

УДК 63 :(551.58 (62+ 63+ 556)
КП XXXXXX
№ держреєстрації 0113U000629
Інв. №

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
(ОДЕКУ)

65016, м. Одеса, вул. Львівська, 15; тел. (0482) 32-67-35



ЗАТВЕРДЖУЮ
Проректор з НР ОДЕКУ,
д-р геогр. наук, професор
Ю.С. Тучковенко
15.12.2016

ЗВІТ
ПРО НАУКОВО-ДОСЛІДНУ РОБОТУ

Оцінка кліматичних ризиків для галузей економіки України в умовах
глобальних змін клімату

ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ЗБИТКІВ ВІД ОЧІКУВАНИХ ЗМІН
КЛІМАТУ В ГАЛУЗЯХ НАРОДНОГО ГОСПОДАРСТВА УКРАЇНИ
(заключний)

Керівник НДР
Зав. кафедри
д-р ф.-м. наук., професор

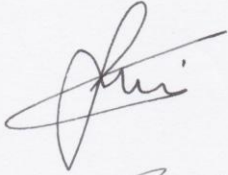




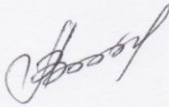



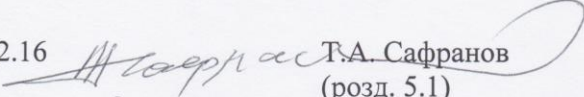

С.М. Степаненко


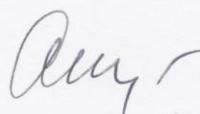
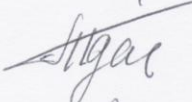
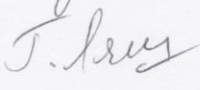

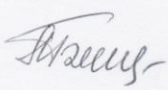



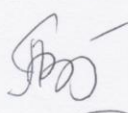


2016 р.

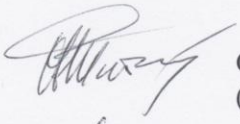
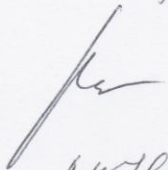
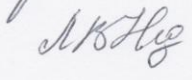

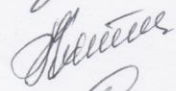




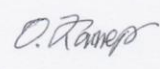
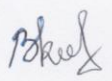


Рукопис закінчено 15 грудня 2016

Звіт розглянуто науково-технічною радою ОДЕКУ,
протокол № 6 від 22.12.2016 р.

СПИСОК АВТОРІВ

Керівник НДР, д-р ф.-м. наук, проф.	15.12.16		С.М. Степаненко, (передмова, розд. 2, висновки)
Провідний науковий співробітник д-р геогр. наук, проф.	15.12.16		А.М. Польовий (передмова, розд. 6, висновки)
Старший науковий співробітник д-р геогр. наук, проф.	15.12.16		В.М. Хохлов (розділ 1.1-1.2)
Старший науковий співробітник канд. геогр. наук, доцент	15.12.16		І.Г. Семенова (розділ 1.3)
Старший науковий співробітник канд. геогр. наук, доцент	15.12.16		І.А. Хоменко (розділ 2.1-2.3)
Старший науковий співробітник канд. геогр. наук, доцент	15.12.16		О.В. Волошина (розділ 2.4)
Старший науковий співробітник канд. геогр. наук, доцент	15.12.16		Г.О. Боровська (розділ 3)
Старший науковий співробітник НДЧ канд. геогр. наук	15.12.16		А.М. Лужбін (розділ 3)
Старший науковий співробітник, канд. ф.-м. наук, доцент	15.12.16		В.Г. Волошин (розділ 4)
Провідний науковий співробітник д-р геогр. наук, проф.	15.12.16		Т.А. Сафранов (розд. 5.1)
канд. геогр. наук, доцент	15.12.16		А.І. Волков (розд. 5.1)

Старший науковий співробітник, канд. геогр. наук, доцент	15.12.16		Г.П. Катеруша (розділ 5.2-5.4)
д-р геогр. наук	15.12.16		В.С. Антоненко (розділ 6)
канд. геогр. наук	15.12.16		Т.І. Адаменко (розділ 6.6)
Старший науковий співробітник, д-р геогр. наук, проф.	15.12.16		Г.В. Ляшенко (розділ 6)
Старший науковий співробітник, д-р геогр. наук, проф.	15.12.16		Н.С. Лобода (розділ 7)
Старший науковий співробітник канд. геогр. наук, доцент	15.12.16		Л.Ю. Божко (розділ 6.1-6.3)
Старший науковий співробітник канд. геогр. наук, доцент	15.12.16		О.Л. Жигайло (розділ 6.7)
Старший науковий співробітник канд. геогр. наук, доцент	15.12.16		О.В. Вольвач (розділ 6.9)
Старший науковий співробітник канд. геогр. наук, доцент	15.12.16		С.М. Свидерська (розділ 6.8)
Старший науковий співробітник канд. геогр. наук, доцент	15.12.16		О.А. Барсукова (розділ 6.5)
Старший науковий співробітник	15.12.16		Т.К. Костюкевич (розділ 6.4)
Старший науковий співробітник НДЧ	15.12.16		С.М. Мажура (розділ 6.5) підготовка звіту

Старший викладач	15.12.16		О.В. Шаблій (розділ 6)
Старший науковий співробітник	15.12.16		В.Г. Ільїна (розділ 6)
Старший науковий співробітник канд. геогр. наук, доцент	15.12.16		Л.В. Недострелова (розділ 1)
Науковий співробітник	15.12.16		В.Ю. Куришина (розділ 4)
Науковий співробітник	15.12.16		Є.А. Галич (розділ 4)
Науковий співробітник	15.12.16		О.Т. Витовська (розділ 3)
Молодший науковий співробітник канд. геогр. наук	15.12.16		Н.С. Єрмоленко (розділ 1.1-1.2)
Молодший науковий співробітник	15.12.16		А.В. Толмачова (розділ 6)
Молодший науковий співробітник	15.12.16		В.М. Андрусенко (розділ 6)
Молодший науковий співробітник	15.12.16		О.В. Катеруша (розділ 5.2)
Молодший науковий співробітник	15.12.16		В.В. Колосовська (розд. 6)
Молодший науковий співробітник	15.12.16		В.А. Панасенко (розд. 6)
Інженер 1 категорії НДЧ	15.12.16		Д.М. Зумбадзе (підготовка даних звіту)

Нормоконтролер



С.В. Малацковська

РЕФЕРАТ

Звіт про НДР: 451 с., 214 рис., 103 табл., 202 джерела.

Об'єкт дослідження – зміна режиму гідрометеорологічних елементів по території України на період до 2050 року, посіви сільськогосподарських культур, стан водних, вітрових та інших енергетичних ресурсів, потенціальні економічні збитки галузей народного господарства від змін клімату.

Метою проекту є моделювання ризикових ситуацій в галузях народного господарства України, виявлення динаміки і частоти повторювання екстремальних гідрометеорологічних явищ та кількісна оцінка кліматичних ризиків в галузях народного господарства України і пов'язаних з ними витрат за різних сценаріїв.

Методи досліджень – математичне моделювання екологічних процесів, методи математичної статистики.

Одержані результати – Отримана оцінка майбутнього температурного режиму та режиму опадів за кліматичними сценаріями RCP4.5 та RCP8.5., Встановлено, що протягом 2021–2050 рр. зміни температурного режиму на території України матимуть нерівномірний характер; визначено просторово-часовий розподіл посух на базі індексу посушливості у вегетаційний період 2020-2050 рр.; Згідно сценарних даних опалювальний період на території України до 2050 року зменшується в середньому на 6-8 діб; проведено порівняльний аналіз вітрових характеристик, отриманих за різними сценаріями; надано оцінку збільшення повторюваності метеорологічних явищ, які можуть погіршувати ситуацію для автотранспорту на дорогах уздовж автошляху «Одеса–Вознесенськ–Дніпропетровськ–Харків»; оцінено можливість роботи геліоустановок в умовах реалізації кліматичних сценаріїв; досліджено вплив майбутніх змін клімату на показники біокліматичного режиму; надається оцінка агрокліматичних ресурсів при змінах клімату та їх вплив на продуктивність сільськогосподарських культур, оцінка кліматичних ризиків вирощування цих культур; установлено, що зменшення водних ресурсів за розглянутими сценаріями буде спостерігатися на всій рівнинній території України.

СЦЕНАРІЇ ЗМІН КЛІМАТУ, ОПАДИ, ГЛОБАЛЬНЕ ПОТЕПЛІННЯ, ТЕМПЕРАТУРА ПОВІТРЯ, МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ, ВОДНІ РЕСУРСИ, КЛІМАТИЧНА НОРМА, ҐРУНТОВО-КЛІМАТИЧНІ ЗОНИ, ЗЕРНОВІ КУЛЬТУРИ, КЛІМАТИЧНІ РИЗИКИ

ЗМІСТ

	Стор.
Вступ.....	9
1 Проекції змін майбутнього режиму температури повітря та опадів в Україні.....	11
1.1 Сценарії викидів парникових газів та їх вплив на зміни клімату.....	11
1.2 Очікуваний розподіл температури та опадів згідно сценаріїв викидів RCP4.5 та RCP8.5 в Україні протягом 2021–2050 рр..	13
1.3 Прогностичний розподіл агрометеорологічних посух в Україні у короткостроковій перспективі на 2020-2050 рр.	23
2 Вплив кліматичних змін на транспортну та енергетичну системи України.....	33
2.1 Загальні відомості	33
2.2 База даних та загальна методика проведення дослідження.....	34
2.3 Аналіз отриманих результатів.....	45
2.3.1 Температура повітря.....	
2.3.1.1 Середня температура повітря.....	
2.3.1.2 Середньодобова максимальна температура повітря....	59
2.3.1.3 Середньодобова мінімальна температура повітря	65
2.3.2 Опади.....	71
2.3.3 Атмосферні явища.....	81
2.3.4 Вітер.....	84
2.3.5 Соціальні та економічні ризики.....	90
2.4 Траєкторії майбутніх кліматичних змін.....	98
2.5 Розрахункові величини опалювального періоду.....	100
2.6 Дослідження динаміки змін енергетичних ресурсів згідно з сценаріями RCP4,5 та RCP8,5.....	101
3 Енергетичний потенціал сонячної енергії в Україні.....	116
3.1 Розвиток альтернативної енергетики як об'єкту державного регулювання	116
3.2 Законодавче забезпечення державного регулювання розвитку альтернативної енергетики в Україні.....	120
3.3 Стан, проблеми та перспективи розвитку сонячної енергетики України	122
3.4 Оцінка змін геліоресурсів в Україні в умовах потепління клімату.....	124
3.4.1 Просторово-часовий розподіл середнього балу загальної хмарності	125
3.4.2 Загальна характеристика тривалості сонячного сяйва ...	131
3.4.3 Загальна характеристика радіаційного режиму на території України	136
3.4.4 Умови ефективного застосування сонячних	139

