8.5. За даними лінійного тренда розраховані величини зміни температури повітря й опадів протягом 2010–2050 рр. для території України. Обчислення виконувались для середньорічних значень температури повітря і річної суми опадів, а також для їх сезонних показників. Зокрема, у зв'язку зі збільшенням повторюваності так званих “хвиль” тепла та холоду і екстремальних проявів розподілу температури повітря й опадів, достатньо цікавою є перспектива дослідження саме внутрішньосезонної (літної і зимової) мінливості цих характеристик в залежності від можливого розвитку різних сценаріїв викидів [4].

Аналізуючи отримані результати для середньорічної температури повітря, можна відзначити, що протягом 2021–2050 рр. на більшій частині території України очікується збільшення температури повітря. Проте, якщо згідно з RCP8.5 збільшення середньорічної температури повітря прогнозується на всій території, то за даними RCP4.5 лише в центрі та на сході країни прогнозується підвищення температурних показників, в той час на заході можливе зменшення середньорічної температури повітря в межах періоду дослідження.

Так, можна відзначити, що протягом 2021–2050 рр. в західних областях України для RCP4.5 спостерігається тренд до зменшення середніх за рік величин температури повітря на 0,4-0,6 °C. В цьому ж регіоні за сценарієм RCP8.5 можливе збільшення температури на 0,5-0,9 °C. На півночі й в центрі країни протягом зазначеного тридцятиріччя температура збільшиться в середньому на 0,1-0,2 °C і 0,5-0,7 °C відповідно до сценаріїв.

Найінтенсивніше зростання температурних величин очікується в південних та східних регіонах. За даними RCP4.5 середньорічна температура повітря збільшиться на 0,5-0,7 °C, а згідно з RCP8.5 – на 0,9-1,2 °C за тридцятиріччя. Максимальні значення додатного тренда температури можливі в АР Крим [4].

Проте просторовий розподіл середньорічної температури повітря в межах території України протягом 2021–2050 рр. не демонструє суттєвих відмінностей окремо для кожного сценарію. Так, можна відзначити, що як для RCP4.5, так і для RCP8.5, найвищі значення середньорічної температури повітря, що становлять понад 10 °C, очікуються в АР Крим. Південь України перебуватиме під впливом середньорічних температур повітря на рівні 8-9 °C. Хоча рівень ізотерми 9 °C у випадку RCP8.5 зміщений дещо на північ в порівнянні з RCP4.5, більша частина території, зокрема Лісостеп та Полісся, за сценарієм RCP4.5 перебуватиме під впливом середньорічних температур повітря на рівні 7 °C.

Мінімальні ж значення вказаної характеристики (6°C) очікуються на північному сході країни, в межах Сумської та Чернігівської областей і в Закарпатті. При розвитку сценарію RCP8.5 найменші значення середньорічної температури також прогнозуються в зазначених районах, проте її величина досягатиме позначки 7°C .

За подібним принципом розраховані зміни середньої температури повітря за сезонами року, а саме, за літо і зиму [4].

Для літніх температур практично, як і для середньорічних, відзначається їх поступове збільшення. Від'ємний тренд температури фіксується лише в Чернівецькій та Івано-Франківській областях й на півдні Одещини за сценарієм викидів RCP4.5. Для інших областей заходу і центру України очікується збільшення температури повітря в середньому за 30 років на $0,2-0,6^{\circ}\text{C}$ згідно з RCP4.5 та на $0,4-0,7^{\circ}\text{C}$ за даними RCP8.5. Найбільш інтенсивне підвищення літньої температури прогнозується на півдні, сході та навіть північному сході країни. При цьому цікавим є той факт, що для південних і східних областей максимальні величини, які становлять $1,0-1,3^{\circ}\text{C}$, можливі при RCP8.5, в той час як на північному сході найвагомніше збільшення середньої температури за літо відзначається при розвитку сценарію RCP4.5.

Так, для обох сценаріїв максимальні літні температурні показники слід очікувати на південному сході країни, а мінімальні – в районі Закарпаття. При цьому структура термічного поля показує поступове зменшення значень температури з південного сходу на північний захід України.

Надзвичайно важливі та цікаві результати отримані для сезонних зимових температур повітря. На відміну від середньорічних і літніх, де не відзначалось дуже різких відмінностей між сценаріями, для зимового температурного режиму ці зміни є істотними. Оскільки за даними сценарію RCP4.5 практично по всій території України протягом 2021–2050 рр. прогнозується інтенсивне зменшення температури, в середньому на понад 2°C за тридцятиріччя, це може свідчити про можливе збільшення екстремальності зимових температур і повторюваності “хвиль” холоду. Найбільші значення від'ємного тренда температури очікуються на заході країни. В східних регіонах за даними RCP4.5 різких змін мінливості цієї гідрометеорологічної характеристики в межах періоду дослідження не очікується.

Абсолютно протилежна ситуація прогнозується за умови розвитку сценарію RCP8.5. Над всім простором країни відзначається інтенсивне збільшення зимових температур в середньому на $1,2-1,8^{\circ}\text{C}$. Максимально різке збільшення (понад 2°C) відмічається на півдні Одеської області та в Закарпатті. Просторовий розподіл середньосезонних зимових температур демонструє локалізацію осередків найбільш холодних температур на північному сході країни з поступовим їх підвищення в напрямку

південного заходу. В Степовій зоні температури в середньому за зиму коливатимуться в межах від -2°C до 0°C , в Лісостеповій та Поліссі – близько -3°C в середньому за зиму. Цікаво також, що для RCP8.5 ізотерма -4°C в порівнянні з RCP4.5 зміщена на південь, і в цьому випадку осередок найбільш холодних зимових температур обмежується показником -5°C (рис.1.2).

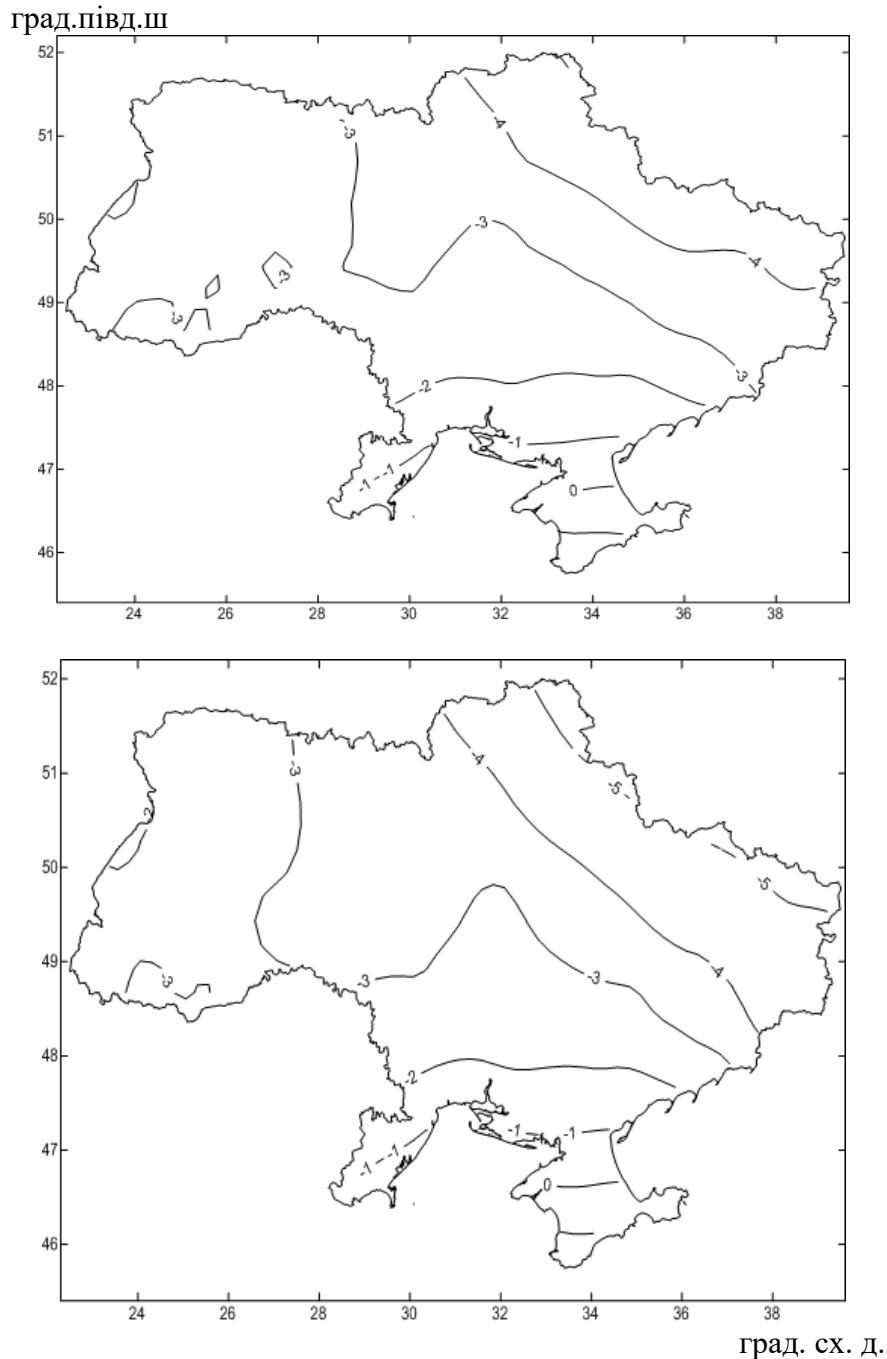


Рис. 1.2 – Розподіл середньої за зимовий сезон температури повітря протягом 2021–2050 рр. для сценарію RCP4.5 (зверху) та RCP8.5 (знизу) [4]

Таким чином, підбиваючи підсумок вищезазначеного, можна зауважити, зміни температурного режиму на території матимуть нерівномірний характер. Передбачається, що найбільш інтенсивне збільшення середньорічної температури повітря, можливе при розвитку сценарію викидів RCP8.5, при цьому найбільш різкі зміни температурних величин очікуються на півдні та сході країни. Однак за даними сценарію RCP4.5 прогнозується суттєве зменшення сезонних зимових температур повітря [4].

Достатньо цікаві результати отримані при вивченні майбутніх змін режиму опадів в Україні в період 2021–2050 рр. Першочергово треба зазначити, що режим опадів на відміну від майбутнього температурного розподілу, очевидно, не буде зазнавати суттєвих змін як залежно від сценарію викидів, так і регіону дослідження. Проте розглянемо загальні тенденції прогнозованих змін просторово-часового розподілу опадів протягом вказаного тридцятиріччя (рис. 1.3). Для дослідження величини зміни очікуваної кількості опадів в середньому за рік і окремо по сезонах за даними лінійного тренда обчислені значення прогностичних відхилень у відсотковому співвідношенні від загальної середньої за період суми опадів за рік і за відповідні літні й зимові сезони. Можна відзначити, що в середньому за 2021–2050 рр. для обох сценаріїв викидів найбільша кількість опадів за рік, що становить понад 850 мм, очікується на заході України, а саме, в районі Прикарпаття та Закарпаття. Мінімальна ж сума опадів прогнозується на півдні. Так, для АР Крим ця величина не перевищуватиме 400 мм. При цьому відзначається поступове збільшення опадів з півдня до заходу країни (рис. 1.3 а).

У випадку сезонних опадів, то просторова структура поля середньої за тридцятирічний період дослідження величини літньої та зимової кількості опадів практично повністю узгоджується з характером поля річних опадів. Варто зауважити, що для літнього сезону найбільша кількість опадів очікується також в західних областях з осередком максимуму понад 300 мм за сезон в Закарпатській області. Мінімальна сума опадів відзначається на півдні та південному сході України. В цих регіонах показник кількості опадів за літо не перевищує 80 мм, що може свідчити про можливе збільшення повторюваності та інтенсивності літніх посух (рис.1.3 б).

Для зимових опадів основний осередок найбільшої кількості опадів (понад 180 мм) також фіксується в Закарпатській області, проте відносне збільшення суми опадів до 140 мм порівняно з більшістю території країни, де ця величина становить 120-130 мм, спостерігається на північному сході, в районі Чернігівської та Сумської областей. Нетиповим також є те, що протягом зимових сезонів 2021–2050 рр. найменша кількість опадів очікується на південному сході України, в межах Одеської, Вінницької та Чернівецької областей (рис.1.3 в).

град.півд.ш

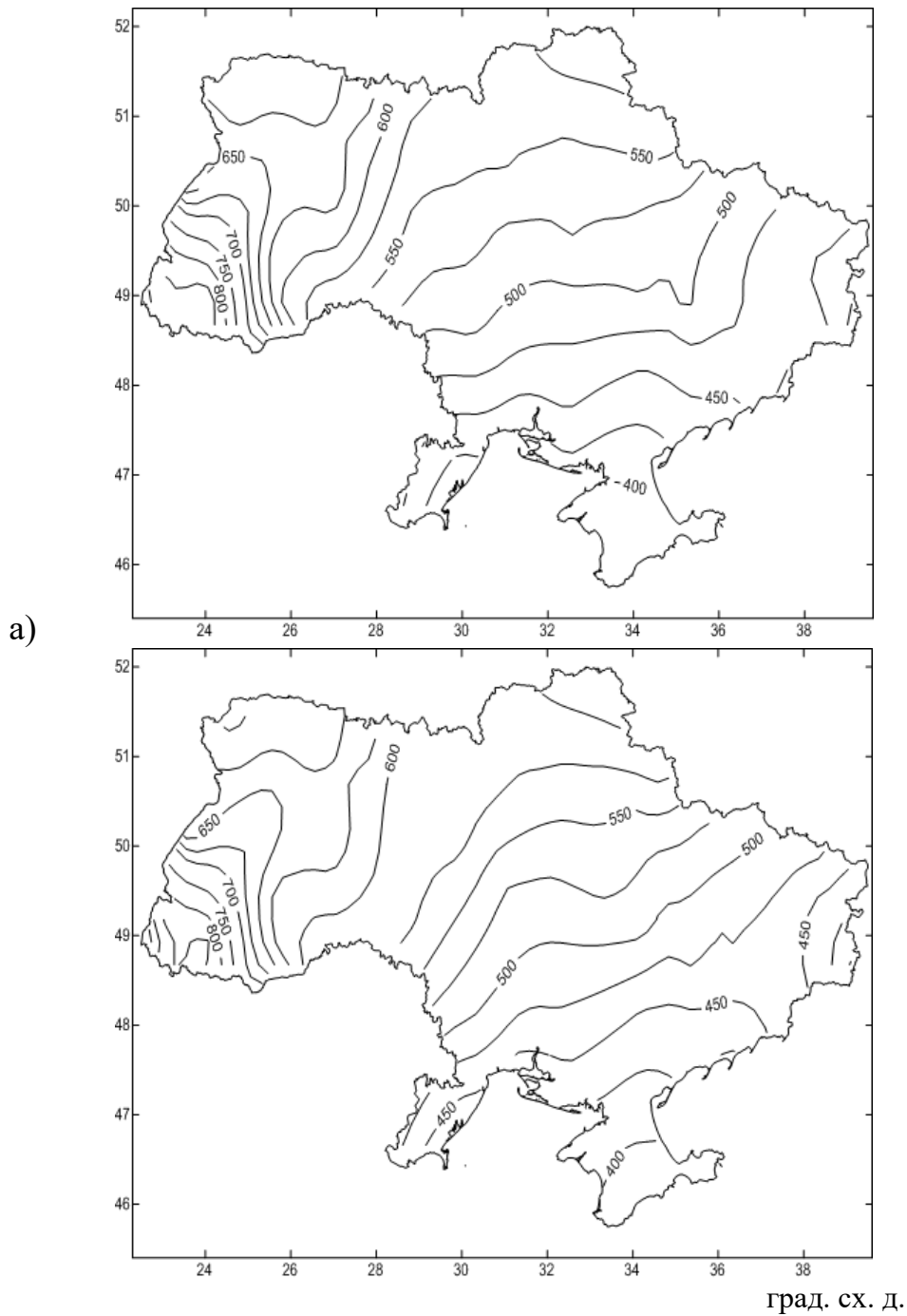


Рис. 1.3 – Розподіл річної кількості опадів (а), суми опадів за літній (б) та зимовий (в) сезон протягом 2021–2050 рр. для сценарію RCP4.5 (зверху) та RCP8.5 (знизу), аркуш 1 [4]

град.півд.ш

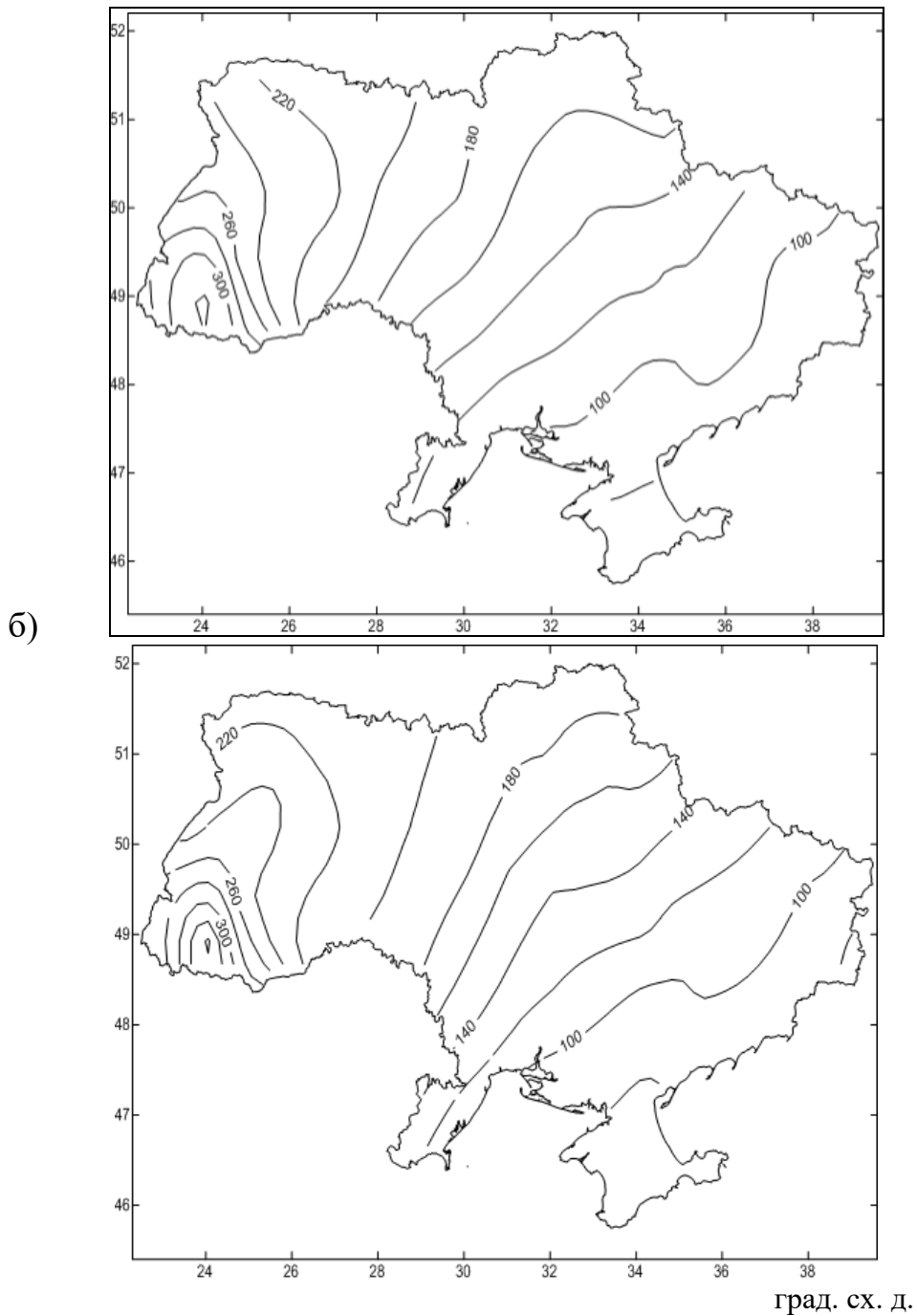


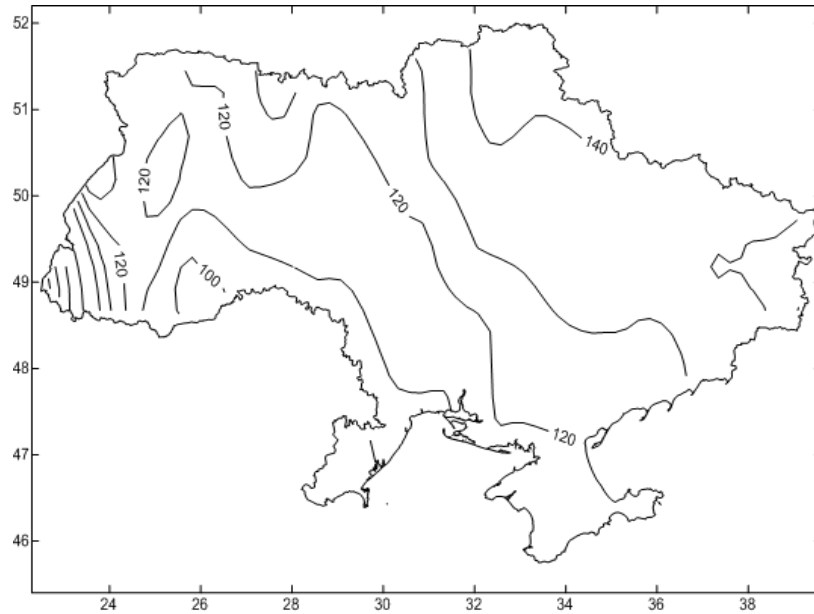
Рис. 1.3, аркуш 2 [4]

Таким чином, на основі отриманих результатів розподілу опадів за рік та по сезонах розраховані показники майбутньої зміни опадів протягом тридцятирічного періоду дослідження в залежності від розвитку різних сценаріїв викидів парникових газів.

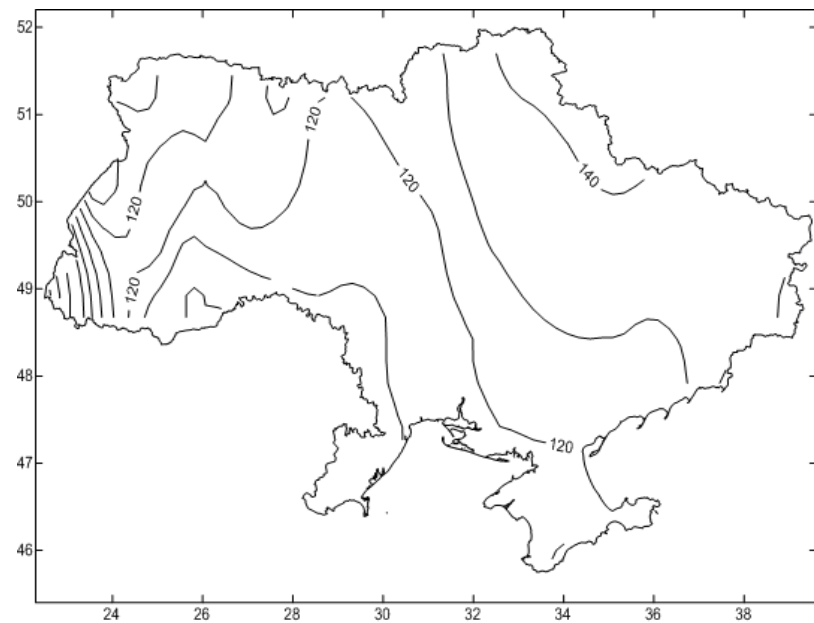
Встановлено, що за даними RCP4.5 річна сума опадів практично не буде змінюватись, оскільки в більшості регіонів тренд на збільшення не

перевищуватиме 0-15 %. А в окремих областях відзначається тенденція до зменшення опадів на 2-8 %.

град.півд.ш



в)



град. сх. д.

Рис. 1.3, аркуш 3 [4]

При розвитку сценарію RCP8.5 практично в усіх областях, за винятком південного сходу, існує ймовірність збільшення річної кількості опадів в середньому на 15-25 %.

Для літніх сезонів року згідно з RCP4.5 очікується зменшення кількості опадів на 5-10 % – в західних областях та 15-20 % – в Чернігівській і Сумській областях. Для півдня України за даними цього

сценарію прогнозується тренд на збільшення суми опадів за літо на 25-35%, а на півдні Одеської області до 65 %. На решті ж території країни суттєвих змін режиму опадів не прогнозується. За даними сценарію RCP8.5 на всій території України, окрім Закарпатської та Волинської областей, очікується збільшення кількості літніх опадів в середньому на 15-20 %. Практично незмінний режим опадів за вказаним сценарієм можливий на південному сході країни.

Аналізуючи можливі майбутні зміни режиму зимових опадів можна відзначити, що згідно з сценарієм RCP4.5 збільшення кількості опадів за зиму в середньому за період 2021–2050 рр. очікується по всій території України. Максимальні показники додатного тренда, а це 30-60 % від загальної суми опадів за зимовий сезон, – спостерігаються в Одеській, Херсонській областях та АР Крим. Для більшої частини території дослідження величина збільшення опадів фіксується на рівні 10-20 %.

Деяка інша ситуація можлива у випадку розвитку сценарію викидів RCP8.5. Оскільки в південно-східних областях відзначається від'ємний тренд зимових опадів за тридцятирічний період дослідження, а в центральних і західних регіонах показник додатної тенденції не перевищує 5-15 % від загальної суми опадів за сезон.

Таким чином, можна відзначити, що протягом 2021–2050 рр. різких змін в розподілі опадів по території України не слід очікувати. Найбільша кількість опадів в середньому за рік та по сезонах прогнозується для західних областей країни, найменша – для південних. В той час сума опадів за літні сезони деяко перевищуватиме зимові опади. При цьому для більшості регіонів тренд на збільшення кількості опадів найбільш можливий у випадку розвитку сценарію викидів RCP4.5. Проте очікується певне зменшення загальної кількості опадів за рік в цілому та особливо за літні сезони, протягом досліджуваного очікуваного тридцятирічного періоду в порівнянні з фактичним 1986–2005 рр. [4].

1.1.3 Кліматичні ризики

Наука про ризики сформувалася в останній чверті минулого століття і зараз бурхливо розвивається в зв'язку з необхідністю ефективного вирішення завдань щодо зниження несприятливих наслідків реалізації небезпек різної природи - від техногенних, харчових, радіаційних і т.д. до природних [13-19].

Концепція оцінки ризику в наш час розглядається як головний механізм розробки і прийняття управлінських рішень як на міжнародному, державному чи регіональному рівнях, так і на рівні окремої галузі або виробництва [20]. Стрімкий розвиток техносфери, однією з основних

функції якої є зменшення впливу навколишнього природного середовища на людську спільноту, призводить, навпаки, до все більшої вразливості окремої людської особистості, до дедалі більшої кількості небезпек, які нас оточують.

Однією з найбільш серйозних загроз як на загальнопланетарному, так і на регіональному масштабі останнім часом стала проблема швидких змін в кліматичній системі Землі, які несуть з собою нові небезпеки і нові ризики. Так, в П'ятій доповіді Міжурядової групи зі зміни клімату [21] вказується «Забезпечення сталого розвитку та рівності є основою для оцінки кліматичної політики і наголошує на необхідності розгляду ризиків зміни клімату».

При цьому, саме поняття «ризик», незважаючи на уявну простоту, не має усталених, всіма прийнятих наукових визначень, а має місце розрізненість наукових уявлень і практичних рекомендацій [22-24].

У статті Закону України «Про стандарти, технічні регламенти та процедури оцінки відповідності» (2005) ризик розглядається як можливість виникнення наслідків негативного впливу протягом певного періоду часу. В Законі України «Про об'єкти підвищеної небезпеки» (2001) ризик інтерпретується як ступінь імовірності певного негативного стану, який може статися в певний час або за певних обставин на території об'єкта підвищеної небезпеки і / або за його межами.

У стандарті ISO 31000: 2009 «Менеджмент ризиків. Принципи і керівні вказівки» ризик визначається як «ефект впливу невизначеності на цілі». При цьому цілі можуть бути різними – наприклад, фінансові, екологічні, пов'язані зі здоров'ям людини та її безпекою. Тобто **ризик** розуміється як можливість несприятливого результату в умовах невизначеності, а сама **невизначеність** визначається як наявність декількох варіантів (сприятливих і несприятливих) реалізації конкретної ситуації.

Таким чином, загальним для всіх визначень ризику є його імовірнісний характер і зв'язок з поняттям «небезпеки» або «загрози», тому дотримуючись [25], будемо визначати **ризик як ймовірність реалізації небезпеки, яка призводить до несприятливих наслідків (збитку)**. При цьому сама **небезпека** визначається як явища, процеси, об'єкти, що виникають з ймовірністю, відмінною від нуля, і здатні завдавати збитків розглядуваній системі безпосередньо або побічно.

При цьому сам ризик може оцінюватися в одиницях ймовірності, в одиницях економічного (фінансового) збитку, а також в одиницях шкоди здоров'ю людини або екосистемі. При цьому, в визначення ризику багато авторів пропонують включати до його складу збитки, а в інших підходах їх не включають у формулу розрахунку ризику. Тобто немає готових універсальних формул, за якими можна було б розрахувати ризик всіх

видів. У роботі [25] наведено приклади використовуваних формул визначення ризику як імовірнісної міри потенційних збитків

$$\begin{aligned}
 R &= U \times q, \\
 R &= \sum_{i=N} U_i \times q_i, \\
 R &= \int U dF_A, \\
 R &= \int U f_A(U) dU.
 \end{aligned}
 \tag{1.5}$$

де: U – збитки; q – імовірність реалізації небезпеки; N – кількість небезпек; F_A – функція розподілу імовірності реалізації небезпеки; f_A – щільність розподілу ймовірності реалізації небезпеки.

Простий аналіз співвідношень (1.5) свідчить, що вони являють собою різні форми запису математичного очікування потенційних збитків:

$$R = M[U]. \tag{1.6}$$

В науковій літературі [26, 27] існує й інший підхід до визначення ризику як потенційного результату будь-якої операції (наприклад, економічної) або події. У цьому випадку ризик може бути позитивний (фінансовий виграш в певній сумі) і негативний (програш в певній сумі). Тоді сам ризик є випадковою величиною і має свою функцію розподілу ймовірностей та імовірнісні характеристики, пов'язані з нею. Мірою ризику в таких випадках є обрана імовірнісна характеристика ризику [25]. Такий підхід найчастіше використовується для визначення фінансових ризиків, оцінки економічних проектів і не знаходить свого застосування при оцінці природних або екологічних ризиків, тому що в першому випадку одні і ті ж причини можуть зумовлювати доходи і збитки, а в другому існують чітко виділені причини (небезпеки), які ведуть до потенційного збитку.

Оскільки нашим завданням є опис підходів до оцінки кліматичного ризику як одного з видів природних ризиків, то будемо виходити з того, що оцінка будь-якого ризику, незалежно від його походження, повинна включати два елементи: по-перше, виявлення небезпеки і оцінку

ймовірності її реалізації і, по-друге, оцінку можливих збитків при реалізації цієї небезпеки.

Як приклад наведемо запропоновані формули для визначення природних ризиків, а також ризиків, зумовлених небезпечними гідрометеорологічними явищами і кліматичними аномаліями [28, 29]:

$$R(\Delta t) = P \times U, \quad (1.7)$$

де: $R(\Delta t)$ – значення ризику за час Δt ; P – імовірність реалізації природної небезпеки; U – збитки від даної природної небезпеки.

Або інше визначення для гідрометеорологічних ризиків [30]

$$P_Q = \sum_{S=1}^N P(Q|D_S) P(L|D_S) \quad (1.8)$$

де: Q – об'єкт (система), для якого розраховується ризик, пов'язаний із реалізацією сукупності загроз D_S ($S = 1, N$); L – економічний збиток; $P(Q|D_S)$ – імовірність реалізації загрози D_S на об'єкті Q ; $P(L|D_S)$ – умовна ймовірність виникнення економічних збитків при узагальненій небезпеці D .

Для аналізу «кліматичних ризиків», що є предметом наших досліджень, будемо виходити з наведеного вище визначення ризику як ймовірності реалізації небезпеки, яка призводить до несприятливих наслідків (збитків). Таким чином, вихідним є визначення класу небезпек, які і формують кліматичні ризики.

Існує кілька способів класифікації небезпек [31]:

- за природою походження:

- а) природні;
- б) технічні;
- в) антропогенні;
- г) екологічні;
- д) змішані;

- за локалізацією:

- а) пов'язані з літосферою;
- б) пов'язані з гідросферою;
- в) пов'язані з атмосферою;
- г) пов'язані з космосом;

- за наслідкам, заподіяними:

- а) здоров'ю людини (стомлення, захворювання, травма, летальний результат);

б) стану екосистем (скорочення популяції, збільшення числа хворих особин в популяції, втрата ареалу проживання, вимирання і загибель біологічного виду, зникнення природних зон і т.п.);

в) стану елементів та об'єктів техносфери.

Природно, що небезпека присутня завжди, але ймовірність її появи має складну просторово-часову структуру і залежить від поєднання умов різного походження.

У даній роботі розглядається тільки окремий клас природних ризиків, пов'язаних з гідрометеорологічними небезпеками, властивими тим чи іншим існуючим кліматичним умовам, і їх сучасними змінами. Цей клас природних небезпек далі будемо називати «**кліматичні небезпеки**».

Відзначимо, що це визначення дозволяє більш точно виділити із загальної групи природних небезпек, джерелом яких може бути будь-який процес, що розвивається в геосферних оболонках і здатний негативно вплинути на людей (соціосферу), об'єкти техносфери і саме природне середовище [28], саме ті небезпеки, що розвиваються в кліматичній системі, і які оцінюються ймовірністю їх реалізації із зазначенням місця, часу і фізичних параметрів.

Розглянемо спочатку структуру виділеного класу кліматичних небезпек. По-перше, в гідрометеорології такого роду небезпеки визначаються як стихійні гідрометеорологічні явища (СГЯ) і небезпечні гідрометеорологічні явища (НГЯ) [32, 33]. Оцінка ймовірності появи СГЯ і НГЯ в заданій просторовій області, а також оцінка інтенсивності цих природних явищ є предметом успішних досліджень гідрометеорології. Розроблені та успішно застосовуються в практичній діяльності гідрометеорологічних підрозділів методики ймовірнісного прогнозування реалізації такого роду *гідрометеорологічних небезпек* в тій чи іншій синоптичній ситуації.

У той же час, в умовах досить швидких сучасних змін в кліматичній системі змінюється як частота існуючих гідрометеорологічних небезпек, притаманна конкретному регіону, так і виникають нові небезпеки, пов'язані з цими кліматичними змінами - в П'ятій доповіді Міжурядової групи експертів зі зміни клімату [34] введена така класифікація **небезпечних кліматичних змін**:

- небезпека загибелі, каліцтва або знищення засобів до існування в низинних прибережних зонах і в малих острівних державах, спричинена штормовими нагонами, прибережними повенями і підвищенням рівня Світового океану;

- систематичні ризики, зумовлені аномальними метеорологічними явищами, які ведуть до порушення ефективного функціонування інфраструктурних мереж і життєво важливих систем обслуговування, таких як електропостачання, водопостачання, охорона здоров'я, служба з надзвичайних ситуацій;

- ризик смертності і захворюваності протягом періодів екстремальної спеки, особливо для вразливих груп міського населення;

- ризик відсутності продовольчої безпеки і збою в функціонуванні продовольчих систем, пов'язаний з потеплінням, посухою, повеннями, мінливістю опадів, екстремальними опадами;

- ризик втрати коштів для існування і доходу внаслідок недостатнього доступу до питної води і води для іригації, а також зниження продуктивності сільського господарства в напівзасушливих регіонах;

- ризик втрати морських і прибережних екосистем, збіднення біорізноманіття, екосистемних функцій і послуг, які є основою і засобами для існування в прибережних районах, особливо в тропіках і Арктиці.

Таким чином, будемо визначати **кліматичні небезпеки як сукупність гідрометеорологічних небезпек і небезпечних кліматичних змін**. Відзначимо також, що кліматичні небезпеки відносяться до природних небезпек, і не слід їх плутати, як це робиться часто, з **екологічними небезпеками**, які мають інше походження.

Одночасно, можна запропонувати ще один, так званий ресурсний підхід виділення кліматичних небезпек і пов'язаних з ними кліматичних ризиків. Як відомо, клімат відноситься до природних ресурсів, які визначаються як ресурси, що утворилися в природному середовищі в результаті природних процесів [35, 36].

Вони складаються з природних умов, до яких можна віднести клімат, тепло Землі, рельєф місцевості і т.п., і власне самих природних ресурсів - елементів літосфери, гідросфери та атмосфери, що використовуються у виробничій діяльності або в сфері споживання. Економічні межі між природними умовами і власне природними ресурсами рухливі. Використання вітру як джерела енергії перетворює його з просто природного фактора на господарський ресурс.

Природні ресурси, в тому числі і клімат, є складовою частиною економічних ресурсів або, іншими словами, фактором виробництва [35]. Поряд з працею (робочою силою) і капіталом природні ресурси як самостійна субстанція використовуються в економіці для виробництва товарів і послуг, відчуваючи на собі вплив перших двох чинників. Однак існує і зворотний вплив. Будь-капітал включає в себе вже використані, виражені в ньому природні ресурси. Відчуває на собі їх вплив і робоча сила.

Таким чином, зміни характеристик природних ресурсів, до яких відноситься клімат, зумовлені причинами природного характеру або впливом діяльності людини, можуть істотно вплинути на економіку і життєдіяльність людини. В Постанові КМУ «Про кліматичну програму України» від 28 червня 1997 р. № 650, клімат було визнано одним із основних природних ресурсів, від якого залежать умови життя і діяльності людини, напрями і рівень розвитку економіки.