	електроенергетичних систем	
3.5	Оцінка вразливості геліоенергетичних ресурсів від екстремальних умов клімату	147
4	Вітровий режим в Україні в XXI ст. згідно з прогнозами сучасних сценаріїв сімейства Rcp змін клімату	161
4.1	Основи моделювання режиму вітру.....	161
4.1.1	Короткий огляд режиму вітру на Україні за минулий кліматичний період.....	161
4.1.2	Основи моделювання режиму вітру у зв'язку зі змінами клімату.....	164
4.2	Результати дослідження змін швидкостей вітру в різних регіонах України у зв'язку з прогнозованими змінами клімату до 2050 р., згідно зі сценаріями RCP4.5 і RCP8.5.....	165
4.2.1	Зміна вітрового режиму.....	166
4.3	Характеристика початкових даних і обґрунтування розрахункових методів, що використовуються для вирішення поставленої задачі.....	185
4.3.1	Соціальний ризик.....	189
4.3.2	Економічний ризик.....	192
5	Вплив очікуваних екстремальних умов клімату на біокліматичний режим та рекреаційно-туристичну діяльність України.....	195
5.1	Вплив змін клімату на рекреаційно-туристичну діяльність в регіонах України.....	195
5.2	Вплив очікуваних екстремальних умов клімату на біокліматичний режим України	207
5.2.1	Чутливість людини до високих температур повітря	208
5.2.2	Сучасні зміни клімату і здоров'я населення	211
5.2.3	Очікуваний просторово-часовий розподіл жарких днів по території України	218
5.2.4	Часові зміни і просторовий розподіл кількості днів з середньою добовою температурою вище 25 °C	227
5.2.5	Оцінка соціально-економічних наслідків кліматичного температурного ризику	233
6	Вплив змін клімату на агрокліматичні ресурси України	245
6.1	Характеристика радіаційних ресурсів.....	245
6.2	Вплив змін клімату на температурний режим	264
6.3	Вплив змін клімату на режим зволоження.....	272
6.4	Вплив зміни клімату на продуктивність озимого жита.....	284
6.4.1	Агрокліматичні умови вирощування озимого жита при реалізації сценарію RCP4.5.....	284
6.4.2	Агрокліматичні умови вирощування озимого жита при реалізації сценарію RCP8.5.....	289
6.4.3	Фотосинтетична продуктивність озимого жита при реалізації сценарію RCP4.5 зміни клімату в Україні.....	293

6.4.4	Фотосинтетична продуктивність озимого жита при реалізації сценарію RCP8.5 зміни клімату в Україні.....	298
6.4.5	Оцінка очікуваних ризиків недобору врожаю озимого жита.....	304
6.5	Оцінка впливу змін клімату на ріст, розвиток і формування врожайності ярого ячменю	308
6.6	Оцінка агрокліматичних умов вирощування кукурудзи за сценарієм rcp4.5 (період 2021-2050 рр.).....	331
6.7	Оцінка впливу кліматичних змін на ріст, розвиток і формування врожаю соняшника.....	341
6.7.1	Оцінка термінів сівби та фаз розвитку соняшник.....	341
6.7.2	Оцінка агрокліматичних умов вирощування соняшнику	343
6.7.3	Оцінка показників фотосинтетичної діяльності посівів соняшнику.....	348
6.7.4	Оцінка ризиків недобору врожаю насіння соняшника в 2021-2050 рр. в Україні.....	356
6.8	Моделювання впливу зміни клімату на продуктивність картоплі	358
6.9	Оцінка впливу змін клімату на ріст, розвиток формування врожайност цукрового буряку.....	388
6.9.1	Агрокліматичні умови вирощування цукрового буряку при реалізації сценаріїв RCP4.5 та RCP8.5.....	388
6.9.2	Оцінка за допомогою моделі продукційного процесу рослин фотосинтетичної продуктивності та коливання урожайності цукрового буряку при реалізації сценаріїв RCP4.5 та RCP8.5	395
6.9.3	Оцінка очікуваних ризиків недобору врожаю цукрового буряку при реалізації сценаріїв RCP4.5 та RCP8.5	403
7	Прогноз змін вод водних ресурсів України ХХІ сторіччя за сценаріями змін клімату (RCP8.5, RCP4.5) та оцінка ризиків для водного господарства.....	408
7.1	Огляд сучасних досліджень з питань оцінки водних ресурсів України в умовах змін клімату.....	408
7.2	Методи досліджень.....	410
7.3	Оцінка водних ресурсів України ХХІ сторіччя за сценарієм змін клімату (RCP4.5).....	414
7.4	Оцінка водних ресурсів України ХХІ сторіччя за сценарієм змін клімату (RCP8.5).....	423
7.5	Оцінка кліматичних ризиків у водному господарстві	429
	Висновки.....	434
	Перелік посилань.....	438

ВСТУП

За висновками провідних експертів зі зміни клімату за умов ігнорування антропогенного підсилення парникового ефекту, до 2100 року очікується підвищення концентрації CO_2 на 90–250 % у порівнянні з доіндустріальними рівнями, значне підвищення концентрацій метану та N_2O , підвищення середньої температури повітря на 1,4–5,8 °C. це призведе до збільшення кількості посух в континентальних районах середніх широт та подій, пов'язаних з екстремальними опадами, підвищення рівня світового океану на 10–88 см, зменшення льодовиків, танення вічної мерзлоти. Більш тепла погода та довготривалі періоди спеки можуть змінити середовище проживання та цикл життєдіяльності паразитів і інших носіїв хвороб, а також зменшити кількість водних ресурсів для потреб гідроенергетики і зрошування.

Глобальні зміни клімату, що відбуваються, викликають заклопотаність його різноспрямованими наслідками. Активна господарська діяльність людини призводить до різкої глобальної зміни в кругообігу речовин, що складається тисячоліттями, в біосфері. Відбувається глобальна антропогенна зміна функціонування рослинності, йде ерозія ґрунтів, змінюється клімат Землі, відбувається глобальне потепління.

Науково-технічний прогрес, і, передусім, швидке зростання енергетичної потужності цивілізації породжує численні проблеми, що вимагають оцінки, аналізу і глибокого вивчення. Вони викликані масштабом прямої дії людської діяльності на довкілля. Викиди CO_2 в атмосферу в результаті спалювання копалин органічного палива, вирубування лісів, заміна природних фітоценозів антропогенними, ерозії ґрунтів, різні забруднення і багато що інше змінюють, деформують сталий хід природних процесів і, отже, міняють умови життя і діяльності людей.

При зміні клімату відбувається зміна природних ресурсів і це не лише чисто кліматичні ресурси, але і ті, які певною мірою залежать від стану клімату, обумовлені його станом.

Особливості географічного положення та різноманіття синоптичних процесів, що зумовлюють погодні умови України, сприяють частому виникненню стихійних гідрометеорологічних явищ та надзвичайну складність розподілу їх у часі та просторі.

Обліку кліматично обумовлених природних ресурсів завжди надавалося велике значення в тих галузях економіки, які тісно пов'язані із станом погоди і клімату. Це, передусім, агропромисловий комплекс, в якому витрати на виробництво сільськогосподарської продукції визначаються відповідним набором кліматично обумовлених природних ресурсів. Далі слід назвати паливний комплекс – тут в першу чергу важливі термічні ресурси території, що визначають режим опалювання, роботу вентиляційних пристроїв і холодильних установок. Кліматично обумовлені природні ресурси грають помітну роль в енергетичному комплексі, визначаючи такі його компоненти

як гідроенергетичні ресурси, вітрові і геліоресурси антропогенні. Важливу роль грає екологічна компонента кліматично обумовлених природних ресурсів, що відбиває ту їх частину, яка відповідальна за здоров'я і, навпаки, ризики захворюваності населення. Слід вказати також водні ресурси, облік природних ресурсів в будівництві, в плануванні і експлуатації транспортних мереж, туризмі і рекреаційному використанні територій та ін.

Зміни клімату спричиняють за собою зміну кліматично обумовлених природних ресурсів. Це можуть бути, в перспективі, як сприятливі, так і несприятливі зміни, проте, у будь-якому випадку, в найближчому майбутньому вони спричиняють за собою перебудову відповідних соціальних і економічних умов. Для того, щоб пристосуватися до нових природних умов і пом'якшити наслідки змін вимагається перебудова ряду галузей економіки.

Якою б не представлялася картина цього майбутнього розвитку, розуміння цієї ситуації призводить до необхідності вирішення проблеми спостережень, досліджень, аналізу і прогнозу зміни кліматично обумовлених природних ресурсів у зв'язку із змінами клімату.

Її рішення вимагає проведення комплексних досліджень, пов'язаних із залученням різних галузей знань: географічних, сільськогосподарських, біолого-грунтових, медико-біологічних, біо-фізичних, 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 навести їх кількісну оцінку.

Метою виконаного дослідження є оцінка змін клімату, що відбуваються і передбачаються та оцінка впливу цих змін на галузі економіки України.

1 ПРОЕКЦІЇ ЗМІН МАЙБУТНЬОГО РЕЖИМУ ТЕМПЕРАТУРИ ПОВІТРЯ ТА ОПАДІВ В УКРАЇНІ

1.1 Сценарії викидів парникових газів та їх вплив на зміни клімату

Майбутні зміни клімату є однією з найбільших проблем, що стоїть перед людством в новому столітті. 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.

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 та енергетичного впливу просторовий розподіл і часова еволюція впливу та зворотній кліматичний зв'язок також відіграють значну роль у визначенні можливого впливу різних факторів на клімат. Зміни поверхні суші можуть також впливати на локальний та регіональний клімат за допомогою процесів, які не є радіаційними за своєю природою [1].

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 [1]. Слово репрезентативний означає, що кожна RCP показує лише один з багатьох можливих сценаріїв, які призвели б до отримання 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 атмосфера

концентрація CO_2 є вищою за сьогоднішній рівень унаслідок зростання сукупних викидів CO_2 протягом XXI століття.

Сценарії RCP визначаються приблизною сумарною величиною радіаційного впливу до 2100 року порівняно з 1750 р.: $2,6 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2}$ для RCP2.6; $4,5 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2}$ для RCP4.5; $6,0 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2}$ для RCP6.0 і $8,5 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2}$ 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) [1, 2]. Згідно RCP6.0 і RCP8.5, радіаційне 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).

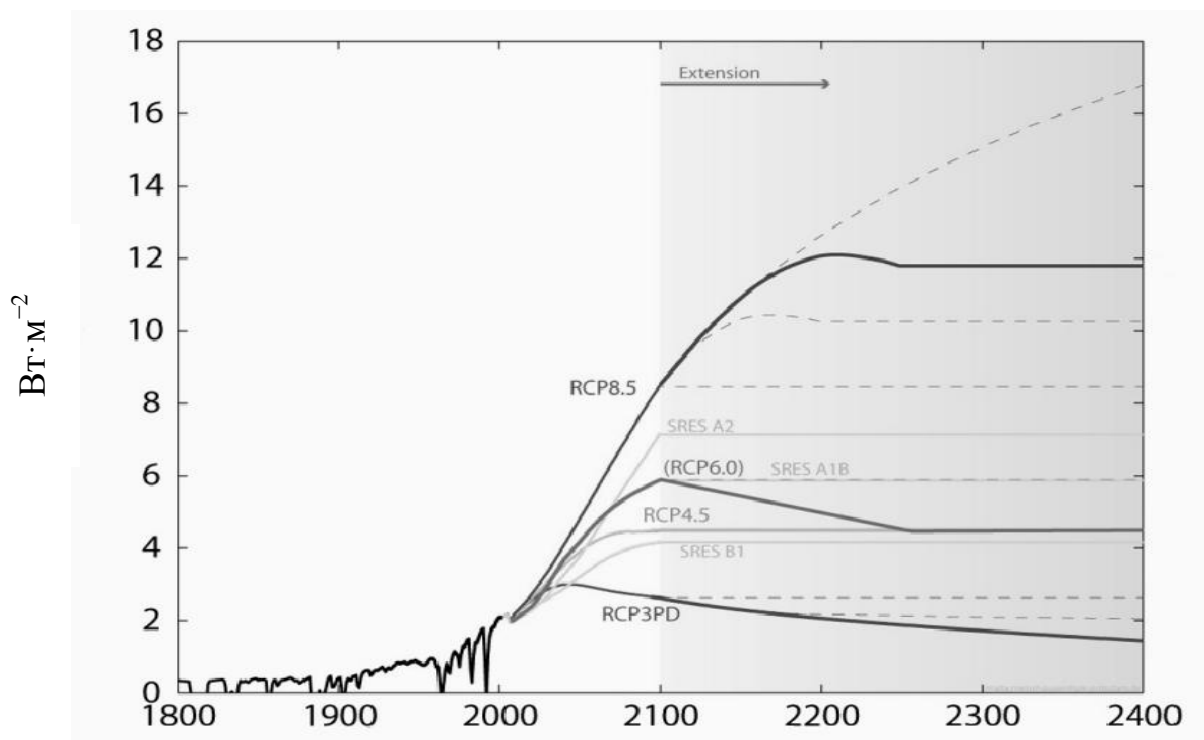


Рисунок 1.1 – Схематичне зображення радіаційного впливу (товсті лінії – рекомендовані траєкторії, пунктирні – траєкторії з врахуванням додаткових можливостей, визначених за альтернативними правилами) [3]

Таким чином, RCP можуть відображати результати цілого ряду заходів в області клімату в XXI-му столітті в порівнянні з їх відсутністю в Спеціальній доповіді про сценарії викидів (СДСВ), що використовувались в попередніх доповідях з питань зміни клімату [4]. Сценарії СДСВ були розроблені лише з використанням послідовного підходу, іншими словами, соціально-економічних, демографічних та технологічних факторів, які потім використовувалися 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 оціночних 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 по аерозолях [1, 2].

В даній роботі при моделюванні прогностичних змін режиму температури та опадів використовувались дані експерименту CORDEX – Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment, що створений 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 являють собою сценарії середнього та високого рівня викидів [5, 6].

Для досліджень використовувались дані гідрометеорологічних параметрів, які реалізовані в регіональній кліматичній моделі RASMO2. Модель RASMO2 поєднує в собі фізичні схеми, розроблені Європейським центром середньострокових прогнозів погоди (ECMWF) [7], і динамічну основу від моделі HIRLAM [8]. Вона пристосована для використання на льодових поверхнях та включає складну схему визначення альбедо 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 [9].

1.2 Очікуваний розподіл температури та опадів згідно сценаріїв викидів RCP4.5 та RCP8.5 в Україні протягом 2021–2050 рр.

З метою оцінки очікуваних змін клімату в Україні використовувались прогностичні значення температури повітря та опадів згідно двох сценаріїв викидів – RCP4.5 та RCP8.5 протягом періоду 2021–2050 рр. [10].

Як зазначалось раніше, сукупні викиди CO₂ в значній мірі 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 та температури повітря застосовувались дані для двох сценаріїв викидів – RCP4.5 та RCP8.5. За

даними лінійного тренду розраховані величини зміни температури повітря та опадів протягом 2010–2050 рр. для території України. Обчислення виконувались для середньорічних значень температури повітря та річної суми опадів, а також для їх сезонних показників. Зокрема, у зв'язку зі збільшенням повторюваності так званих “хвиль” тепла та холоду й екстремальних проявів розподілу температури повітря та опадів, достатньо цікавою є перспектива дослідження саме внутрішньосезонної (літної та зимової) мінливості цих характеристик в залежності від можливого розвитку різних сценаріїв викидів.

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 (рис. 1.2).

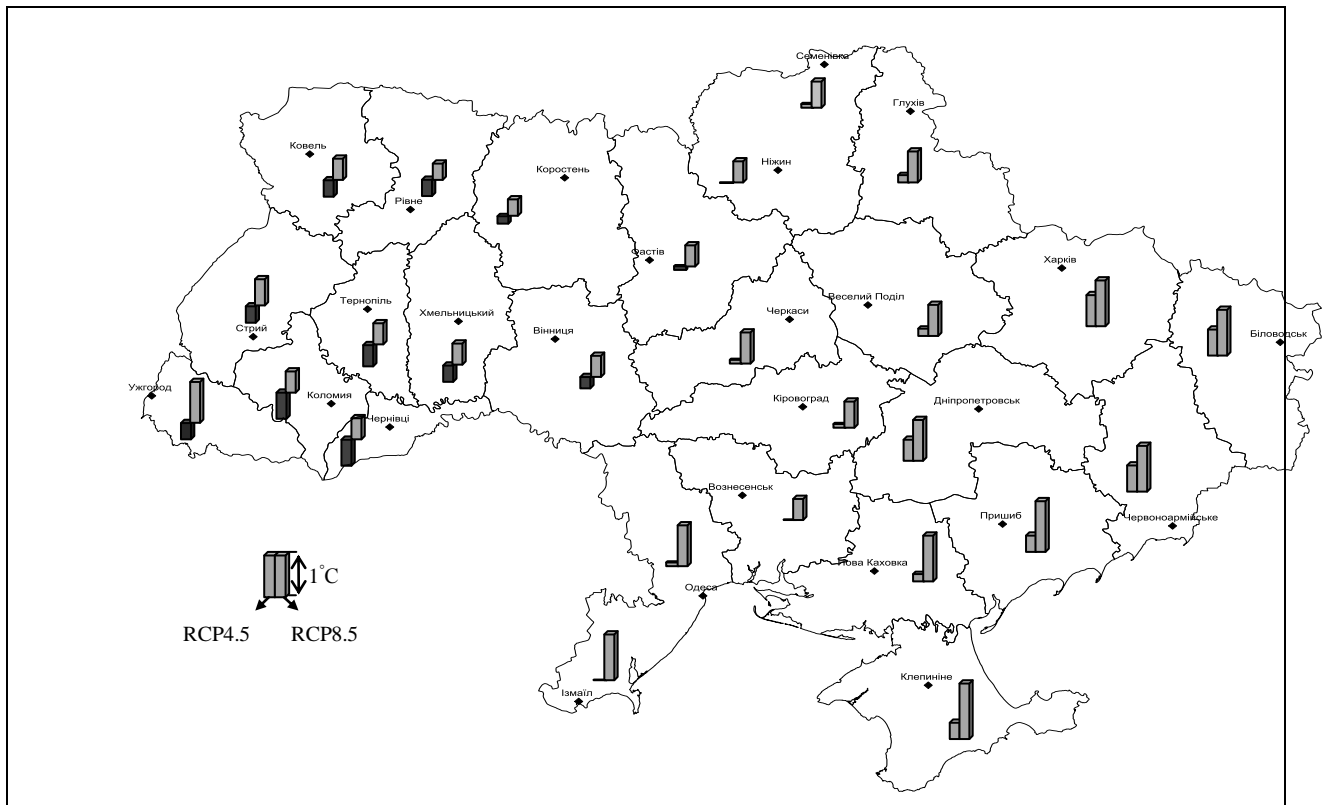


Рисунок 1.2 – Зміни середньорічної температури повітря в Україні згідно лінійних трендів (сірий – додатний тренд, чорний – від’ємний тренд) протягом 2021–2050 рр.

Так, можна відзначити, що протягом 2021–2050 рр. в західних областях України для RCP4.5 спостерігається тренд на 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 °С. На півночі та в центрі країни протягом зазначеного тридцятиріччя температура збільшиться в середньому на 0,1-0,2 °С та 0,5-0,7 °С 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 °С, а згідно RCP8.5 – на 0,9-1,2 °С за тридцятиріччя. Максимальні значення додатного тренду температури можливі в АР Крим.

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 °С очікуються в АР Крим. Південь України перебуватиме під впливом середньорічних температур повітря на рівні 8-9 °С. Хоча рівень ізотерми 9 °С 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 °С.