Останнім часом при дослідженнях змін клімату та адаптації до них виділяють групу природних ресурсів, які зумовлені характеристиками клімату [37, 38] - т.зв. «клімато-зумовлені природні ресурси» (далі - кліматичні ресурси):

- енергетичні кліматичні ресурси, включаючи гідроенергетичні, вітрові та ресурси сонячної енергії;
- територіальні кліматичні ресурси (рекреаційні, освоєння слабозаселених або відселення із затоплюваних територій, оптимізація продуктивних сил, транспорт і т.д.);
- водні кліматичні ресурси;
- агрокліматичні ресурси;
- еколого-кліматичні ресурси людини, в тому числі, пов'язані з рівнем захворюваності та станом екосистем.

До характеристик самого клімату, які визначають вище перераховані кліматичні ресурси того чи іншого регіону, будемо відносити в річному масштабі з урахуванням сезонної, місячної та внутрішньо-місячної мінливості, перш за все [39, 40]:

- режим інсоляції,
- вітровий режим,
- температурно-вологісний режим,
- режим хмарності та опадів,
- режим снігового та крижаного покриву.

Сучасні зміни характеристик клімату чинять суттєвий вплив на перераховані вище кліматичні ресурси [6], що викликає серйозну стурбованість суспільства наскільки істотний цей вплив на розвиток економіки, життєдіяльність людини, стан екосистем, сталий розвиток всієї цивілізації. Оцінка інтенсивності цього процесу і його часової динаміки є вкрай актуальною в широкому діапазоні просторових масштабів - від мікророзміру (місто, окремих районів) до регіонального масштабу (область, країна).

Для оцінки впливу змін характеристик клімату на кліматичні природні ресурси будемо використовувати, перш за все, поняття *вразливості* техносфери і соціосфери на різних просторових масштабах по відношенню до характеристик кліматичних ресурсів і їх змін. При цьому, під вразливістю будемо розуміти [28] властивість об'єктів (систем) повністю або частково втрачати здатність до виконання своїх природних або заданих функцій в результаті впливу небезпечного процесу або явища, а також наявність людей, засобів до існування, екологічних послуг і ресурсів, інфраструктури або економічних, соціальних і культурних активів в місцях, які могли б зазнати збитків під впливом реалізованих кліматичних небезпек.

Таким чином, в нашому випадку вразливість можна трактувати як здатність елементів техносфери і соціосфери протистояти

гідрометеорологічним небезпекам, а також небезпечним кліматичним змінам. Оцінка вразливості зазвичай дається в відносних одиницях або відсотках.

Важливою характеристикою при оцінці кліматичного ризику (як, втім, і будь-якого іншого виду ризиків) є проміжок часу, протягом якого об'єкт або система піддається впливу реалізованої кліматичної небезпеки. Ця характеристика називається *схильністю* або *експозицією*.

Дослідження вразливості окремих елементів техносфери (галузей економіки, комунального господарства), соціосфери (перш за все, здоров'я людини і домогосподарств) і біосфери по відношенню до характеристик кліматичних ресурсів є, на наш погляд, окремою наукою, яку можна назвати як «*Кліматична безпека*», і до якої необхідно включити як розділи і будівельну кліматологію, і агрокліматологію, і біокліматологію, і т.д. Розвиток елементів техно- та соціосфери, поява нових їх компонентів потребує постійних додаткових досліджень, які виходять за рамки цієї роботи.

Відзначимо тільки, що при розгляді кліматичних ризиків також важливо оцінити здатність системи і складових її частин своєчасно і ефективно протистояти впливу небезпечного явища, компенсувати його вплив, пристосовуватися до наслідків або відновлюватися після них, в тому числі за допомогою забезпечення збереження, відновлення або вдосконалення своїх істотних базових структур і функцій. Цю характеристику будемо називати *опірністю системи*.

Для пояснення впливу опірності на кліматичні ризики наведемо прості міркування. Врахування опірності системи, тобто можливості відновлення своїх функцій, дозволяє істотно скорегувати розрахунки можливих економічних збитків від конкретних кліматичних небезпек під час вирішення завдання управління кліматичними ризиками.

Тоді, виходячи з формули (1.7), представимо кліматичний ризик (R) у вигляді співвідношення [41]:

$$R = H \times \frac{V}{C}, \quad (1.9)$$

де: H – імовірність реалізації кліматичної небезпеки, виражена в частках одиниці або у відсотках (як і інші співмножники);

V – вразливість окремих елементів техносфери, соціосфери і біосфери;

C – опірність елементів техносфери, соціосфери і біосфери впливу реалізованої кліматичної небезпеки.

Таким чином, величина V/C є аналогом економічного збитку від реалізованої кліматичної небезпеки.

Цілеспрямовані заходи, які приводять до *пом'якшення* наслідків впливу небезпечного процесу або явища, можуть спрямовуватись як на зменшення вразливості системи, тобто $(V - M_V)$, і / або на збільшення її опірності $(C + M_C)$. Тут M_V – економічний ефект від заходів щодо пом'якшення наслідків та M_C – економічний ефект від заходів, спрямованих на зростання опірності окремих елементів техносфери, соціосфери і біосфери до кліматичних небезпек.

За змістом заходи, спрямовані на збільшення опірності, будемо називати *адаптацією* до зростаючих кліматичних небезпек.

З урахуванням вищевикладеного формулу (1.9) можна записати у вигляді:

$$R = H \times \frac{V - M_V}{C + M_C} \quad (1.10)$$

Отже, найважливішими заходами, що забезпечують зменшення ризику потенційних збитків від реалізації кліматичних небезпек на регіональному рівні, поряд з адаптацією є заходи щодо пом'якшення уразливості окремих елементів техносфери, соціосфери і біосфери до кліматичних небезпек. Це є одним з головних постулатів регулярних доповідей Міжурядової групи зі зміни клімату, наприклад, в П'ятій доповіді [34] стверджується, що «Пом'якшення впливів поряд з адаптацією до зміни клімату сприяє досягненню мети, сформульованої в статті 2 Рамкової конвенції ООН про зміну клімату та обмеження наслідків зміни клімату є необхідним для досягнення сталого розвитку і рівності...».

Таким чином, проблема оцінки та управління кліматичними ризиками є актуальною як для України в цілому, так і для окремих галузей економіки та регіонів зокрема [42]. Вона набуває особливого значення з урахуванням вимог статті 365 Угоди про асоціацію між Україною та ЄС, а також Цілі 13 «Вжиття невідкладних заходів щодо боротьби зі зміною клімату та його наслідками» Порядку денного в галузі розвитку на період до 2030 року, прийнятого на Саміті ООН у вересні 2015 року.

1.1.4 Вплив кліматичних змін на транспортну систему України

На безперебійну роботу транспортної системи впливає перш за все клімат. Дорожні споруди проектуються і зводяться з урахуванням ландшафту, гідрогеологічних особливостей місцевості, принципів землекористування. Вони функціонують не тільки під впливом транспортних навантажень, але і багатьох погодно-кліматичних факторів.

На дороги впливають температура повітря, сонячна радіація, атмосферні опади, вітер, туман, ожеледиця та інші природні явища [4]. Тому необхідно з урахуванням цих явищ знаходити інженерні рішення, які б забезпечували спорудам необхідні технічні та експлуатаційні якості, й рекомендувати організаціям, що мають відношення до експлуатації доріг, низку заходів, які забезпечують здоров'я та життєдіяльність з урахуванням особливостей погодно-кліматичних чинників в умовах екстремальних природних явищ. Тобто залізниці, порти, дамби, автотраси, магістралі, мости тощо мають бути оптимізовані для того, щоб витримати очікуваний діапазон погодних умов [8].

Коли погодні умови стають більш екстремальними, то транспортна інфраструктура стає менш надійною і безпечною. Наприклад, підвищені температури повітря кривлять залізничні шляхи й дорожнє покриття [12].

Небезпечні для автомобільного транспорту метеорологічні явища можна умовно розділити на 3 групи [2]:

- ті, що погіршують стан дорожнього покриття, тобто зчеплення коліс з дорогою;

- ті, що погіршують видимість на дорозі;

- решта явищ, які часто призводять до перебоїв в русі (можливість замітання снігом, розмиття насипу), але зрідка є причиною аварії та лише тільки в поєднанні з першими двома чинниками спричиняють аварію.

Глобальне потепління, яке прогнозується за багатьма сценаріями, зумовлює повторюваність певних, небезпечних для транспортної системи, погодних явищ. Перш за все, це підвищення температури, збільшення інтенсивних зливових опадів, підвищення рівня моря (в деяких регіонах це може спричинити тривалі затоплення й руйнування дорожнього покриття), збільшення повторюваності тропічних циклонів, гроз, шквалів, збільшення швидкості вітру, особливо максимальної, посух, явищ, які суттєво погіршують видимість тощо. Проте через глобальне потепління може спостерігатись деякий позитивний вплив на транспортну систему. Наприклад, через підвищення температури може зменшитись кількість днів з ожеледно-паморозевими явищами, підвищитись кількість безморозних днів тощо.

В табл. 1.1 наведено характеристики погоди, які найбільше впливають на транспортну систему, та негативні наслідки, які вони спричиняють.

Таблиця 1.1 – Характеристики погоди, класифікація погодних інформаційних повідомлень (зведень) на підставі цих характеристик та їх вплив на транспорт [12]

Характеристика погоди	Категорія	Вплив
Елементи опадів	Замерзаючі опади, відклади снігу, рідкі опади, вміст водяної пари, яка може осаджуватись в якості опадів, вологість ґрунту, повені, глибина водоймищ, пожежонебезпечна погода	Втрата тяги та контролю, затримки, напруження компонентів транспортного засобу, мокре дорожнє покриття, слабке і непевне гальмування, пом'якшення дорожнього покриття, розмивання дорожнього покриття, посухи через дим і порох спричиняють ризик погіршення видимості
Температура	Температура повітря і температура ґрунту, включаючи максимальні та мінімальні температури, хвили тепла, градусо-дні	Напруження на компоненти транспортних засобів, при високих температурах перевезення вантажів, які швидко псуються, викривлення залізничних шляхів, зменшення швидкості на залізниці
Вітер	Швидкість вітру	Нестійкість транспортного засобу, втрата контролю
Видимість	Погіршення видимості через тумани, серпаноку, імлу тощо, обмеження польотів у верхній тропосфері через вулканічну діяльність	Зниження швидкості, ризик зіткнень та небезпека від швидких змін

Питання для самоконтролю

1. Дайте визначення радіаційному форсингу.
2. Форсинг на рівні тропопаузи представляє вплив збурення на який період?
3. В якому шарі атмосфери вибирають зміни температурного профілю?
4. Швидкість пристосування стратосфери до збурень.
5. Радіаційний форсинг представляється у вигляді.
6. Радіаційні форсинги бувають.
7. До головних радіаційних форсингів відносять.
8. Незбалансованість радіаційного балансу можна записати у вигляді.
9. Як зміниться за сценарієм RCP 4.5 температура у середньому до 2050р.
10. Як зміниться за сценарієм RCP 8.5 температура у середньому до 2050р.

11. Що таке кліматичні ризики?
12. Назвати класифікацію небезпек.
13. Що відноситься до кліматичних небезпек?

1.2 Прогноз змін тривалості опалювального періоду за допомогою сценаріїв клімату

До характеристик термічного режиму опалювального періоду (ОП) відносяться [4]:

1) середньою датою початку опалювального періоду (ПОП) зазвичай вважається дата стійкого переходу середньої добової температури повітря через $+8\text{ }^{\circ}\text{C}$ у бік зниження, а закінчення (КОП) – перехід у бік її підвищення;

2) за тривалість опалювального періоду (ТОП) береться число днів з середньою добовою температурою повітря нижчою ніж $+8\text{ }^{\circ}\text{C}$, тобто проміжок часу між середніми датами початку і закінчення опалювального періоду;

3) середня температура повітря за вказаний період і є середньою температурою опалювального періоду. Вона являє собою відношення суми температур опалювального періоду до його тривалості;

4) як кліматична характеристика питомого тепло- і холодоспоживання був взятий такий показник, як сума градусо-днів опалювання за опалювальний сезон, що розраховується за таким положенням.

Встановлено, що в неопалюваному приміщенні в середньому температура всередині приміщення в результаті випадкового накопичення тепла вища, ніж зовні. Для традиційних споруд ця різниця становить приблизно $3\text{ }^{\circ}\text{C}$. Для більш масивних або більш легких будівель вона коливається від $8\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $2\text{ }^{\circ}\text{C}$.

І теоретично будівля має опалюватися з того моменту, коли зовнішня температура знижується на величину більшу, ніж взята різниця між температурою всередині приміщення і температурою зовнішнього повітря.

Наприклад, умови всередині приміщення заведено вважати комфортними при температурі в ньому $18\text{ }^{\circ}\text{C}$. Таким чином, опалення будівлі можна починати при температурі зовнішнього повітря нижчій ніж $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ (при середній різниці $3\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Зовнішня температура, нижча від внутрішньої на величину, передбачену в проекті, називається базовою $t_{\text{баз.}}$. У наведеному прикладі – це температура $15\text{ }^{\circ}\text{C}$.

У кожній країні «базові значення» температури можуть бути різними, вони призначаються залежно від характеру клімату і економічних

можливостей певної країни. І, крім того, вони розрізняються залежно від призначення будівлі.

Середня сума градусо-днів Q визначається як сума відхилень середньої добової температури повітря від «базової». Розраховується вона непрямым способом за графіком річного ходу температури повітря. Для цього з кривої річного ходу знімається середня багаторічна добова температура $t_{доб}$ для кожного дня з температурою нижчою ніж $15\text{ }^{\circ}\text{C}$, обчислюється різниця між нею і базовою $t_{баз}$ і підсумовується за весь період [4]:

$$Q = \sum_{i=1}^w (t_{доб} - t_{баз}) \quad (1.11)$$

Якщо в місяці всі добові температури нижчі від базової, то сума градусо-днів визначається за формулою:

$$Q = (t_{сер.м.} - t_{баз}) \cdot n, \quad (1.12)$$

де $t_{сер.м.}$ - середня місячна температура повітря, $^{\circ}\text{C}$; n - число днів в місяці.

Більш повну оцінку цього показника теплоспоживання можна отримати при розрахунку суми градусо-днів опалювання за кліматичними і метеорологічними даними для кожного типу погоди.

За сумою градусо-днів можна судити і про суворість клімату. В роботі О.А. Гербур-Гейбовича “Оценка климата для типового проектирования жилищ” були наведені дані про суму градусо-днів опалювання по 500 населених пунктах Радянського Союзу і зарубіжних країн, підраховані за середніми місячними нічними і денними температурами. На основі аналізу цих даних була визначена така шкала градацій градусо-днів (град.-дн.) опалювання: ≤ 479 , 480-949, 950-1899, 1900-3799, 3800-7499, ≥ 7500 .

Зазначимо, що 480 градусо-днів відповідають мінімальній повторюваності прохолодної погоди, яка враховується при проектуванні; це найм’якші кліматичні умови, при яких вже потрібне опалювання.

Згідно зі шкалою градусо-днів опалювання виділяються райони і підрайони, відмінні за теплозахисними характеристиками житла – шириною корпусу будівель, що визначає компактність його архітектурно-планувального рішення; теплозахисними якостями огорожувальних конструкцій, залежними багато в чому від опору теплопередачі зовнішніх стін (R); утепленням сходових кліток і входів в будинок [43].

1.2.1 Дослідження динаміки змін енергетичних ресурсів згідно з сценаріями RCP4.5 та RCP8.5

Зробивши розрахунок прогностичних даних з 2011 по 2050 роки по 32 станціях України за сценарієм RCP4.5, було визначено дати початку (ПОП) та кінця (КОП) опалювального періоду, розглянуто динаміку змін тривалості опалювального періоду (ТОП) і суму градусо-днів опалювання за ОП, для більш наочного прикладу було побудовано карти та графіки, приклад яких наведено нижче [4]. Аналізуючи зміни ТОП та суму градусо-днів опалювання за ОП за сценарієм RCP4.5 за представлений період (табл. 1.2), важливо відмітити те, що ТОП і сума градусо-днів опалювання за ОП (рис. 1.4-1.7), на більшості території України має рівномірний зональний розподіл і лише в деяких регіонах, зокрема в районі Подільської височини, має меридіональний характер, та замкнені ізолінії.

На рис. 1.4 та рис. 1.5 добре простежуються зменшення ТОП між відповідними періодами, так в середньому по території України ТОП зменшується на 8 днів, з 188 до 180 за періоди 2011-2031 та 2031-2050 роки відповідно:

В північному регіоні, що є найбільше зазнає негативного впливу змін температури, ТОП в середньому зменшується на 9 днів, так наприклад, на ст. Семенівка в середньому зменшується з 206 до 199 днів за періоди 2011-2031 та 2031-2050 роки відповідно.

В південному регіоні ТОП в середньому зменшується на 8 днів, при цьому зменшення відбувається дуже не рівномірно: на ст. Одеса ТОП зменшується на 2 дні з 160 до 158 за періоди 2011-2031 та 2031-2050 роки відповідно, а на ст. Мелітополь ця відмітка досягає 15 днів з 177 до 162 за періоди 2011-2031 та 2031-2050 відповідно, що є максимальним значенням різниць між двома періодами по всій території України.

В західній частині України, в середньому, ТОП зменшується на 10 діб, максимальна різниця між періодами спостерігається на ст. Тернопіль та ст. Рівне, ТОП зменшується на 12 днів, з 200 до 188 і з 195 до 183 днів, за періоди 2011-2031 та 2031-2050 роки відповідно:

На сході мінімальні зміни в ТОП спостерігаються на ст. Луганськ—лише 5 днів, з 186 до 181 дня, за періоди 2011-2031 та 2031-2050 роки відповідно, в середньому ж на території східної України ТОП зменшилась на 7 днів між відповідними періодами.

Схожа ситуація спостерігається і із зміною суми градусо-днів опалювання за ОП (рис. 1.6 та рис. 1.7), в середньому вона зменшилась на 90 °С, з 3283 до 3193°С за періоди 2011-2031 та 2031-2050 роки відповідно. Максимальні зміни в суворості зим були зафіксовані на ст. Полтава та на ст. Харків, зменшення суми градусо-днів на цих станціях досягають 159 °С з 3565 до 3406 °С, та 170 °С з 3568 до 3398 °С за періоди 2011-2031 та 2031-2050 роки відповідно. Але слід відзначити те, що згладжування даних

при побудові карт не відображає окремі аспекти в зміні суворості зим, так наприклад, на ст. Херсон з 2041-42 роки ТОП становить 177 днів, при сумі ГДОП 3170 °С, а 2046-47 роках, при такому ж ТОП, сума градусо-днів опалювання за ОП дорівнює 2754 °С.

Таблиця 1.2 – Осереднені розрахункові величини за сценарієм RCP4.5 [4]

Назва станції	Градус півн.ш	Градус сх.д.	Осереднена ТОП за		Осереднені $Q(^{\circ}\text{C})$ за	
			2011-31pp	2031-50 pp	2011-31 pp	2031-50 pp
Семенівка	52,2	32,6	206	199	3907,8	3887,1
Чернігів	51,5	31,2	200	192	3722,5	3633,6
Луцьк	51,5	31,2	194	186	3330,3	3311,8
Сарни	51,3	26,6	195	188	3397,8	3376,4
Суми	50,9	34,7	206	197	3919,1	3793,2
Рівне	50,6	26,1	195	183	3369,2	3279,8
Новоград-Волинський	50,6	27,6	197	188	3448,8	3409,8
Житомир	50,2	28,7	197	186	3488,4	3410,1
Фастів	50,1	29,9	196	185	3489,3	3447,9
Стрий	49,3	25,9	197	188	3493,5	3421,3
Тернопіль	49,5	25,7	200	188	3500,3	3439,7
Хмельницький	49,4	27,0	198	186	3503,4	3410,8
Черкаси	49,4	32,1	187	178	3238	3146,8
Полтава	49,6	34,6	194	185	3564,6	3406,0
Кам'янець-Подільський	48,6	26,7	189	181	3290,2	3254,2
Вінниця	49,2	28,6	196	185	3476,6	3369,1
Умань	48,8	30,2	192	183	3382,9	3274,3
Ужгород	48,6	22,3	187	180	3315,6	3248,8
Чернівці	48,4	25,9	195	184	3376,3	3264,6
Кропивницький	48,5	32,2	189	180	3300,7	3145,0
Любашівка	47,9	30,3	184	174	3127,9	3021,2
Мелітополь	46,8	35,4	177	162	2776,5	2615,4
Маріуполь	47,1	37,6	159	152	2390	2282,4
Одеса аеропорт	46,4	30,7	160	158	2456	2394,1
Миколаїв	47,0	31,9	171	165	2719,5	2661,0
Ізмаїл	45,4	28,9	155	147	2379,5	2312,9
Херсон	46,6	32,6	165	157	2576,6	2496,4
Харків	49,1	36,1	193	184	3567,8	3398,8
Лозова	48,9	36,3	190	181	3469,9	3325,7
Ізюм	49,2	37,3	189	183	3528,9	3376,8
Луганськ	48,6	39,2	186	181	3293,3	3196,1

град. півн. ш.

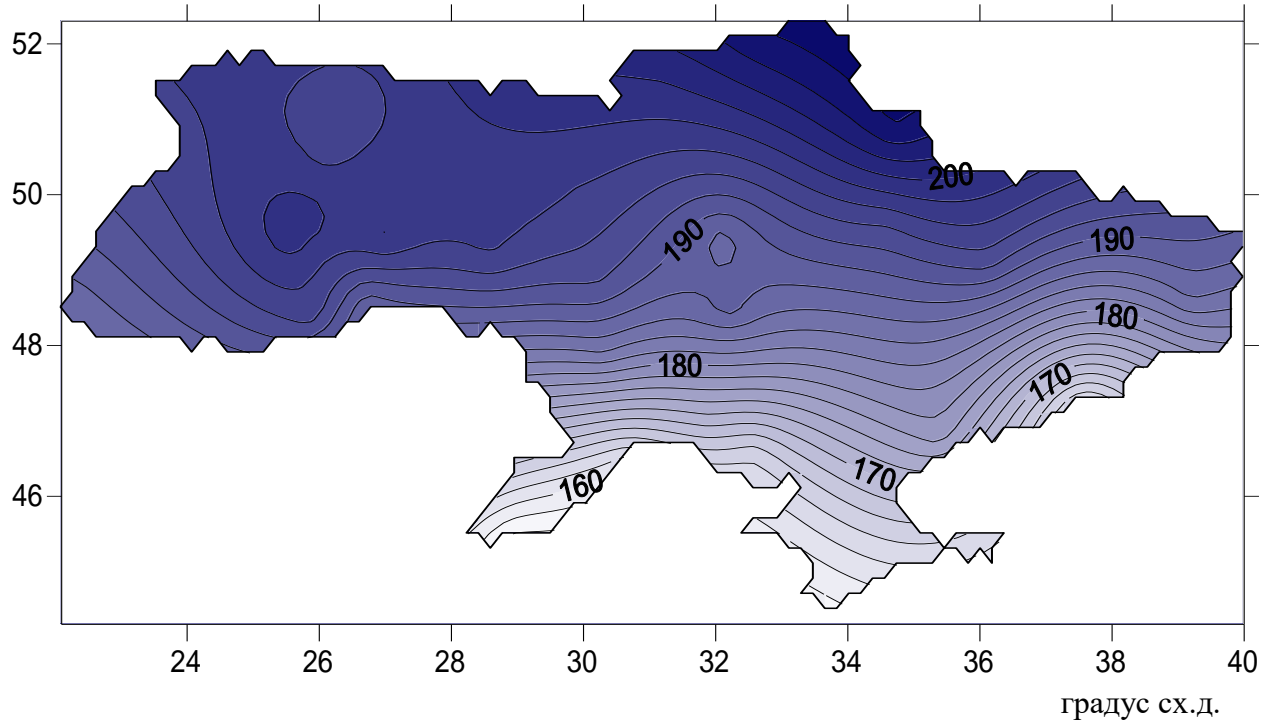


Рис. 1.4 – Осереднена тривалість опалювального періоду з 2011 по 2031 роки за сценарієм RCP4.5 [4]

град. півн. ш.

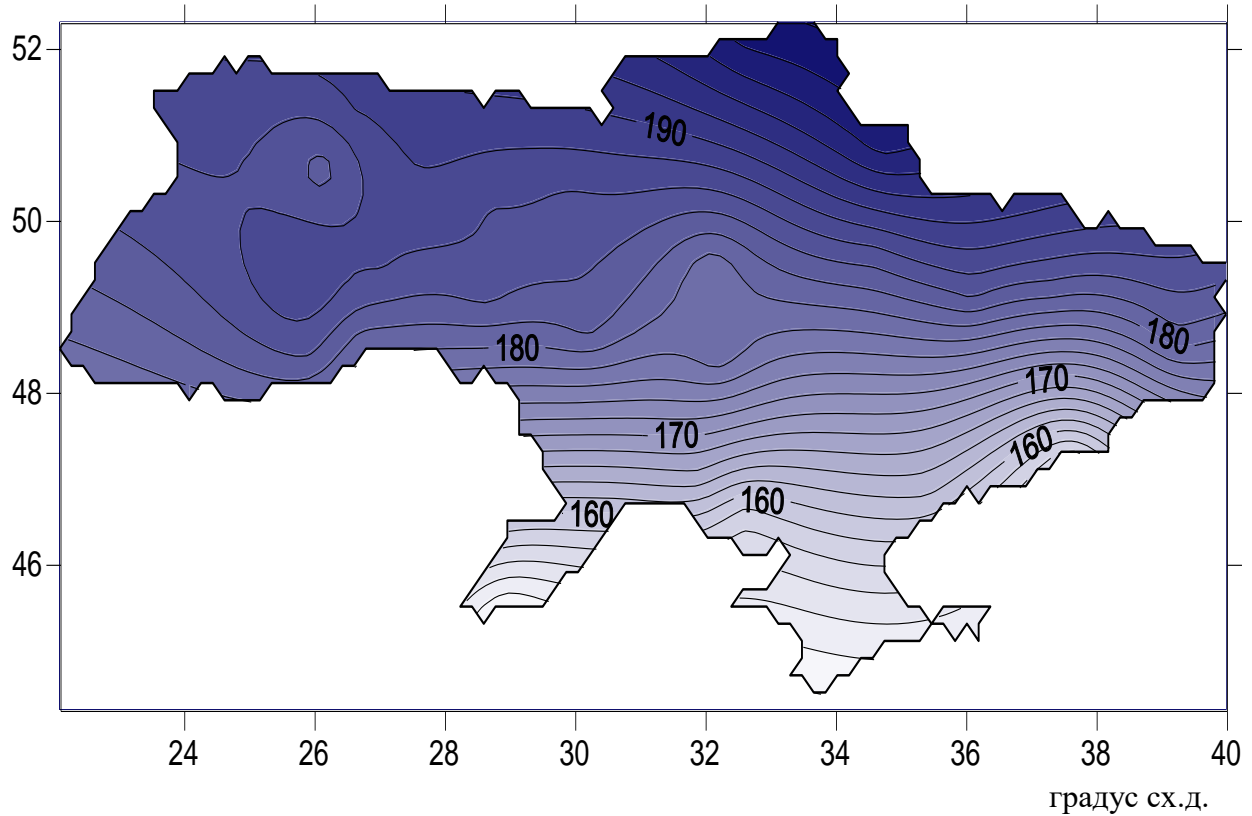


Рис. 1.5 – Осереднена тривалість опалювального періоду з 2031 по 2050 роки за сценарієм RCP4.5 [4]

град. півн. ш.

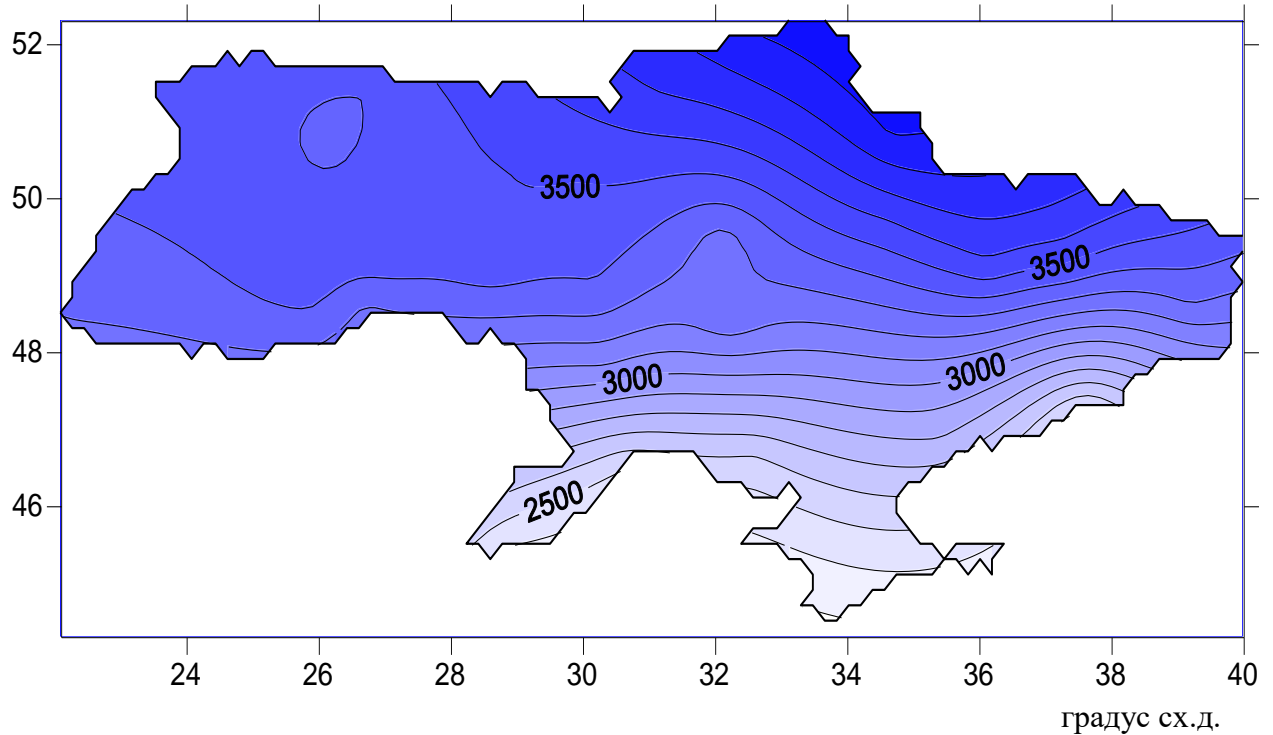


Рис. 1.6 – Осереднена сума градусо-днів опалювання за період з 2011 по 2030 роки за сценарієм RCP4.5 [4]

град. півн. ш.

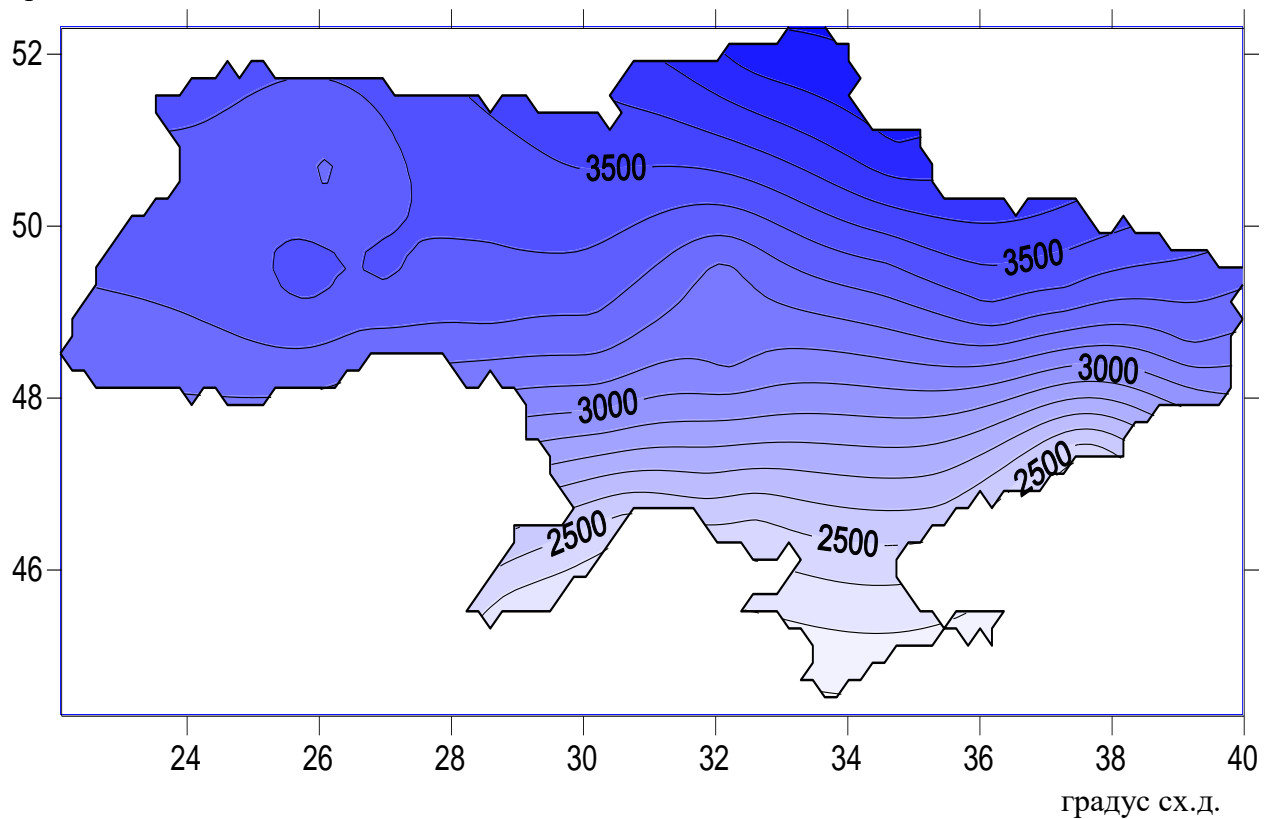


Рис. 1.7 – Осереднена сума градусо-днів опалювання за період з 2031 по 2050 роки за сценарієм RCP4.5 [4]

А на ст. Чернігів, на фоні глобального підняття температури, при ТОП 213 днів, суворість зими 2038-39 років характеризується сумою ГДОП 4292 °С, такі дані здобуто з урахуванням середньої температури -10,3 °С в березні 2039 року. Що підтверджує збільшення ймовірності виникнення днів з екстремальними температурами і зменшення періоду між переходом від відносно теплого до більш холодного ОП.

Відповідні розрахунки було зроблено за прогностичними даними сценарію RCP8.5 з 2011 по 2050 роки по 17 станціях України (табл. 1.3). Як і за сценарієм RCP4.5, розподіл ізогіс (рис. 1.8-1.11) по території України має зональний характер і лише в районі Подільської височини спостерігаються меридіональні збурення, замкнених ізолій не спостерігається.