Мінімальні ж значення вказаної характеристики (6 °С) очікуються на північному сході країни, в межах Сумської та Чернігівської областей, та в Закарпатті. При розвитку сценарію RCP8.5 найменші значення середньорічної температури також прогнозуються в зазначених районах, проте її величина досягає позначки 7 °С (рис. 1.3).

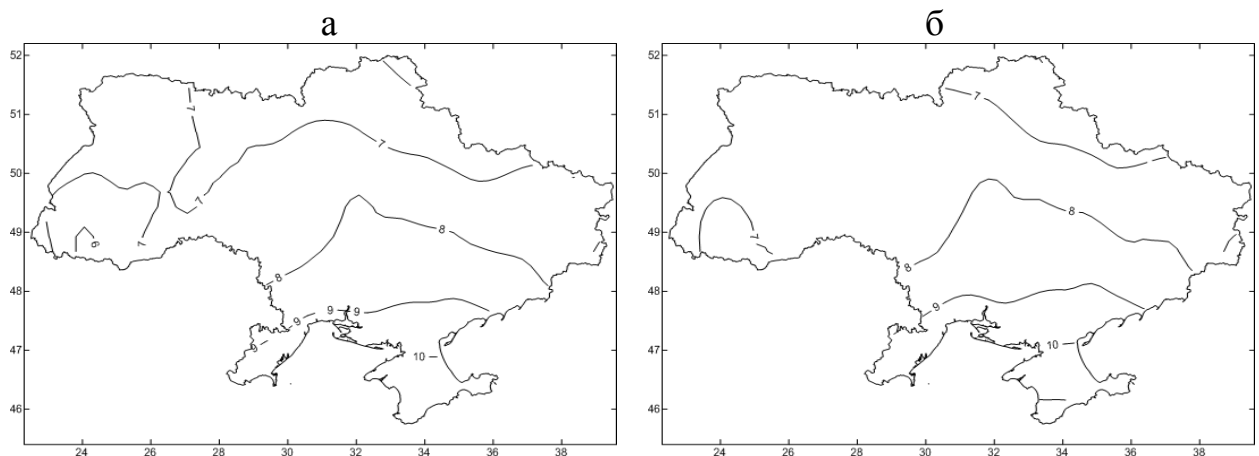


Рисунок 1.3 – Розподіл середньорічної температури повітря протягом 2021–2050 рр. для сценарію RCP4.5 (а) та RCP8.5 (б)

За подібним принципом розраховані зміни середньої температури повітря за сезонами року, а саме літо та зиму.

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 півдні Одещини за сценарієм викидів RCP4.5. Для інших областей заходу та центру України очікується

збільшення температури повітря в середньому за 30 років на 0,2-0,6 °C згідно RCP4.5 та на 0,4-0,7 °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 та східних областей максимальні величини, які становлять 1,0-1,3 °C, можливі при RCP8.5, в той час як на північному-сході найвагомніше збільшення середньої температури за літо відзначається при розвитку сценарію RCP4.5 (рис. 1.4).

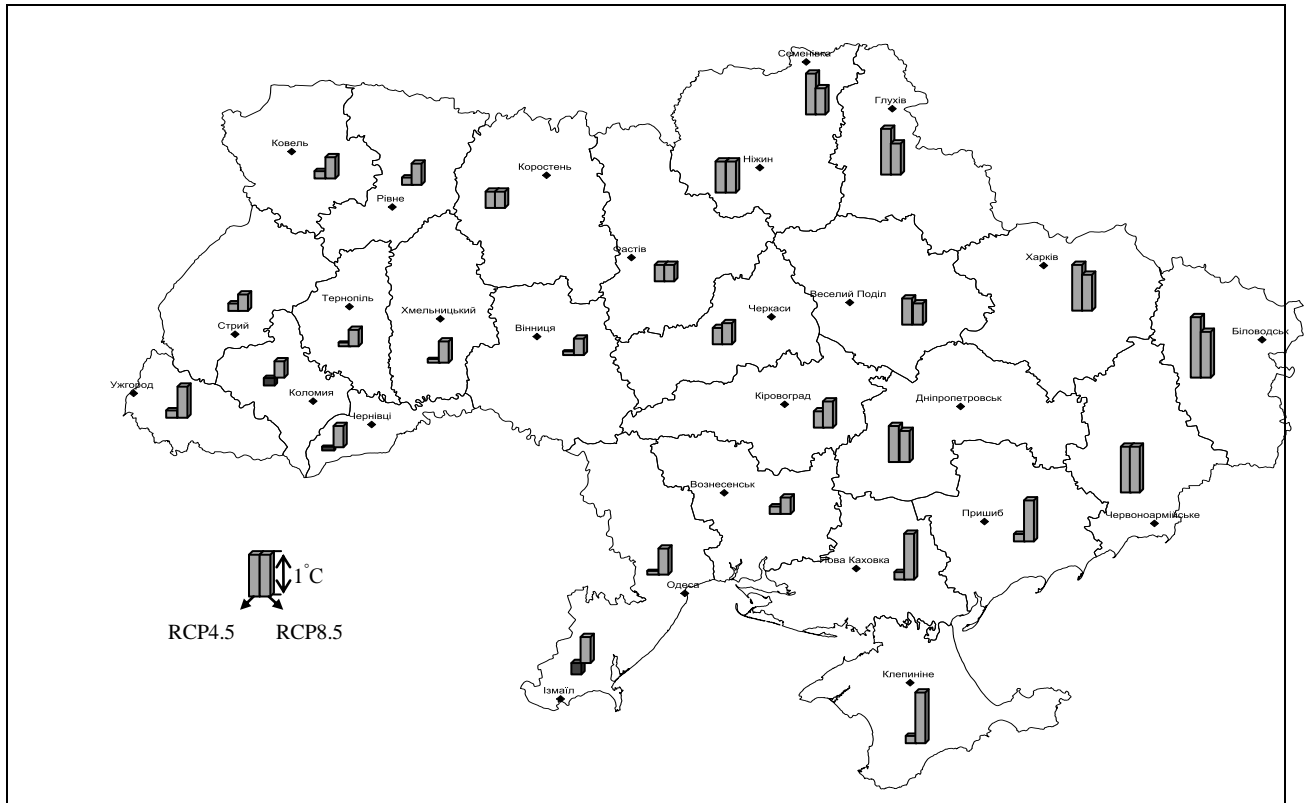


Рисунок 1.4 – Зміни середньосезонної літньої температури повітря в Україні згідно лінійних трендів (сірий – додатний тренд, чорний – від’ємний тренд) протягом 2021–2050 рр.

Аналіз просторового розподілу середньосезонної літньої температури повітря залежно від сценарію викидів також демонструє подібність побудованих полів (рис. 1.5).

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 та літніх, де не відзначалось дуже різких відмінностей між сценаріями, для зимового температурного режиму ці зміни є істотними.

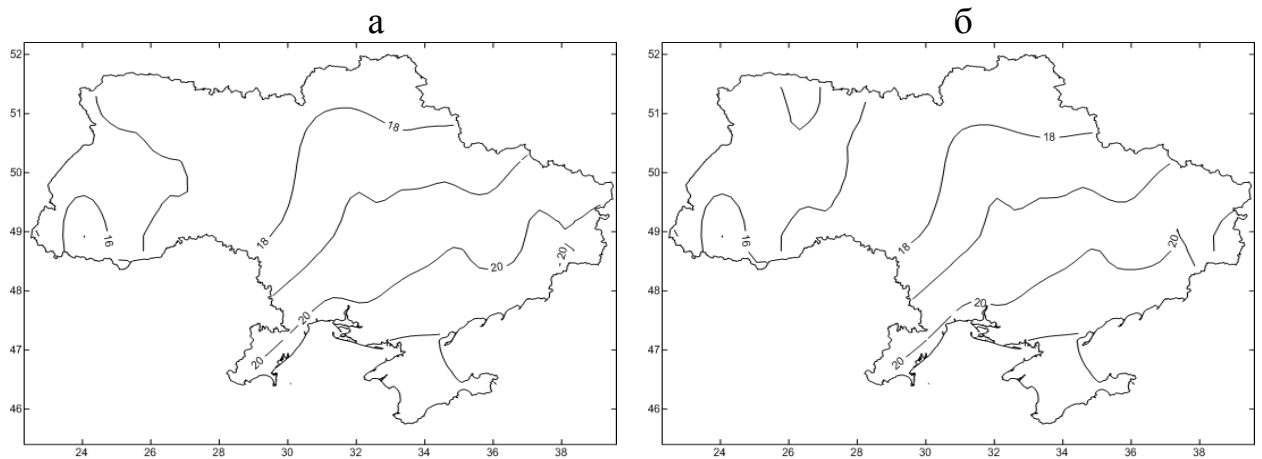


Рисунок 1.5 – Розподіл середньої температури повітря за літній сезон протягом 2021–2050 рр. для сценарію RCP4.5 (а) та RCP8.5 (б)

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 та повторюваності “хвиль” холоду. Найбільші значення від’ємного тренду 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 $1,2\text{--}1,8^{\circ}\text{C}$. Максимально різке збільшення (понад 2°C) відмічається на півдні Одеської області та в Закарпатті (рис. 1.6).

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 , Лісостеповій та Поліссі – біля -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.1.7).

Таким чином, підводячи 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. При цьому за даними сценарію RCP4.5 прогнозується суттєве зменшення сезонних зимових температур повітря.

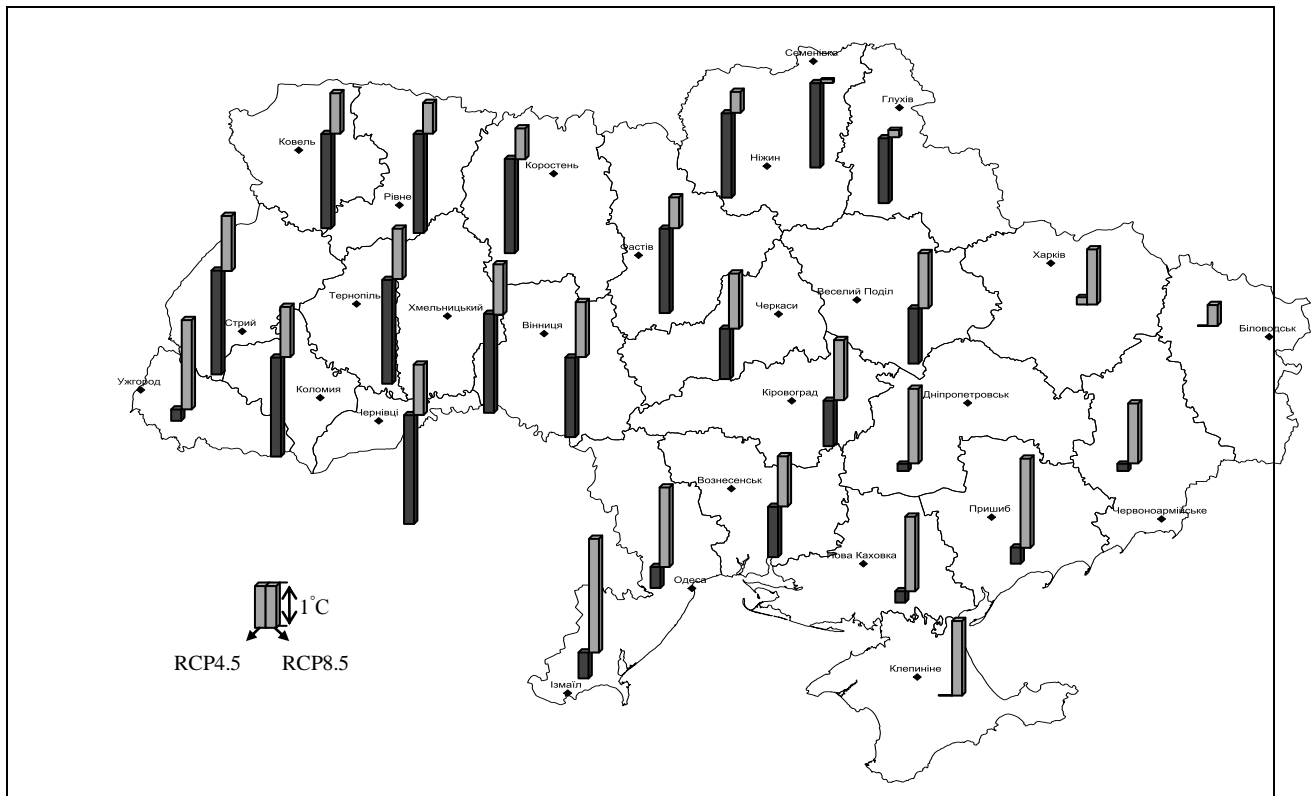


Рисунок 1.6 – Зміни середньосезонної зимової температури повітря в Україні згідно лінійних трендів (сірий – додатний тренд, чорний – від’ємний тренд) протягом 2021–2050 рр.

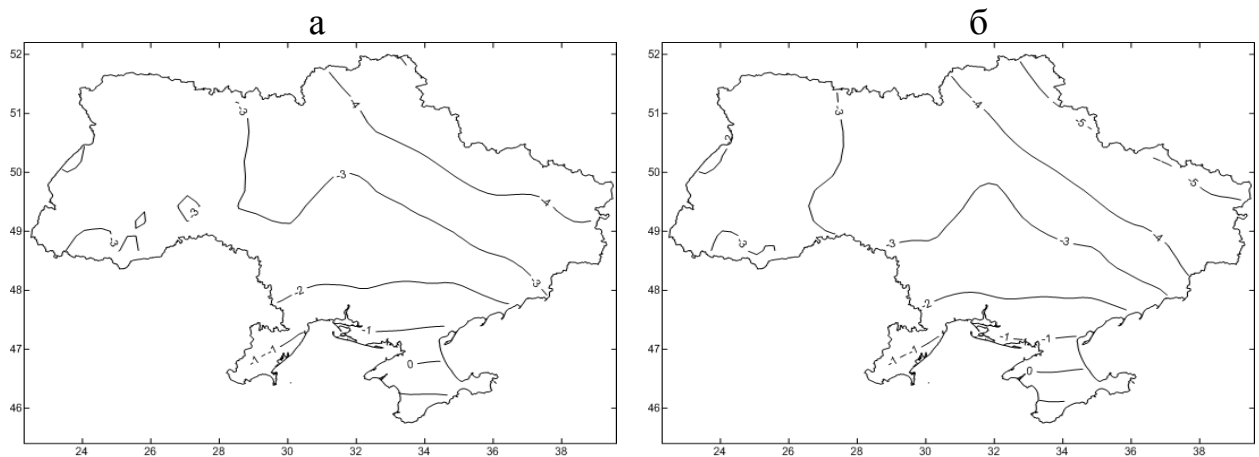


Рисунок 1.7 – Розподіл середньої за зимовий сезон температури повітря протягом 2021–2050 рр. для сценарію RCP4.5 (а) та RCP8.5 (б)

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. Для дослідження величини зміни

очікуваної кількості опадів в середньому за рік та окремо по сезонам за даними лінійного тренду обчислені значення прогностичних відхилень у відсотковому співвідношенні від загальної середньої за період суми опадів за рік та відповідні літній 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. 1.8).

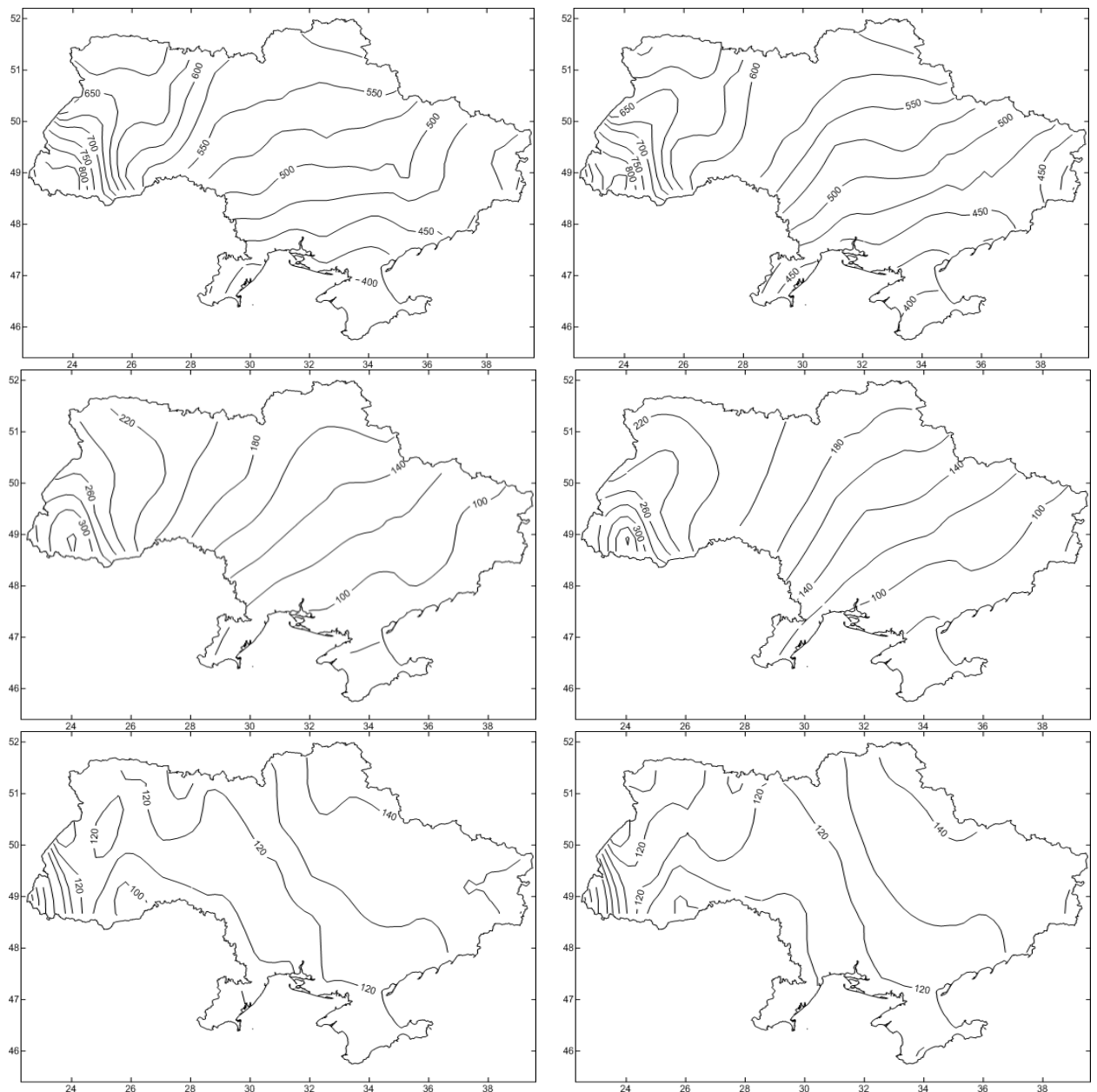


Рисунок 1.8 – Розподіл річної кількості опадів (зверху), суми опадів за літній (усередині) та зимовий (знизу) сезон протягом 2021–2050 рр. для сценарію RCP4.5 (зліва) та RCP8.5 (справа)

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 величини опадів за літо не перевищує 80 мм, що може свідчити про можливе збільшення повторюваності та інтенсивності літніх посух.

Для зимових опадів також основний осередок найбільшої кількості опадів (понад 180 мм) також фіксується в Закарпатській області, проте відносно 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.1.8).

Таким чином, на основі отриманих результатів розподілу опадів за рік та по сезонам 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 % (рис. 1.9).

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

Для літніх сезонів року згідно RCP4.5 очікується зменшення кількості опадів на 5-10 % – в західних областях, та 15-20 % – в Чернігівській та Сумській області. 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 (рис. 1.10).

Аналізуючи можливі майбутні зміни режиму зимових опадів можна відзначити, що згідно сценарію RCP4.5 збільшення кількості опадів за зиму в середньому за період 2021–2050 рр. очікуються по всій території України. Максимальні показники додатного тренду, 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 %.