Таблиця 1.3 – Осереднені розрахункові величини за сценарієм RCP8.5 [4]

Назва станції	Градус півн. ш	Градус сх. довг.	Осереднена ТОП за		Осереднені Q(°С) за	
			2011-31 роки	2031-50 роки	2011-31 роки	2031-50 роки
Семенівка	52,2	32,6	201	196	3859,5	3766,9
Чернігів	51,5	31,2	196	189	3556,2	3463,2
Луцьк	51,5	31,2	187	181	3226,0	3101,9
Сарни	51,3	26,6	189	183	3295,6	3211,3
Суми	50,9	34,7	205	191	3822,8	3661,4
Рівне	50,6	26,1	189	180	3251,7	3148,5
Новоград-Волин	50,3	27,6	180	183	3661,9	3270,1
Житомир	50,2	28,7	189	184	3360,6	3326,5
Фастів	50,1	29,9	190	185	3370,3	3313,8
Полтава	49,6	34,6	189	182	3479,3	3336,6
Ужгород	48,6	22,3	182	173	3205,1	3024,8
Чернівці	48,4	25,9	185	180	3181,3	3137,7
Кіровоград	48,5	32,2	181	178	3241,5	3094,7
Маріуполь	47,1	37,6	154	157	2291,0	2260,8
Одеса аеропорт	46,4	30,7	154	154	2335,8	2331,0
Херсон	46,6	32,6	164	154	2579,8	2442,8
Луганськ	48,6	39,2	187	179	3393,0	3280,7

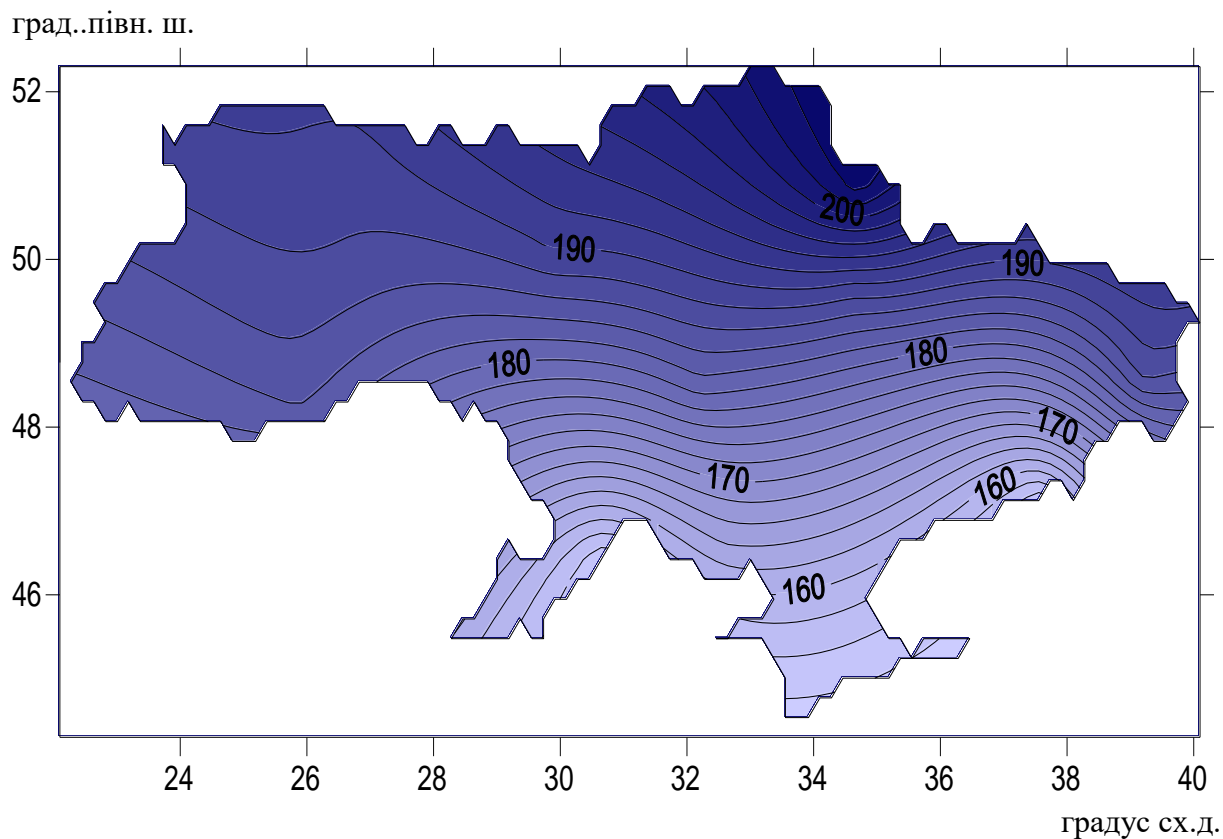


Рис. 1.8 – Осереднена тривалість опалювального періоду з 2011 по 2031 роки за сценарієм RCP8.5 [4]

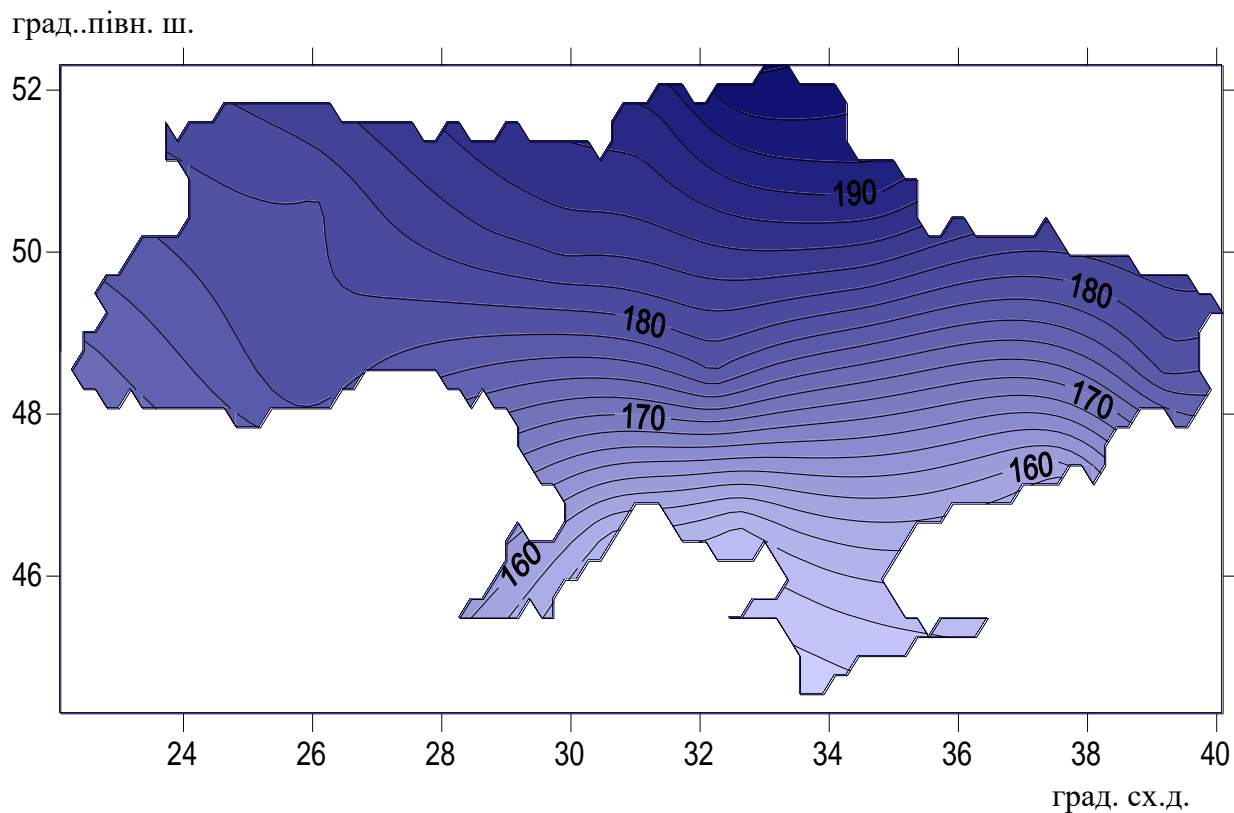


Рис. 1.9 – Осереднена тривалість опалювального періоду з 2031 по 2050 роки за сценарієм RCP8.5 [4]

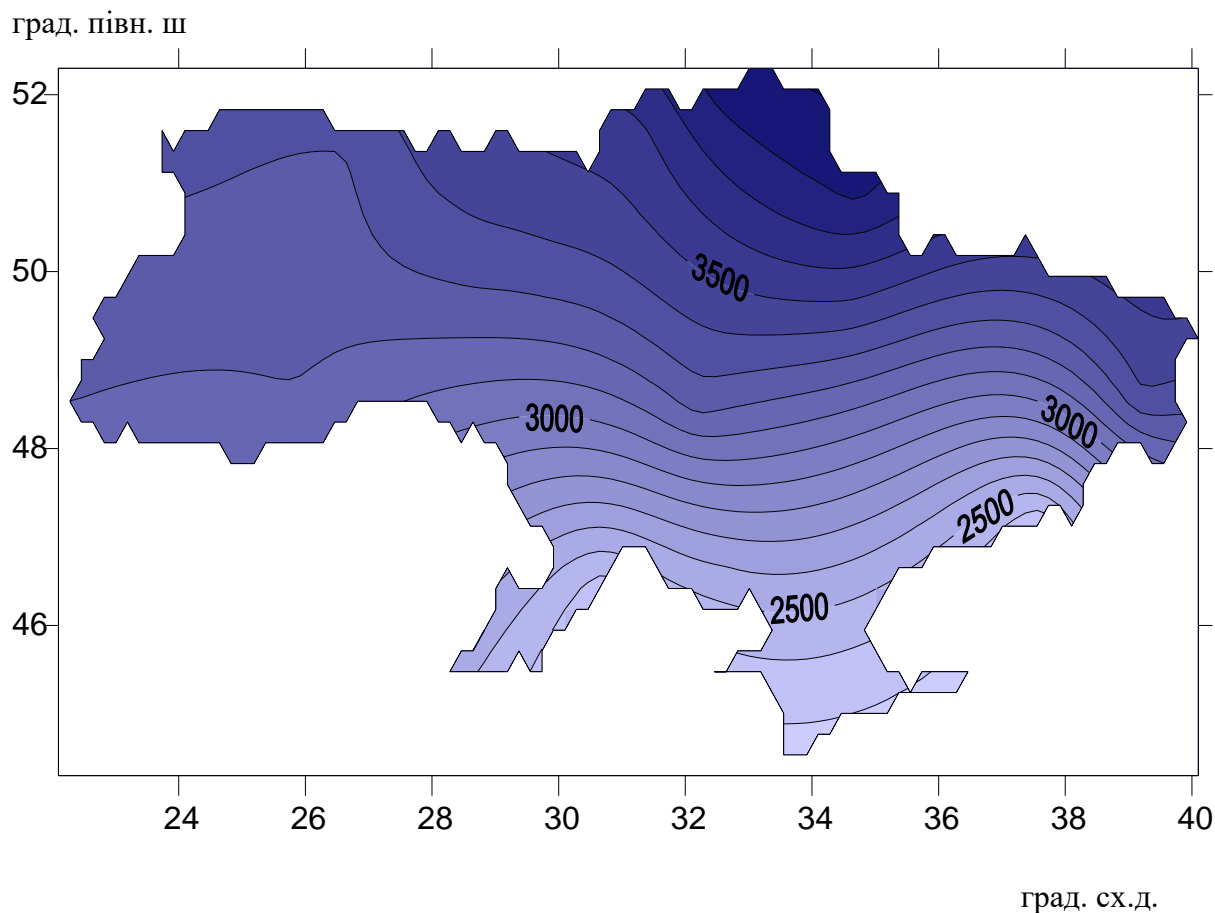


Рис. 1.10 – Осереднена сума градусо-днів опалювання за період з 2011 по 2031 роки за сценарієм RCP8.5 [4]

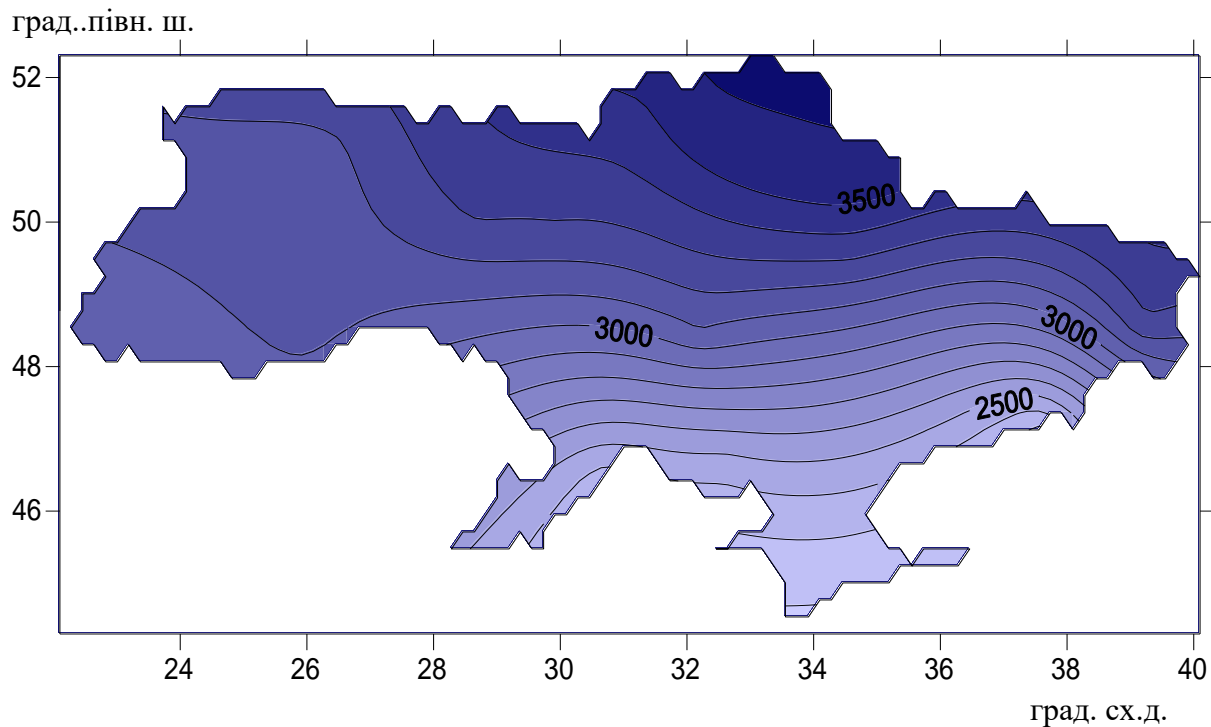


Рис. 1.11 – Осереднена сума градусо-днів опалювання за період з 2031 по 2050 роки за сценарієм RCP8.5 [4]

Характерною особливістю сценарію RCP8.5 є те, що на фоні середнього зменшення ТОП по всій території України на 6 днів, розподіл змін в ТОП по території проходить не рівномірно, так, наприклад: на ст. Суми і Херсон ТОП зменшується на 14 і 10 днів з 205 до 191 днів та з 164 до 154 днів, за періоди 2011-2031 та 2031-2050 роки відповідно.

В свою чергу на ст. Маріуполь ТОП збільшується на 3 доби з 154 до 157 днів, за періоди 2011-2031 та 2031-2050 роки відповідно. А на ст. Одеса змін в ТОП не спостерігається.

Такі особливості розподілу ТОП дають в свою чергу не рівномірний розподіл суми градусо-днів опалення ОП по території України: зменшення відбулось на 180 °С в Ужгороді відповідно на 4,7 °С в Одесі.

Беручи до уваги той факт, що здобуті значення є згладженими, а отже, не можуть бути показниками в характеристиці сценарію RCP8.5, було побудовано окремо графіки до кожної із розрахованих станцій, наприклад рис. 2.46-2.47, на яких чітко відзначається те, що при збільшенні температури, як представлено в сценарії RCP8.5, відповідно збільшуються міжрічні коливання від холодної зими до відносно теплої, а в окремих роках середня температура опалювального періоду перевищувала 4 °С поряд з різким зменшенням середньої температури до -4 °С, що несе в собі окремо небезпечні явища і збитки, тому рекомендується розглядати в цьому випадку ТОП і суму градусо-днів опалювання ОП окремо для кожної станції або ж регіону.

Проаналізувавши ряди даних ТОП на станції Одеса (табл. 1.4) за 49 років (2011-2050 рр.) за сценарієм RCP4.5, визначено, що максимальна ТОП становила – 185 днів; мінімальна – 119 днів. Середня тривалість опалювального періоду становила 159 днів. Згідно з розрахованими даними за сценарієм RCP4.5, ТОП на території міста буде зменшуватись в середньому на 0,1 доби (рис. 1.12). Відповідно з 2011 по 2050 роки буде зменшуватись й суворість зим (рис. 1.13) в середньому на 3,4 °С щорічно. Максимум суми градусо-днів опалення ОП дорівнює 3154,3 °С, мінімум – 1703,2 °С. Середнє значення суми градусо-днів опалення ОП становить 2425,9 °С [4].

Таблиця 1.4 – Розрахункові величини ТОП за сценарієм RCP4.5 за період з 2011 по 2050 роки. Одеса [4]

Роки	Дата ПОП	Дата КОП	ТОП, дні	$Q, ^\circ\text{C}$
2011/12	07.11.2011	27.04.2012	172	2461,4
2012/13	01.11.2012	13.04.2013	163	2480,92
2013/14	16.11.2013	01.05.2014	167	2307,23
2014/15	21.11.2014	21.04.2015	151	2699,44
2015/16	02.11.2015	02.04.2016	152	2245,03
2016/17	22.10.2016	11.04.2017	171	2968,69
2017/18	25.10.2017	08.04.2018	165	2734,82
2018/19	28.10.2018	22.04.2019	176	3114,97
2019/20	24.10.2019	10.04.2020	169	2289,92
2020/21	06.11.2020	04.04.2021	149	2357,08
2021/22	07.11.2021	04.04.2022	148	2282,32
2022/23	07.11.2022	03.04.2023	147	1703,22
2023/24	01.11.2023	02.04.2024	153	2119,76
2024/25	22.10.2024	04.04.2025	164	2625,82
2025/26	22.10.2025	16.04.2026	176	2597,29
2026/27	27.10.2026	04.04.2027	159	2463,43
2027/28	11.10.2027	03.04.2028	175	2680,84
2028/29	28.10.2028	07.04.2029	161	2666,96
2029/30	18.11.2029	09.04.2030	142	2053,36
2030/31	05.11.2030	02.04.2031	148	2268,07
2031/32	29.10.2031	04.04.2032	158	2655,71
2032/33	17.11.2032	19.03.2033	122	1786,07
2033/34	17.11.2033	25.04.2034	159	2069,36
2034/35	28.10.2034	31.03.2035	154	2133,34
2035/36	28.10.2035	10.04.2036	165	2716,28
2036/37	24.10.2036	20.04.2037	178	2802,68
2037/38	23.11.2037	18.04.2038	177	2895,45
2038/39	10.10.2038	13.04.2039	185	2481,33
2039/40	05.11.2039	29.03.2040	145	2309,86
2040/41	22.11.2040	21.03.2041	119	1778,44
2041/42	25.10.2041	27.04.2042	184	3154,25
2042/43	16.11.2042	12.04.2043	147	2275,98
2043/44	16.11.2043	01.04.2044	137	1817,97
2044/45	30.10.2044	26.04.2045	178	2733,3
2045/46	07.10.2045	01.04.2046	176	2098,7
2046/47	25.10.2046	10.04.2047	167	2555,4
2047/48	02.11.2047	20.03.2048	139	2144,7
2048/49	19.10.2048	06.04.2049	169	2616,1

ТОП, дні

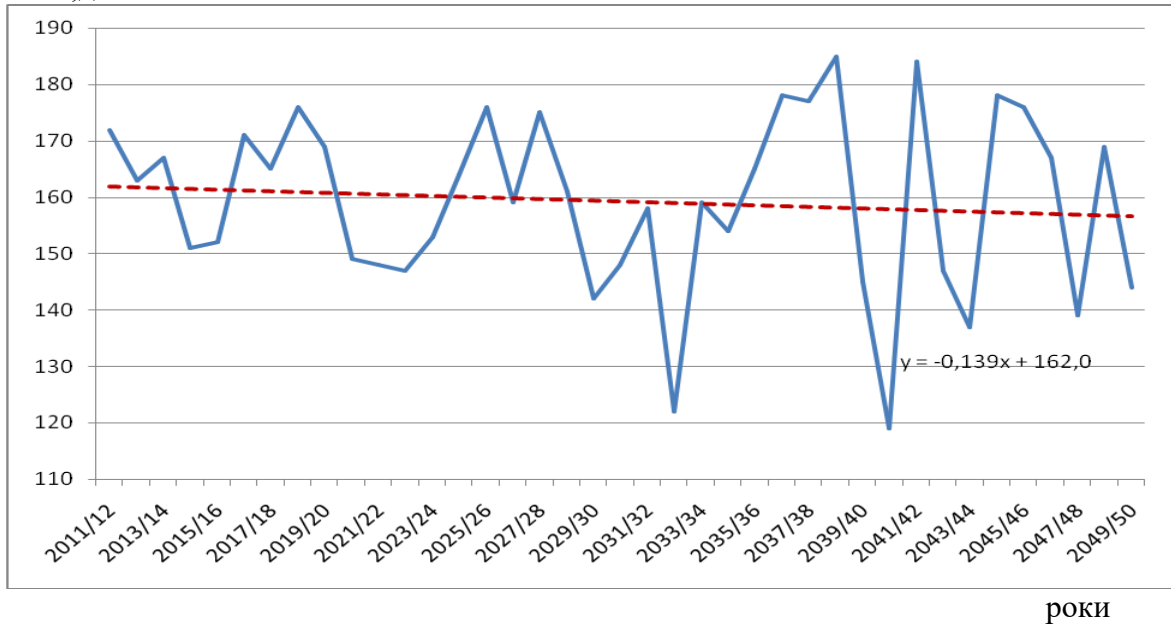


Рис. 1.12 – Динаміка змін тривалості опалювального періоду згідно зі сценарієм RCP4.5 за період з 2011 по 2050 роки. Одеса [4]

$Q, ^\circ\text{C}$

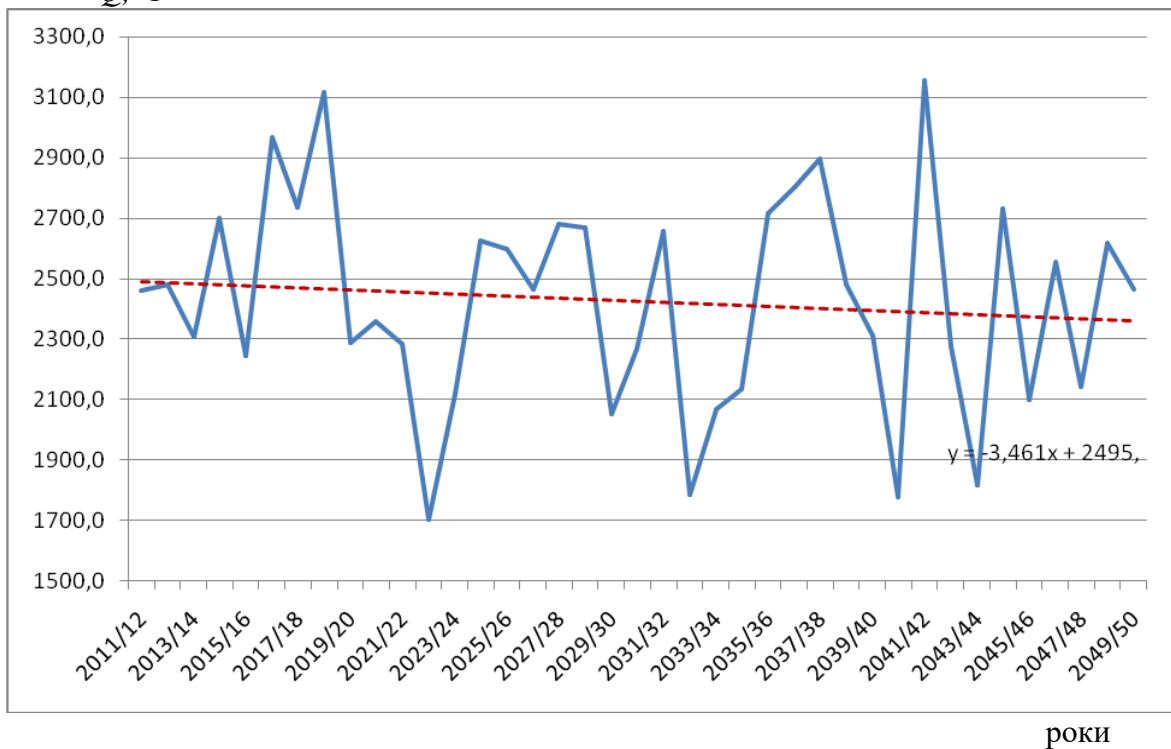


Рис. 1.13 – Динаміка змін суми градусо-днів опалення ОП згідно зі сценарієм RCP4.5 за період з 2011 по 2050 роки. Одеса [4]

Більш детально розглянемо характеристики ОП на станції Одеса згідно зі сценарієм RCP8.5 за період з 2011 по 2050 рр.(табл. 1.5).

Таблиця 1.5 – Розрахункові величини ТОП за сценарієм RCP8.5 за період з 2011 по 250 роки. Одеса [4]

Роки	Дата ПОП	Дата КОП	ТОП, дні	Q, °C	Сер.міс. темп., °C
2011/12	20.11.2011	06.04.2012	138	2249,9	1,6
2012/13	11.11.2012	20.04.2013	160	2607,09	2,1
2013/14	19.10.2013	16.04.2014	179	2857,53	2,0
2014/15	17.11.2014	08.04.2015	142	2201,08	2,6
2015/16	04.11.2015	29.04.2016	177	2677,50	1,8
2016/17	22.10.2016	21.04.2017	181	2511,49	2,7
2017/18	29.10.2017	26.03.2018	148	2134,09	3,5
2018/19	10.11.2018	04.04.2019	145	1866,67	4,2
2019/20	06.11.2019	19.04.2020	165	2389,15	3,5
2020/21	12.11.2020	14.03.2021	122	2030,84	1,5
2021/22	21.10.2021	26.04.2022	187	2730,63	3,4
2022/23	02.11.2022	01.04.2023	150	2387,48	2,1
2023/24	29.10.2023	05.04.2024	159	2362,64	3,1
2024/25	15.11.2024	25.04.2025	161	2687,95	1,3
2025/26	07.11.2025	04.04.2026	148	2540,81	0,9
2026/27	11.11.2026	01.04.2027	141	1837,97	5,0
2027/28	16.11.2027	18.03.2028	123	1806,54	3,3
2028/29	14.11.2028	23.04.2029	160	2092,96	3,5
2029/30	14.11.2029	25.03.2030	131	2025,04	2,5
2030/31	27.10.2030	05.04.2031	160	2718,59	1,1
2031/32	30.10.2031	03.04.2032	156	2400,46	2,5
2032/33	26.10.2032	04.04.2033	160	2690,93	1,0
2033/34	06.11.2033	17.04.2034	162	2406,73	3,2
2034/35	03.11.2034	05.04.2035	153	2196,88	3,8
2035/36	30.10.2035	03.04.2036	156	2772,23	0,3
2036/37	29.10.2036	11.04.2037	164	2342,51	3,7
2037/38	16.11.2037	01.04.2038	136	2131,48	2,3
2038/39	13.11.2038	26.04.2039	164	2376,15	3,4
2039/40	06.11.2039	07.04.2040	153	2552,32	1,6
2040/41	22.10.2040	25.03.2041	154	2473,88	1,9
2041/42	15.11.2041	29.04.2042	165	2370,26	3,6
2042/43	08.11.2042	27.04.2043	170	2179,46	5,2
2043/44	10.11.2043	03.04.2044	145	1947,19	4,6
2044/45	16.11.2044	09.04.2045	144	2008,5	4,1
2045/46	02.11.2045	05.04.2046	154	2654,5	3,4
2046/47	10.11.2046	16.04.2047	157	2428,4	2,6
2047/48	15.11.2047	01.04.2048	138	1854,6	4,6
2048/49	04.11.2048	06.04.2049	153	2196,4	3,7
2049/50	07.11.2049	06.04.2050	150	2307,1	2,6

Зміни ТОП згідно зі сценарієм RCP8.5 за період з 2011 по 2050 роки в місті Одеса характеризуються тим, що міжрічні коливання до 2050 року зменшаться, середня ТОП становила 154 дні, максимальна ТОП становила – 187 днів з 2021-2022 роки; мінімальна – 122 дні в 2020-2021 роках (рис. 1.14).

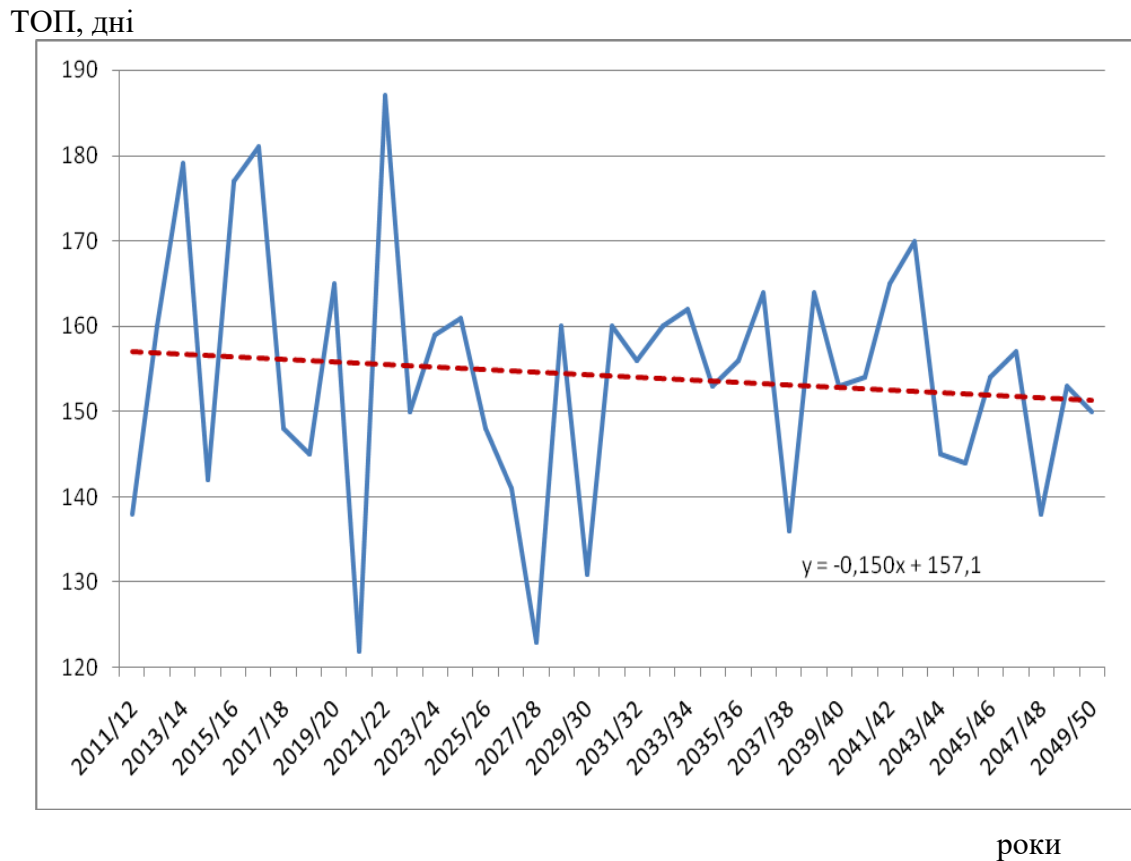


Рис. 1.14 – Динаміка змін тривалості опалювального періоду згідно зі сценарієм RCP8.5 за період з 2011 по 2050 роки. Одеса [4]

Максимум суми градусо-днів опалення ОП становить 2772,2 °С, мінімум – 1806,5 °С. Середнє значення суми градусо-днів опалення ОП становить 2333,5 °С (рис. 1.15).

Середнє значення середньомісячної температури ОП становить 2,8 °С, мінімальне значення становить 0,3 °С, а максимальне – 5,2 °С. В середньому середньомісячна температура збільшується щорічно на 0,5 °С, з 2,6 °С до 3,1 °С за періоди 2011-2031 та 2031-2050 роки відповідно (рис. 1.16).

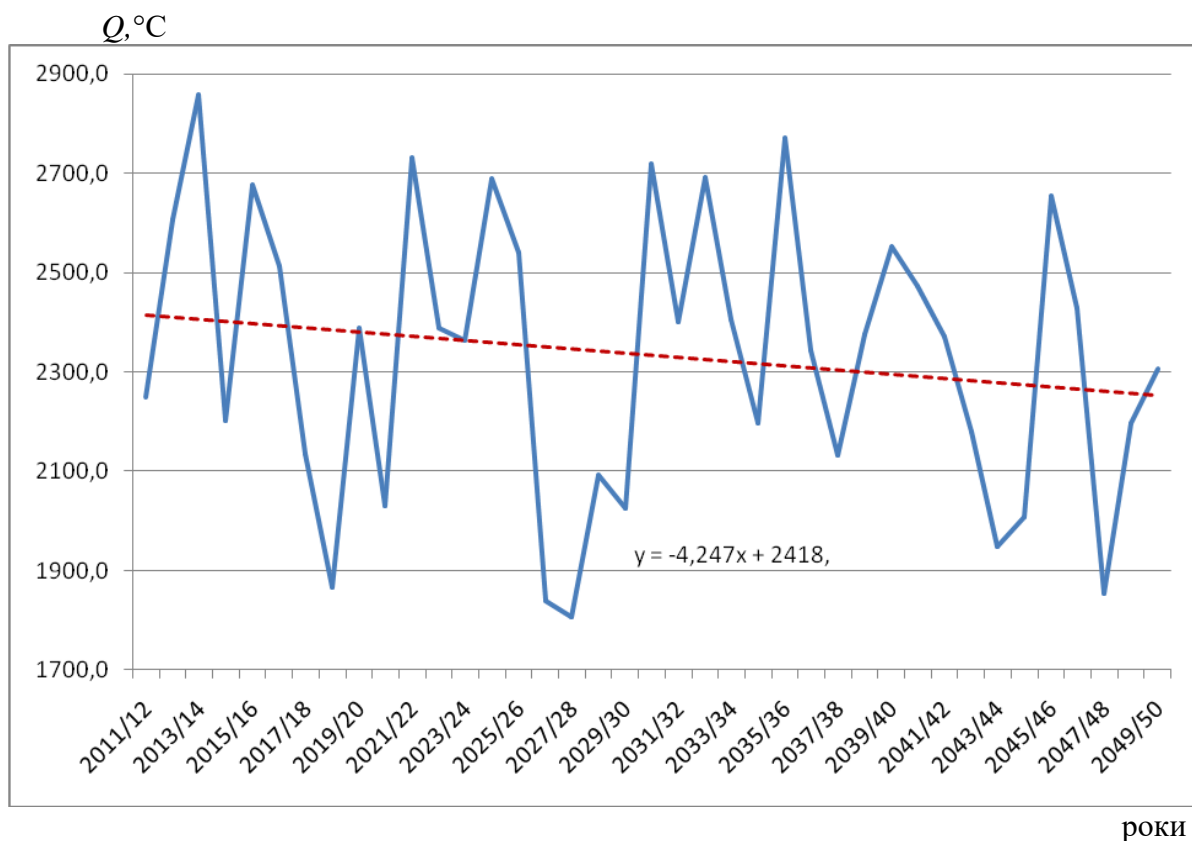


Рис. 1.15 – Динаміка змін суми градусо-днів опалення ОП згідно зі сценарієм RCP8.5 за період з 2011 по 2050 роки. Одеса [4]

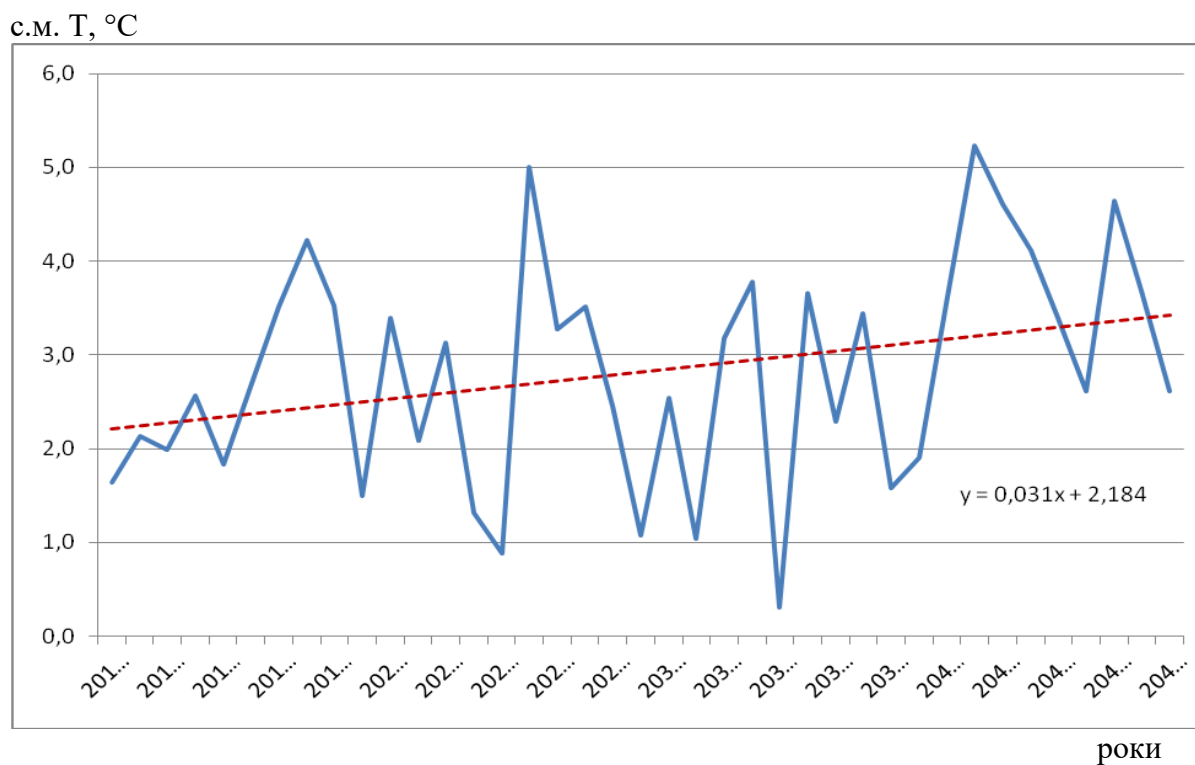


Рис. 1.16 – Динаміка змін середньомісячної температури ОП згідно зі сценарієм RCP8.5 за період з 2011 по 2050 роки. Одеса [4]

В результаті проведеного дослідження впливу мінливості клімату на характеристики ОП за період з 2011 по 2050 роки за сценаріями RCP4,5 та RCP8.5 можна зробити такі висновки [4]:

1. Згідно зі сценарними даними ТОП на території України до 2050 року зменшується в середньому на 6-8 діб.

2. Найбільш схильними до змін в ТОП: за сценарієм RCP4.5 – західна Україна; за сценарієм RCP8.5 – північна Україна.

3. Розподіл ТОП і суми градусо-діб опалювання ОП на більшості території України має рівномірний зональний розподіл і лише в деяких регіонах, зокрема в районі Подільської височини, має меридіональний характер.

4. Аналіз сценарних даних підтвердив збільшення ймовірності виникнення днів з екстремальними температурами і зменшення періоду між переходом від відносно теплого до більш холодного ОП за кожним із сценаріїв.

5. Суми градусо-діб опалювання за ОП, за сценарієм RCP4.5, в середньому зменшились на 90 °С – з 3283 до 3193 °С за періоди 2011-2031 та 2031-2050 роки відповідно.

6. Суми градусо-діб опалювання за ОП, за сценарієм RCP8.5, в середньому зменшились на 96 °С, з 3224 до 3128 °С за періоди 2011-2031 та 2031-2050 роки відповідно.

7. Зменшення ТОП для регіону Одеси є не значним за кожним із сценаріїв; особливістю змін характеристик ОП за сценарієм RCP8.5 для ст. Одеса є зменшення суми градусо-діб опалювання в середньому на 5 °С, а середня температура ОП підвищується на 0,5 °С до 2050 року.

Питання для самоконтролю

1. Опалювальний період – це.
2. Що зумовлює початок та кінець опалювального періоду?
3. Відносно якої дати тривалість опалювального періоду розділяють на дві частини?
4. Початок опалювального періоду визначається як?
5. Кінець опалювального періоду визначається як?
6. Тривалість опалювального періоду – це.
7. Оптимальною температурою в приміщенні вважається?
8. Розрахунки дефіциту тепла (ДТ) у градусо-днях здійснювалися за формулами?
9. Середня тривалість опалювального періоду у степовій зоні України в останньому десятиріччі двадцятого століття?
10. Наприкінці ХХ століття для більшості міст України витрати тепла у порівнянні з кліматичною нормою?
11. Тренд вікового ходу тривалості опалювального періоду вказує?