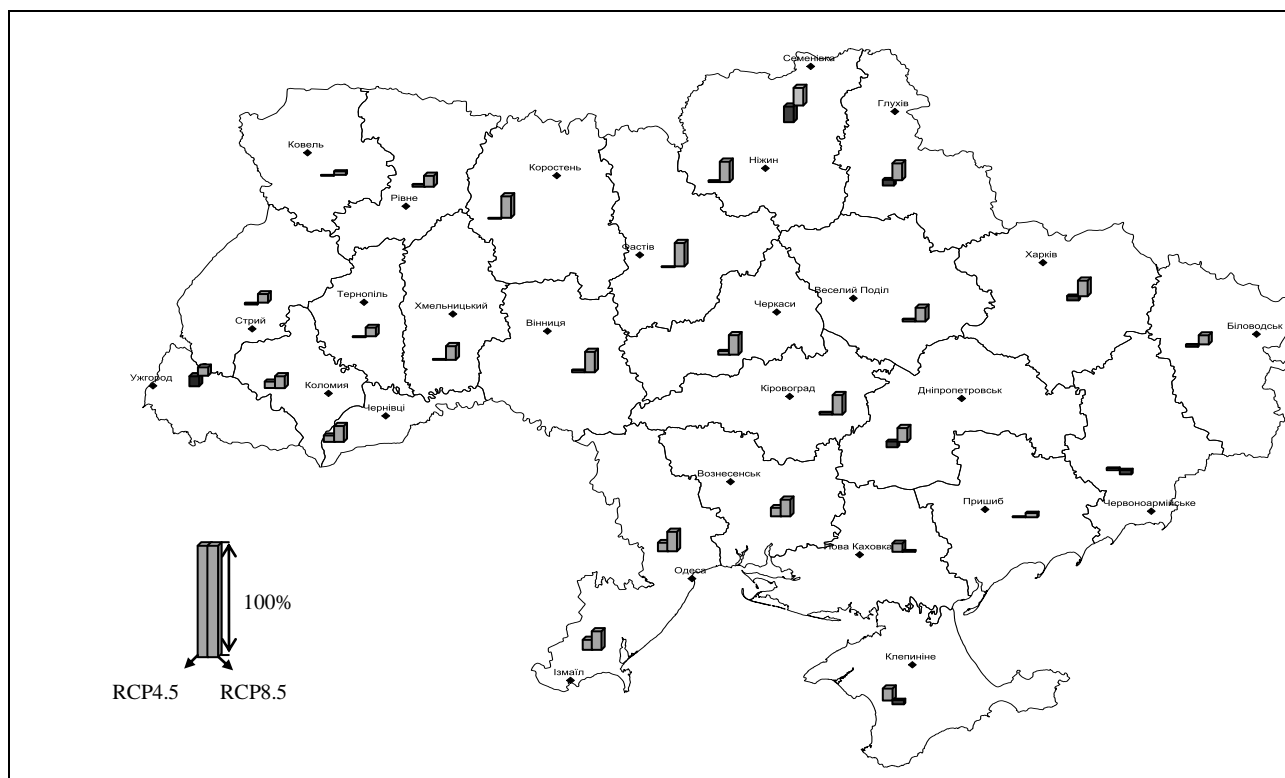


Рисунок 1.9 – Зміни річної кількості опадів в Україні згідно лінійних трендів (сірий – додатний тренд, чорний – від’ємний тренд) протягом 2021–2050 рр.

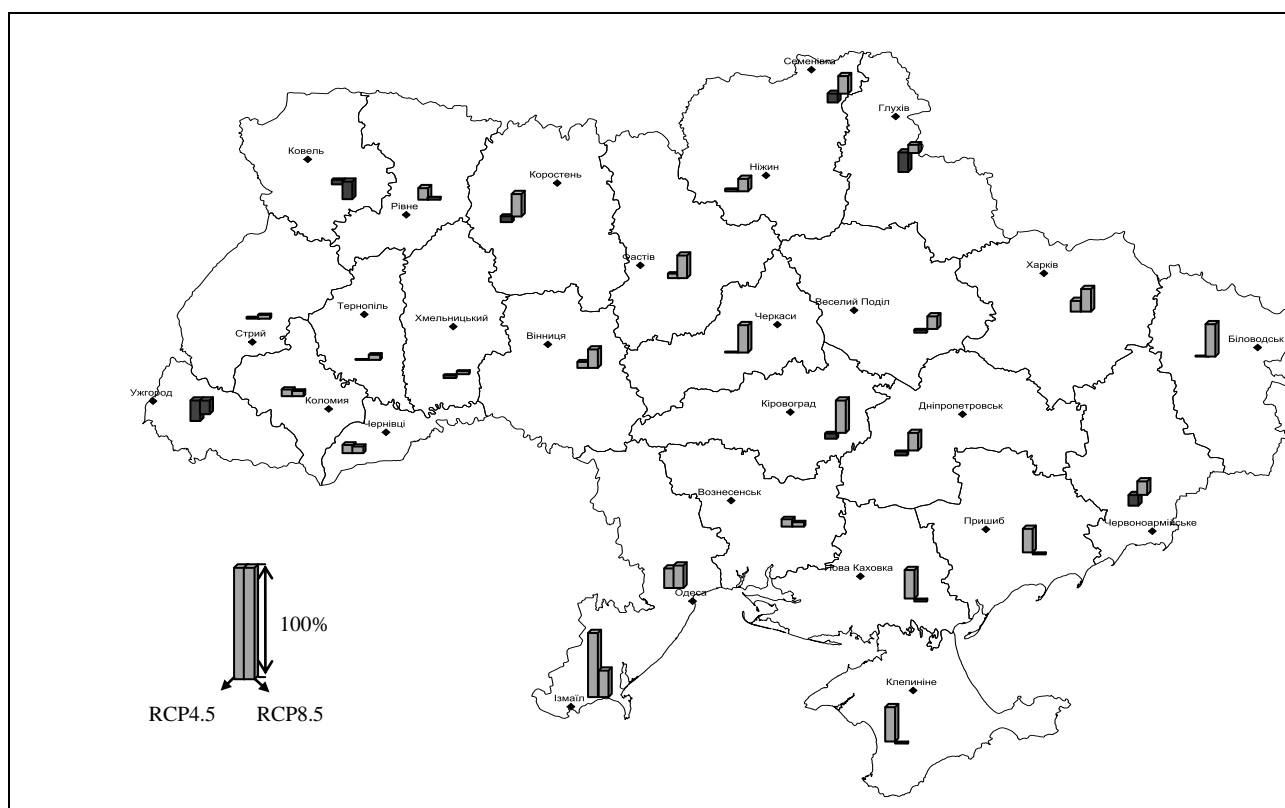


Рисунок 1.10 – Зміни кількості опадів за літо в Україні згідно лінійних трендів (сірий – додатний тренд, чорний – від’ємний тренд) протягом 2021–2050 рр.

Дещо 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 та західних регіонах показник додатної тенденції не перевищує 5-15 % від загальної суми опадів за сезон (рис. 1.11).

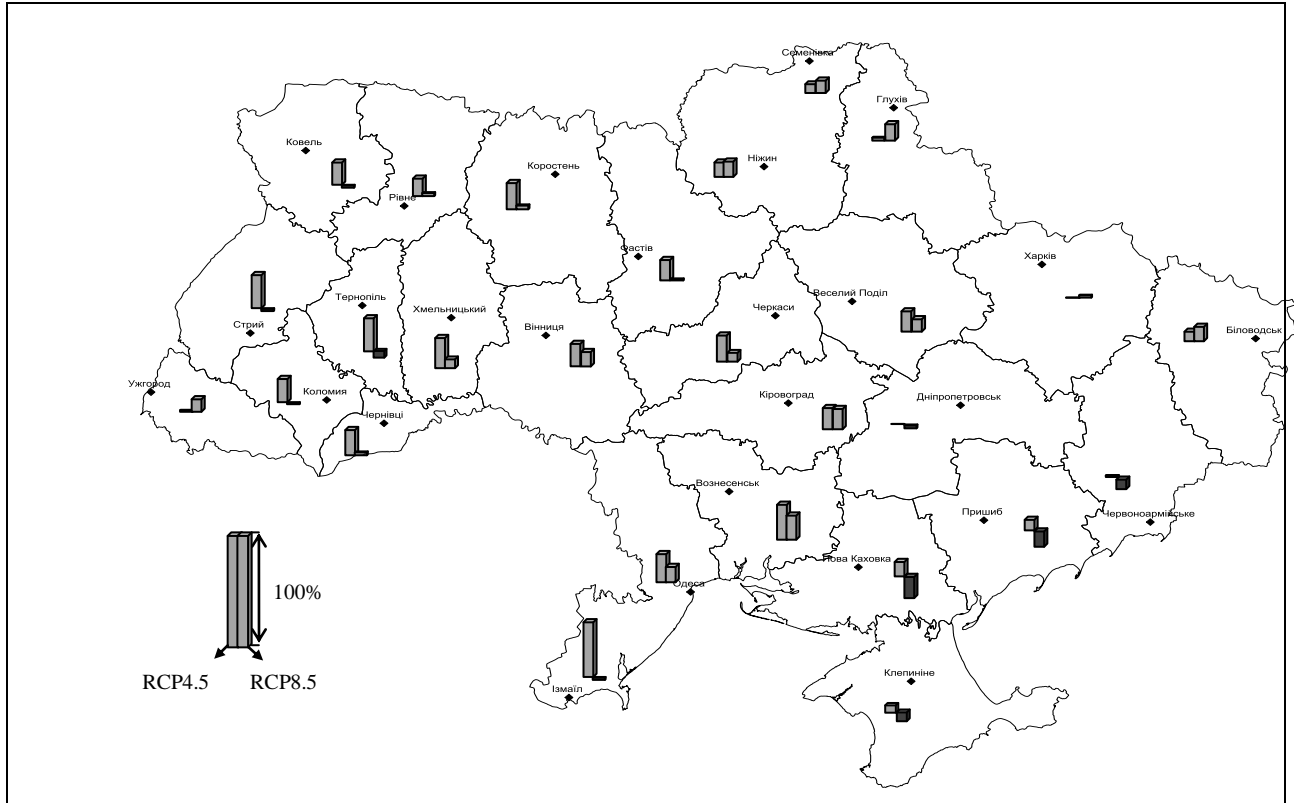


Рисунок 1.11 – Зміни кількості опадів за зиму в Україні згідно лінійних трендів (сірий – додатний тренд, чорний – від’ємний тренд) протягом 2021–2050 рр.

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 сезонам прогнозується для західних областей країни, найменша – для південних. В той час сума опадів за літні сезони дещо 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.

1.3 Прогностичний розподіл агрометеорологічних посух в Україні у короткостроковій перспективі на 2020-2050 рр.