12. Як зміниться при миттєвому подвоєнні еквівалентної концентрації CO₂ тривалість опалувального періоду?

1.3 Оцінка змін геліоресурсів в Україні в умовах потепління клімату

Основні проблеми, з якими людство ввійшло у XXI століття – це енергетика і екологія [4]. Швидкий промисловий розвиток групи країн північної півкулі забезпечувався інтенсивним зростанням вироблення електричної і теплової енергії. За останні 150 років, з середини XIX століття, населення Землі зросло в 5 разів, а вироблення енергії в 21 раз. Головним чином це відбулось за рахунок зростання видобутку викопного палива до обсягів понад 8000 млн.т в рік, що забезпечує 77 % світового споживання енергії. За експертною оцінкою Міжнародного агентства з енергетики в період до 2030 року виробництво первинної енергії в світі щорічно буде зростати в середньому на 1,7 % і досягне 15300 млн.т. При цьому вважається, що зростання виробництва енергії більш ніж на 90 % має забезпечуватись викопним паливом. Все зростаючі обсяги його використання спричиняють збільшення викидів CO₂ і інших парникових газів в атмосферу, що породжує серйозну заклопотаність з приводу можливого впливу на клімат планети [44].

Крім того, запаси викопних видів палива, особливо легкодоступних, які інтенсивно розробляються (нафта і газ), виявляються досить обмеженими, і за різними оцінками їх помітне виснаження може відбутись вже до середини XXI сторіччя. При цьому наша планета має практично невичерпні (у рамках людської історії) відновлювані джерела енергії (ВДЕ), до яких, насамперед, відносяться: енергія Сонця, вітру, річок, біомаси. Основним енергетичним джерелом, який забезпечує життя на Землі, є Сонце, чия енергія, що надходить до нашої планети за рік, перевищує в 10-20 разів енергію всіх видобутих запасів органічного палива. Цим пояснюється увага до використання сонячної енергії всього світового співтовариства, і особливо промислово розвинених країн [45]. У 1997 р. Європейською Комісією була видана Біла Книга, у якій поставлена мета подвоєння частки ВДЕ в енергобалансі ЄС – з 6 до 12 % до 2010 році. У подальші роки були прийняті Директиви, що визначають розвиток ВДЕ в Європі на період до 2020 р., коли планується досягти 20-відсоткової частки ВДЕ в енергобалансі. Ці цілі підкріплюються відповідними законодавчими та економічними заходами, які підтверджують ефективну роль державного управління при формуванні енергетичної політики. Прогнози розвитку ВДЕ на більш віддалену перспективу (2050 р.), які базуються на існуючих темпах зростання потужностей енергетичного

обладнання, показують, що частка ВДЕ у виробництві електроенергії в країнах ЄС може наблизитися до 50 %. І це зумовить помітний внесок у поліпшення екології планети, зменшить антропогенний вплив на клімат, створить умови для подальшого стійкого розвитку нашої цивілізації [46].

Сонячна енергія впевнено завойовує стійкі позиції у світовій енергетиці. **Привабливість сонячної енергетики** зумовлена кількома обставинами:

- Сонячна енергетика доступна в кожній точці нашої планети, розрізняючись по густині потоку випромінювання не більше ніж у два рази. Тому вона приваблива для всіх країн, відповідаючи їх інтересам щодо енергетичної незалежності.

- Сонячна енергія - це екологічно чисте джерело енергії, що дозволяє використовувати його у все зростаючих масштабах без негативного впливу на навколишнє середовище.

- Сонячна енергія – це практично невичерпне джерело енергії, яке буде доступне і через мільйони років.

Основними напрямками використання сонячної енергії вважаються:

- пряме перетворення сонячної енергії на електричну енергію;
- отримання тепла шляхом абсорбції сонячного випромінювання.

В теперішній час завдяки розробці конструкцій геліоустановок, експлуатація яких в окремих фізико-географічних районах економічно доцільна, перспективи використання променистої енергії Сонця стали більш конкретними. Але це в свою чергу потребує від дослідників детального вивчення енергетичних ресурсів окремих регіонів Земної кулі для встановлення їх енергетичного потенціалу.

В перспективі використання сонячної енергії може здійснюватися: для енергопостачання в районах децентралізованого теплопостачання, переважно в сільській місцевості, для малопотужних, сезонних, комунально-побутових і виробничих споживачів (турбаза, будинок відпочинку, табір, бригадний стан, доїльний майданчик тощо); в системі централізованого теплопостачання геліосистема може підігрівати воду для подальшого нагрівання її в котельні до високої температури і нагрівати воду влітку, коли котельна установка для профілактики або ремонту виводиться з роботи. Використання сонячної енергії для теплопостачання може здійснюватися на базі модульних геліоустановок або сонячних колекторів, зібраних в геліосистему на місцях.

Сучасна світова енергетика, в тому числі і в Україні, в основному базується на невідновлюваних джерелах енергії, які через обмежені запаси є вичерпними і не можуть гарантувати стійкий розвиток енергетики на тривалу перспективу, а їх використання – один з головних факторів, який призводить до погіршення стану навколишнього середовища.

Згідно з дослідженням незалежного агентства федеральної статистичної системи США Energy Information Administration (EIA),

опублікованим у річному енергетичному звіті за 2015 р., щорічне споживання електроенергії у світі з 2013 по 2040 рр. збільшуватиметься в середньому на 0,8 % відповідно до очікуваного зростання населення. За прогнозами ЕІА, в структурі глобального паливно-енергетичного балансу буде збільшуватись питома вага альтернативної енергетики.

Тому не випадково, що і на глобальному рівні, і в Україні велика увага приділяється розвитку альтернативних нетрадиційних відновлюваних джерел енергії.

В Україні питома вага використання альтернативних джерел енергії в загальному обсязі споживання енергії не перевищує 0,7 %.

І це незважаючи на те, що ще 15 березня 2006 р. Кабінетом Міністрів України була прийнята «Енергетична стратегія України до 2030 року», в якій частка використання альтернативних джерел енергії загальному паливно-енергетичному балансі країни повинна збільшитися до 19 % в 2030 [47].

Тому в сучасних умовах перед Україною, яка є енергодефіцитною країною, стоїть невідкладне завдання розвитку альтернативної енергетики.

Згідно із Законом України «Про альтернативні джерела енергії», альтернативна енергетика – це сфера енергетики, що забезпечує вироблення електричної, теплової та механічної енергії з альтернативних джерел енергії. В свою чергу, альтернативні джерела енергії – це відновлювані джерела енергії, до яких належать енергія сонячна, вітрова, геотермальна, енергія хвиль і припливів, гідроенергія, енергія біомаси, газу з органічних відходів, газу каналізаційно-очисних станцій, біогазів і вторинні енергетичні ресурси, до яких належать доменний та коксовий газ, газ метан дегазації вугільних родовищ, перетворення скидного енергопотенціалу технологічних процесів [48].

Основними перевагами альтернативної енергетики в порівнянні з традиційними невідновлюваними джерелами є: практично невичерпні ресурси; зниження негативного впливу на довкілля, включаючи викиди різних забруднюючих речовин, парникових газів, радіоактивне і теплове забруднення тощо.

Слід підкреслити, що є певні відмінності між альтернативною та відновлюваною енергетикою.

Так, відновлювана енергетика (англ. renewable energetics) – енергетична галузь, що спеціалізується на отриманні й використанні енергії з відновлюваних джерел енергії, до яких належать періодичні або сталі потоки енергії, які розповсюджуються в природі і обмежені лише стабільністю Землі як космопланетарного елемента: променева енергія Сонця, вітер, гідроенергія, природна тепла енергія тощо.

Таким чином відновлювана енергетика, яка використовує потоки енергії Сонця, енергію вітру, теплоту Землі, біомаси, морів і океанів, річок, які існують постійно або періодично в навколишньому середовищі і у

майбутній перспективі практично невичерпні, є складовою альтернативної енергетики. Всі відновлювані джерела енергії поділяються на дві групи, що використовують пряму енергію сонячного випромінювання і її вторинні прояви (побічна сонячна енергія), а також енергію взаємодії Сонця, Місяця і Землі. Результатом побічної діяльності Сонця є відповідні ефекти в атмосфері, гідросфері та геосфері у вигляді вітру, гідроенергії, енергії течій, хвиль, припливної енергії, теплової енергії навколишнього середовища тощо.

Сонячна енергетика – це вид відновлюваної енергетики, в якому для отримання електрики використовується сонячне випромінювання [49].

Використання енергії Сонця сприяє не тільки збереженню земного клімату, але й зменшує залежність країн від імпорту вуглеводнів. Кількість сонячної енергії, що потрапляє на поверхню Землі протягом тижня, перевищує енергію світових запасів нафти, газу, вугілля та урану разом. Людство використовує всього одну десятитисячну частину цього виду енергії. Вчені впевнені, що якби людина використовувала хоча б 1% сонячної енергії, то енергетична криза залишилася б у минулому. Перетворювати енергію Сонця на інші види енергії можна двома способами: фотоелектричним (прямий спосіб) і фототермічним (енергію світла перетворюють спочатку на теплову енергію, потім – на електричну) [45].

При цьому Міжнародне енергетичне агентство (МЕА) в кінці 2014 р. спрогнозувало, що на тлі надбавок за викид парникових газів, що збільшуються, вартість сонячної енергії складе \$ 0,3 за Вт і до 2050 р. сонячна енергетика може стати основним джерелом електрики у світі завдяки скороченню витрат на необхідне обладнання. В агентстві відзначили, що сонячні фотоелектричні системи могли б згенерувати до 16 % електроенергії в світі до 2050 р., а сонячна термоелектрика, яка створюється сонячною електростанцією, могла б забезпечити ще 11 %.

Альтернативна енергетика покликана сприяти вирішенню, передусім, двох важливих проблем – екологічної безпеки та енергоефективності. Питання енергоефективності альтернативних видів палива в Україні є найактуальнішим, ніж у світі. На ефективність геліоустановок насамперед впливає рівень сонячної енергії, який в свою чергу залежить від географічного положення території.

Сонячна радіація – це невичерпне джерело відновлюваної енергії. Енергія сонячного проміння може використовуватись як тепла. Сонячна енергія як енергоресурс майбутнього має безліч переваг: вона не шкодить здоров'ю людей та довкіллю, не спотворює ландшафт, її не потрібно експортувати й імпортувати, сама енергія є безкоштовним ресурсом, а головною перевагою є те, що вона відновлювана. Вчені дослідили, що 3/4 від усієї споживаної суспільством енергії становить тепла енергія. Сонячні установки, призначені для перетворення сонячної енергії на інші

види енергії та передачі її для подальшого використання. Ефективність геліоустановок залежить переважно від обсягу надходження сонячної енергії, яка залежить від географічних особливостей регіону, де планується встановлення геліоустановок.

Останніми роками публікується значна кількість наукових і практичних робіт, в яких висвітлюється питання ефективного використання сонячної енергії [50-54].

Перспективи заміщення традиційних паливно-енергетичних ресурсів за рахунок використання альтернативних джерел енергії наведені в наукових працях [55, 56].

Однак більшість цих праць присвячено ефективності та раціональному використанню відновлюваних джерел енергії, а питання потенціалу вивчено не достатньо.

Аналітичні та експериментальні дослідження розподілу сонячної енергії впродовж дня і року наведені в монографії [57], але тут не пораховані дані щодо обсягу надходження сонячної енергії на територію України. Кліматичні дані, які використовують для розрахунку і проектування геліоустановок, наведені у Державних будівельних нормах України [58]. Проте ці норми не мають підрахунку кількості посезонної сонячної енергії залежно від географічної широти.

В Інституті відновлюваної енергетики НАН України розраховано резерв основних видів альтернативних джерел енергії. На основі отриманих результатів створено “Атлас енергетичного потенціалу нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії в Україні” [59], але ці дослідження не містять класифікації кількості сонячної енергії в опалувальний період.

Вчені з Техаського університету з'ясували, що людство незабаром повністю перейде на сонячну енергію. На думку одного з керівників досліджень, Джона Хаффакера, це відбудеться до 2030 року. Про це повідомляє *Uagolos*. На сьогодні у світі існує понад 400 тисяч сонячних батарей широкого спектра, тому все більше світових держав передбачають перехід на енергію світила, адже вона є значно економнішою та не забруднює довкілля. За словами Хаффакера, сонячною енергією житимуться усі країни світу не пізніше, ніж за 15 років. Революція, на його думку, торкнеться абсолютно усіх галузей, у тому числі автомобільної.

Фахівці переконані, що до 2060 року частка енергії Сонця на світовому енергетичному ринку перевищить 50 %. Цікаві приклади використання сонячної енергії у різних країнах. В умовах Великобританії жителі сільської місцевості покривають потребу в тепловій енергії на 40-50 % за рахунок використання енергії Сонця. В Німеччині (під Дюсельдорфом) проводилися випробування сонячної водонагрівальної установки колекторів площею 65 м². Експлуатація установки показала, що

середня економія тепла, витрачаного на обігрів, становила 60 % , а в літній період – 80-90 %. В умовах Німеччині сім'я з 4 чоловік може забезпечити себе теплом при наявності енергетичного даху площею 6-9 м². Сучасні сонячні колектори можуть забезпечити потреби сільського господарства в теплій воді в літній період на 90 %, в перехідний період — на 55-65 %, в зимовий — на 30 %. В Австрії встановлено, що для забезпечення 80 % теплою водою в житлових сільських будинках на 1 людину потрібна установка сонячних колекторів з поверхнею 2-3 м² і ємністю бака для води 100-150 л. Установка площею 25 м² з ємністю для нагрітої води на 1000-1500 л забезпечує теплою водою 12 осіб або невеликий сільський двір. Найбільш ефективно в країнах ЄС сонячні енергоустановки експлуатуються в Греції, Португалії, Іспанії, Франції: вироблення енергії сонячними енергоустановками становить відповідно 870000, 290000, 255200, 174000 МВт-год на рік. Найбільшу сумарну площу встановлених сонячних колекторів мають: США - 10 млн м², Японія - 8 млн м², Ізраїль - 1,7 млн м², Австралія - 1,2 млн м².

Вперше в історії людства острів Тау в Тихому океані повністю перейшов на сонячну енергію. Таким чином американська компанія Tesla Motors відсвяткувала підписання угоди про злиття із Solar City. Про це повідомляється в офіційному блозі Solar City.

Компанія встановила сонячні панелі та батареї, які повністю забезпечують потребу в енергії всіх 600 жителів острова Тау, що входить до складу Американського Самоа. Для такого повномасштабного переходу на альтернативну відновлювану енергію довелося встановити 5328 сонячних панелей SolarCity і Tesla потужністю 1,4 МВт кожна, а також 60 Tesla Powerpack для її зберігання. Зазначається, що батареї перезаряджаються за 7 годин сонячної погоди, а на Тау така погода майже завжди. До того ж виробленої енергії вистачить на три дні життя без сонця.

У зв'язку з таким переходом, у жителів острова повністю зникне необхідність постачати дизельне паливо, якого місцеві мешканці споживають приблизно 412 тис. літрів на рік.

В наш час 1 м² сонячного колектора виробляє електричної енергії: 4,86-6,48 кВт-год на добу; 1070-1426 кВт-год на рік. Нагріває води на добу: 420-360 л (при 30 °С); 210-280 л (при 40 °С); 130-175 л (при 50 °С); 90-120 л (при 60 °С). Економить за рік: електроенергії 1070-1426 кВт-год; умовного палива 0,14-0,19 т; природного газу - 110-145 м³; вугілля 0,18-0,24 т; деревного палива 0,95-1,26 т. Площа сонячних колекторів 2-6 млн м² забезпечує вироблення 3,2-8,6 млрд кВт-год енергії та економить 0,42-1,14 млн т у.п. в рік.

В сучасних умовах в Україні гостро відчувається нестача енергоресурсів і ведуться пошуки оптимальної моделі енергозбереження та енергоефективності у всіх сферах життєдіяльності. При цьому тенденції розвитку світової енергетики переконливо свідчать про те, що в Україні не

може бути іншого шляху розвитку, окрім збільшення питомої ваги енергетики, яка базується на нетрадиційних відновлюваних джерелах енергії, що потребує відповідного законодавчого забезпечення державного регулювання розвитку альтернативної енергетики в Україні. Фундаментальним законодавчим актом, який визначає правові, економічні, екологічні, організаційні та державно-управлінські засади використання альтернативних джерел енергії та сприяє розширенню їх використання у паливно-енергетичному комплексі країни є Закон України «Про альтернативні джерела енергії», який набув чинності у 2003 р. Згідно з цим Законом **цілями державного регулювання розвитку альтернативної енергетики в Україні є:**

- створення умов для розвитку відновлюваної енергетики, диверсифікації енергоресурсів, оптимізації енергетичного балансу;
- виконання Україною зобов'язань, взятих відповідно до Протоколу про вступ до Світової організації торгівлі та Договору про заснування Енергетичного Співтовариства;
- підвищення інвестиційної привабливості сфери відновлюваної електроенергетики України;
- запровадження дієвого механізму видачі гарантії походження електричної енергії для суб'єктів господарської діяльності, що виробляють електричну енергію з альтернативних джерел енергії.

Згідно з вищенаведеними цілями розвитку цієї галузі, державне управління у сфері альтернативних джерел енергії передбачає:

- розробку загальнодержавних, галузевих та місцевих програм у сфері альтернативних джерел енергії, а також їх наукове, науково-технічне та фінансово-економічне супроводження, розробку і виконання завдань відповідних загальнодержавних цільових наукових і науково-технічних програм;
- розробку і прийняття органами виконавчої влади в межах їх компетенції нормативно-правових актів, державних норм, правил і стандартів, методичних документів щодо використання альтернативних джерел енергії;
- координацію та узгодження галузевих і місцевих програм у сфері альтернативних джерел енергії із загальнодержавними програмами;
- здійснення контролю за додержанням вимог законодавства у сфері альтернативних джерел енергії та за виконанням загальнодержавних програм у цій сфері [47].

Одним з найбільш впливових інструментів стимулювання розвитку відновлюваної енергетики в Україні є застосування «зеленого» тарифу для електроенергії, виробленої з відновлюваних джерел. На законодавчому рівні «зелений» тариф був введений в Україні в 2009 р. з дією до 2030 р. і

станом на жовтень 2014 р. він поширений на 189 генеруючих об'єктів, які належать 107 суб'єктам господарської діяльності різних форм власності.

Відповідно до вимог статті 15 Закону України «Про електроенергетику» електрична енергія, вироблена з енергії сонячного випромінювання об'єктами електроенергетики (генеруючими установками) приватних домогосподарств, величина встановленої потужності яких не перевищує 10 кВт, набувається енергопостачальниками, які здійснюють постачання електричної енергії за регульованим тарифом на території виробництва ліцензійної діяльності, за "зеленим" тарифом в обсязі, що перевищує місячне споживання електроенергії такими приватними домогосподарствами.

Як відомо, в останні десятиріччя значна увага світової спільноти приділяється альтернативній і поновлюваній енергетиці. Серед альтернативних джерел найбільш привабливою є енергія Сонця, що мільярди років надходить на Землю. Люди просто зобов'язані взяти під свій контроль і максимально використовувати потік сонячної енергії.

Повна кількість сонячної енергії, що надходить на поверхню Землі лише за тиждень, перевищує енергію всіх світових запасів нафти, газу, вугілля та урану. Тому розвиток сонячної енергетики на довгострокову перспективу становить одне з першочергових завдань.

За термінологією, прийнятою ООН, всі види енергії, в основі яких лежить сонячна, класифікують як поновлювані джерела енергії, які набувають все більшого використання. Ось деякі приклади. В Японії розроблено програми «Сонячне світло» і «Місячне сяйво», в результаті здійснення яких частка альтернативної енергетики країни зросла в декілька разів. За останні тридцять років вартість електроенергії, яку отримують від сонячних батарей зменшилась більш ніж в сто разів. Сонячні енергопанелі для встановлення на даху і стінах вже випускаються серійно і знаходяться там у вільному продажу.

В Німеччині діє урядова програма, що надає податкові пільги виробникам сонячних батарей, які монтуються на дахах будинків. Прийнято закон, згідно з яким кожен громадянин має право отримати безвідсотковий кредит у банку для покупки сонячних батарей потужністю від 3 до 5 кіловат. Одночасно вже кілька років працює програма «Сто тисяч сонячних дахів».

Аналогічну програму «Мільйон сонячних дахів» мають США, де існує декілька експериментальних фотоелектричних станцій потужністю від 0,3 МВт до 605 МВт, які працюють на енергосистему. В США, де центром розвитку сонячної енергетики якої можна вважати Сакраменто, середньорічний приріст потужностей у зазначеній галузі становить приблизно 30 %.

Україна за кліматичними умовами належить до регіонів із середньою інтенсивністю сонячної радіації, кількість якої на одиницю площі протягом року становить 1000-1350 кВт-год/м², тобто в середньому 1200 кВт-год/м².

Як показали реалізовані в останні роки експериментальні проекти, щорічне вироблення теплової енергії в умовах України становить 500 - 600 кВт-год/м². Враховуючи загальноприйнятий на Заході потенціал використання сонячних колекторів для розвинених країн, який дорівнює 1 м² на одну людину, а також продуктивність сонячних установок для умов України, щорічні ресурси сонячного гарячого водопостачання та опалення можуть становити 28 млрд кВт теплової енергії. Реалізація цього потенціалу дозволяє заощадити 34 млн. тонн умовного палива (т у.п.) на рік. І це при тому, що на цей час комунальне господарство України споживає щорічно близько 76 млн. т у.п. Ще у 1997 році Кабінетом Міністрів України затверджена «Програма державної підтримки розвитку нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії та малої гідро-і теплоенергетики». В ній сформульовані найбільш перспективні напрямки використання сонячної енергії, а саме: безпосереднє перетворення на низько потенційну теплову енергію для гарячого водопостачання і теплопостачання, а також безпосереднє перетворення на електричну енергію постійного струму.

Комплексна програма з використання нетрадиційних і поновлюваних джерел енергії також розроблена Державним комітетом України у справах містобудування і архітектури, якою для масового використання рекомендовано три типи установок сонячного тепло- та електропостачання: сонячні приставки до котелень; системи сезонної дії для окремих об'єктів і модульні установки сонячного нагріву води. Ряд стимулюючих заходів передбачає новий закон «Про альтернативні джерела енергії».

Однак, на практиці існують численні бар'єри зростання ринку використання сонячної енергії. В першу чергу, економічні: досить висока ціна на сонячні системи і тривалий період окупності; відсутність обігових коштів у підприємств-виробників, відсутність конкретних механізмів стимулювання виробництва у вигляді надання субсидій, звільнення від податків, пільгової тарифної політики тощо.

Розвиток сонячних технологій стримує:

- відсутність державної політики;
- відсутність координації у сфері розвитку сонячних технологій;
- на цей час не існує інформаційної системи для поширення відомостей про наявність сонячних технологій, їх параметрів, екологічних переваг, а також інформації про впровадження демонстраційних проектів.

На закінчення визначимо **головні чинники, які можуть позитивно вплинути на впровадження в життя сонячних технологій:**

✓ Стимулювання урядом інтересів споживача, а також розвиток конкретних механізмів стимулювання виробництва у вигляді надання субсидій, звільнення від податків, пільгової тарифної політики.

✓ Розробка та впровадження дешевих схем використання сонячних модулів; розробка сучасних і недорогих зразків геліотехніки.

✓ Створення загальнодержавних і регіональних структур для сприяння розвитку сонячних технологій, у тому числі у будівництві, ЖКГ України.

✓ Збільшення активності промисловості, організація масштабного виробництва обладнання, забезпечення умов для сертифікації, монтажу і сервісу.

✓ Створення інформаційної системи вітчизняних і зарубіжних розробок в геліотехніці, активних і пасивних методів використання сонячної енергії, поширення реклами і маркетингу.

✓ Активізація роботи з населенням, в тому числі у школах та вищих навчальних закладах.

✓ Адресна робота з потенційними споживачами сонячного тепло - та електропостачання.

Згідно з Постановою Кабінету Міністрів України від 15.07.1998 року №1094 «Про державну експертизу з енергозбереження» для побутових потреб без отримання будь-яких дозволів використовуються сонячні батареї, які не є енергоємними, тобто потужність яких становить менше ніж 75 кВт.

З 1 січня 2014 приватні домоволодіння, які виробляють електричну енергію з енергії сонячного випромінювання, мають право продажу залишку електричної енергії. Такий продаж здійснюється приватними домоволодіннями без отримання відповідної ліцензії за «Зеленим» тарифом для приватних домоволодінь, які виробляють електричну енергію з енергії сонячного випромінювання, величина встановленої потужності яких не перевищує 10 кВт.

Постанова № 170 27.02.2014. Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 26.05.2014 за № 539/25316.

«Про затвердження Порядку продажу, обліку та розрахунків за електричну енергію, вироблену з енергії сонячного випромінювання об'єктами електроенергетики (генеруючими установками) приватних домогосподарств».

Постанова набула чинності з дня її офіційного опублікування.

Вплив цього законопроекту на перспективи розвитку проектів, що використовують альтернативні джерела електроенергії, обговорювався під час виїзного засідання Всеукраїнської Енергетичної Асамблеї (ЗЕА) в Запорізькій області. За словами Глави ЗЕА Івана Плачкова, в 2006 році, коли затверджувалася "Енергетична стратегія України до 2030 року",

очікувалось, що частка відновлюваної енергетики в енергетичному балансі України може скласти 7-15 %.

Нагадаємо, що виробництво електроенергії з енергії сонячного випромінювання приватними домогосподарствами здійснюється без відповідної ліцензії.

30 червня 2015 р. на підпис Президенту України Петру Порошенку був відправлений проект Закону України №2010-д "Про внесення змін до деяких законів України щодо забезпечення конкурентних умов виробництва електроенергії з альтернативних джерел енергії". Документом були внесені зміни в Закони України "Про альтернативні види палива", "Про електроенергетику" та "Про засади функціонування ринку електричної енергії України". Одна з основних змін — коригування, так званого "зеленого" тарифу, який тепер приведений до середньосвітових рівнів. Найбільше зниження відбулося в тарифі для сонячних електростанцій, а ось тариф для станцій, що використовують біомасу, був збільшений, що вже призвело до заворушень у середовищі деревообробників, у яких може посилитися конкуренція за сировинні матеріали. За останні три роки в Україні на основі прийнятих рішень на законодавчому рівні, проекти відновлюваної енергетики активно розвивались. За підсумками 2014 року електростанціями вітро-, гелію - і на біомасі вироблено 1,7 млрд кВт*год. В цілому їх частка склала близько 11,8 % виробництва електроенергії в Україні.

20 липня 2015 року Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг своєю Постановою № 2046 «Про встановлення «зелених» тарифів на електричну енергію для приватних домогосподарств» встановила «зелений» тариф на електроенергію, вироблену з енергії вітру та/або сонячного випромінювання об'єктами електроенергетики приватних домогосподарств. Постанова набрала чинності з дня її офіційного опублікування 25 серпня 2015 року.

Втім, навіть і без пікового коефіцієнта «зелені» тарифи для сонячної енергетики в Україні залишаються одними з найвищих у Європі. Так, «зелений» тариф для сонячної енергетики в Україні тепер становитиме 194 USD/МВт, тоді як, наприклад у Турції – 133 USD/МВт; у Німеччині – 100 USD/МВт; в Естонії – 61 USD/МВт.

В рамках подальшого реформування паливно-енергетичного комплексу України в 2014 р. було презентовано проект нової Енергостратегії України до 2020 р., підготовлений експертами Центру Разумкова за підтримки міжнародних енергетичних організацій та інститутів, ЄС, Світового банку та ін. Основне місце в новій Енергостратегії-2020 відведено енергоефективності та енергозбереженню, зближенню з ЄС, створенню конкурентного і прозорого енергоринку, захисту і розвитку інфраструктури, розвитку альтернативної енергетики.

Важливою складовою Енергостратегії України до 2020 р. є Національний план дій з відновлюваної енергетики до 2020 р., який передбачає залучення близько € 17 млрд. інвестицій. Тому щоб залучити приватних інвесторів вкладати кошти в альтернативну енергетику, з липня 2014 р. Уряд прийняв цілий ряд стимулюючих законодавчих актів.

Наприклад, постанова №293 «Про стимулювання заміщення природного газу в сфері теплопостачання» передбачає компенсаційні заходи при виробництві теплової енергії для потреб населення з будь-яких видів палива та енергії за винятком газу [60].

В цей час, комунальне господарство України щорічно споживає близько 74 мільйонів т у.п. Щорічна потреба в тепловій енергії збільшується на 1,5-2 %. Існують оцінки, що з відновленням економічного зростання, рівень споживання може істотно зрости. З іншого боку, потенціал енергоефективності та енергозбереження в комунальному господарстві України за різними оцінками, становить не менше ніж 50 %. У разі використання цього потенціалу економічне зростання не повинно привести до істотного збільшення споживання теплової енергії. Іншою можливістю стримування зростання споживання теплової енергії є всебічний розвиток концепції сонячних будинків. У північних європейських країнах з допомогою природного нагріву сонце забезпечує 14 % тепла від загальної потреби звичайних будинків. Цю оцінку можна використовувати в якості нижньої межі для умов України. У будинках, побудованих з урахуванням пасивного використання сонячної енергії, внесок сонця в споживанні тепла може скласти близько 40 %. Частка пасивного нагріву зазвичай не враховується офіційною статистикою, однак, насправді - це найбільший джерело використання відновлюваної енергії. Істотний потенціал використання сонячної енергії в Україні полягає у використанні сонця для охолодження і кондиціонування, а також в сільськогосподарських додатках, наприклад, для сушіння різних видів сільськогосподарської продукції та опріснення води в південних регіонах [52, 61-69].

В Україні реалізовано кілька десятків експериментальних проектів у різних галузях народного господарства. Серед них системи гарячого водопостачання житлових і громадських будинків, лікувально-оздоровчих установ; системи сонячних колекторів до паливних і електричних котелень, які обслуговують промислові, сільськогосподарські та комунальні підприємства; малі автономні установки для індивідуальних житлових будинків і підприємств побутового обслуговування. За оцінками, зробленими українськими фахівцями, термін окупності впроваджених експериментальних установок сонячного водо- і теплопостачання становить від п'яти до десяти років.

Основними видами використання сонячної енергії є гаряче водо - і теплопостачання із застосуванням сонячних колекторів. Розвиваються два

типи сонячного теплопостачання - без довготривалого акумулювання тепла, коли частка сонячної енергії в загальній кількості споживаного тепла обмежена (максимум 20 % в кліматичних умовах північних європейських країн) і з сезонною акумуляцією, при якій частка сонячної енергії може досягати 80-100 %.

У першому випадку теплопостачання зазвичай комбінується з системою гарячого водопостачання. Іншою можливістю використання сонячної енергії є концепція будівництва сонячних будинків, яка активно розвивається. Під цим зазвичай мають на увазі комбінацію сонячного теплопостачання, фотоелектрики, пасивного нагріву і природного освітлення. Цей підхід може використовуватись для всіх типів будівель і в будь-яких кліматичних умовах. При цьому акценти для різних умов, а також для житлових і комерційних будівель, різні. У північних країнах домінує потреба в опаленні, а в південних більш важливим є охолодження. Для комерційних будівель кондиціонер і електричне освітлення часто дають більший внесок у енергоспоживання, ніж опалення. Добре сконструйована сонячна будівля може бути практично незалежна від додаткових джерел тепла. При виконанні окремих демонстраційних проектів у Європі отримано зменшення споживання енергії в чотири і більше разів.

Реалізовані в останні роки експериментальні проекти показали, що річне вироблення теплової енергії в умовах України становить 500 – 600 кВт/м². Враховуючи загальноприйнятий на Заході потенціал використання сонячних колекторів для розвинених країн, рівний 1 м² на одну особу, а також продуктивність геліосистем для умов України, щорічні ресурси сонячного гарячого водопостачання та опалення можуть становити 28 млрд. кВт-год теплової енергії. Реалізація цього потенціалу дозволила б заощадити 3.4 млн. тонн умовного палива (т.у.п.) на рік.

1.3.1 Оцінка змін геліоресурсів в Україні в умовах потепління клімату

Важливим фактором у разі вибору місця розташування геліоустановки є оцінка енергетичного потенціалу сонячної енергії. На ефективність геліосистем впливає рівень сонячної енергії, який своєю чергою залежить від географічної широти.

Режим роботи сонячних енергетичних установок (СЕУ) зумовлюється комплексом геліофізичних параметрів для застосування енергетичного потенціалу із використанням необхідних спеціальних характеристик, які враховують хронологічний постійний хід сонячної радіації та її випадкову мінливість у часі, пов'язану з низкою атмосферних явищ.

Для вирішення доцільності роботи сонячних енергетичних установок використовують спеціалізовані показники кліматичних ресурсів [44, 70, 71].

Аналіз найбільш значущих характеристик геліоенергетики виявився достатнім для розвитку їх енергетичної спроможності на значній частині території України.

Використання сонячної енергії залежить, насамперед, від географічного положення території, а від рівня сонячної радіації буде залежати ефективність сонячних установок. Тому необхідно проаналізувати перспективність використання сонячної радіації у різних областях території України залежно від їх географічного розташування, хмарності та періоду року.

Надходження сонячної енергії на територію України, згідно з Державними Будівельними Нормами, доцільно аналізувати не окремо по областях, а об'єднуючи їх за географічним положенням регіонів у градусах північної широти.

Для визначення потенційних геліоенергетичних ресурсів тої чи іншої території, обґрунтування техніко-конструкторських показників різних геліосистем, оцінки економічної ефективності їх експлуатації у різні сезони року і різний час доби в певному місці, необхідно мати **набір показників**, а саме:

- величини можливих сум надходження прямої, розсіяної, сумарної сонячної радіації;
- число годин сонячного сьйва (тривалість сонячного сьйва);
- середні показники хмарності;
- число ясних і похмурних днів.

Модельні оцінки проводилися як на основі кліматичної моделі, в якій зміни клімату на території України при глобальному рівні потепління 1,5 °C за параметрами майбутнього клімату, отриманими осередненням результатів обчислень по ансамблю з 31 МОЦАО (Моделей Загальної Циркуляції Атмосфери та Океану), які беруть участь у проєкті порівняння глобальних кліматичних моделей CMIP5 (Coupled Model Intercomparison Project – Phase5) і використовують сучасні сценарії антропогенного впливу на кліматичну систему Землі сімейства RCP (Representative Concentration Pathways): сценарій помірного впливу RCP4.5 і сценарій екстремального впливу RCP8.5.

У проведеному дослідженні у якості характеристики радіаційного режиму використовувалась сумарна радіація, а саме, її щорічні середні місячні значення за середніх умов хмарності, а також дані з середньої місячної хмарності 27 станцій, рівномірно розташованих по території України. Станції вибрані таким чином, щоб вони висвітлювали усі природні зони країни: Полісся, Лісостеп, північний та південний Степ.

Відомо, що ресурси сонячної енергії окремих регіонів Земної кулі зумовлені, головним чином, їх широтним положенням.

Однак навіть в одній широтній зоні радіаційні умови можуть помітно різнитися, що зумовлено розбіжностями в режимі хмарності. В свою чергу **характер режиму хмарності визначається взаємодією основних кліматоутворювальних факторів**: циркуляція атмосфери, радіаційні умови і властивості підстильної поверхні. Головним з них є циркуляція атмосфери, особливо в холодну пору року. В період з травня по серпень, коли спостерігається найбільше надходження сумарної радіації, суттєвий вплив на формування режиму хмарності чинять властивості підстильної поверхні, яка визначена орографічними особливостями територій. І для визначення потенціалу сонячної енергії необхідно, перш за все, оцінити режим хмарності.

В кліматології кількісними характеристиками хмарності є її середній бал, ймовірність ясного і похмурого стану неба, а також середнє число днів з різним станом неба (ясного, напівясного і похмурого). Тому на першому етапі оцінки радіаційних умов та їх змін на території України розглядався режим саме цих показників хмарності. В основу аналізу покладені багаторічні дані фактичних спостережень щомісячників за 1986 – 2005 рр. та їх порівняння зі сценарними даними [72].

Зазначимо, що вплив хмарності на надходження сумарної радіації визначається не стільки кількістю і формою хмар, скільки станом сонячного диска, який зумовлює тривалість сонячного саява, сонячного опромінювання. Тому в режимі хмарності в цьому випадку особливий інтерес представляє інформація про ясний і напівясний стан неба, річна кількість днів яких розглядається як деякий критерій доцільності роботи геліосистем: сприятливими вважаються райони, де річна сума таких днів перевищує 200. Заведено вважати небо ясным, якщо кількість хмар не перевищує двох балів, і похмурим, коли кількість хмар дорівнює восьми балам і більше. Дні з хмарністю від трьох до семи балів відносять до напівясних [1, 44, 70, 71].

За ясного неба місячні і добові суми сумарної радіації відзначаються широтним розподілом по території. Найбільші градієнти виявляються взимку, коли різниця у січні між північчю і півднем досягає більше 60 %, а влітку вона істотно менша і у липні становить близько 10 %.

На рисунках 1.17 та 1.18 наведено просторовий розподіл середнього за центральними місяцями сезонів року числа днів з ясным і похмурим станом неба для сценаріїв RCP4.5 і RCP8.5 за період 2011-2050 рр. [4].

Як згадувалось раніше, сумарне за рік число днів з ясным і напівясним станом неба може бути деяким критерієм радіаційних умов території дослідження. Так, просторовий розподіл по території України саме цього показника дозволяє стверджувати, що за ним вся територія країни може

вважатись регіоном, де використання геліосистем доцільне: повсюди число таких днів за рік перевищує 200.

Однак мають місце деякі розбіжності в їх режимі в окремих регіонах: якщо в північних районах ця цифра не перевищує 215 днів, в крайніх східних і західних районах досягає 230–240 днів, то для південних районів це число перевищує 240 днів.

На рис. 1.19 наведено розподіл кількості днів з різним станом неба в залежності від розташування станцій при різному сценарії при переміщенні із заходу на схід і з півдня на північ.

Дані на станціях Семенівка (розташована на півночі), Ізмаїл (розташована на півдні), Ужгород (розташована на заході) та Біловодськ (розташована на сході).

Річна кількість днів з ясним, напівясним та похмурих станом неба визначається їх режимами в теплий і холодний періоди, дослідження яких дозволяє встановити внесок і роль кожного з них. Для холодного періоду характерним є досить рівномірний просторовий розподіл числа таких днів, що зумовлено переважанням ролі циркуляційного фактора в формуванні режиму хмарності. Коливання їх від найбільших до найменших значень становить 10-15 днів, змінюючись від 55 на північному сході до 70 на південному заході. І тільки на півдні Криму ця цифра сягає 80 днів.

В січні в порівнянні з груднем тривалість сонячного сяйва трохи зростає, приблизно від 40 годин на північному заході до 100 годин на півдні. В подальшому до лютого в порівнянні з груднем вона зростає вдвічі.

В теплий період року просторовий розподіл числа ясних і напівясних днів аналогічний річному. Тут чітко проявляється широтність ізолій однакового числа днів: від 155 на півночі до 185 на півдні. Своєрідним режимом ясних і напівясних днів відрізняються тільки західні райони, де в умовах складних орографічних і циркуляційних умов спостерігається зменшення їх числа до 138–168 днів.

Визначене більш ніж у два рази зменшення числа ясних і напівясних днів від теплового періоду до холодного свідчить про нерівномірний внесок кожного з півріч в загальну річну кількість цих днів. Однак значний енергетичний потенціал теплового періоду потребує розробки таких геліосистем, здатних акумулювати енергію сонця теплового півріччя.

В південних районах, де навіть в холодний період число ясних і напівясних днів становить майже половину від мінімального значення, безперебійну роботу геліоустановок можна передбачити протягом усього року.

Для липня і жовтня визначальним є зональне розташування ізолій однакового числа ясних і напівясних днів. Зазначимо, що від квітня до липня спостерігається значне зростання числа таких днів, а від липня до жовтня їх зменшення відбувається повільніше [4].

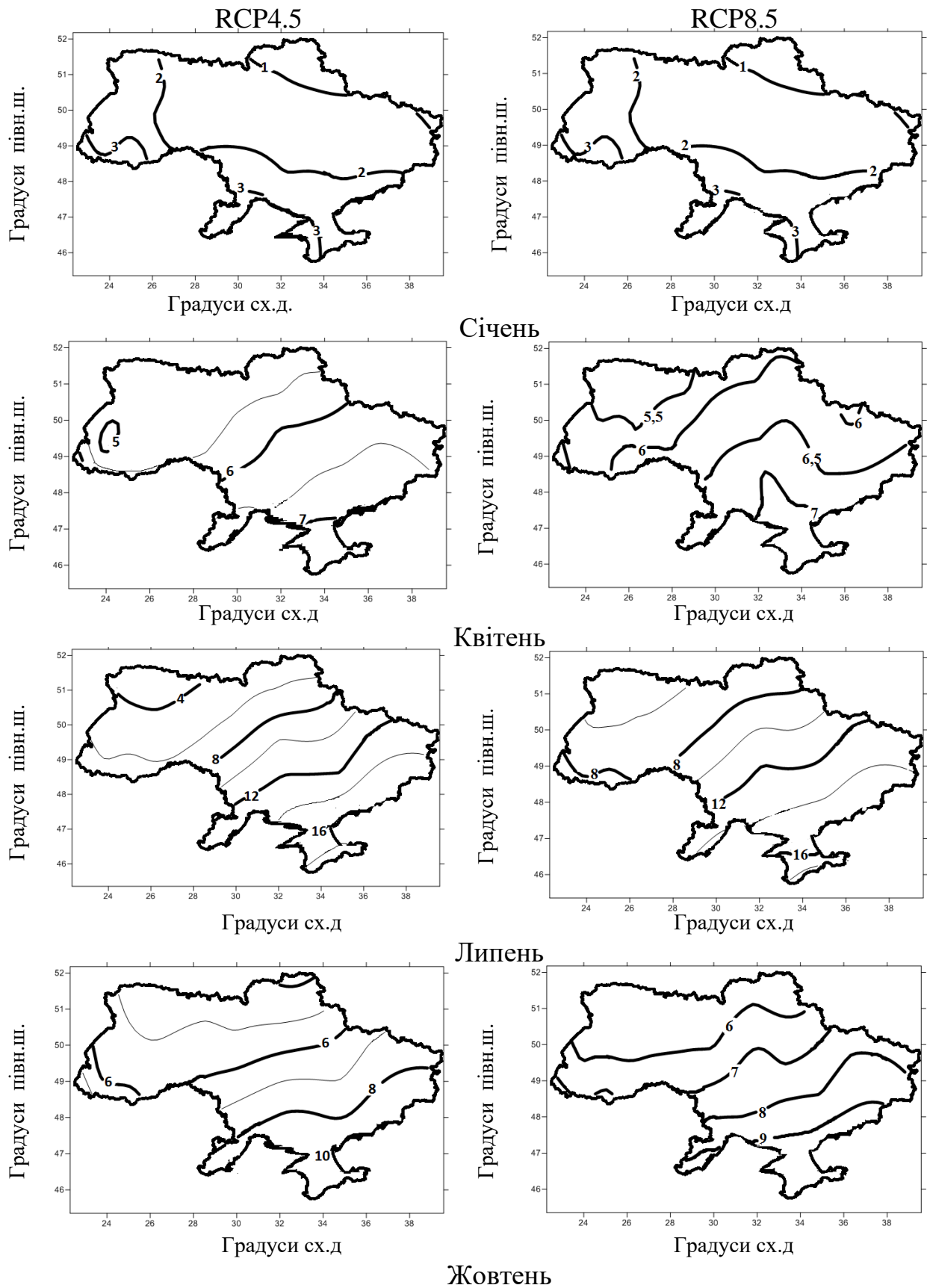


Рис. 1.17 – Просторовий розподіл середньої кількості днів при яснуому стані неба [4]

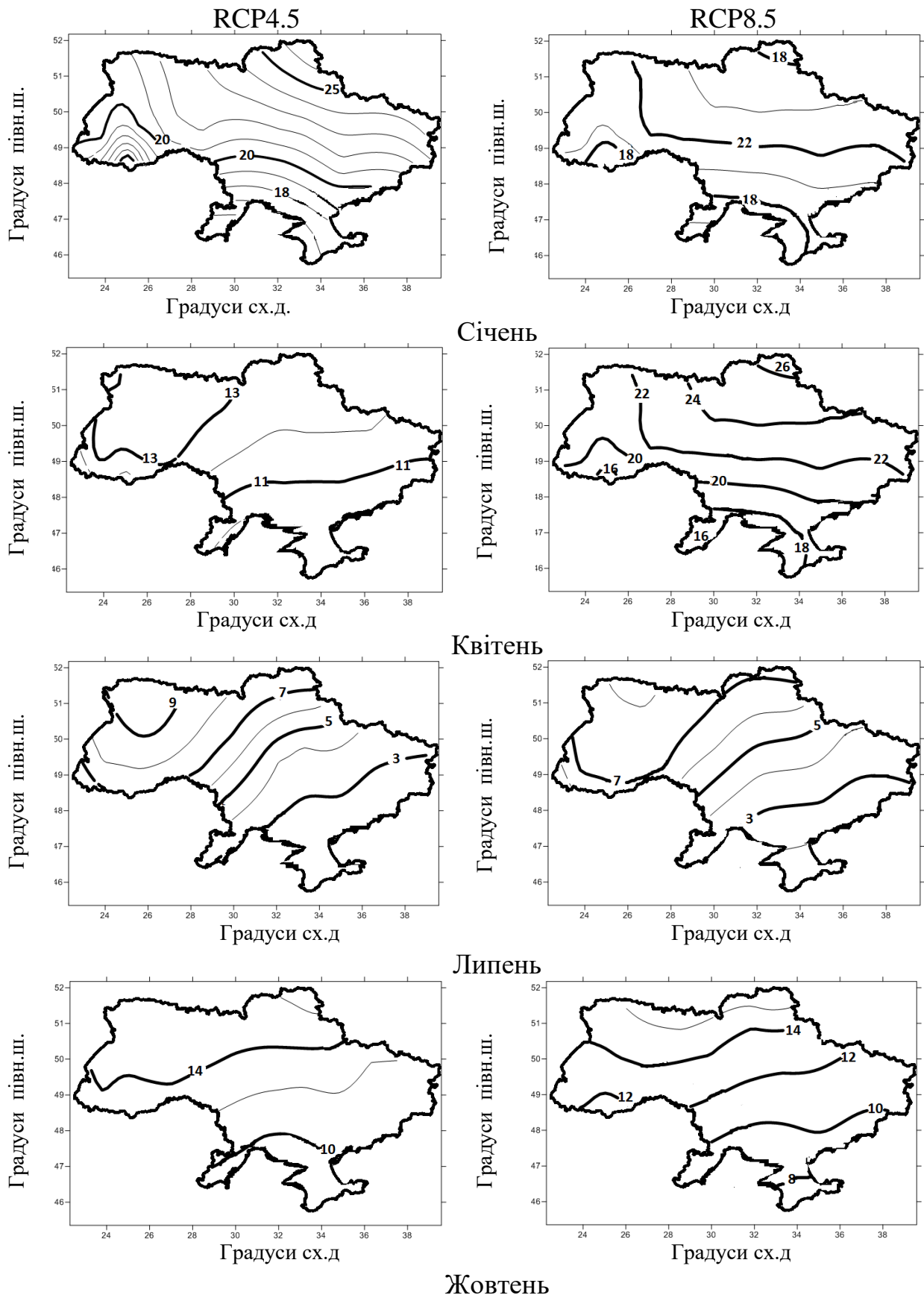


Рис. 1.18 – Просторовий розподіл середньої кількості днів при похмурому стані неба [4]

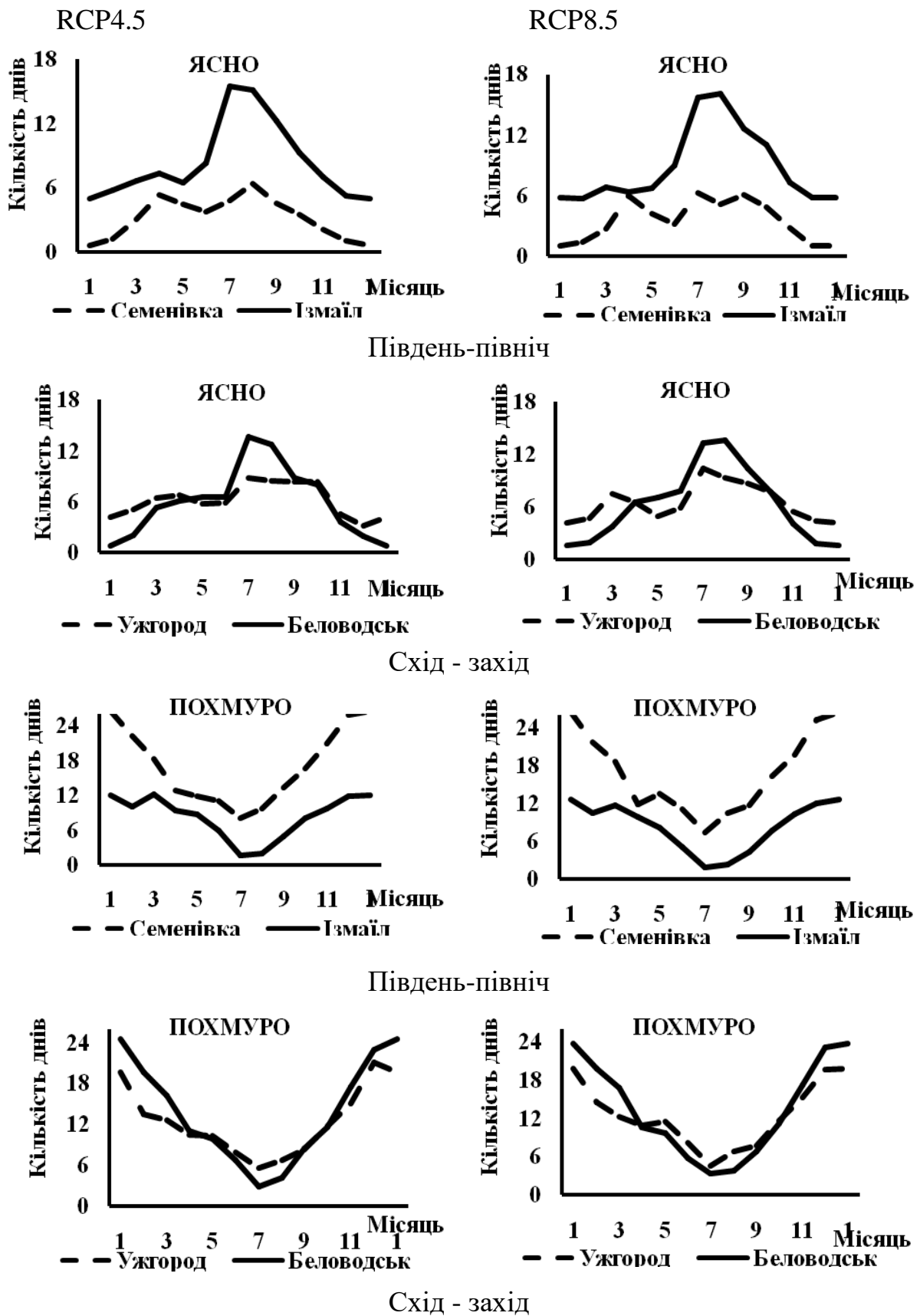


Рис. 1.19 – Кількість днів при різному стані неба з урахуванням напрямку переміщення [4]

Тривалість сонячного сьйва (ТСС) – одна з важливих характеристик клімату в цілому і радіаційного режиму зокрема [4].

Неоднорідність підстильної поверхні призводить до мозаїчності у розподілі тривалості сонячного сьйва у горах. Внаслідок антропогенної діяльності, що спричиняє забруднення атмосфери (міста і великі промислові комплекси), відбувається падіння годин сонячного сьйва. За рік тривалість сонячного сьйва по території України змінюється від величин менших за 1600 годин на північному заході до більших за 2300 на півдні Кримського півострова [39].

Мінімальні для всієї України значення цієї характеристики спостерігаються в грудні, що визначено найменшою тривалістю світлої частини доби (дня) і значною імовірністю похмурого стану неба в цьому місяці. В зоні Полісся тривалість сонячного сьйва становить 22-30 годин за місяць, в Лісостепу і північній частині Степу вона збільшується до 33-45 годин, а в південній частині Степу – до 45-60 годин. В цьому місяці фактична тривалість від можливої становить усього 12-20 % (рис. 1.20).

Починаючи з березня, у зв'язку зі збільшенням тривалості дня (приблизно з 8 годин у грудні до 12 годин в березні) і помітним зменшенням хмарності ТСС зростає досить різко: в Поліссі і Лісостепу до 100 – 120 годин, в степовій зоні до 120-155 годин, що дорівнює 30–40 % по відношенню до можливої.

Максимальних значень місячна тривалість сонячного сьйва досягає в липні і складає в Поліссі і Лісостепу 240-300 годин (40-60 % від можливої), в Степу – 310 - 330 годин (до 70 % від можливої). Це визначено найбільшою тривалістю дня і найбільшим числом ясних і напівясних днів в порівнянні з іншими місяцями.

Безперервна тривалість сонячного сьйва, яка забезпечує найменші витрати енергії для розігрівання геліоустановки, за Б.Н. Ванбергом становить понад 6 год за добу. За цим показником майже на всій території це значення перевищене за радіаційно-теплий період (квітень - вересень) і становить від 6,5 год у квітні та вересні на північному заході й північному сході, збільшуючись у південному напрямі: від 6,5 год у квітні до 7–8 год у вересні.

Найбільші його значення спостерігаються влітку (особливо у червні), коли тривалість сонячного сьйва за день з Сонцем збільшується до 9–10 год, починаючи з півночі. Виняток становлять гірські райони Українських Карпат, де цей показник дещо підвищується у літні місяці (до 7 год), проте, за мінімальними значеннями в окремі роки він майже удвічі менший від необхідного рівня [4].

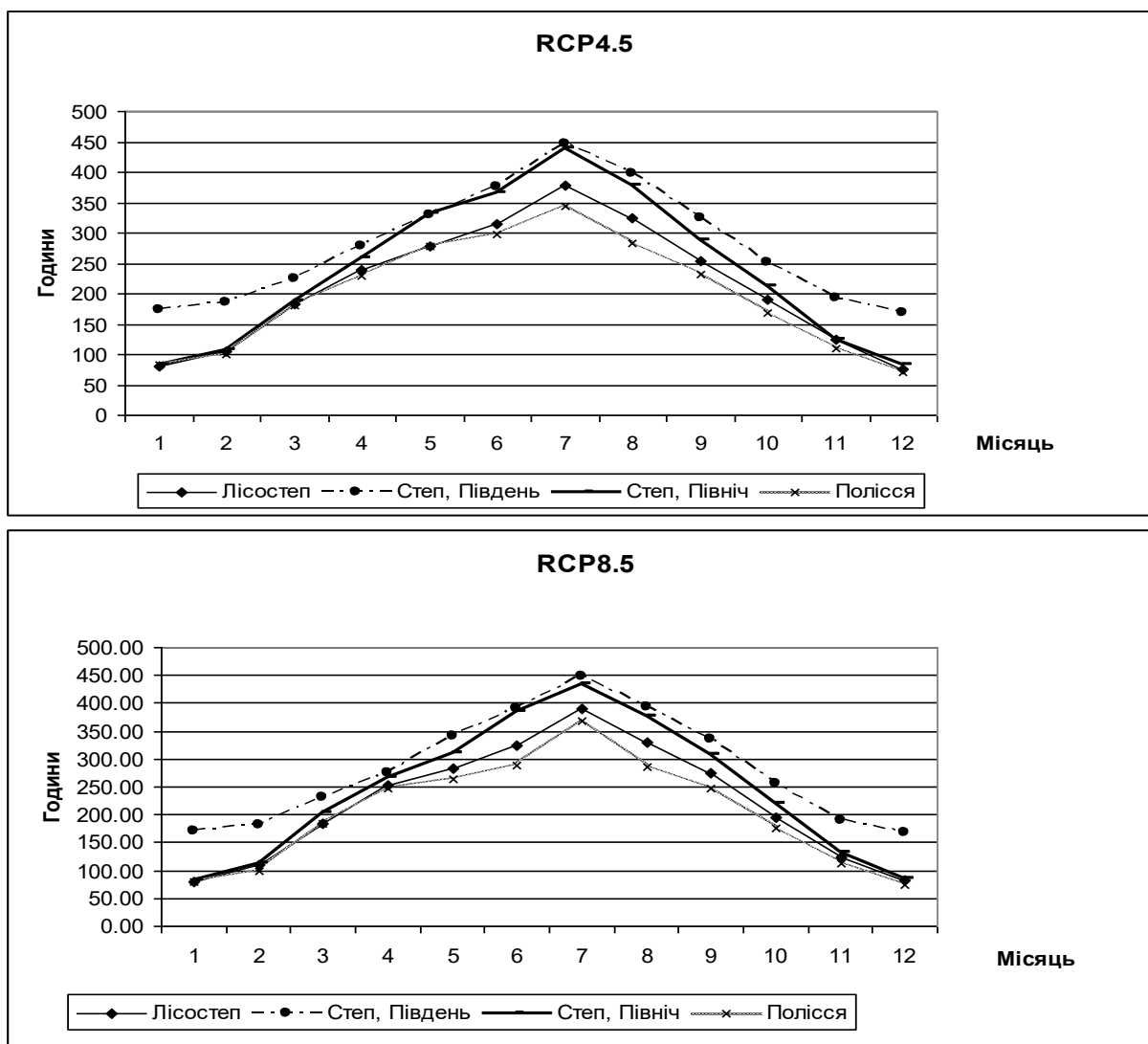


Рис. 1.20 – Тривалість сонячного сяйва [4]

1.3.2 Загальна характеристика радіаційного режиму на території України

Як відомо, актинометрична мережа не дуже густа і за даними актинометричних станцій неможливо дати детальний просторовий розподіл радіаційних характеристик у межах окремих областей. Тому для аналізу просторового розподілу складових радіаційного балансу використовувались дані NASA Surface meteorology and Solar Energy (The Atmospheric Science Data Center at NASA Langley Research Center) за період 1986 – 2005 рр. [69].

Наявність у нашому розпорядженні кліматичних даних за 1986-2005 рр. і сценарних даних за відрізок часу в сто років (2011-2050 рр.)

дозволила сформувати ряди щорічних значень середньої місячної сумарної радіації за різні у хронологічному відношенні відрізки часу, а саме, за періоди: 1986-2005, 2001-2030, 2031-2040, 2041-2050, 2011-2050 рр. [4]. У розглянутому інтервалі часу спостерігаються помітні коливання величини сумарної радіації від року до року (рис. 1.21).

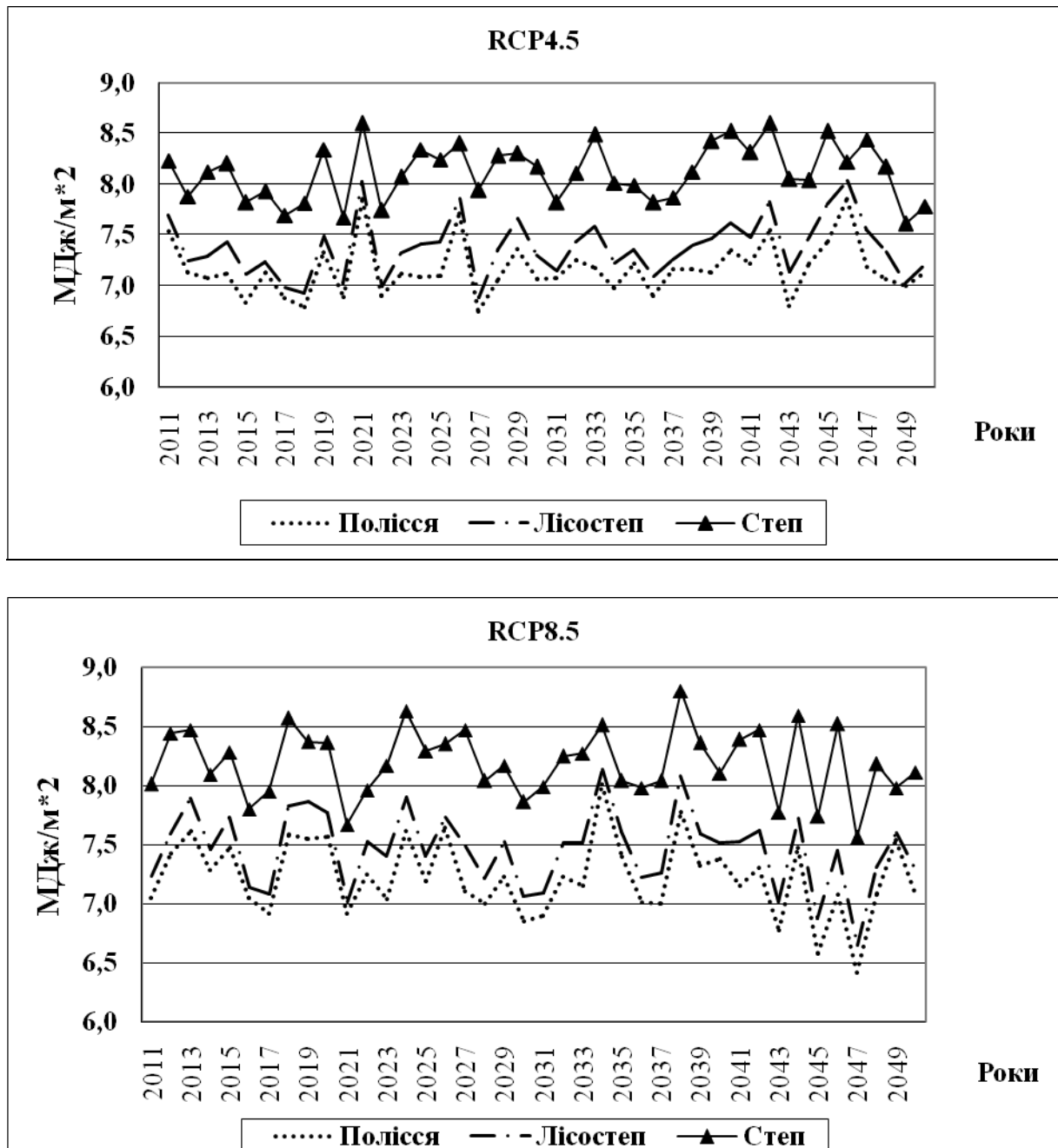


Рис. 1.21 – Часовий розподіл середньої добової короткохвильової радіації [4]

Звертає увагу і той факт, що розбіжності між найбільшими (на півдні) і найменшими (на півночі) амплітудами у річному ході з часом також змінюються: за сторіччя (2011-2050 рр.) – це $45,1 \text{ Вт/м}^2$, у період підвищених значень сумарної радіації (1986-2005 рр.) вони знизились до $41,3 \text{ Вт/м}^2$, а в період з 2011 по 2050 рр., коли очікується зменшення сумарної радіації, знову можуть підвищитися до $49,1 \text{ Вт/м}^2$. Тобто складається враження, що в період загального зменшення сумарної радіації розбіжності між її значеннями протягом року (річна амплітуда) можуть посилюватися.

Таким чином, згідно зі сценарними даними зміни у режимі сонячної радіації на території України до 2050 р. можуть відбуватись у напрямку зменшення надходження сонячної радіації до підстильної поверхні. Але протягом першої половини ХХІ сторіччя у характері цих змін можливі деякі особливості.

Таке формування різних за розподілом рядів середньої місячної сумарної радіації також спричинено особливостями циркуляційних умов різних регіонів України.

Більш стабільні циркуляційні процеси на півночі (як влітку, так і взимку) сприяють більш – менш рівнозначній повторюваності ясного і похмурого стану неба, тому різноспрямовані відхилення величин сумарної радіації від її середнього стану майже однакові. Але тут інколи в тривалих циклонічних умовах погоди значні відхилення величини сумарної радіації у бік зменшення хоч зрідка, але мають місце.

У місяцях перехідних сезонів в північних регіонах в умовах перебудови циркуляційних умов з зимових на літні рідкі, але тривалі періоди з антициклонічними умовами погоди, пов'язаними з розширенням дії Азорського антициклону, можуть зумовити незвичайно значне надходження сонячної радіації. І завдяки цьому багаторічна величина середньої місячної сумарної радіації може бути завищена у порівнянні з найбільш ймовірними.

У зимові місяці не можна виключати ролі як Сибірського, так і Азорського антициклонів у формуванні поля підвищеного тиску над територією України. Це, в свою чергу, може призвести до значних, у порівнянні зі звичайними, надходжень сонячної радіації [4].

1.3.3 Оцінка вразливості геліоенергетичних ресурсів від екстремальних умов клімату

Як зазначалось вище, солярна система працює найкраще, коли вона спроектована з урахуванням реальних місцевих умов, на підставі таких

вихідних даних: кількість сонячних годин і інтенсивність сонячного випромінювання змінюється в залежності від забруднення атмосфери [4].

Кількість сонячної радіації, що досягає поверхні Землі, залежить від різних атмосферних явищ і від положення Сонця як протягом дня, так і впродовж року. Хмари - основне атмосферне явище, яке визначає кількість сонячної радіації, що досягає поверхні Землі. На формування хмар впливає наявність таких особливостей місцевого рельєфу, як гори, моря, а також великі озера. Тому кількість сонячної радіації, отриманої в цих областях і прилеглих до них регіонах, може відрізнятись. Наприклад, гори можуть отримати менше сонячного випромінювання, ніж прилеглі передгір'я і рівнини. Вітри, що дмуть у бік гір, змушують частину повітря підніматися і, охолоджують вологу, що міститься в повітрі, формують хмари. Кількість сонячної радіації в прибережних районах також може відрізнятись від показників, зафіксованих в областях, розташованих всередині континенту.

Хмарність істотно впливає на ефективність геліоенергетики, крім того, середньомісячне значення інсоляції іноді істотно змінюється від одного району до іншого і від року до року.

Хмарність дійсно впливає на роботу сонячних батарей. Кількість енергії, виробленої сонячними батареями, безпосередньо залежить від кількості сонячних променів, які вони отримують.

У безхмарний день під прямими сонячними променями сонячні батареї отримують максимум світла. Саме в ці години пік вони будуть виробляти максимальну кількість енергії.

Коли сонце затягується хмарами, рівень світла знижується. Однак це не перебиває виробництво енергії. Якщо, незважаючи на хмарність, світла все ж достатньо, щоб предмети на землі відкидали тінь, батареї будуть працювати приблизно на половину своєї потужності. Більш щільна хмарність ще більше зменшить ефективність батареї. І нарешті, в дуже похмурий день сонячні батареї будуть виробляти мінімум корисної енергії.

Вплив хмарності на сонячну батарею може бути дуже сприятливим. Неймовірно, але в погану погоду сонячні батареї будуть відтворювати енергію, отриману в години пік.

Якщо сонце опиниться в просвіті між хмарами, сонячні батареї будуть отримувати прямі сонячні промені плюс відбите світло хмар! Таким чином, вони отримають навіть більше світла, ніж у ясний день.

Отже, хмарність може підвищити ефективність роботи сонячних батарей в ясну погоду аж до 50 і більше відсотків.

В зв'язку з цим стає необхідним оцінити можливі збитки в геліоенергетиці окремих регіонів України. Тобто, що відбудеться з виробництвом теплової та електричної енергії вже працюючих сонячних електростанцій, що потребує ця галузь економіки при проектуванні і будівництві нових сонячних електростанцій.

Для визначення потенційних геліоенергетичних ресурсів тої чи іншої території, обґрунтування техніко-конструкторських показників різних геліосистем, оцінки економічної ефективності їх експлуатації у різні сезони року і різний час доби в певному місці в розділі 3.4 проаналізовано набір показників: величини можливих сум надходження прямої, розсіяної, сумарної сонячної радіації; число годин сонячного сьйва (тривалість сонячного сьйва); середні показники хмарності; число ясних і похмурних днів при реалізації сучасних сценаріїв антропогенного впливу на кліматичну систему Землі: сценарій помірного впливу RCP4.5 і сценарій екстремального впливу RCP8.5 [73].

Згідно з довгостроковим прогнозом за результатами оцінок, визначених в моделях МОЦАО, для трьох періодів – 2011-2030 рр., 2041-2060 рр. і 2080-2099 рр. по відношенню до базового періоду 1986-2005 рр. зміна річного надходження сумарної сонячної радіації на територію України буде незначною ($\pm 2-6\%$) і практично однаковою у всі три періоди.

До середини XXI століття і, особливо до його кінця, згідно з модельним прогнозом зростання температури буде більш інтенсивним, що позитивно позначиться на роботі сонячних колекторів. Особливо сприятливі умови для широкого використання теплових сонячних установок будуть у західних і південних районах.

Прогнозована зміна сумарної радіації практично не вплине на роботу теплових сонячних установок, а підвищення середньої денної температури повітря на 2 градуси сприятиме збільшенню ефективності роботи сонячних колекторів.

Але існує імовірність економічних збитків в роботі геліоенергетики.

Спробуємо дати фінансову оцінку ризику, якого зазнає геліоенергетика під впливом ансамблю метеорологічних параметрів, пов'язаних з характеристиками хмарності.

В основі непрямого методу розрахунку економічного ризику лежать такі основні постулати [29]:

- розвиток індустрії і сільського господарства тісно пов'язаний з густотою населення;

- економічним еквівалентом вразливості або ціною ризику є частка валового промислового продукту (ВПП) і основного фонду, що припадає на одного жителя держави.

Оцінки збитків і ризиків зазвичай виконуються різними методами: емпіричним, евристичним (з допомогою експертних оцінок), імовірнісним (чисельне моделювання, байесовський підхід).

У розрахунках ризику, зумовленого кожним небезпечним явищем окремо, доцільно використовувати емпіричний метод.

Згідно з наведеним вище визначенням ризику його складовими служать частота небажаної події, зокрема даного небезпечного явища, і ймовірність уразливості (збитку) суб'єкта. Реципієнтом можуть служити як

певна адміністративна одиниця (місто, область, країна тощо), так і конкретний господарський об'єкт (електростанція, сільськогосподарські угіддя, житлова забудова тощо).

Ризик визначається за формулою: $R_{ек} = A \cdot p \cdot (s/S) \cdot t \cdot m \cdot k$ [29].

Виявлено, що уразливість одного господарського об'єкта (будівля) незалежно від розміру даху, його форми (односхилий, двосхилий) становить всього кілька копійок.

1.3.4 Висновки

1. Часовий розподіл сумарної радіації протягом сторіччя на території України має коливальний характер. Базовий період (1986-2005 рр.) відрізняється найменшим фоном сумарної радіації. Згідно зі сценаріями у першій половині XXI ст. (до 2050 року) не слід очікувати подальшого зменшення сумарної радіації на території України. Це є характерним для значної частини її території, окрім південних регіонів, де, особливо у перехідні сезони, чітко проглядається протилежна тенденція: передбачається збільшення у надходженні сумарної радіації. Співставлення змін, які відбуваються у паралельних 40-річних (2011–2050 рр.) рядах сумарної радіації і хмарності, дозволяють стверджувати про досить тісний зв'язок між ними.

2. Просторово-часовий розподіл середнього балу загальної хмарності по території України:

Річна кількість днів з ясним, напівясним та похмурим станом неба визначається їх режимами в теплий і холодний періоди. Для холодного періоду характерним є досить рівномірний просторовий розподіл числа таких днів, що зумовлено переважанням ролі циркуляційного фактора в формуванні режиму хмарності. Коливання їх від найбільших до найменших значень становить 10-15 днів, змінюючись від 55 на північному сході до 70 на південному заході. І тільки на півдні Криму ця цифра сягає 80 днів. В теплий період року просторовий розподіл числа ясних і напівясних днів аналогічний річному. Тут чітко проявляється широтність ізоліній однакового числа днів від 155 на півночі до 185 на півдні. Своєрідним режимом ясних і напівясних днів відрізняються тільки західні райони, де в умовах складних орографічних і циркуляційних умов спостерігається зменшення їх числа до 138–168 днів.

Для липня і жовтня визначальним є зональне розташування ізоліній однакового числа ясних і напівясних днів. Зазначимо, що від квітня до липня спостерігається значне зростання таких днів, а від липня до жовтня їх зменшення відбувається повільніше.

3. Загальна характеристика тривалості сонячного сяйва по території України:

В зоні Полісся тривалість сонячного сьйва становить 22-30 годин за місяць, в Лісостепу і північній частині Степу вона збільшується до 33-45 годин, а в південній частині Степу – до 45-60 годин.

Починаючи з березня, у зв'язку зі збільшенням тривалості дня (приблизно з 8 годин у грудні до 12 годин в березні) і помітним зменшенням хмарності ТСС зростає досить різко: в Поліссі і Лісостепу до 100 – 120 годин.

Максимальних значень місячна тривалість сонячного сьйва досягає в липні і становить в Поліссі і Лісостепу 240-300 годин (40-60 % від можливої), в Степу – 310 - 330 годин (до 70 % від можливої), а в Криму до 350 годин. Це визначено найбільшою тривалістю дня і найбільшим числом ясних і напівясних днів в порівнянні з іншими місяцями.

Порівняльний аналіз отриманих результатів стосовно базового періоду 1986-2005 рр. свідчить: максимальне надходження середньої добової за місяць короткохвильової радіації за сценарними даними спостерігається в липні місяці в усіх географічних зонах; досягає максимальних значень 250-270 Вт/м² в Поліссі та Лісостепу і майже 300 Вт/м² в Степу. В той час, як в базовому періоді максимальне надходження середньої добової за місяць короткохвильової радіації відзначалось в травні і значення були на 50 – 70 Вт/м² меншими.

В південних районах, де навіть в холодний період число ясних і напівясних днів складає майже половину від мінімального значення можна передбачити безперебійну роботу геліоустановок протягом усього року.

У результаті аналізу посезонних коливань сонячної енергії на території України можна стверджувати, що відбувається зменшення рівня сонячної енергії по широтах з півдня на північ. Потенціал розсіяної сонячної радіації менший відносно прямої ~ вдвічі. Розсіяна радіація переважає над прямою на усіх широтах України лише взимку, а навесні та восени – на північних територіях. Влітку спостерігається збільшення надходження прямої сонячної радіації ~ в 10 разів відносно зимового періоду, тому ефективність плоских сонячних колекторів збільшується у літній період.

4. Найкраще солярна система працює, коли вона спроектована з урахуванням реальних місцевих умов, на підставі таких вихідних даних:

- кількість сонячних годин і інтенсивність сонячного випромінювання змінюється в залежності від забруднення атмосфери (місто, сільська місцевість, гори);
- річні коливання зовнішніх температур, вітру або інших ускладнюючих метеорологічних явищ, насамперед, обмерзання, оскільки воно зумовлює теплові втрати колектора;
- положення – ідеальне положення на південь; південно-західне положення є кращим, оскільки максимальна продуктивність системи настає, як правило, близько 14 години, коли у зв'язку з максимальною

денною температурою повітря втрати мінімальні; автоматичний поворот колектора за рухом сонця не економічний;

- нахил сонячних колекторів для цілорічної експлуатації може становити від 38 до 56° відносно горизонту;

- теплоспоживання протягом року в ідеалі повинно повторювати зміни сонячного випромінювання. Більше підходять багатоквартирні будинки та котеджі. Школи, навпаки, не дуже підходять, оскільки в період найбільш інтенсивного сонячного випромінювання вони, як правило, не використовуються.