Агрометеорологічні (сезонні) посухи виникають на території України досить часто у будь-який сезон вегетаційного періоду, коли через тривалу нестачу атмосферних опадів виникає ґрунтова посуха, що поєднується з атмосферою та переходить у найбільш несприятливу для сільськогосподарських рослин загальну посуху [11, 12]. Частота появи посухи зазнає певних коливань в умовах окремих кліматичних періодів [13, 14]. В сучасний кліматичний період в Україні переважають весняні та літні посухи, повторюваність осінніх дещо менша. Середня періодичність появи посух будь-якої інтенсивності в кожному з трьох сезонів року наразі в Степу становить раз на 2-3 роки, в Лісостепу – раз на 4-6 років, в Поліссі – раз на 4-9 років.

Оцінка просторово-часового розподілу посух в майбутньому здійснюється, зазвичай, на основі даних кліматичного моделювання. З 2014 року для описання майбутніх кліматичних умов використовують нові кліматичні сценарії - Репрезентативні траєкторії концентрацій (РТК), які було представлено у матеріалах П'ятої фази Проекту порівняння спільних моделей (ППСМ5) Всесвітньої програми досліджень клімату [15]. РТК визначаються приблизною сумарною величиною радіаційної дії (РД) в 2100 році в порівнянні з 1750 роком: 2,6 Вт·м⁻² для РТК2.6; 4,5 Вт·м⁻² для РТК4.5; 6,0 Вт·м⁻² для РТК6.0; 8,5 Вт·м⁻² для РТК8.5. Згідно РТК6.0 і РТК8.5, радіаційна дія не досягає максимального значення до 2100 г.; в РТК2.6 вона досягає максимуму і потім знижується; і в РТК4.5 вона стабілізується до 2100 р.

Прогнозований розподіл посух на території України по сезонах в даному дослідженні був отриманий на період 2020-2050 рр. за допомогою стандартизованого індексу опадів SPI, який був запропонований у роботах МакКі та ін. [16] та рекомендований ВМО для моніторингу посух національними метеорологічними службами [17].

Розрахунок індексу SPI базується на використанні часових рядів місячних сум опадів. Процедура розрахунку включає перетворення часових рядів опадів із застосуванням гама-розподілу, а потім нормування отриманих ймовірностей у стандартизований індекс опадів:

$$SPI = F^{-1}G(R), \quad (1.1)$$

де G – інтегральна функція гамма-розподілу;

R - кількість опадів ;

F^{-1} – нормований гаусів розподіл.

Інтенсивність посух визначається за від'ємними значеннями SPI: -0,99...0,00 – м'яка посуха, -1,49...-1,00 – помірна посуха, -1,99...-1,50 – сильна посуха, $\leq -2,00$ – екстремальна посуха.

В даному дослідженні індекс SPI був розрахований з використанням мультимодельних даних ППСМ5 по опадах на часових масштабах у три місяці (SPI3), які є характерними для агрометеорологічних посух. Тобто, для оцінки весняно-літніх (квітень-червень) посух був взятий індекс SPI3 за червень, для літніх (червень-серпень) посух – за серпень, та для літньо-осінніх (серпень-жовтень) посух – за жовтень.

Вихідні поля метеорологічних величин представлені мультимодельними даними (осереднення по 32 глобальним моделям ППСМ5) з кроком регулярної сітки 2,5 градуси. Дані взяті для двох граничних кліматичних сценаріїв – м'якого RCP2.6 і жорсткого RCP8.5. Доступ до баз даних ППСМ5 здійснений за допомогою сервісу Climate Explorer (<http://climexp.knmi.nl>).

Згідно виконаного аналізу просторово-часового розподілу аномалій приземної температури повітря [18], за обома кліматичними сценаріями на території України очікується підвищення температури повітря впродовж тридцяти років: за м'яким сценарієм до кінця періоду температура може підвищитися на 2,1°C, за жорстким сценарієм – на 2,8-3,1 °C відносно базового періоду 1981-2010 рр. Зростання температури буде супроводжуватися переважно збільшенням кількості опадів за жорстким сценарієм, та зменшенням опадів за м'яким сценарієм.

Далі розглянемо, як будуть розподілятися по території України посухи у різних сезонах вегетаційного періоду протягом 2020-2050 рр.

Весняно-літні посухи

Просторовий розподіл повторюваності весняно-літніх посух за двома сценаріями суттєво різняться (рис. 1.12).

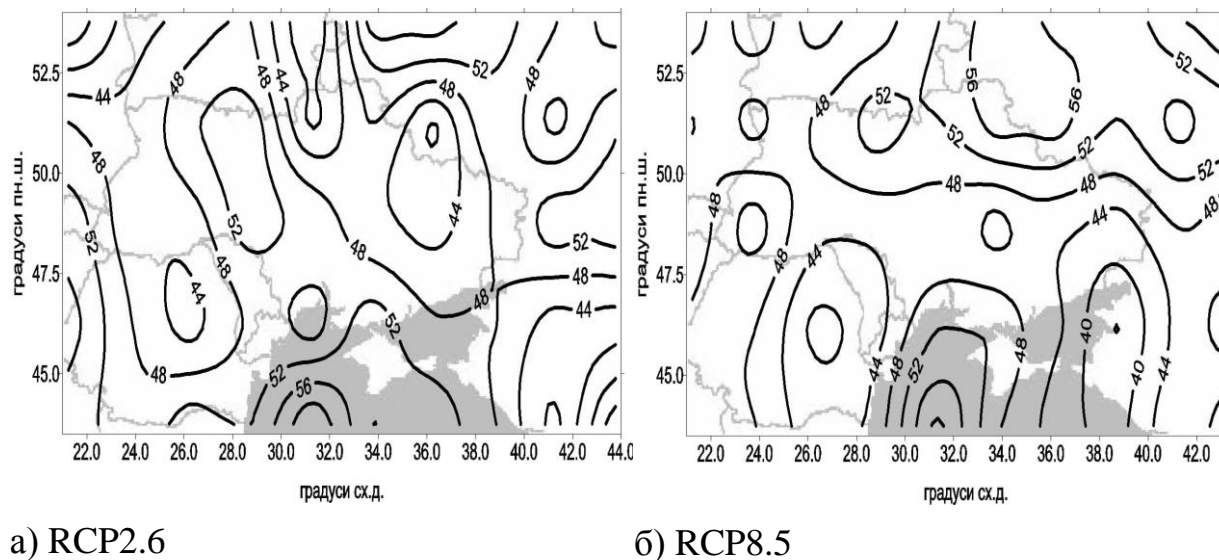


Рисунок 1.12 – Загальна повторюваність весняно-літніх посух (SPI < 0, %) за сценаріями RCP2.6 (а) та RCP8.5 (б) в період 2020-2050 рр.

За сценарієм RCP2.6 середня повторюваність по території країни коливається в межах 44-52%, тобто майже кожна друга весна прогнозується посушливою (рис. 1.12, а). При цьому вузька смуга підвищеної повторюваності посух (понад 52%) проходить з півночі (Житомирська область) на південний захід (Одеська область), а також охоплює Крим. На решті території повторюваність посух знижується до 44% і менше. За сценарієм RCP8.5 розподіл більш однорідний, максимум сезонних посух прогнозується в північних областях (понад 52%), а також на крайньому півдні країни (рис. 1.12, б). На решті території середня повторюваність посух становить 44-48 %. М'які весняно-літні посухи переважають в сценарії RCP2.6 – вони прогнозуються у 8-12 роках (рис. 1.13, а), при цьому максимум розташований в тих же областях, що і в загальному розподілі (див. рис. 1.12, а). За сценарієм RCP8.5 в більшості областей кількість років з весняно-літньою посухою коливається від 7 до 9, а мінімум повторюваності знаходиться в центрі країни (рис. 1.13, д). І лише на крайньому північному сході (Харківська, Сумська області) кількість років з посухою підвищується до 12-13. Розподіл помірних весняно-літніх посух за сценарієм RCP2.6 характеризується максимумом повторюваності від 3 років в східних областях і районі Карпат та мінімумом (до 1 року) на південному заході (рис. 1.13, б). На решті території прогнозується близько 2 років з помірними посухами.

В жорсткому сценарії RCP8.5 років з помірними посухами більше, максимальна їх кількість - 4-5 роки, прогнозується в центрі країни. В західних областях кількість помірних посух зменшується до 3 років, а в північно-східній частині до 1-2 років (рис. 1.13, е).

Кількість років з сильними весняно-літніми посухами по території країни коливається в межах 1-2 роки за обома сценаріями (рис. 1.13, в, ж).

Але в сценарії RCP2.6 прогнозується максимум в 3 роки у Волинській та Львівській областях (рис. 1.13, в), тоді як в жорсткому сценарії RCP8.5 максимум (2 роки) зміщений на Карпатський регіон. Другий максимум (≥ 2 років) в обох сценаріях займає Вінницьку, Черкаську, Одеську, Миколаївську та Кіровоградську області.

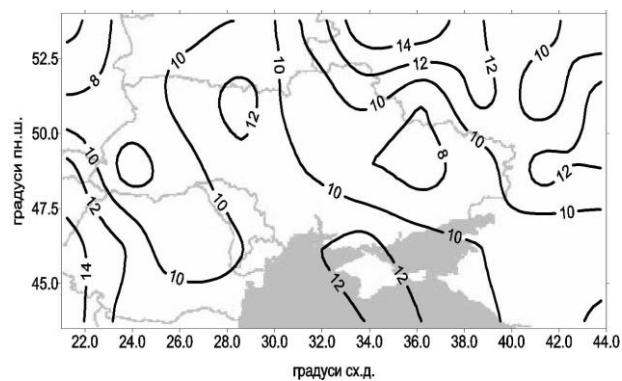
В жорсткому сценарії RCP8.5 років з помірними посухами більше, максимальна їх кількість - 4-5 роки, прогнозується в центрі країни. В західних областях кількість помірних посух зменшується до 3 років, а в північно-східній частині до 1-2 років (рис. 1.13, е).

Кількість років з сильними весняно-літніми посухами по території країни коливається в межах 1-2 роки за обома сценаріями (рис. 1.13, в, ж).