Прогнозована зміна сумарної радіації практично не вплине на роботу теплових сонячних установок, а підвищення середньої денної температури повітря на 2 градуси сприятиме збільшенню ефективності роботи сонячних колекторів. Підсумовуючи вищенаведені дані, можемо стверджувати, що кількість сонячної енергії достатньо надходить на територію України для забезпечення енергетично-залежних потреб населення. Тому в перспективі галузь сонячної енергетики розвиватиметься.

Отже, використання нетрадиційних джерел енергії має великий потенціал на території України і за кількістю, і за можливістю впровадження їх у систему енергозабезпечення країни.

Дослідження динаміки режиму сонячної радіації на території України під час глобального потепління проведено з використанням сценарних даних з середніх місячних значень сумарної радіації за період 2011–2050 рр. [4].

Питання для самоконтролю

1. Причини, з яких потенційні можливості сонячної радіації не находили широкого використання в практичній діяльності людини.
2. Показники сонячного кадастру для оцінки геліоресурсів.
3. Річна кількість днів з ясным і напівясним станом неба на території України повсюдно.
4. Енергетичний потенціал України.
5. В південних районах України безперебійну роботу геліоустановок можна передбачити протягом періоду?
6. Тенденція збільшення ясного і напівясного стану неба притаманна якій частині України?
7. Тенденція зменшення ясного і напівясного стану неба притаманна якій частині України?
8. Для крайнього півдня України притаманна.
9. Найбільш сприятливі умови для ефективної роботи геліосистем в м. Одеса можна очікувати в період.
10. Найменш сприятливі умови для ефективної роботи геліосистем в м. Одеса можна очікувати в період.

1.4 Вплив змін клімату на вітроенергетичні ресурси України

У розділі наводяться результати розрахунків майбутніх регіональних змін вітрового режиму, отримані за допомогою ансамблю глобальних моделей загальної циркуляції атмосфери і океану (МЗЦА) нового покоління [74,75] з врахуванням антропогенного впливу відповідно до сучасних сценаріїв сімейства RCP (Representative Concentration Pathways).

Можливі кліматичні зміни вітрового режиму України досліджуються на основі результатів моделювання клімату за сценаріями RCP4.5 і RCP8.5. Зміни режиму аналізуються для двох періодів 2011-2030 рр. і 2031-2050 рр. порівняно з режимом вітру за період кліматичної норми 1961-1990 рр. Початкова інформація про вітрові характеристики отримана за допомогою кліматичних моделей:

- широтні та меридіональні складові вектору вітру;
- середні та максимальні (пориви) швидкості вітру, осереднені за добу.

Майбутні вітрові характеристики представлені для 27 міст України [4]. Оскільки вітрові умови будь-якого регіону прийнято характеризувати вітроенергетичним кадастром, тому, в рамках виконуваного проекту, отримані такі характеристики вітрового потоку:

1. Середньомісячні та середньорічні швидкості вітру.
2. Середньомісячні та середньорічні швидкості поривів вітру.
3. Абсолютні мінімуми і максимуми середньодобових швидкостей вітру протягом року і місяця.
4. Повторюваність значень швидкості та напрямів вітру протягом року і місяця.
5. Дані про порив і максимальні значення швидкості вітру.
6. Статистичні характеристики розподілу швидкості та напрямку вітру: середньоквадратичне відхилення (дисперсія), асиметрія, ексцес за рік і місяць.
7. Статистичні характеристики розподілу швидкості поривів вітру: середньоквадратичне відхилення (дисперсія), асиметрія, ексцес за рік і місяць.
8. Середньомісячні та середньорічні швидкості вітру на висотах 100, 200, 300 м.
9. Статистичні характеристики розподілу швидкості вітру на висотах: середньоквадратичне відхилення (дисперсія), асиметрія, ексцес протягом року і місяця.

Для аналізу змін вітрового режиму територія України поділена на п'ять регіонів:

1) північна область NU: Житомирська, Київська, Чернігівська, Сумська області;

- 2) східна область EU: Харківська, Луганська, Донецька області;
- 3) південна область SU: Запорізька, Херсонська, Миколаївська, Одеська області, АР Крим;
- 4) західна область WU: Львівська, Чернівецька, Хмельницька, Рівненська, Луцька, Закарпатська, Івано-Франківська, Тернопільська області;
- 5) центральна область ZU: Полтавська, Дніпропетровська, Кіровоградська, Черкаська, Вінницька області.

Вибір регіонів проведено з урахуванням подібності фізико-географічних умов, однотипності прояву кліматоутворювальних факторів і відносній однорідності кліматичних полів, адміністративно-територіального поділу, який використовувався при розробці адаптаційних заходів і розвитку регіонів у зв'язку зі зміною клімату. Такий поділ території дозволяє провести детальну деталізацію просторових вітрових полів.

Часові зміни середньорічних швидкостей вітру [4].

Виконано аналіз порівняння режиму вітру за минулий 30-річний кліматичний період (1961-1990 рр.) з прогностичними даними, отриманих за моделями МЗЦА в рамках сценаріїв RCP4.5 і RCP8 за періоди (2011-2030 рр.) і (2030-2050 рр.).

У таблиці 1.6 показані результати цього порівняння для п'яти регіонів України (27 метеостанцій). На всіх станціях за сценаріями RCP4.5 і RCP8.5 прогнозується збільшення швидкості вітру, а з огляду на те, що осереднення проведено за 30-річний період можна визнати, що швидкість вітру значно збільшується. Різниця в середніх швидкостях вітру для двох сценаріїв за прогнозовані періоди абсолютно незначна.

Нижче в таблицях 1.7 і 1.8 показані ці різниці для періодів 2011-2030 рр. та 2031-2050 рр. Осереднена для кожного регіону швидкість вітру за період 2011-2030 рр. скрізь вища на 0,2-0,7 м/с (колонка «рік»), ніж швидкість за кліматичною нормою. На окремих станціях зростання швидкості в різні сезони року буде перевищувати 1,0 м/с. Особливо, це підвищення торкнеться північного регіону, де зростання буде до 1,3 м/с. У таблиці 1.8 показані аналогічні різниці швидкостей вітру між швидкістю \bar{V}_M за сценарієм RCP4.5 зі швидкістю вітру \bar{V}_{KH} за період 2031-2050 рр.

Прогнозовані швидкості приземного вітру для середини XXI століття показані в таблицях 1.9 і 1.10.

Таблиця 1.6 – Середньорічні швидкості вітру за сценаріями RCP4.5 і RCP8.5, для періодів 2011-2030 рр., 2031-2050 рр., різниця швидкостей між сценаріями $\Delta V = (\bar{V}_{RCP4.5} - \bar{V}_{RCP8.5})$, м/с і швидкість за кліматичною нормою [4]

Назва станцій	Норма	2011-2030			2031-2050		
		RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5 - RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5 - RCP8.5
Західна частина України (W.U.)							
Ковель	3	4,51	4,56	-0,05	4,52	4,48	0,04
Рівне	4,2	4,28	4,31	-0,03	4,26	4,27	-0,01
Стрий	2,4	3,98	3,96	0,02	3,94	3,97	-0,03
Тернопіль	3,4	4,05	4,04	0,01	4,01	4,04	-0,03
Хмельницький	3,5	4,11	4,10	0,01	4,11	4,12	-0,01
Ужгород	2,5	2,49	2,41	0,08	2,50	2,46	0,04
Коломия	2,2	3,02	3,03	-0,01	2,99	3,00	-0,01
Чернівці	3,6	2,88	2,87	0,01	2,81	2,90	-0,09
Середнє	3,1	3,66	3,66	0	3,64	3,66	-0,02
Північна частина України (N.U.)							
Семенівка	3,2	4,43	4,45	-0,02	4,46	4,40	0,06
Глухів	3,1	4,42	4,42	0	4,47	4,41	0,06
Коростень	3,5	4,01	4,03	-0,02	4,00	4,00	0
Ніжин	2,8	4,27	4,29	-0,02	4,31	4,24	0,07
Фастів	2,2	4,18	4,15	0,03	4,18	4,12	0,06
Середнє	2,96	4,26	4,27	-0,01	4,28	4,23	0,05
Центральна частина України (C.U.)							
Черкаси	3,9	4,27	4,24	0,03	4,33	4,24	0,09
Веселий Поділ	3,6	4,03	4,00	0,03	4,06	4,00	0,06
Вінниця	3,3	4,09	4,05	0,04	4,08	4,06	0,02
Кіровоград	4,1	3,96	3,90	0,06	3,98	3,94	0,04
Дніпропетровськ Кайдакі	4,7	3,93	3,89	0,04	3,96	3,95	0,01
Середнє	3,92	4,06	4,02	0,04	4,08	4,04	0,04
Східна частина України (E.U.)							
Красноармійськ	3,6	4,11	4,05	0,06	4,07	4,13	-0,06
Харків	4	4,15	4,12	0,03	4,21	4,17	0,04
Біловодськ	2,9	4,19	4,18	0,01	4,23	4,23	0
Середнє	3,5	4,15	4,12	0,03	4,17	4,18	-0,01
Південна частина України (S.U.)							
Вознесенськ	2,6	4,05	4,04	0,01	4,08	4,07	0,01
Пришиб	3,4	4,01	3,93	0,08	3,99	4,03	-0,04
Одеса аеропорт	3,9	4,42	4,35	0,07	4,40	4,44	-0,04
Нова Каховка	3,5	4,26	4,17	0,09	4,24	4,27	-0,03
Ізмаїл	3,6	3,67	3,63	0,04	3,69	3,72	-0,03
Клепиніне	3,1	3,67	3,60	0,07	3,62	3,68	-0,06
Середнє	3,35	4,01	3,95	0,06	4,00	4,04	-0,04

Таблиця 1.7 – Різниця між середньомісячними швидкостями вітру V_M за період 2011-2030 рр. та швидкостями, які відповідають кліматичній нормі V_{KH} , $\Delta \bar{V} = \bar{V}_M - \bar{V}_{KH}$.
Сценарій RCP4.5 [4]

Назва Станції	Місяці												Рік
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Західна частина України (W.U.)													
Ковель	2,1	1,9	1,2	1,3	1,3	1,3	1	1,4	1,7	1,6	1,4	2	1,5
Рівне	0,8	0,7	0,1	-0,2	0	0,1	-0,3	0,2	0,1	0	-0,3	0,3	0,1
Стрий	1,7	2	1,6	1,5	1,5	1,2	1,1	1,5	1,8	1,5	1,4	1,8	1,6
Тернопіль	1	0,9	0,5	0,5	0,6	0,5	0,3	0,6	0,8	0,6	0,3	0,8	0,6
Хмельницький	1	0,8	0,6	0,4	0,6	0,4	0,2	0,6	0,9	0,6	0,2	0,7	0,6
Ужгород	0,4	0,2	0,1	-0,2	-0,2	-0,1	-0,2	0,1	0,2	0	-0,3	0,3	0
Коломия	1,5	1,6	0,8	0,5	0,3	0,5	0,2	0,6	1	0,7	0,9	1,5	0,8
Чернівці	-0,9	-1,1	-1	-0,9	-0,8	-0,8	-0,9	-0,6	-0,2	-0,5	-0,6	-0,7	-0,7
Середнє	1	0,8	0,5	0,3	0,4	0,4	0,2	0,5	0,8	0,5	0,4	0,9	0,6
Північна частина України (N.U.)													
Семенівка	2,1	1,8	1,6	1,1	0,9	0,8	0,8	1	1	1	0,9	1,3	1,2
Глухів	2,3	2	1,7	1,1	0,9	0,9	0,8	1	1,2	1,1	1,1	1,4	1,3
Коростень	1	1,1	0,7	0,4	0,5	0,5	0	0,4	0,4	0,4	0,3	0,8	0,5
Ніжин	2,1	1,8	1,8	1,4	1,1	1	0,9	1,2	1,5	1,5	1,4	1,6	1,5
Фастів	2,8	2,5	2,3	1,7	1,5	1,7	1,4	1,6	2	2	2,2	2,5	2
Середнє	2,1	1,9	1,6	1,1	1	1	0,7	1	1,2	1,2	1,2	1,5	1,3
Центральна частина України (C.U.)													
Черкаси	0,7	0,5	0,5	0	-0,1	0,3	0,1	0,2	0,7	0,6	0,6	0,6	0,4
Веселий Поділ	0,5	0,3	0,7	0,1	0,3	0,5	0,2	0,3	0,7	0,5	0,4	0,5	0,4
Вінниця	1,3	1	1	0,6	0,7	0,7	0,3	0,6	1	0,8	0,7	0,9	0,8
Кіровоград	0	-0,1	0,1	-0,3	-0,3	-0,1	-0,2	-0,2	0,2	0	0	-0,1	-0,1
Дніпро Кайдакі	-1	-1,2	-0,6	-0,9	-0,8	-0,4	-0,5	-0,4	-0,3	-0,8	-0,8	-0,9	-0,8
Середнє	0,3	0,1	0,3	-0,1	-0,1	0,2	0	0,1	0,5	0,2	0,1	0,2	0,2
Східна частина України (E.U.)													
Красноармійськ	0	0	0,7	0,2	0	0,4	0,8	0,9	1	0,7	0,5	0,5	0,5
Харків	0,3	0,2	0,3	-0,1	-0,2	0	0	0,3	0,6	0,1	0,1	0,3	0,1
Біловодськ	1,4	1,4	1,4	1,2	1	1,4	1,3	1,5	1,5	1,2	1,2	1,3	1,3
Середнє	0,5	0,5	0,8	0,4	0,3	0,6	0,6	0,9	1	0,6	0,6	0,7	0,6
Південна частина України (S.U.)													
Вознесенськ	1,3	1,4	1,6	1,3	1,3	1,4	1,4	1,6	1,9	1,6	1,5	1,4	1,5
Пришиб	0,5	0,1	0,8	0,5	0,3	0,7	0,7	0,7	1	0,8	0,8	0,8	0,6
Одеса аеропорт	0,2	0,4	0,9	0,9	0,5	0,8	0,4	0,4	0,9	0,6	0,5	0,5	0,5
Нова Каховка	0,1	0,1	0,9	1,1	0,9	1	0,9	0,8	1,1	0,7	0,5	0,4	0,8
Ізмаїл	-0,3	-0,3	0	-0,3	-0,4	-0,1	-0,1	0,2	0,6	0,8	0,6	0,1	0,1
Клепиніне	0,3	0	0,4	0,6	0,4	0,7	0,6	0,7	0,8	1	0,6	0,6	0,6
Середнє	0,3	0,2	0,8	0,6	0,5	0,8	0,6	0,7	1	0,9	0,7	0,6	0,6

Таблиця 1.8 – Різниця між середньомісячними швидкостями вітру V_M за період 2031-2050 рр. та швидкостями, які відповідають кліматичній нормі V_{KH} , $\Delta \bar{V} = \bar{V}_M - \bar{V}_{KH}$. Сценарій RCP4.5 [4]

Назва станції	Місяці												Рік
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Західна частина України (W.U.)													
Ковель	2	1,64	1,39	1,15	1,44	1,28	1,22	1,52	1,78	1,52	1,33	2,09	2
Рівне	0,69	0,33	0,28	-0,3	0,04	-0,03	-0,06	0,3	0,11	0	-0,43	0,4	0,69
Стрий	1,67	1,8	1,6	1,23	1,51	1,12	1,17	1,69	1,69	1,59	1,23	1,92	1,67
Тернопіль	0,94	0,62	0,59	0,27	0,61	0,47	0,39	0,78	0,74	0,64	0,11	0,9	0,94
Хмельницький	1,05	0,56	0,61	0,19	0,68	0,3	0,41	0,78	0,79	0,67	0,11	0,82	1,05
Ужгород	0,38	0,2	0,14	-0,35	-0,05	-0,02	-0,07	0,22	0,13	0,06	-0,25	0,13	0,38
Коломия	1,38	1,07	0,86	0,28	0,33	0,52	0,35	0,74	0,87	0,8	0,69	1,88	1,38
Чернівці	-1,15	-1,27	-0,89	-1,15	-0,88	-0,84	-0,89	-0,55	-0,35	-0,49	-0,88	-0,59	-1,15
Середнє	0,87	0,62	0,57	0,17	0,46	0,35	0,31	0,68	0,71	0,6	0,24	0,95	0,87
Північна частина України (N.U.)													
Семенівка	2,13	1,61	1,82	0,86	1,08	0,87	0,92	1	1,03	0,89	0,93	1,54	1,26
Глухів	2,22	1,84	1,91	0,96	1,15	0,98	1,05	1,01	1,16	0,97	1,12	1,71	1,37
Коростень	0,9	0,88	0,68	0,22	0,69	0,36	0,33	0,38	0,46	0,47	0,25	0,74	0,5
Ніжин	2,19	1,69	1,83	1,14	1,34	1,08	1,14	1,21	1,45	1,41	1,42	1,81	1,51
Фастів	2,69	2,23	2,31	1,46	1,71	1,52	1,68	1,69	1,95	2	2,07	2,65	1,98
Середнє	2,03	1,65	1,71	0,93	1,2	0,96	1,02	1,06	1,21	1,15	1,16	1,69	1,32
Центральна частина України (C.U.)													
Черкаси	0,87	0,5	0,58	-0,14	0,2	0,25	0,42	0,26	0,61	0,55	0,53	0,9	0,43
Веселий Поділ	0,77	0,25	0,66	0,07	0,5	0,41	0,47	0,33	0,55	0,4	0,31	0,71	0,46
Вінниця	1,34	0,84	0,97	0,33	0,76	0,56	0,45	0,8	0,88	0,87	0,58	1,14	0,78
Кіровоград	0,23	-0,21	-0,06	-0,34	-0,17	-0,21	0,03	-0,16	-0,01	-0,03	-0,02	0,12	-0,12
Дніпро Кайдаки	-0,88	-1,12	-0,56	-0,94	-0,62	-0,48	-0,25	-0,36	-0,49	-0,96	-0,81	-0,74	-0,74
Середнє	0,47	0,05	0,32	-0,2	0,13	0,1	0,23	0,17	0,31	0,16	0,12	0,42	0,16
Східна частина України (E.U.)													
Красноармійськ	0,12	0,09	0,49	0,1	-0,05	0,39	1,02	0,83	0,82	0,67	0,31	0,5	0,47
Харків	0,59	0,22	0,36	-0,15	0,14	0,06	0,23	0,34	0,29	-0,01	0,17	0,46	0,21
Біловодськ	1,51	1,33	1,48	1,21	1,08	1,41	1,56	1,4	1,38	1,12	1,29	1,51	1,33
Середнє	0,74	0,55	0,77	0,38	0,4	0,62	0,93	0,86	0,83	0,59	0,59	0,83	0,67
Південна частина України (S.U.)													
Вознесенськ	1,49	1,46	1,49	1,29	1,4	1,28	1,71	1,65	1,75	1,55	1,36	1,62	1,48
Пришиб	0,55	0,11	0,71	0,32	0,38	0,45	0,86	0,72	0,77	0,76	0,73	0,88	0,59
Одеса аеропорт	0,44	0,38	0,73	0,69	0,6	0,53	0,57	0,43	0,59	0,5	0,31	0,73	0,5
Нова Каховка	0,31	0,22	0,79	0,88	0,91	0,79	1,07	0,91	0,95	0,73	0,29	0,48	0,74
Ізмаїл	-0,07	-0,27	-0,17	-0,52	-0,38	-0,3	0,13	0,4	0,55	0,81	0,52	0,43	0,09
Клепиніне	0,26	0	0,17	0,27	0,17	0,55	0,72	0,76	0,8	1,02	0,53	0,63	0,52
Середнє	0,5	0,31	0,62	0,48	0,51	0,55	0,84	0,81	0,9	0,89	0,62	0,79	0,65

Таблиця 1.9 – Середньомісячні швидкості вітру за прогнозований період 2011-2030 рр., згідно зі сценарієм RCP4.5 для п'яти регіонів України [4]

Назва Станції	Місяці												Рік
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Західна частина України (W.U.)													
Ковель	5,63	5,43	4,79	4,49	4,00	3,81	3,37	3,58	4,14	4,48	4,96	5,37	4,51
Рівне	5,63	5,39	4,72	4,08	3,66	3,50	3,03	3,34	3,81	4,18	4,79	5,22	4,28
Стрий	4,84	4,83	4,46	4,08	3,62	3,31	2,97	3,13	3,71	3,83	4,33	4,62	3,98
Тернопіль	5,02	4,99	4,53	4,08	3,61	3,34	2,98	3,14	3,71	3,90	4,44	4,81	4,05
Хмельницький	5,11	5,00	4,67	4,19	3,68	3,43	3,05	3,25	3,80	3,97	4,42	4,81	4,11
Ужгород	2,57	2,72	2,94	2,86	2,50	2,34	2,07	2,22	2,50	2,32	2,25	2,57	2,49
Коломия	3,79	3,97	3,26	3,07	2,65	2,62	2,25	2,40	2,77	2,64	3,24	3,62	3,02
Чернівці	3,08	3,09	3,10	3,08	2,77	2,64	2,35	2,46	2,87	2,87	3,17	3,04	2,88
Середнє	4,46	4,43	4,06	3,74	3,31	3,12	2,76	2,94	3,41	3,52	3,95	4,26	3,66
Північна частина України (N.U.)													
Семенівка	5,83	5,58	5,14	4,51	3,83	3,48	3,25	3,37	3,93	4,26	4,71	5,24	4,43
Глухів	5,87	5,72	5,16	4,45	3,79	3,46	3,19	3,41	3,91	4,2	4,65	5,19	4,42
Коростень	5	4,81	4,45	3,97	3,49	3,42	2,95	3,27	3,63	3,94	4,44	4,77	4,01
Ніжин	5,38	5,18	4,98	4,36	3,75	3,45	3,18	3,37	3,87	4,2	4,59	4,95	4,27
Фастів	5,36	5,08	4,78	4,17	3,61	3,46	3,07	3,31	3,80	4,08	4,56	4,88	4,18
Середнє	5,49	5,27	4,90	4,29	3,69	3,45	3,13	3,34	3,83	4,13	4,59	5,00	4,26
Центральна частина України (C.U.)													
Черкаси	5,24	5,10	4,92	4,30	3,71	3,54	3,23	3,38	4,02	4,18	4,73	4,92	4,27
Веселий Поділ	4,75	4,80	4,78	4,14	3,56	3,35	3,14	3,27	3,82	3,93	4,27	4,54	4,03
Вінниця	5,02	4,94	4,73	4,18	3,66	3,41	3,06	3,24	3,79	4,01	4,36	4,64	4,09
Кіровоград	4,51	4,66	4,69	4,08	3,58	3,40	3,20	3,26	3,79	3,83	4,22	4,29	3,96
Дніпро Кайдаки	4,37	4,53	4,59	4,14	3,58	3,37	3,22	3,35	3,83	3,77	4,10	4,34	3,93
Середнє	4,78	4,81	4,74	4,17	3,62	3,42	3,17	3,30	3,85	3,94	4,33	4,55	4,06
Східна частина України (E.U.)													
Красноармійськ	4,29	4,58	4,90	4,32	3,73	3,55	3,61	3,72	3,87	3,95	4,32	4,47	4,11
Харків	4,82	4,97	4,94	4,32	3,64	3,42	3,26	3,48	3,98	3,92	4,31	4,72	4,15
Біловодськ	4,79	4,98	4,81	4,31	3,79	3,64	3,45	3,71	3,95	3,88	4,32	4,68	4,19
Середнє	4,63	4,84	4,88	4,32	3,72	3,54	3,44	3,64	3,93	3,92	4,32	4,62	4,15
Південна частина України (S.U.)													
Вознесенськ	4,22	4,35	4,72	4,34	3,92	3,82	3,59	3,71	3,99	3,82	4,11	4,06	4,05
Пришиб	4,48	4,59	4,77	4,30	3,59	3,40	3,26	3,44	3,76	3,86	4,29	4,41	4,01
Одеса аеропорт	4,76	4,96	5,16	4,68	3,90	3,98	3,60	3,69	4,27	4,45	4,79	4,80	4,42
Нова Каховка	4,35	4,45	4,95	4,72	4,12	4,04	3,85	3,94	4,08	3,98	4,31	4,35	4,26
Ізмаїл	3,68	4,06	4,32	3,98	3,40	3,37	3,13	3,11	3,53	3,83	3,88	3,71	3,67
Клепиніне	3,95	4,07	4,33	4,07	3,41	3,33	3,15	3,26	3,32	3,57	3,76	3,86	3,67
Середнє	4,24	4,41	4,71	4,35	3,72	3,66	3,43	3,53	3,82	3,92	4,19	4,20	4,01

Таблиця 1.10 – Середньомісячні швидкості вітру за прогнозований період 2031-2050 рр., згідно зі сценарієм RCP4.5 для п'яти регіонів України [4]

Назва станції	Місяці												Рік
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Західна частина України (W.U.)													
Ковель	5,50	5,14	4,99	4,35	4,14	3,78	3,62	3,72	4,18	4,42	4,93	5,49	4,52
Рівне	5,49	5,03	4,88	4,00	3,74	3,37	3,24	3,40	3,81	4,20	4,67	5,30	4,26
Стрий	4,77	4,60	4,50	3,83	3,61	3,22	3,07	3,29	3,59	3,89	4,13	4,72	3,94
Тернопіль	4,94	4,72	4,59	3,87	3,61	3,27	3,09	3,28	3,64	3,94	4,21	4,90	4,01
Хмельницький	5,15	4,76	4,71	3,99	3,78	3,30	3,21	3,38	3,69	4,07	4,31	4,92	4,11
Ужгород	2,58	2,70	2,94	2,75	2,65	2,38	2,23	2,32	2,43	2,36	2,25	2,43	2,50
Коломия	3,68	3,47	3,36	2,88	2,63	2,62	2,35	2,54	2,67	2,70	2,99	3,98	2,99
Чернівці	2,85	2,93	3,21	2,85	2,72	2,56	2,41	2,55	2,75	2,91	2,92	3,11	2,81
Середнє	4,37	4,17	4,15	3,57	3,36	3,06	2,90	3,06	3,34	3,56	3,80	4,36	3,64
Північна частина України (N.U.)													
Семенівка	5,83	5,41	5,32	4,26	3,98	3,57	3,42	3,4	3,93	4,19	4,73	5,44	4,46
Глухів	5,82	5,54	5,41	4,26	4,05	3,58	3,45	3,41	3,86	4,07	4,72	5,51	4,47
Коростень	4,9	4,58	4,48	3,82	3,69	3,26	3,23	3,28	3,66	3,97	4,35	4,74	4
Ніжин	5,49	5,09	5,03	4,14	3,94	3,48	3,44	3,41	3,85	4,11	4,62	5,11	4,31
Фастів	5,29	4,83	4,81	3,96	3,81	3,32	3,38	3,39	3,75	4,10	4,47	5,05	4,18
Середнє	5,47	5,09	5,01	4,09	3,90	3,44	3,38	3,38	3,81	4,09	4,58	5,17	4,28
Центральна частина України (C.U.)													
Черкаси	5,37	5,10	4,98	4,16	4,00	3,45	3,52	3,46	3,91	4,15	4,63	5,20	4,33
Веселий Поділ	4,97	4,75	4,76	4,07	3,80	3,31	3,37	3,33	3,65	3,80	4,21	4,71	4,06
Вінниця	5,04	4,74	4,67	3,93	3,76	3,26	3,25	3,40	3,68	4,07	4,28	4,84	4,08
Кіровоград	4,73	4,59	4,54	4,06	3,73	3,29	3,43	3,34	3,59	3,77	4,18	4,52	3,98
Дніпро Кайдакі	4,52	4,58	4,64	4,06	3,78	3,32	3,45	3,44	3,61	3,64	4,09	4,46	3,96
Середнє	4,93	4,75	4,72	4,06	3,81	3,32	3,41	3,39	3,69	3,88	4,28	4,74	4,08
Східна частина України (E.U.)													
Красноармійськ	4,42	4,69	4,69	4,20	3,65	3,49	3,82	3,63	3,72	3,97	4,11	4,50	4,07
Харків	5,09	5,02	4,96	4,25	3,94	3,46	3,53	3,54	3,69	3,79	4,37	4,86	4,21
Біловодськ	4,91	4,93	4,88	4,31	3,88	3,61	3,76	3,60	3,78	3,82	4,39	4,91	4,23
Середнє	4,81	4,88	4,84	4,25	3,83	3,52	3,70	3,59	3,73	3,86	4,29	4,76	4,17
Південна частина України (S.U.)													
Вознесенськ	4,39	4,46	4,59	4,29	4,00	3,68	3,91	3,75	3,85	3,75	3,96	4,32	4,08
Пришиб	4,55	4,61	4,71	4,12	3,68	3,15	3,46	3,42	3,57	3,86	4,23	4,48	3,99
Одеса аеропорт	5,04	4,98	5,03	4,49	4,00	3,73	3,77	3,73	3,99	4,40	4,61	5,03	4,40
Нова Каховка	4,51	4,62	4,79	4,48	4,11	3,79	4,07	4,01	3,95	4,03	4,09	4,38	4,24
Ізмаїл	3,93	4,13	4,13	3,78	3,42	3,20	3,33	3,30	3,45	3,81	3,82	4,03	3,69
Клепиніне	3,96	4,10	4,07	3,77	3,17	3,15	3,32	3,36	3,30	3,62	3,73	3,93	3,62
Середнє	4,40	4,48	4,55	4,15	3,73	3,45	3,64	3,59	3,68	3,91	4,07	4,36	4,00

Практично на всіх станціях України в теплий період року середньомісячні швидкості вітру будуть більші ніж 3,0 м/с, а в холодний –

більші ніж 4,0 м/с. Отримані швидкості приземного вітру можуть бути основою для розрахунку висотного вітру, дані про який вкрай необхідні для розвитку вітроенергетики України. Приклад розрахунку швидкості вітру на різних висотах до 300 м наведено в таблиці 1.11.

Таблиця 1.11 – Швидкості вітру на висотах 100, 200 і 300 м, прогнозовані за сценарієм RCP4.5 для 5 регіонів України [4]

Назва станції	2011-2030				2031-2050			
	C10	C100	C200	C300	C10	C100	C200	C300
Ковель	4,51	7,10	8,14	8,83	4,52	7,13	8,19	8,88
Рівне	4,28	6,73	7,72	8,37	4,26	6,71	7,70	8,35
Стрий	3,98	6,27	7,20	7,80	3,94	6,21	7,13	7,73
Тернопіль	4,05	6,37	7,31	7,93	4,01	6,31	7,25	7,86
Хмельницький	4,11	6,48	7,44	8,07	4,11	6,47	7,43	8,06
Ужгород	2,49	3,95	4,54	4,93	2,50	3,97	4,57	4,97
Коломия	3,02	4,76	5,46	5,92	2,99	4,71	5,41	5,87
Чернівці	2,88	4,55	5,23	5,67	2,81	4,46	5,12	5,56
Середнє	3,66	5,78	6,63	7,19	3,64	5,75	6,60	7,16
Семенівка	4,43	6,97	8,00	8,67	4,46	7,02	8,06	8,74
Глухів	4,42	6,95	7,97	8,64	4,47	7,05	8,09	8,77
Коростень	4,01	6,32	7,25	7,86	4,00	6,30	7,24	7,85
Ніжин	4,27	6,73	7,72	8,37	4,31	6,79	7,80	8,45
Фастів	4,18	6,58	7,55	8,19	4,18	6,59	7,57	8,20
Середнє	4,26	6,71	7,70	8,35	4,28	6,75	7,75	8,40
Черкаси	4,27	6,74	7,73	8,38	4,33	6,82	7,83	8,49
Веселий Поділ	4,03	6,36	7,30	7,92	4,06	6,41	7,37	7,99
Вінниця	4,09	6,44	7,40	8,02	4,08	6,43	7,38	8,00
Кіровоград	3,96	6,26	7,19	7,79	3,98	6,29	7,23	7,84
Дніпропетровськ Кайдакі	3,93	6,22	7,14	7,75	3,96	6,27	7,21	7,82
Середнє	4,06	6,40	7,35	7,97	4,08	6,45	7,40	8,03
Красноармійськ	4,11	6,51	7,48	8,12	4,07	6,45	7,42	8,05
Харків	4,15	6,55	7,52	8,16	4,21	6,65	7,64	8,29
Біловодськ	4,19	6,63	7,62	8,26	4,23	6,69	7,69	8,34
Середнє	4,15	6,56	7,54	8,18	4,17	6,60	7,58	8,23
Вознесенськ	4,05	6,43	7,40	8,03	4,08	6,47	7,44	8,08
Пришиб	4,01	6,34	7,29	7,90	3,99	6,30	7,24	7,85
Одеса аеропорт	4,42	6,99	8,03	8,71	4,40	6,95	7,99	8,66
Нова Каховка	4,26	6,77	7,78	8,45	4,24	6,72	7,73	8,39
Ізмаїл	3,67	5,81	6,68	7,25	3,69	5,84	6,72	7,29
Клепиніне	3,67	5,82	6,69	7,27	3,62	5,74	6,59	7,15
Середнє	4,01	6,36	7,31	7,93	4,00	6,34	7,29	7,91

Таким чином, якщо вірити вітровим даним, отриманим з урахуванням сценаріїв RCP4.5 і RCP8.5, можна констатувати збільшення швидкості вітру в усіх 5 регіонах України. Ці результати дзеркально відрізняються від зміни вітрового режиму України, отриманої за сценаріями A1 і A2 і опублікованої в роботі [6]. Вкрай цікавими є результати порівняння швидкостей вітру, осереднених за прогнозовані періоди, зі швидкостями вітру з кліматичної норми. Річний хід різниць $\Delta \bar{V} = \bar{V}_M - \bar{V}_{KH}$ середньомісячних швидкостей вітру V_M і швидкостей кліматичної норми V_{KH} представлено на рисунках 1.7 та 1.8.

Незалежно від сценарію виявляються такі закономірності:

- а) швидкості вітру збільшуються в середньому на 0,5 м/с у всіх регіонах України щодо «кліматичної норми»;
- б) найбільш помітне збільшення швидкості, на 1,3 м/с, прогнозується в північному регіоні (лінія з квадратними маркерами);
- в) швидкість вітру в межах значень кліматичної норми зберігається тільки у центральній частині України (лінія з трикутними маркерами);
- г) відмінності в результатах прогнозування значень швидкості вітру між сценаріями практично відсутні (табл. 1.6). Відмінності проявляються лише в просторовому розподілі по території України в знаках різниць швидкостей вітру між двома сценаріями.

Проаналізуємо далі результати змін режиму вітру в першому (2010-2030 рр.) і другому (2031-2050 рр.) прогнозованому періоді.

Сценарій RCP4.5 (рис. 1.22).

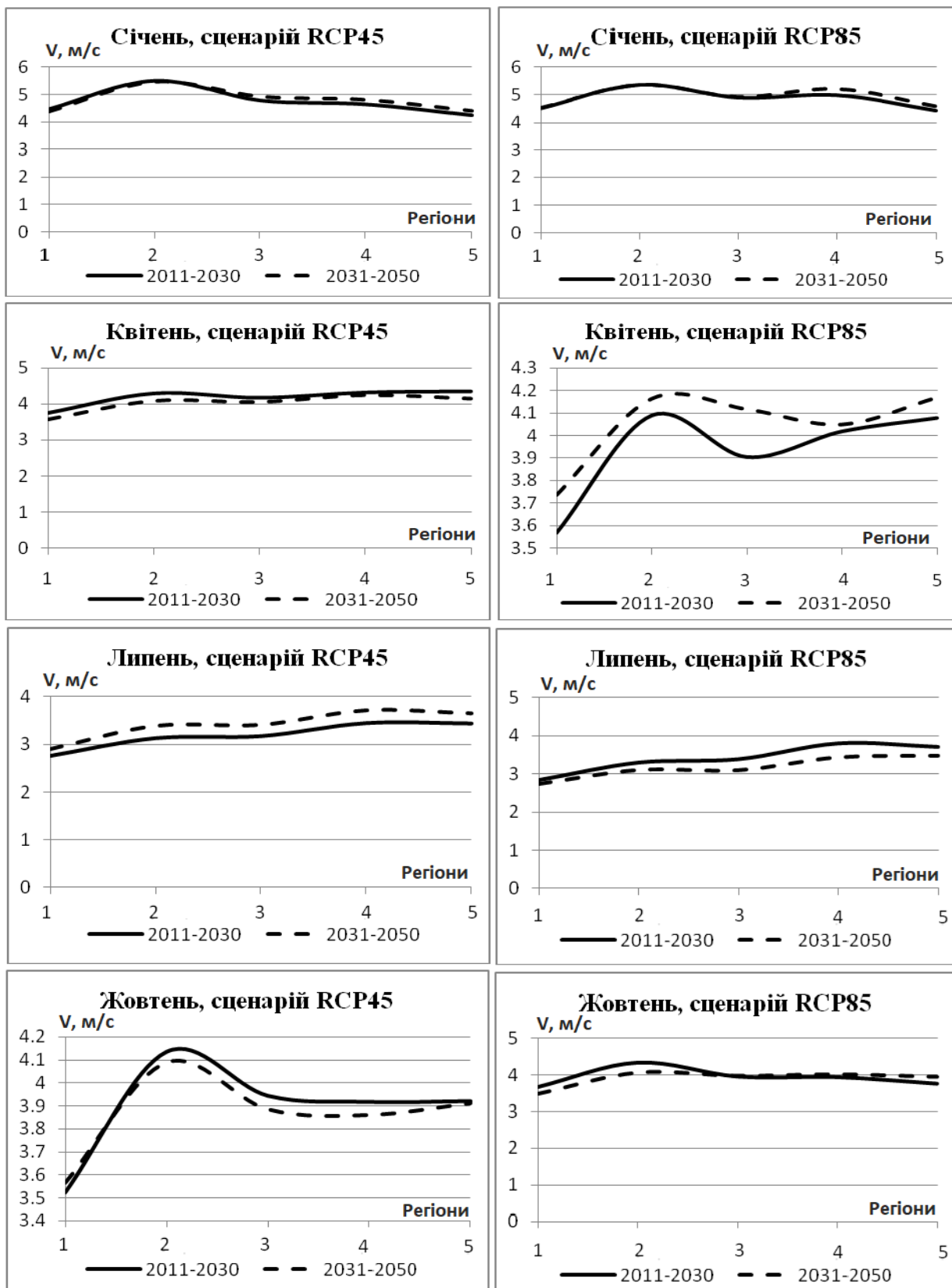
Для всіх сезонів проявляються такі закономірності:

- 1) У січні і квітні, у всіх регіонах крім північного, будуть спостерігатися швидкості вітру, які перевищують 4м/с. У північному регіоні в січні прогнозується, як відзначали раніше, середня швидкість вища за 5 м/с;
- 2) Фон швидкостей в липні знижується у всіх регіонах, середня швидкість дорівнює 3-3,5 м/с;
- 3) У жовтні розподіл середньої швидкості вітру по регіонах видозмінюється. Найменша швидкість 3,5м/с прогнозується в західному регіоні, а максимальна швидкість 4,1 м/с знову відновлюється в північному регіоні. У решті регіонів швидкості вітру збільшуються в порівнянні з літнім періодом і досягають значень 3,8-4,0 м/с.

Сценарій RCP8.5 (рис. 1.22).

1) Розподіл швидкостей вітру в січні і липні практично повністю збігається з розподілом швидкостей по регіонах згідно зі сценарієм RCP4.5.

2) Розподіл середніх швидкостей вітру по регіонах в перехідні сезони, в квітні і жовтні, згідно зі сценарієм RCP8.5 практично дзеркально відображає розподіл швидкості в жовтні і квітні за сценарієм RCP4.5.



1 – західний регіон WU; 4 - східний регіон E-U; 2 – північний регіон N-U;
 5 – південний регіон S-U; 3 – центральний регіон C-U

Рис. 1.22 – Середньомісячні швидкості вітру V_M за центральні місяці сезонів для періодів 2010-2030 та 2031-2050 рр. за сценаріями RCP4.5 і RCP8.5 [4]

Відмінностей, як було зазначено раніше, в значеннях середніх швидкостей вітру між двома сценаріями практично не існує. Це впливає і з розподілу швидкостей вітру по регіонах України (рис 1.22).

Просторові зміни середньорічних швидкостей вітру.

Аналіз просторового розподілу швидкості вітру виконаємо шляхом порівняння ізоанемон (лінія однакових середньорічних швидкостей вітру), побудованих за середньомісячними даними, які були отримані за допомогою кліматичних моделей згідно зі сценаріями зміни клімату RCP4.5 і RCP8.5.

Розподіл середньомісячних швидкостей вітру для двох прогнозованих періодів показано на рисунках 1.23-1.24. На рисунках представлені поля вітру, осереднені за кожен модельований період з 2011 р. по 2030 р. і період з 2031 р. по 2050 р. Ізолінії рівних швидкостей вітру проведені з дискретністю 0,5 м/с, починаючи від ізолінії 2,5 м/с до ізолінії 4,5 м/с.

Характер просторової мінливості швидкості вітру змінюється від регіону до регіону для розглянутих періодів. Змінюється як амплітуда, так і фаза коливань, тобто вітровий режим середини ХХІ століття відрізняється від режиму вітру за базовий кліматичний період.

Порівняння результатів розрахунку швидкостей вітру за сценаріями RCP4.5 і RCP8.5

Основні положення просторового розподілу швидкостей вітру для двох сценаріїв можна визначити таким чином.

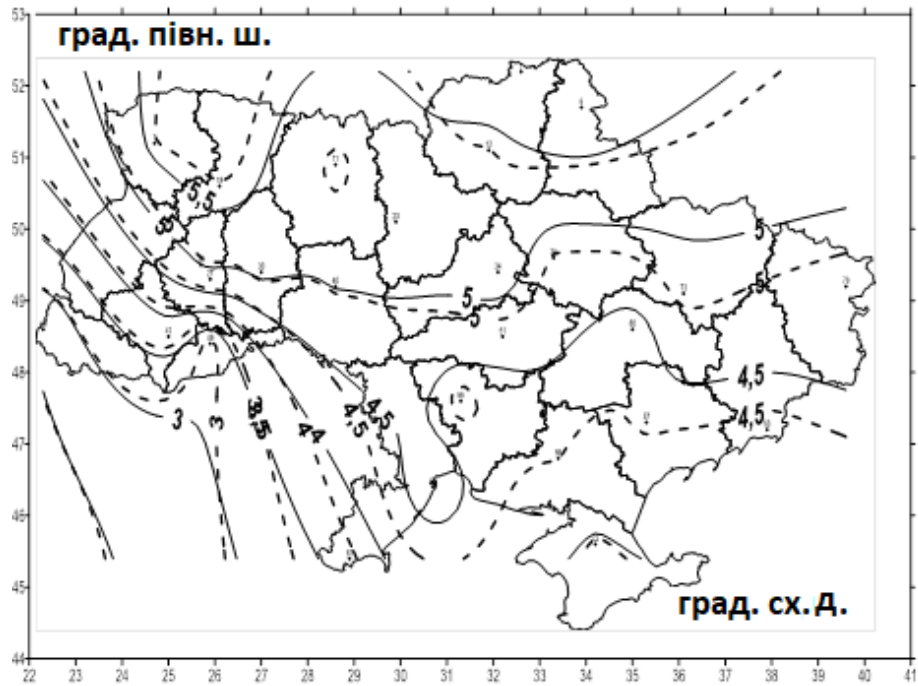
Швидкість вітру збільшиться у всіх регіонах, крім західного. Найбільше збільшення швидкості буде спостерігатись в північному регіоні, де швидкість вітру зростає на 1-1,5 м/с, а в північних районах східного регіону швидкість збільшиться на 0,5 м/с.

Центральний регіон збереже середні швидкості приблизно в 4 м/с. У південному регіоні відбудеться збільшення швидкості вітру на 0,5-1 м/с на всіх метеостанціях, які входять до списку населених пунктів, наприклад, у Вознесенську (Миколаївська обл.), Пришибі (Запорізька обл.), Одесі а/п, Новій Каховці і Клепінено (Крим).

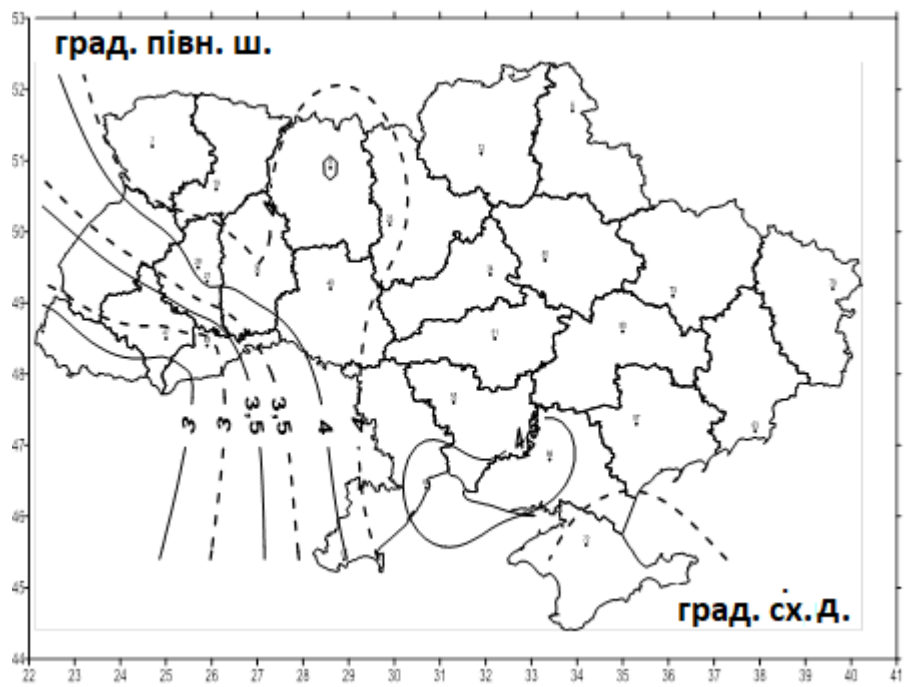
Відбувається невелике збільшення швидкості вітру і в східному регіоні приблизно на 0,5 м/с, наприклад, в Красноармійську і Біловодську (Луганська обл.).

Далі розглянемо зміни поля вітру, отримані за сценарієм RCP4.5 за два послідовних періоди.

Січень. Швидкості вітру та їх розподіл по території України практично не змінюються від періоду до періоду. Відхилення швидкостей вітру між ними незначне. Є тільки відмінність в південному регіоні, де зменшується область сильних вітрів, швидкість яких більша ніж 4м/с, уздовж прибережної зони го морів. У північних областях України прогноуються досить великі середньомісячні швидкості, які досягають 5,5 м/с. У південному регіоні швидкості будуть в межах 4-4,5 м/с



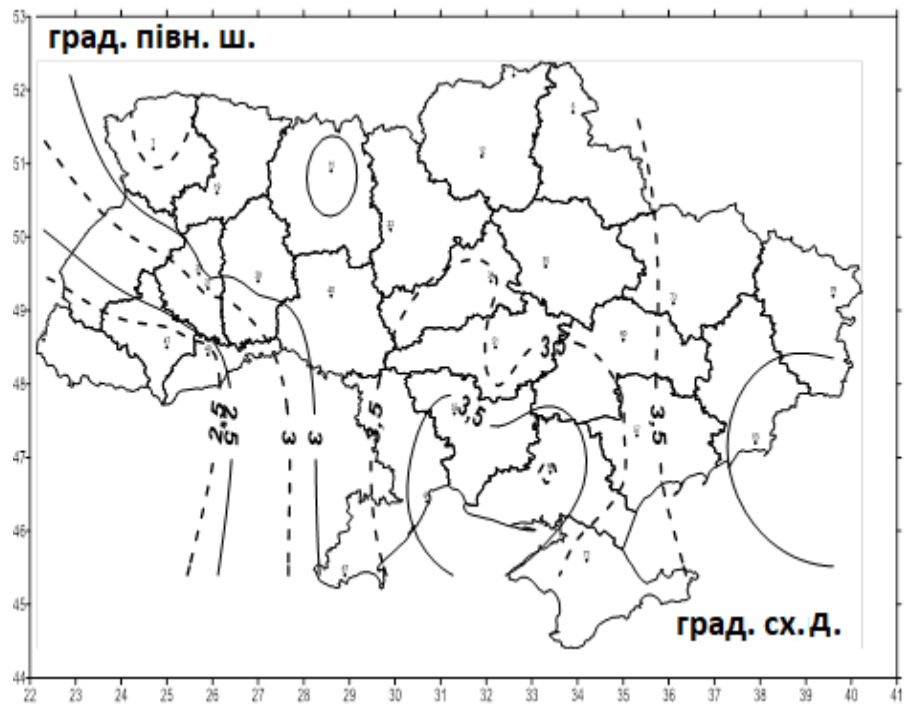
Січень



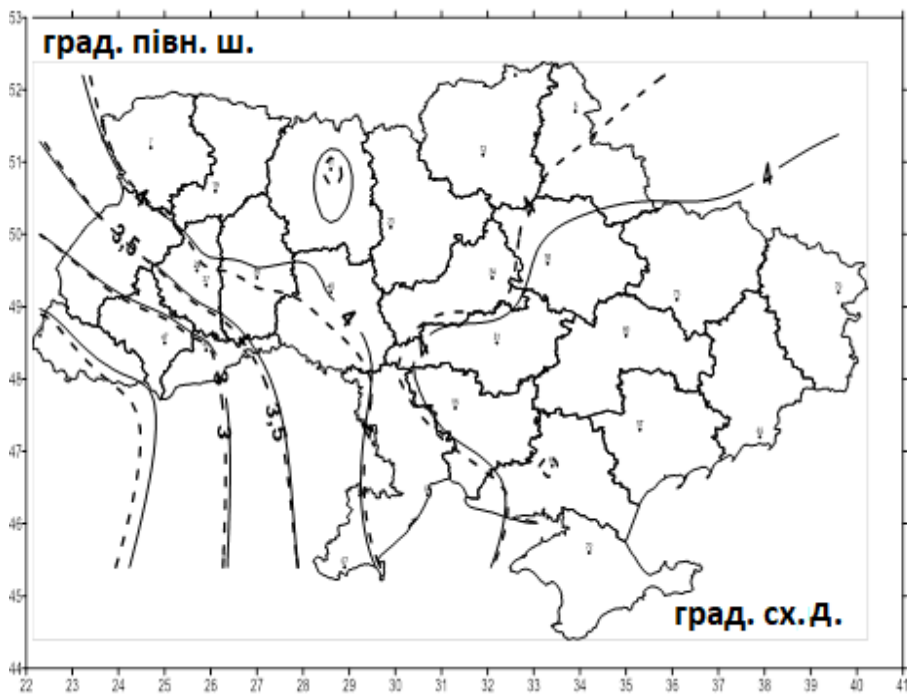
Квітень

— період 2011-2030 рр.; - - - - період 2031-2050 рр.

Рис. 1.23 – Карты розподілу середньомісячних швидкостей вітру за сценарієм RCP4.5, аркуш 1 [4]

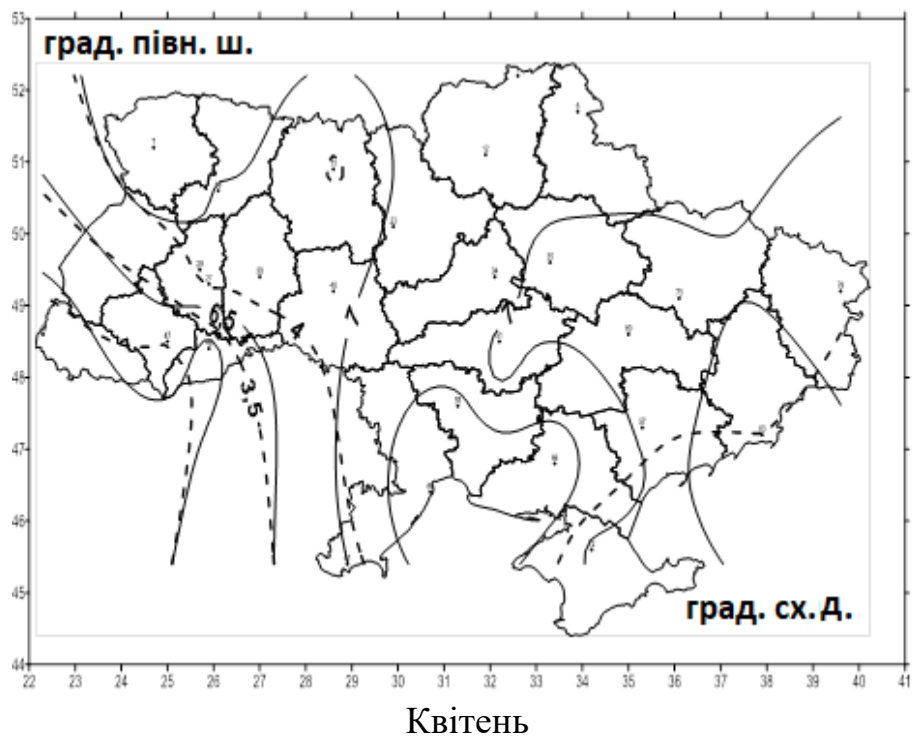
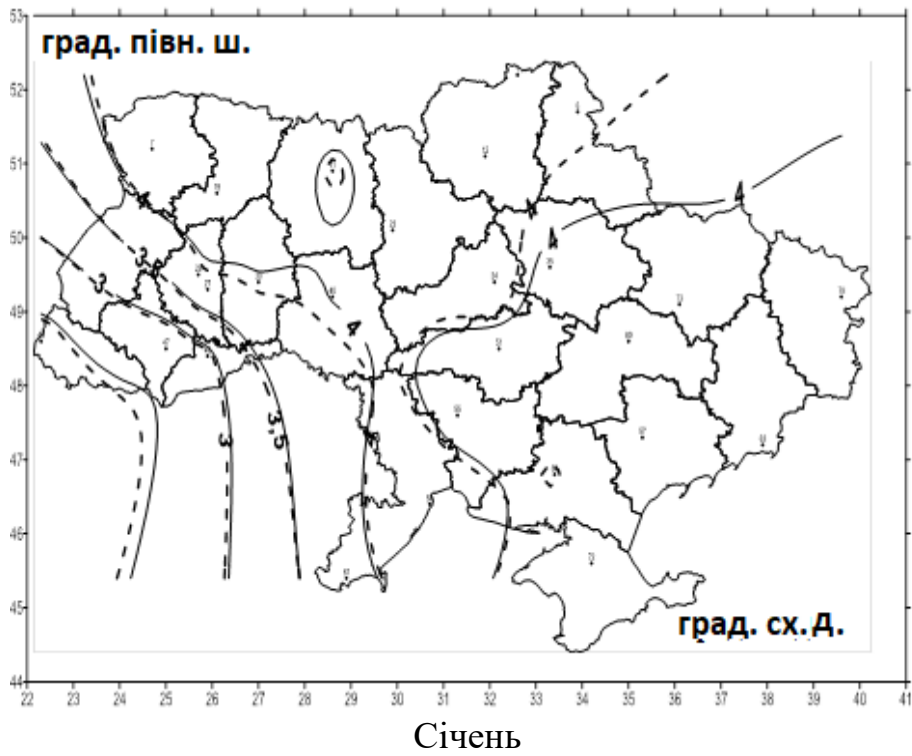


Липень



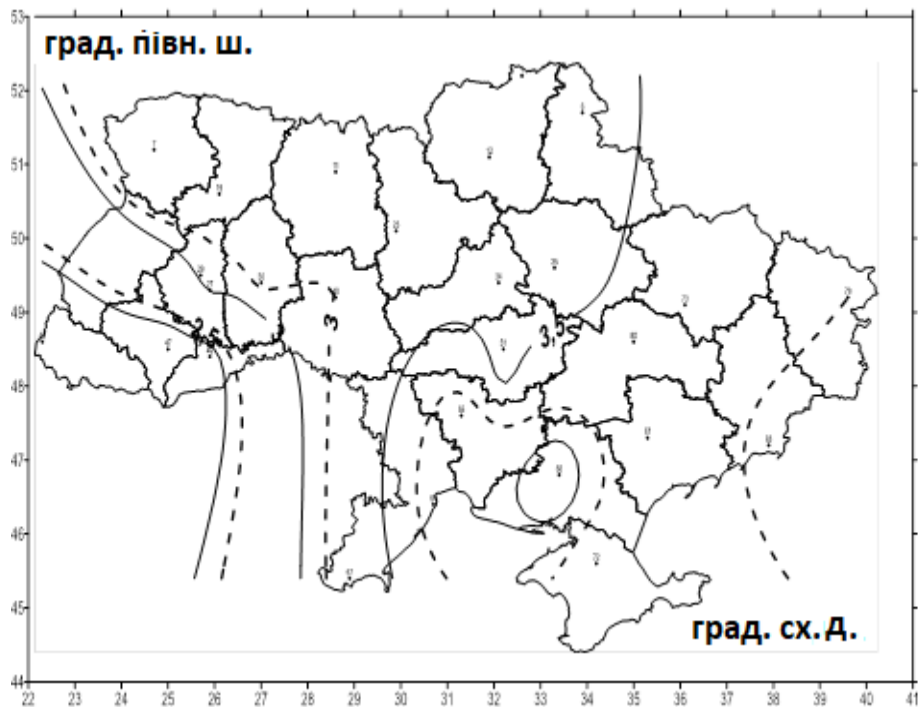
Жовтень

Рис. 1.23, аркуш 2 [4]

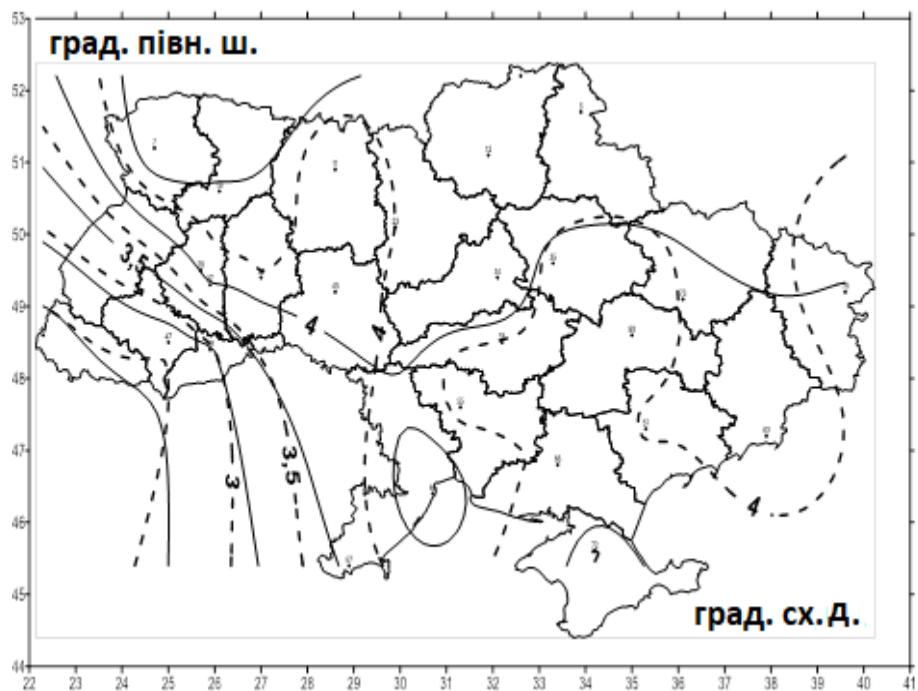


— період 2011-2030 рр.; - - - період 2031-2050 рр.

Рис. 1.24 – Карти розподілу середньомісячних швидкостей вітру за сценарієм RCP8.5, аркуш 1 [4]



Липень



Жовтень

Рис. 1.24, аркуш 2 [4]

Квітень. Основна відмінність в розподілі швидкості по території полягає в зростанні швидкості вітру (більша ніж 4 м/с) в північному регіоні в другому прогнозованому періоді 2031-2050 рр. Східні і центральні

регіони України мають середньомісячні швидкості близькі до 4 м/с. На півдні виділяється область збільшених швидкостей до 4,5 м/с і більше.

Липень. Влітку загальний фон швидкостей вітру становить 3-3,5 м/с практично по всій території України як для першого, так і для другого прогнозованого періоду.

Жовтень. Розподіл швидкостей для першого і другого періоду не змінюється. Райони з максимальними швидкостями понад 4 м/с утворюються в північному регіоні і в східній частині західного регіону.

Розглянемо тепер зміни поля вітру, отримані за сценарієм RCP8.5.

Січень. Просторовий характер розподілу швидкостей вітру зберігається, як і в сценарії RCP4.5, але загальний фон швидкостей в північних і південних областях зменшується приблизно на 1 м/с.

Квітень. У квітні, як і в січні, загальний характер швидкості мало змінюється в порівнянні зі сценарієм RCP4.5, але прогнозується збільшення швидкостей вітру в прибережних районах Приазов'я.

Липень. Сценарій RCP8.5 зменшує швидкості вітру на 0,5 м/с для південного регіону. Загальний фон швидкостей вітру становить 3-3,5 м/с практично по всій території України як для першого, так і для другого прогнозованого періоду.

Жовтень. Загальний фон просторового розподілу для сценаріїв RCP4.5 і RCP8.5 для першого прогнозованого періоду (з 2011 р. по 2030 р.) практично не змінюється, але в другому періоді (2031-2050 рр.) згідно зі сценарієм RCP8.5 зростає швидкість вітру (більша ніж 4 м/с) в східному регіоні та в прибережних районах Приазов'я.

Структура поля вітру на території України буде відповідати таким положенням [4]:

- Виконано розрахунки статистичних показників швидкостей і напрямів вітру для 27 станцій України для двох періодів (2011-2030 рр. і 2031-2050 рр.) і за двома сценаріями RCP4.5 і RCP8.5.

- Проведено порівняльний аналіз отриманих результатів з кліматичною нормою. Середньомісячні швидкості вітру, розраховані за сценаріями RCP4.5 і RCP8.5, перевищують кліматичну норму в середньому на 20-30 %, причому середні швидкості вітру і пориви, розраховані за сценарієм RCP4.5, в цілому по Україні дещо вищі ніж за показниками сценарію RCP8.5.

- В січні згідно з прогнозами кліматичних моделей за сценарієм RCP4.5 область великих середньомісячних швидкостей вітру, більших ніж 5 м/с, охоплює всі північні області України від Луцької до Харківської області. Однак, за сценарієм RCP8.5 в цих областях прогноуються менші швидкості вітру на 1 м/с. У січні в південному регіоні за сценарієм RCP4.5 також будуть спостерігатись досить великі середньомісячні швидкості вітру – 4-4,5 м/с, а за сценарієм RCP8.5 швидкості зменшуються на 1 м/с.

- Найбільш слабкі швидкості вітру прогноуються за двома сценаріями в літній сезон (липень), вони не перевищують 3,5 м/с, а у Закарпатті – 2,5 м/с.

- Отримані оцінки економічного та соціального збитків, пов'язаних з появою небезпечних швидкостей вітру протягом наступних 35 років. Було встановлено, що найбільші збитки від сильного вітру можливі в Івано-Франківській, Черкаській, Полтавській, Сумській, Одеській та Донецькій областях.

Питання для самоконтролю

1. Послаблення швидкостей вітру відбувається з яких причин.
2. Визначальними для вітроенергетики є чинники.
3. Яка кліматична інформація використовується при дослідженні вітроенергетики?
4. На більшості станцій Одеської області середньомісячна швидкість вітру зменшилась на величину?
5. Міжрічний хід швидкості вітру на півдні України в січні і в липні.
6. На станціях Одеської області спостерігається зростання повторюваності швидкості вітру в якому діапазоні?
7. На станціях Одеської області для вибірок середньомісячних швидкостей вітру були визначені які тренди?
8. Які регіони України можна вважати придатними для досліджень доцільності розміщення вітроустановок?

2 БІОКЛІМАТИЧНІ РЕСУРСИ УКРАЇНИ

Результати інструментальних спостережень і матеріали палеогеографічних реконструкцій свідчать, що глобальний клімат змінюється і ці зміни супроводжуються негативними наслідками для економіки і умов проживання людини [76, 77]. Необхідність розроблення прогнозу клімату і кліматоохоронних заходів визначає актуальність проблеми змін клімату як у глобальному, так і регіональному масштабах.

При зміні природних умов змінюється й робота організму людини. Якщо ці зміни є сталими (добові, сезонні), то людина до них вже пристосувалась. Якщо ж організм людини ослаблений хворобою або його опір знижений з інших причин, то пристосування до нових умов відбувається важко: людина відчуває дискомфорт або біль у різних органах і системах, може відбуватись серйозне загострення серцево-судинних захворювань, хронічних захворювань запального характеру і психічних розладів тощо. Експерти ВОЗ зазначають, що до 80% захворювань, які відбуваються у теперішній час, мають природне походження внаслідок змін навколишнього середовища. За думкою світового наукового співтовариства, яка була проголошена на міжнародному форумі в Ріо-де-Жанейро у 1994 р., глобальна проблема людства у третьому тисячолітті – проблема збереження життя і здоров'я людини в умовах погіршення середовища проживання.

Україна, завдяки географічному положенню, має природні умови, сприятливі для широкого розвитку рекреації – оздоровлення, лікування, туризму. Унікальне поєднання фізико-географічних, а особливо, кліматичних умов, привабливість узбережь Чорного і Азовського морів та різноманітність рекреаційних ресурсів мають забезпечити розвиток курортної рекреаційної діяльності лікувального, оздоровчого, наукового, ділового та пізнавального напрямків [1].

2.1 Методика визначення біокліматичних показників

Вивчення біокліматичних ресурсів проводиться з точки зору комфортності погоди і клімату для організму здорової людини.

Для виявлення особливостей біоклімату найчастіше застосовують комплексні показники, які характеризують тепловий стан людини, оскільки клімат і погода впливають, насамперед, на термічний режим організму і його функціональна діяльність багато в чому залежить від умов теплообміну з навколишнім середовищем. Ці показники дозволяють оцінити біокліматичні ресурси конкретних територій, визначити їхній рекреаційний потенціал, розв'язати низку окремих задач, пов'язаних з оптимізацією біоклімату. До таких показників належать еквівалентно-ефективні температури, показники суворості погоди тощо [78-82].

За допомогою еквівалентно-ефективної температури EET можна оцінити тепловідчуття людини, захищеної одягом стандартного типу для певного сезону, тобто вона враховує вплив теплозахистних властивостей одягу (так звана нормальна шкала). Визначення тепловідчуття через EET стосується лише тіньових просторів, де на людину не впливає пряма сонячна радіація. Розраховується EET за формулою Міссенарда

$$EET=37-\{[37-t]/[0,68-0,0014f+1/(1,76+1,4v_2^{0,75})]\}-0,29t(1-f/100), \quad (2.1)$$

де t – температура повітря; v_2 – швидкість вітру на рівні 1,5 м; f – відносна вологість.

З формули (2.1) випливає, що еквівалентно-ефективна температура враховує вплив на організм людини комплексу метеорологічних величин.

Відомо, що однакове тепловідчуття можна зазнати за різних сполучень температури і вологості повітря та швидкості вітру. При повному затишші, відносній вологості 100 % у тіні теплове відчуття людини залежить від температури повітря. У цьому випадку при зростанні температури повітря людина буде відчувати збільшення тепла, а при зниженні температури – охолодження. У ненасиченому вологою, нерухомому повітрі тепловідчуття буде вже залежати від комплексного впливу температури і відносної вологості. При низьких температурах повітря збільшення вологості підвищує тепловіддачу з поверхні шкіри і посилює відчуття холоду. При високих температурах збільшення вологості повітря утруднює тепловіддачу з поверхні шкіри шляхом випаровування і тим самим посилює відчуття жару. А при зменшенні вологості посилюється тепловіддача і послаблюється відчуття жару. Таким чином, можливі випадки, коли підвищення температури повітря при одночасному зниженні його вологості не змінює тепловідчуття людини. І навпаки, при одній і тій же температурі повітря, але різній вологості тепловідчуття буде змінюватись.

У рухливому повітрі (за умови вітру) інтенсивність тепловіддачі з поверхні тіла, а отже, і тепловідчуття будуть залежати не тільки від температури і вологості повітря, але і від швидкості вітру, що значно посилює тепловіддачу.

Таким чином, еквівалентно-ефективна температура – це така температура, за якої у нерухомому і насиченому вологою повітрі тепловідчуття людини таке ж, як за даного сполучення температури повітря, відносної вологості і швидкості вітру [1].

Цінність еквівалентно-ефективної температури за нормальною шкалою (або нормальної еквівалентно-ефективної температури) як біокліматичного показника полягає в тому, що її можна використовувати не лише при оцінці теплового навантаження, але і в умовах холоду, тобто залежно від сезону людина має різні теплові відчуття та теплове

навантаження на організм, які можуть призвести як до теплового удару (влітку), так і до обмороження (взимку).

Г. Хентшел [82] запропонував класифікацію значень нормально-еквівалентно-ефективної температури, яка по суті своїй є класифікацією клімату з точки зору біометеорології людини.

Якщо *EET* знаходиться в діапазоні $-23,9...-12,0$ °С, то умови вважаються дуже холодними (сильна загроза обмороження), якщо в діапазоні $-11,9...0$ °С – холодно (можливе переохолодження і обмороження відкритих ділянок тіла), $0,1-6,0$ °С – дуже прохолодно (дисконфорт), $6,1-12,0$ °С – прохолодно (дисконфорт), $12,1-18,0$ °С – комфортно помірно тепло, $18,1-24,0$ °С комфортно тепло, $24,1-30,0$ °С – людина відчуває помірні теплові навантаження, $30,1-35,9$ °С – великі теплові навантаження.

Комфортні умови (зона комфорту) характеризуються таким діапазоном значень метеорологічних величин, що кількісно відбивають фізичний стан навколишнього середовища, за яких людина почуває себе добре. Її верхню та нижню межу, за якою зберігається оптимальний тепловий баланс людського тіла, називають межею комфорту [79]. Коли значення метеорологічних величин знаходяться за межею комфорту, у людини виникає відчуття дискомфорту. Межі комфорту конкретної людини суттєво залежать від типу клімату, часу проживання в ньому людини, її віку, статі, стану здоров'я та інших факторів. Методи розрахунку і прогнозу комфорту середовища базуються на граничних значеннях одної або декількох величин іноді з урахуванням часу, протягом якого зберігається перевищення цих граничних значень.

Тепловий стан людини в холодну пору року, в основному, визначається низькою температурою повітря і швидкістю вітру, які впливають і на охолодження незахищених частин тіла, і на органи дихання. У приморських районах додаткове холодове навантаження може спричинити відносна вологість повітря.

Для оцінки суворості погоди – фактора, який обмежує перебування людини на відкритому повітрі і зумовлює потребу у відповідній одежі, розроблена достатньо велика кількість показників холодового впливу метеорологічних чинників на організм.

Одним з найбільш поширених методів оцінки суворості погоди є метод Бодмана. Ступінь суворості погоди в балах він пропонує визначати за такою формулою

$$S = (1 - 0,04t)(1 + 0,272v), \quad (2.2)$$

де S – індекс суворості (бали); t – температура повітря, °С; v – швидкість вітру, м/с.

Для зручності та швидкості розрахунків Бодман запропонував шкалу, за якою в залежності від температури і швидкості вітру визначається бал “суворості погоди”. У відповідності до шкали при $S < 1$ – зима несувора, м’яка; 1,0-2,0 – зима малосувора; 2,1-3,0 – помірно-сувора; 3,1-4,0 – сувора; 4,1-5,0 – дуже сувора; 5,1-6,0 – жорстко сувора; $S > 6$ – вкрай сувора.

Для оцінки ступеня дискомфорності різних типів міської забудови та їх меліоративних можливостей в залежності від радіаційно-термічного і вітрового режиму холодного півріччя В.Н. Адаменко і К.Ш. Хайруллін [80] запропонували метод зведених температур, під якими вони розуміють температуру повітря при штилі. Величина зведеної температури ($T_{зв}$) визначається за формулою

$$T_{зв} = t - 8,2\sqrt{v}. \quad (2.3)$$

Зведена температура точніше характеризує дискомфорність зимового періоду, ніж температура повітря, оскільки вона дозволяє оцінити спільний вплив температури повітря і швидкості вітру на тепловий стан людини. Наприклад, при температурі повітря -10 °С і штилі, $T_{зв} = -10$ °С. За тої ж температури повітря і швидкості вітру 4 м/с $T_{зв} = -23,4$ °С, а при зростанні швидкості вітру до 8 м/с $T_{зв}$ знижується до $-28,9$ °С. З наведеного прикладу, очевидно, що при температурі повітря $-10,0$ °С і штилі відчуття морозу цілком переносне (стерпне), але із зростанням швидкості вітру людина починає відчувати різний ступінь холодного дискомфорту, оскільки починається суттєве охолодження тіла людини, зростає тепловіддача, утруднюється дихання, знижуються теплозахисні властивості одягу.

Ця методика дозволяє оцінити не лише меліоративний ефект міської забудови в залежності від реальних і ймовірних сполучень температури повітря і швидкості вітру, а також і можливість виконання різного виду робіт або просто перебування на відкритому повітрі в зимовий період. Автори формули запропонували порогові значення зведеної температури за ступенем несприятливого впливу на тепловий режим людини:

а) $T_{зв} > -17,0$ °С – ніяких обмежень для перебування людей на відкритому повітрі;

б) $T_{зв} < -17,0$ °С – частинне обмеження перебування на вулиці тільки ослаблених людей або людей з розладною серцево-судинною системою;

в) $T_{зв} < -28,0$ °С – умови слабого дискомфорту, при знаходженні на відкритому повітрі у русі або на роботі необхідний 10-15-тихвилинний обігрів у теплом приміщенні через кожні 40-50 хвилин.

Запропоновані порогові значення достатньо добре узгоджуються з межами дискомфорту, розробленими АМН Радянського Союзу.

Коли людина знаходиться на відкритому повітрі, особливо в умовах низьких температур, вона користується спеціальними утепленими видами одягу та взуття. Проте, як би тепло не була одягнута людина, як би не була велика її теплопродукція, можуть мати місце такі сполучення метеорологічних величин, особливо, температури і швидкості вітру, за яких можливе обмороження відкритих частин обличчя і рук. Крім того, виникають значні втрати тепла шляхом інфільтрації внаслідок негерметичності одягу, що відбувається при великих швидкостях вітру. Тому можливе обмороження і при комфортному тепловому балансі.

В умовах низьких температур обличчя і кінцівки тіла людини найчастіше лімітують її перебування на відкритому повітрі. В залежності від температури повітря і швидкості вітру температура шкіри обличчя $\Theta_{об}$ розраховувалась за формулою

$$\Theta_{об} = 0,4t - 3,3\sqrt{v} + 17. \quad (2.4)$$

Порогові показники умов дискомфорту, виявлені експериментально, показують, що при температурі шкіри обличчя $\Theta_{об} = 10$ °С спостерігається порушення кровообігу в тканинах зовнішніх ділянок тіла (шкіри обличчя, рук); при температурі шкіри обличчя $\Theta_{об} = 6$ °С – повне припинення кровообігу; при температурі шкіри обличчя $\Theta_{об} = 4$ °С відбувається обмороження тканин (початок гіпотермії); при температурі шкіри обличчя 1 °С і нижче – друга стадія обмороження.

До показників суворості (жорсткості) погоди, крім названих, належить ще й умовна температура (індекс Арнольді) T . Цей показник розраховується за формулою

$$T = t - 2v. \quad (2.5)$$

З наведеного виразу випливає, що збільшення швидкості вітру на 1 м/с умовно прирівнюється до зниження температури повітря на 2 °С. І.І. Арнольді встановив чіткий зв'язок між збільшенням жорсткості погоди і зниженням температури шкіри щік у людей, які працюють на відкритому повітрі взимку [1].

2.2 Прогноз змін значень біокліматичних показників в умовах сучасних змін клімату

Відомо, що проблема зміни клімату є одною з глобальних проблем сучасності. Тому ці зміни мають враховуватись при стратегічному

плануванні стійкого розвитку і функціонуванню різних технічних і екологічних систем. А врахувати такі наслідки можна на основі кліматичного прогнозу [1].

Існуючі в теперішній час кліматичні прогнози за певними сценаріями надають зазвичай у вигляді базових кліматичних показників окремих метеорологічних величин. Проте споживачам потрібен спеціалізований прогноз, тобто в їх розпорядженні мають бути спеціалізовані характеристики клімату, що змінюється, які не передбачаються ні одним сценарієм його зміни. Виходом з цієї ситуації є встановлення зв'язків між базовими і спеціалізованими характеристиками, на основі яких складається спеціальний прогноз. Тобто, на основі прогнозованих базових характеристик за певним сценарієм можна перейти до прогнозу необхідних спеціальних характеристик [83].

Розробка сценаріїв зміни клімату є одним з найважливіших етапів оцінки вразливості природних ресурсів та соціально-економічних секторів. Вивчення зміни клімату базується в основному на змінах, спричинених подвоєнням вмісту CO_2 в атмосфері.

Відомо, що кліматичні сценарії можна побудувати за допомогою: фізико-математичного моделювання реакції кліматичної системи на зміни вмісту парникових газів в атмосфері; оцінки реакції середньої глобальної температури повітря на зміни концентрації парникових газів в атмосфері, з урахуванням палеонтологічних даних як аналогів клімату майбутнього; зіставлення величин середньої температури повітря із даними по еквівалентних концентраціях CO_2 за період інструментальних спостережень.

На жаль, всі зазначені підходи поки ще не дозволяють розробити надійні прогнози майбутніх змін клімату. Але станом на сьогодні можна вважати чисельні моделі загальної циркуляції (МЗЦ) атмосфери та океану найбільш досконалим інструментом для побудови сценаріїв зміни клімату. Ці моделі дозволяють отримати оцінки кліматичних параметрів для упорядкованої сітки точок на усій земній кулі. Хоча і МЗЦ не спроможні реалістично відтворювати процес зміни клімату на регіональному рівні. Через це доцільно для оцінки вразливості природних ресурсів і соціально-економічних секторів використовувати декілька сценаріїв зміни клімату [83].

Нами використовувались прогностичні значення середньої декадної температури повітря та середнього декадного дефіциту насичення у літні місяці, які були розраховані на основі моделі *GFDL-nest* для всіх областей України. Для визначення біокліматичних показників цього замало, тим більше, що навіть відомості про дефіцит насичення у зимові місяці виявились відсутніми. Для розрахунку прогностичних значень середньої місячної еквівалентно-ефективної температури для місяців літньої пори використовувались дані, отримані за згаданою моделлю: по температурі

повітря та дефіциту насичення, на основі яких визначалась відносна вологість. Середня багаторічна швидкість вітру вважалась незмінною (тобто такою, якою вона була у 1960-1990 рр.), виходячи з того, що за ці тридцять років швидкість вітру зменшилась трохи, як зазначалось вище, але деякі дослідження доводять, що в останні роки починається невелике зростання її [84]. Для місяців зимової пори вважалось, що тенденція зміни відносної вологості збережеться. Зміни відносної вологості за тридцять років на території України невеликі.

Згідно з прогнозом за моделлю GFDL-nest очікується: найвища середня місячна температура влітку у серпні, найнижча – у липні. Взимку найхолодніший місяць – лютий, найтепліший – грудень. Від'ємні значення, невеликі за абсолютною величиною (до $-1,4\text{ }^{\circ}\text{C}$), збережуться на малих площах (у Поліссі, лісостеповій зоні та Північному Степу) і лише у лютому [1].

Вплив температури повітря на людину залежить від пори року. Дуже тепла погода, комфортна у весняні або осінні місяці, у зимовий час буде несприятливо впливати на самопочуття. Неприродньо тепла погода в зимовий період може визвати депресію, а різкі переходи від сльотавої теплої погоди до сорокаградусного морозу, або навпаки, спеки можуть навіть спровокувати загострення психічних розладів.

Більшість хвороб і максимум смертності у позатропічних країнах спостерігається в холодні місяці. У цей період захисні функції організму адаптуються не так швидко, як це відбувається у теплий період, і організм людини не встигає пристосуватись до різкого зниження температури, яке є великим навантаженням на нервову, імунну системи й систему кровообігу, а тому небезпечне для осіб, що страждають пороками серця, склерозом судин, хворобами нирок, різноманітними хронічними захворюваннями запального характеру [85].

Відносна вологість по всій території в основному зменшиться. Еквівалентно-ефективна температура по всій території України суттєво зросте і взимку, і влітку. У грудні *EET* у просторі буде коливатись від $-9,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Донецьк) до $3,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Білогірськ), у січні – від $-9,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Чернігів) до $3,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Білогірськ), у лютому – від $-13,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Харків) до $-1,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Білогірськ). Тобто взимку буде домінувати тепловідчуття «холодно» ($EET = -11,9 - 0\text{ }^{\circ}\text{C}$). Але у Закарпатті (лише у грудні) та Південному Степу (у грудні і січні) можуть спостерігатись умови, які надають організму людини тепловідчуття «дуже прохолодно» ($EET = 0,1 - 6,0\text{ }^{\circ}\text{C}$).

У червні *EET* змінюватиметься від $14,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Коломия) до $20,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Мелітополь), у липні – від $13,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Житомир та Рівно) до $19,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Мелітополь), у серпні – від $16,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Житомир) до $22,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Білогірськ). Таким чином, влітку у Закарпатті і Передкарпатті, Поліссі та лісостеповій зоні буде переважати тепловідчуття «комфортно помірно тепло»

($EET = 12,1 - 18,0$ °C). У степовій зоні буде домінувати тепловідчуття «комфортно тепло» (виняток – липень).

Зими стануть більш комфортними, бо значення індексу Бодмана по території України коливатимуться у грудні і січні в межах 1,0–2,0 (мало сувора зима), у лютому – 1,2–2,4 бала.

Величина індексу Арнольді зросте і на всій території України буде в межах від 0,0 до -15,0 °C, що відповідає слабкому напруженню апарата терморегуляції людини.

Значення зведеної температури підвищиться. Найнижча $T_{зв}$ у лютому у Північному Степу, Лісостепу та Поліссі (від -25,0 до -8,7 °C). У грудні у Закарпатті найвищі $T_{зв}$ (до -0,9 °C). Таким чином, $T_{зв} > -17,0$ °C на переважній території України очікується протягом зими, а це означає, що в цей час будуть відсутні обмеження для перебування людей на відкритому повітрі.

Температура шкіри обличчя людини $\theta_{об}$ в усі місяці зимової пори буде перевищувати 10,0 °C, тобто ніяких порушень кровообігу в тканинах зовнішніх ділянок тіла (шкіри обличчя, рук) не буде спостерігатись. Лише у лютому у Донецьку, Сумах, Полтаві і Харкові температура шкіри обличчя буде менше 10,0° (9,1–9,5 °C) [1].

На останок слід зазначити, що починаючи з семидесятих років ХХ ст. відбувається значне збільшення кількості метеолабільних людей, що пов'язують зі зміною клімату, яка спостерігається на Земній кулі. Зміна термічного, вітрового режиму, вологовмісту атмосфери, повторюваності та інтенсивності небезпечних і стихійних явищ погоди супроводжується як негативними, так і позитивними наслідками для умов проживання людини, її здоров'я. Баланс позитивних і негативних наслідків для здоров'я людини змінюється від одного регіону до іншого і за прогнозами МГЕЗК буде змінюватись з продовженням підвищення температури. Зміни частоти та інтенсивності екстремальних явищ погоди, спеки й холоду, частоти повеней і посух, забруднення повітря хімічними речовинами й аероалергенами безпосередньо впливатимуть на населення і будуть мати несприятливі наслідки для здоров'я людини. Наслідком посилення хвиль тепла буде збільшення забруднення повітря в містах, особливо в помірних і високих широтах. Це призведе до зростання смертності у теплий період. У холодний період більш теплі зими та менша кількість періодів з холодною погодою приведуть до зменшення смертності. У деяких країнах помірної зони зниження показника смертності в зимовий період компенсує збільшення смертності в літній період. Більш високі температури, зміни у розподілі опадів спричинять зміни географічних меж і сезонності передачі інфекційних захворювань. Ці природні небезпеки можуть призвести до безпосередньої втрати життя або погіршення здоров'я і можуть опосередковано вплинути на стан здоров'я через втрату житла, змушеного переміщення населення (тобто з'являться кліматичні біженці),

забруднення водних джерел, знищення виробництва продуктів харчування, підвищеного ризику епідемій та інфекційних хвороб [86].

2.3 Районування території України по еквівалентно-ефективних температурах

Для розв'язання деяких прикладних задач треба знати розподіл у просторі не лише окремих метеорологічних величин, але й їх комплексу. Між різними значеннями комплексу необхідно провести межі, по різні боки яких відмінності між ними суттєві, тобто виконати районування території. Його можна здійснити, застосувавши метод кластерного аналізу. Відомо декілька алгоритмів кластерного аналізу. Нами застосовано універсальний адаптивний ітераційний метод кластерного аналізу УАІМКА, запропонований Е.М. Сергою [87]. Цей метод заснований як на метричних, так і на неметричних мірах схожості і критеріях кластеризації. Використання його не вимагає вибору гіпотетичних центрів кластеризації, певної кількості ітерацій тощо.

За допомогою УАІМКА проведено районування території України, тобто виділено райони з аналогічною структурою багаторічних значень еквівалентно-ефективної температури у зимові та літні місяці. Задача полягала у визначенні змін меж виділених районів з подібною структурою багаторічних значень еквівалентно-ефективної температури, якщо врахувати їх прогностичні значення. Для цього вихідна інформація надавалась вже матрицею $X=(x_{ij})_{64 \times 3}$ (об'єм 192 члени). Збільшення об'єму вихідної інформації дозволило більш чітко виділити межі кластерів [1].

У січні виділено три кластери. Зменшилась площа першого кластера за рахунок розширення меж другого і третього кластерів. Перший кластер – це північне Полісся і північна частина лісостепової зони. Центр його зсувається від Луганська на північний захід до Житомира. В межі третього кластера входять Закарпаття і Передкарпаття, невелика частина південно-західного району Полісся, а також Причорноморська низина за винятком північно-східної частини її. Центр кластера переміщується з Джанкоя в Сарату. Решту території займає другий кластер з центром у Кіровограді.

У грудні виділено лише два кластери. Це свідчить про більшу однорідність поля еквівалентно-ефективної температури. Положення другого кластера у цьому місяці дуже схоже з положенням третього кластера у січні. Він теж складається з двох областей, але площі їх збільшуються: перша область – це Закарпаття і Передкарпаття та частина південно-західного Полісся, друга область – це Причорноморська низина.

У лютому виділено три кластери. Перший кластер у цьому місяці займає майже ті ж самі райони, що і третій кластер у січні. Третій кластер

займає північно-східні, східні та південно-східні райони країни, частину центральних областей її. Другий кластер – це решта території країни, яка розташовується з північно-західних районів у південно-східному напрямку спочатку широкою половою, яка звужується між Кіровоградом і Первомайськом.

У червні і липні виділено лише по два кластери. Якщо у червні Прикарпаття, Полісся і невелика частина Лісостепу належать до першого кластера, то у липні межа цього кластера зсувається на південний схід і він охоплює ще і деякі райони Північного степу. Другий кластер у червні складається з 39 векторів (центр його – Волноваха), у липні – з 28 векторів (центр – Луганськ).

У серпні залишилось три кластери. Перший кластер складається з 24 векторів (центр – Любешів), третій – 36 векторів (центр – Кривий Ріг). Найбільшу площу займає саме третій кластер. В області другого кластера знаходяться лише Поліське, Рівне, Новоград-Волинський і Овруч.

З проведеного аналізу випливає, що врахування прогностичних значень *EET* призвело до зменшення кількості кластерів і зміни меж виділених районів. Це зумовлено більш однорідними полями еквівалентно-ефективної температури через очікуване рівномірне зростання температури повітря по всій території України.

Найбільш сприятливими (найвищі значення еквівалентно-ефективної температури) для людини взимку будуть умови Закарпаття і частини Передкарпаття, а також західної та південної частин Причорноморської низини [1].

2.4 Висновки

1. Річний хід *EET* на території України чітко виражений з максимумом у липні і мінімумом у січні. Від періоду 1896-1960 рр. до періоду 1961-1990 рр. еквівалентно-ефективна температура і влітку, і взимку в цілому зростала з півночі на південь. Змінювання її відбувалось нерівномірно як у просторі, так у часі.

2. В середньому за літній сезон *EET* зросла у Поліссі і Південному Степу на 0,2 °С, у Лісостепу – 0,3 °С, у Північному Степу – 0,4 °С, а у районі Карпат зменшилась на 0,2 °С. Додатні різниці ΔEET протягом літа зафіксовано приблизно на 60 % від загальної кількості всіх станцій.

У червні у Передкарпатті та Закарпатті, Поліссі та Лісостепу як у перший, так і другий періоди переважало тепловідчуття «прохолодно» ($EET = 6,1-12,0$ °С), у Північному і Південному Степу – «комфортно помірно тепло» ($EET = 12,1-18,0$ °С). Погіршилися біокліматичні умови у червні у Передкарпатті за рахунок зменшення, головним чином,

температури. У Закарпатті EET зросла на 0,6-0,7 °С, а у лісостеповій зоні за тридцять років вона збільшилась настільки, що на 50 % станцій тепловідчуття людини з «прохолодно» змінилось на «комфортно помірно тепло», що зрозуміло, сприяє покращенню умов перебування тут людини. У липні і серпні на всій території України панують комфортні помірно теплі умови.

Максимальне значення EET за сторічний період становило 18,2 °С (Мелітополь, липень), мінімальне – відповідно 10,3 °С (Рівне, червень).

3. В середньому за зимовий сезон EET збільшилась суттєвіше, ніж за літній, і ΔEET становила: у Закарпатті і Передкарпатті – 1,0 °С, Поліссі – 1,8 °С, Лісостепу – 2,1 °С, степовій зоні – 2,7 °С. Додатні різниці ΔEET протягом зими зафіксовано приблизно на 95 % від загальної кількості всіх станцій.

Протягом усієї зими за обидва багаторічні періоди організм людини відчував дуже холодні умови ($EET = -23,9 - -12,0$ °С) на більше ніж 90 % від всіх станцій. І лише у Передкарпатті і Південному Степу крім дуже холодних умов спостерігались холодні ($EET = -11,9-0,0$ °С). Зміна значень EET за тридцятирічний період по відношенню до семидесятирічного відбулась у бік їх досить суттєвого зростання у зимові місяці (до 5,2 °С). Але тепловідчуття людини майже не змінилось, тобто значення еквівалентно-ефективної температури залишились в зазначених межах.

Взимку найбільш дискомфортними для людини як були, так і залишились лісостепова зона і зона Північного Степу.

4. Розраховані значення індексу Бодмана по території України за досліджуваний період не зазнали суттєвих змін. Різниці ΔS між значеннями цього показника від першого до другого періоду (II-I) в основному зменшувались (до -0,8), але в окремих випадках зростали (до 0,6). Найбільші зміни S відбулись у Північному Степу і в середньому по цій території становили -0,5 бала. Зима характеризується помірно суворими умовами, у Закарпатті і Передкарпатті та Південному Степу (у грудні) переважають умови мало суворі.

Величина індексу Арнольді в останні десятиріччя збільшилась на усій території в середньому: на 1,6 °С у Закарпатті і Передкарпатті, 1,1°С – Поліссі, 2,5 °С – Лісостепу, 3,3 °С – Північному Степу, 2,7 °С – Південному Степу, але в обидва багаторічні періоди її значення характеризують слабе фізіологічне напруження апарата терморегуляції людини.

Протягом зими у Береговому, Ужгороді й Коломиї взагалі не існує ніяких обмежень для перебування людей на відкритому повітрі ($T_{зв} > -17$ °С), а в Івано-Франківську і Чернівцях – у грудні. За перший кліматичний період на решті території від 100 % (Полісся) до 80 % (Лісостеп і Північний Степ) зимових умов характеризувались частинним

обмеженням перебування на вулиці ослаблених людей або людей з розладною серцево-судинною системою ($T_{зв} < -17\text{ }^{\circ}\text{C}$). У Лісостепу (Рівне, Суми, Полтава) і Північному Степу (Волноваха, Донецьк, Кривий Ріг) спостерігались умови слабого дискомфорту, за яких при знаходженні на відкритому повітрі у русі або на роботі необхідний 10-15-тихвилинний обігрів у теплому приміщенні через кожні 40-50 хвилин. За період з 1961 по 1990 рр. значення $T_{зв}$ в середньому зросли, але у Поліссі, Лісостепу і Північному Степу у всі зимові місяці збереглося переважання тих самих умов, що і у першому періоді. На заході країни та Південному Степу найчастіше $T_{зв} > -17.0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Додатні різниці $\Delta T_{зв}$ у великій більшості переважають на всій території і сягають іноді 8-10 $^{\circ}\text{C}$. Найбільше зросла $T_{зв}$ у Північному Степу, середні значення $\Delta T_{зв}$ по цій території становили 6,6; 5,0 і 5,6 $^{\circ}\text{C}$ відповідно у грудні, січні та лютому.

Визначена температура шкіри обличчя $\Theta_{об}$ свідчить про те, що у Поліссі, Лісостепу і Північному Степу впродовж зимового сезону спостерігаються умови, які можуть призвести до порушення кровообігу в тканинах зовнішніх ділянок тіла (шкіри обличчя, рук), бо $\Theta_{об} \leq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Протягом всієї зими повторюваність цих значень $\Theta_{об}$ становила 100 % у Поліссі, Лісостепу, Північному Степу і 90 % – у Південному Степу (січень і лютий). Лише у Закарпатті у всі зимові місяці $\Theta_{об}$ перевищувала 10 $^{\circ}\text{C}$, а у Передкарпатті і Південному Степу – у грудні (70 %).

Різниці $\Delta\Theta_{об}$ (II-I) на більше ніж 90 % станцій мають додатний знак, а це свідчить про те, що температура шкіри обличчя $\Theta_{об}$ зросла і біокліматичні умови покращились. Значення $\Delta\Theta_{об}$ за тридцятирічний період коливались по території України від -1,4 до 2,2 $^{\circ}\text{C}$. В середньому у Поліссі і Південному Степу $\Theta_{об} > 10\text{ }^{\circ}\text{C}$, на решті території – $\Theta_{об} \leq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$. У другий досліджуваний період повторюваність умов, які можуть призвести до порушення кровообігу в тканинах зовнішніх ділянок тіла, така: у січні – 100 % (Полісся, Лісостеп і Північний Степ), у лютому – 93-100 % у цих же районах. У Закарпатті протягом всієї зими, а у Південному Степу у грудні $\Theta_{об} > 10\text{ }^{\circ}\text{C}$.

5. Очікується, що в майбутньому до 2011-2025 рр. еквівалентно-ефективна температура по всій території України суттєво зросте і взимку, і влітку. Взимку буде домінувати тепловідчуття «холодно» ($EET = -11,9 - 0\text{ }^{\circ}\text{C}$). Але у Закарпатті (лише у грудні) та Південному Степу (у грудні і січні) можуть спостерігатись умови, які надають організму людини тепловідчуття «дуже прохолодно» ($EET = 0,1-6,0\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Влітку у Закарпатті і Передкарпатті, Поліссі та лісостеповій зоні буде переважати тепловідчуття «комфортно помірно тепло» ($EET = 12,1-18,0\text{ }^{\circ}\text{C}$). У Степовій зоні буде домінувати тепловідчуття «комфортно тепло» (за винятком липня).

Зими стануть більш комфортними, бо значення індексу Бодмана по території України коливатимуться у грудні і січні в межах 1,0–2,0 (мало сувора зима), у лютому – 1,2–2,4 бали.

Величина індексу Арнольдї зросте і на всій території України буде в межах від 0,0 до -15,0 °С, що відповідає слабкому напруженню апарата терморегуляції людини.

Значення зведеної температури підвищаться. Найнижча $T_{зв}$ у лютому у Північному Степу, Лісостепу та Поліссі (від -25,0 до -8,7 °С). У грудні у Закарпатті найвищі $T_{зв}$ (до -0,9 °С). Таким чином, $T_{зв} > -17,0$ °С на переважній території України очікується протягом зими, а це означає, що в цей час будуть відсутні обмеження для перебування людей на відкритому повітрі.

Температура шкіри обличчя людини $\Theta_{об}$ у всі місяці зимової пори буде перевищувати 10,0 °С, тобто ніяких порушень кровообігу в тканинах зовнішніх ділянок тіла (шкіри обличчя, рук) не буде спостерігатись. Лише у лютому у Донецьку, Сумах, Полтаві і Харкові температура шкіри обличчя буде менше 10,0° (9,1–9,5°С).

Причиною виявленої динаміки біокліматичних показників є, головним чином, зростання температури і зменшення швидкості вітру.

6. Виділені райони з аналогічною структурою багаторічних значень еквівалентно-ефективної температури у зимові та літні місяці доволі добре узгоджуються з великомасштабними атмосферними процесами і особливостями підстильної поверхні. Врахування прогностичних значень *EET* призвело до зменшення кількості кластерів і зміни меж виділених районів. Рівномірне зростанням температури повітря по всій території України зумовило більш однорідні поля еквівалентно-ефективної температури.

Здобуті результати можна використати для розробки науково-зумовленої регіональної політики господарчої діяльності і захисту здоров'я населення України [1].

Питання для самоконтролю

1. Еквівалентно-ефективну температуру можна розрахувати за формулою.
2. Які метеорологічні величини використовують для розрахунку еквівалентно-ефективної температури?
3. Суворість погоди можна розрахувати за формулою.
4. Зведену температуру можна розрахувати за формулою.
5. Температуру шкіри обличчя можна розрахувати за формулою.
6. Індекс Арнольдї можна розрахувати за формулою.
7. Які метеорологічні величини використовують для розрахунку індексу суворості S за методом Бодмана?

8. Які метеорологічні величини використовують для розрахунку зведеної температури $T_{зв}$?
9. Які метеорологічні величини використовують для розрахунку температури шкіри обличчя $\Theta_{об}$?
10. Які метеорологічні величини використовують для розрахунку індексу Арнольдї T ?
11. Як змінюється EET в літній сезон?
12. Як змінюється EET в зимовий сезон?
13. Як змінюється індекс суворості S ?
14. Як змінюється індекс Арнольдї T ?
15. Як зміниться EET до 2025р.?
16. Як зміниться індекс Арнольдї T до 2025р.?
17. Як зміниться зведена температура $T_{зв}$ до 2025р.?
18. Як зміниться температури шкіри обличчя $\Theta_{об}$ до 2025р.?
19. Головні причини динаміки біокліматичних показників.

ЛІТЕРАТУРА

1. Оцінка впливу кліматичних змін на галузі економіки України: монографія / за ред. С.М. Степаненка, А.М. Польового. О.: «Екологія», 2011. 694 с.
2. Forster, P., V. Ramaswamy, P. Artaxo et al. Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (Eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
3. Randall, D.A., R.A. Wood, S. Bony et al. Climate models and their evaluation. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
4. Кліматичні ризики функціонування галузей економіки України в умовах змін клімату: монографія / за ред. С.М. Степаненка, А.М. Польового. ОДЕКУ, 2018. 548 с.
5. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis* / T.F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor [et al.] // Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, 2013. 1535 p.
6. Степаненко С.М. Динаміка та моделювання клімату: підручник / С.М. Степаненко. О.: Екологія, 2013. 204 с.
7. Vuuren, van D.P. The representative concentration pathways: an overview / D.P. van Vuuren, J.A. Edmonds, M. Kainuma, K. Riahi [et al.] // *Climatic Change*. 2011. Vol. 109, No. 1-2. P. 1-27.
8. A Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change / N. Nakicenović [et al.] // *Special Report on Emission Scenarios*. – Cambridge University Press, 2000. 599 p.
9. Giorgi F. Addressing climate information needs at the regional level: the CORDEX framework / Filippo Giorgi, Colin Jones and Ghassem, R. Asrar // *WMO Bulletin*. 2009, No. 58 (3). P. 175-183.
10. Physical processes (CY23R4) / P.W. White // Technical report European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF), 2001.
11. Ettema J. Higher surface mass balance of the Greenland ice sheet revealed by high-resolution climate modeling / J. Ettema, M. R. van den Broeke, E. Van Meijgaard [et al.] // *Geophys. Res. Lett.* 2009, No. 36(L12501).

12. IS-ENES climate4impact portal [Електронний ресурс] // Режим доступу: <http://climate4impact.eu>.
13. Баринов А.В. Чрезвычайные ситуации природного характера и защита от них. М.: Владос-Пресс, 2003. 496 с.
14. Давыдов Б.И., Ушаков Б.Н. Ядерный и радиационный риск: человек, общество и окружающая среда. М.; СПб., Фолиант, 2005. 234 с.
15. Лисиченко Г.В., Забулов Ю.М., Хміль Г.А. Природний, техногенний та екологічний ризику. Аналіз, оцінка, управління. К.:, 2008. 540 с.
16. Меньшиков В.В., Швыряев И.А. Проблемы анализа риска для населения и окружающей среды при загрязнении атмосферного воздуха. М.: МГУ, 2004. 202 с.
17. Оцінка регіональних еколого-ресурсних та еколого-техногенних загроз національній безпеці України. Аналітичний огляд. К.: НІСД, 2010. 32 с.
18. Пономарьов П.Х., Сирохман І.В. Безпека харчових продуктів та продовольчої сировини. К.: Лібра, 1999. 272 с.
19. Шевчук О.І. Екологічна безпека житлового будівництва регіону. Уж.: Ліга-Прес, 2009. 180 с.
20. Медведева С.А. Экологический риск. Общие понятия, методы оценки. // XXI век: Техносферная безопасность. 2016. № 1. С. 67-79.
21. IPCC, 2014 (a): Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L.White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 1132 pp.
22. Дмитриев В.Г. Оценка экологического риска. Аналитический обзор публикаций. // Арктика и Север, 2014, № 14. С. 126-147.
23. Терминологический словарь UNISDR по снижению риска бедствий. ООН, 2009. 38 с.
24. Suter II G.W. (2008): Ecological Risk Assessment in the United States Environmental Protection Agency: A Historical Overview // Integrated Environmental Assessment and Management. Vol. 4, № 3. P. 285-289.
25. Карлин Л.Н., Абрамов В. М. Управление энвиронментальными и экологическими рисками. СПб.: РГГМУ, 2006. 332 с.
26. Порфирьев Б.Н. Природа и экономика: риски взаимодействия (Эколого-экономические очерки). М.: Анкил, 2011. 352 с.
27. Assessing climate change-related risks in banking sector. Synthesis of the project report submitted for public consultation with regard to Article 173 (V°) of the 2015 French Energy Transition Act. French Treasury (In

collaboration with the Banque de France and the Autorite de Controle Prudentiel et de Resolution). 2016. 15 pp.

28. Осипов В.И. Управление природными рисками // Вестник Российской академии наук, 2002. Т. 72, № 8. С. 678-686.

29. Кобышева Н.В., Акентьева Е.М., Галюк Л.П. Климатические риски и адаптация к изменениям и изменчивости климата в технической сфере. СПб.: Кириллица, 2015. 216 с.

30. Дмитриев В.Г., Ковалевский Д.В., Алексеев Г.В., Бобылев Л.В. К оценке рисков, обусловленных неблагоприятными гидрометеорологическими явлениями и климатическими аномалиями в Арктике. // Проблемы Арктики и Антарктики, 2012, № 4 (94). С. 52-62.

31. Музалевский А.А., Карлин Л.Н. Экологические риски: теория и практика. СПб.: РГГМУ, 2011. 446 с.

32. Настанова по службі прогнозів та попереджень про небезпечні і стихійні явища погоди. К.: Державна гідрометеорологічна служба, 2003. 36 с.

33. Класифікатор надзвичайних ситуацій. ДК 019:2010. К.: Державний комітет України з питань технічного регулювання та споживчої політики, 2010. 37 с.

34. IPCC, 2014 (a): Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L.White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 1132 pp.

35. Бобылев С.Н., Ходжаев А.Ш. Экономика природопользования. М.: Инфра-М, 2007. Т.1.

36. Пахомова Н.В., Эндерс А., Рихтер К. Экологический менеджмент. СПб.: Питер, 2003. 544 с.

37. Развитие и изменение климата. Доклад о мировом развитии. 2010. Всемирный банк, 2010.

38. Шурда К.Э. Ресурсы и антиресурсы погодно-климатического фактора. (экономико-экологический аспект). О.: ИПРЭЭИ, 2002. 314 с.

39. Клімат України /За ред. В. М. Липінського, В. А. Дячука, В.М. Бабіченко. К.: Вид-во Раєвського, 2003. 343 с.

40. Врублевська О.О., Катеруша Г.П., Гончарова Л.Д. Кліматологія /Підручник. О.: Екологія, 2013. 344 с.

41. Climate change adaptation and disaster risk reduction: issues and challenges/ Eds. R. Shaw, J.M Pulhin, J.J. Pereira (2010). Emerald Group Publishing Limited, London. 412 pp.

42. Трохимова І.В. Адаптація до змін клімату: наслідки, вразливість, ризику // Екологічна безпека та природокористування, 2011. С. 128-135.
43. Прикладна кліматологія: конспект лекцій / за ред. О. Врублевська, Г.П. Катеруша. ОДЕКУ, 2005. 133 с.
44. Сокольский А.К. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. Учебное пособие. М.: РГОТУПС, 2006. С. 46-69.
45. Виссарионов В. И. и др. Солнечная энергетика / В. И. Виссарионов, Г. В. Дерюгина, В. А. Кузнецова, Н. К. Малинин. М.: Издательский дом МЭИ, 2008. 320 с.
46. Рибченко Л.С. Зміна температурного і радіаційного режиму в містах України / Л.С. Рибченко, С.В. Савчук // Укр. географічний журнал, 2008, № 2. С. 14-19.
47. Енергетична стратегія України на період до 2030 року: Розпорядження Кабінету Міністрів України від 15. 03. 2006 р. № 145 р.[Електронний ресурс]. Режим доступу до стор. : <http://zakon1.rada.gov.ua>.
48. Закон України «Про альтернативні джерела енергії». [Електронний ресурс]. Режим доступу до стор.: <http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/555-15>.
49. Сонячна енергія. Чому це вигідно для України [Електронний ресурс] // Режим доступу: <http://teplovam.com/index.php/opalennya/4-soniachni-systemy?showall=&start>
50. Аналіз сучасного стану альтернативної енергетики та рекомендації по екологізації паливноенергетичного комплексу України [Електронний ресурс] // Промислова екологія. Режим доступу: www.eco.com.ua.
51. Аналітична записка [Електронний ресурс] // Національний інститут стратегічних досліджень при Президентові України. Режим доступу: www.niss.gov.ua/articles/1174.
52. Використання сонячної енергії для теплопостачання – перший крок до енергетичної незалежності [Електронний ресурс] // Режим доступу: http://pda.Aratta-ukraine.com/text_ua.php?id=1639.
53. Сонячна радіація і радіаційний баланс. [Електронний ресурс] Режим доступу: http://geografica.net.ua/publ/galuzi_geografiji/meteorologija/.
54. Україна без традиційних джерел енергії: неминучий ризик чи економічна вигода? [електронний ресурс] // Режим доступу: http://www.vgolos.com.ua/articles/ukraina_bez_tradytsiynih_dzherel_energiine_mynuchyy_ryzyk_chy_ekonomichna_vygoda_107337.html?print.
55. Гелетуха Г. Україна: нетрадиційні та відновлювані джерела енергії /Г. Гелетуха, С. Кудря // Зелена енергетика, 2005, № 2. С. 8-10.
56. Петрук В. Г. Енергетичний потенціал альтернативної енергетики в Україні / В. Г. Петрук, С. С. Коцюбинська, Д. В. Мацюк // Вісн. Вінниц. політехн. ін-ту, 2007, N 4. С. 90-93.

57. Мисак Й. С. Сонячна енергетика: теорія та практика: монографія / Й.С. Мисак, О. Т. Возняк, О. С. Дацько, С. П. Шаповал. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2014. 340 с.
58. Будівельна кліматологія. ДСТУ-НБВ.1.1–27:2010. К.: Мінрегіонбуд, 2011. 123 с.
59. Атлас енергетичного потенціалу нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії в Україні. К., 2010. 41 с.
60. Нормативно-правова база альтернативної енергетики. [Електронний ресурс]. Режим доступу до стор.: <http://www.sae.gov.ua/uk/activity/vidnovlyuvana-enerhetyka/normatyvno-pravova-baza>.
61. Дзензерский В. А. Перспективы развития солнечной электроэнергетики в Украине // Наука та інновації, 2007. Т. 3, № 3. С. 36-42.
62. Желих В. М., Омельчук О. В., Шаповал С. П., Венгрин І. І. Енергетичний потенціал сонячної радіації на території України. Електронний науковий архів Науково-технічної бібліотеки Національного університету "Львівська політехніка". Теорія і практика будівництва, 2015. № 823.
63. [Концепция развития солнечной энергетики в Украине](#) [електронний ресурс] // Режим доступу: <http://www.gazanet.com.ua/content/view/30/41>
64. Коптев Д. А. Перспективы солнечной энергетики в Украине. // Інтегровані технології та енергозбереження. 2016, №1. С. 3-6.
65. Кулик Н. Жити під сонцем : [відновлюв. енергетика в Україні] // Освіта України, 2015, 8 черв. № 23. С. 12-13.
66. Литвин О. О. Збільшення ефективності подальшого використання сонячної енергетики: "Досягнення і перспективи" / О.О.Литвин, Ю.В. Куріс // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит, 2012, № 3. С. 39-40
67. Шаповал С.П., Венгрин І.І. Перспективи використання сонячної енергії на території України. Національний університет «Львівська політехніка» «Молодий вчений», № 7 (10), 2014. С. 21-24.
68. Щодо перспектив використання альтернативних джерел енергії на Сході України. Аналітична записка [електронний ресурс] // Режим доступу: <http://www.niss.gov.ua/articles/1174>.
69. <https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/grid.cgi?uid=3030> .
70. Рибченко Л.С., Савчук С.В. Потенціал геліоенергетичних кліматичних ресурсів сонячної радіації в Україні. Український географічний журнал, 2015, № 4. С. 16-23.
71. Рибченко Л.С., Савчук С.В. Моніторинг геліоенергетичних ресурсів України. Український гідрометеорологічний журнал, 2017, №19. С. 65-71.

72. Fernando M. Camilo, Rui Castro, M.E. Almeida, V. Fernão Pires Economic assessment of residential PV systems with self-consumption and storage in Portugal [Solar Energy. Volume 150](#), 1 July 2017, Pages 353-362.
73. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации М.: Росгидромет, 2014. 1008 с.
74. Кобышева Н.В., Кобышев Е.А. Районирование территории России по степени опасности смерчей // Природные опасности России. Гидрометеорологические опасности, 2001. Т.5. С. 165-167.
75. Кобышева Н.В., Галюк Л.П., Панфутова Ю.А. Методика расчета социального и экономического рисков, создаваемых опасными явлениями погоды. // Труды ГУ «ГГО». С.-Пб. 2008, вып. 557.
76. Будыко М.И. Климат в прошлом и будущем. Л.: Гидрометеиздат, 1980. 351 с.
77. Будыко М.И. Климат и жизнь. Л.: Гидрометеиздат, 1971. 472 с.
78. Врублевська О.О., Катеруша Г.П. Прикладна кліматологія: Конспект лекцій. Дніпропетровськ: Економіка, 2005. 131 с.
79. Исаев А.А. Экологическая климатология. М.: Научный мир, 2001. 456 с.
80. Адаменко В.Н., Хайруллин К.Ш. Проблемы биоклиматической оценки суровости погоды и мелиорация микроклимата застройки //Труды ГГО. 1973. Вып. 306. С. 3-18.
81. Русанов В.И. Комплексные метеорологические показатели и методы оценки климата для медицинских целей. Учебное пособие. Т.: Изд-во Томского ун-та, 1981. 84 с.
82. Хентшел Г. Крупномасштабная и локальная классификация климата с точки зрения биометеорологии человека // Труды Международного симпозиума ВМО (ВОЗ) ЮНЕП. Том 1. Л.: Гидрометеиздат, 1988. С. 139-159.
83. Україна та глобальний парниковий ефект. Книга 2. Вразливість і адаптація екологічних та економічних систем до зміни клімату // За ред. В.В. Васильченка, М.В. Рапцуна, І.В. Трофимової. К.: Агентство з раціонального використання енергії та екології, 1998. 208 с.
84. Методические рекомендации по изучению влияния изменений климата на строительство, энергетику, транспорт и здоровье человека. С-Пб.: 2000. 16 с.
85. Resinger A. [Climate Change 2007: the AR4 Synthesis Report](#). Geneva (Switzerland): IPCC. 2007. [Cited 2008. 27 November]. Available from: <http://www.spcc.ch> >.
86. Stellman J.M. Encyclopaedia of occupational health and safety. Т. 4. Geneva. 1998.

87. Серга Е.М. Универсальный адаптивный итерационный метод кластерного анализа //Міжвідомчий наук. зб. України: Метеорологія, кліматологія, гідрологія. 2003. Вип. 47. С. 83-89.

Навчальне електронне видання

НЕДОСТРЕЛОВА ЛАРИСА ВАСИЛІВНА
ВПЛИВ КЛІМАТИЧНИХ ЗМІН НА ГАЛУЗІ ЕКОНОМІКИ УКРАЇНИ
ЧАСТИНА III

Конспект лекцій

Видавець і виготовлювач
Одеський державний екологічний університет
вул. Львівська, 15, м. Одеса, 65016
тел./факс: (0482) 32-67-35
E-mail: info@odeku.edu.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
ДК № 5242 від 08.11.2016