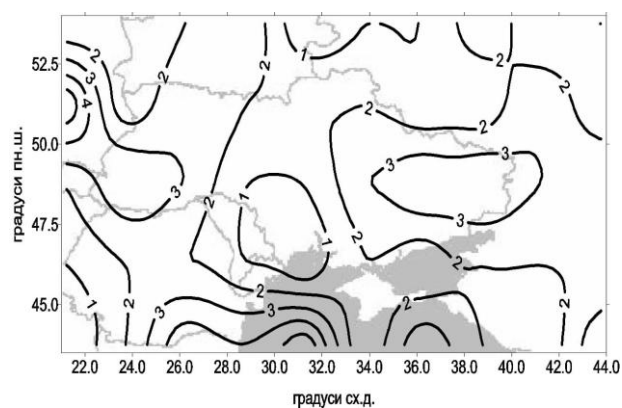
Але в сценарії RCP2.6 прогнозується максимум в 3 роки у Волинській та Львівській областях (рис. 1.13, в), тоді як в жорсткому сценарії RCP8.5 максимум (2 роки) зміщений на Карпатський регіон. Другий максимум (≥ 2 років) в обох сценаріях займає Вінницьку, Черкаську, Одеську, Миколаївську та Кіровоградську області.

Повторюваність екстремальних весняно-літніх посух прогнозується в середньому не більше 1 разу за 31 рік за обома сценаріями (рис. 1.13, г, з).

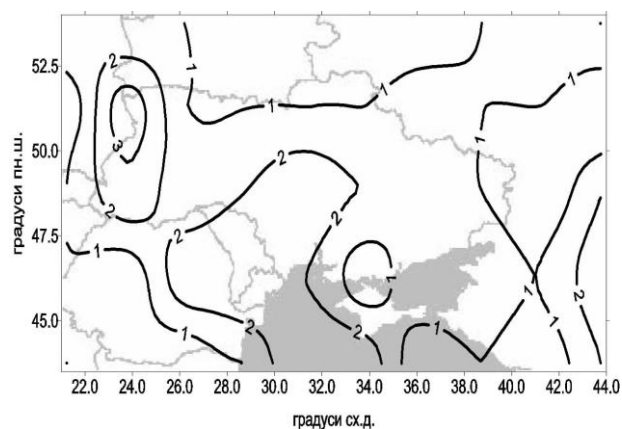
CP2.6



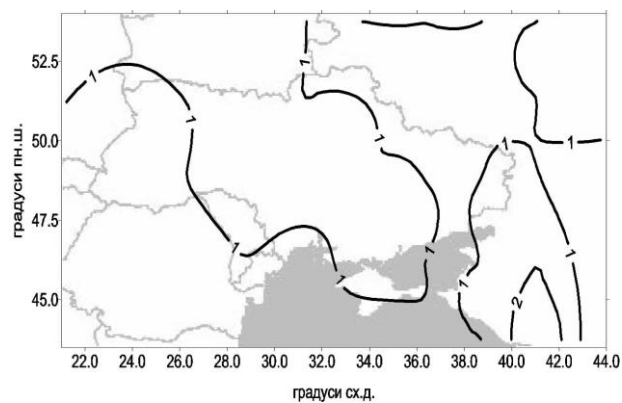
а)



б)

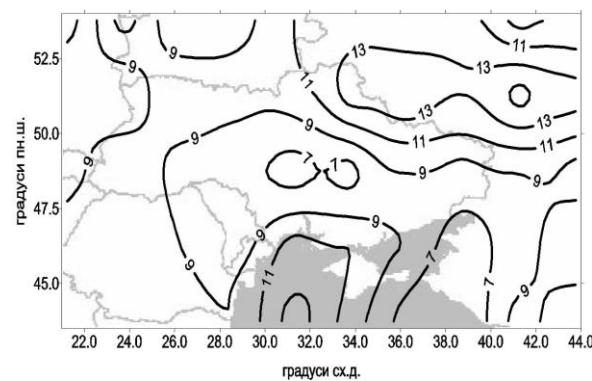


в)

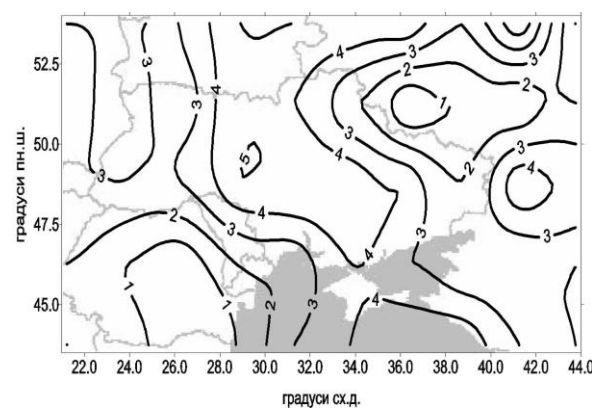


г)

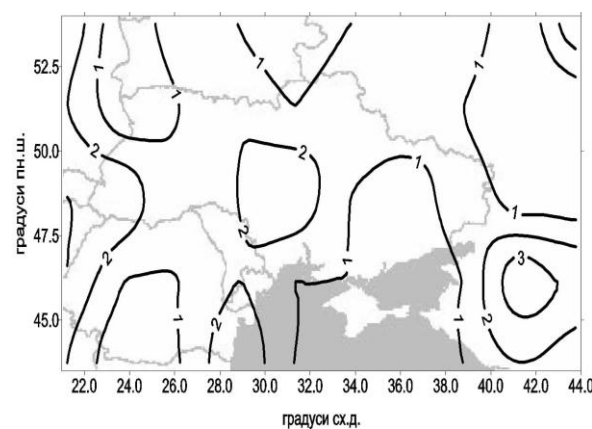
RCP8.5



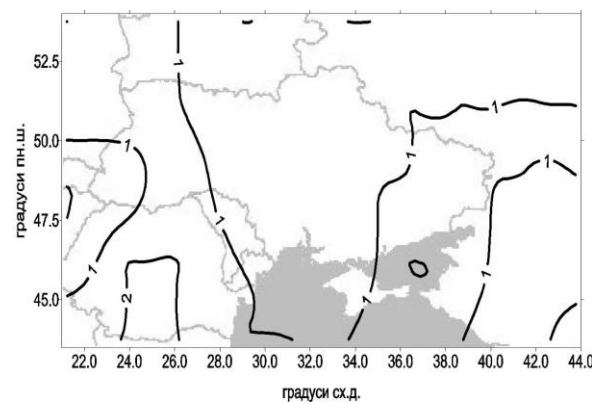
д)



е)



ж)



з)

Рисунок 1.13 – Повторюваність весняно-літніх посух (кількість років) різної інтенсивності за кліматичними сценаріями RCP2.6 та RCP8.5 в період

2020-2050 рр.: (а), (д) – слабкі посухи; (б), (е) – помірні посухи; (в), (ж) – сильні посухи; (г), (з) – екстремальні посухи

Повторюваність екстремальних весняно-літніх посух прогнозується в середньому не більше 1 разу за 31 рік за обома сценаріями (рис. 1.13, г, з). При цьому вони найбільш ймовірні в західних та східних областях (≥ 1 рік), а в центральній частині їх повторюваність близька до нуля.

Таким чином, за умови реалізації м'якого сценарію RCP2.6 очікується настання м'яких весняно-літніх посух з повторюваністю раз на три роки. Більш інтенсивні посухи спостерігатимуться не більше ніж у 6-7 роках за весь період. За жорсткого сценарію RCP8.5 при зменшенні кількості м'яких посух збільшиться кількість помірних, які вкупі з сильними та екстремальними складуть до 8 випадків за період 2020-2050 рр.

Літні посухи

Загальна повторюваність літніх посух за сценарієм RCP2.6 є меншою, ніж весняно-літніх, та ніж за сценарієм RCP8.5, а просторовий розподіл осередків повторюваності має меридіональну спрямованість (рис.1.14, а). У західній, північній та східній частинах країни повторюваність не перевищує 48% всіх років, а в центрі та на півдні формується максимум, де повторюваність посух перевищує 50 %, при цьому найбільш посушливими будуть Херсонська область та західна частина Кримського півострова. Тобто, за м'яким сценарієм по території країни літні посухи будь-якої інтенсивності передбачаються раз на три або чотири роки. За жорстким сценарієм RCP8.5 розподіл повторюваності літніх посух досить однорідний (рис. 1.14, б), на значній частині території вона складає близько 50%, а на крайньому сході та Буковині підвищується до 54-56 %. Тобто, за цим сценарієм кожного другого року очікується поява літньої посухи.

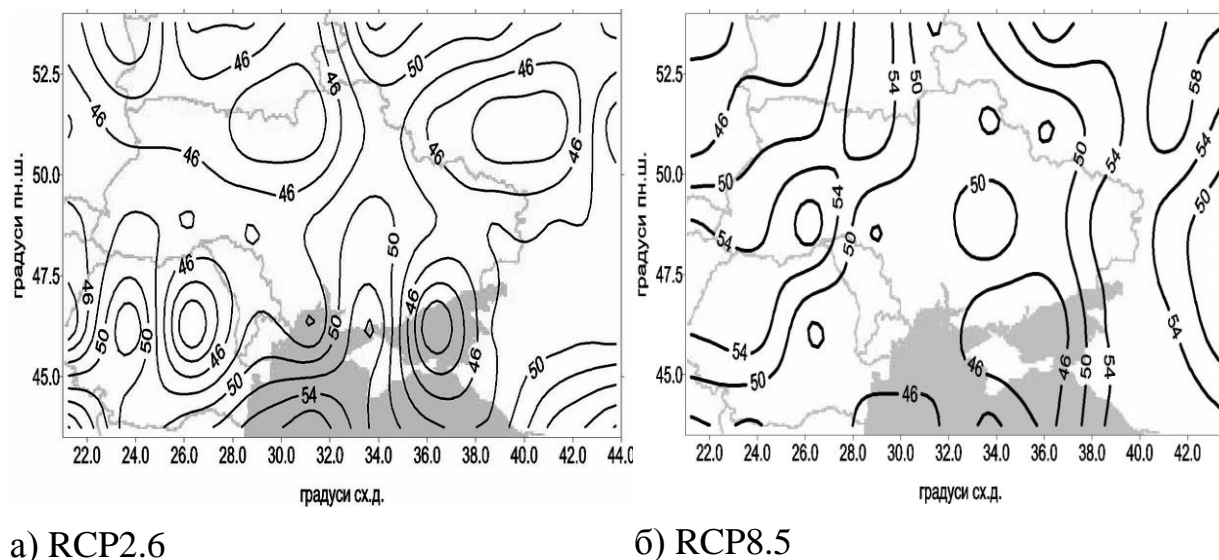


Рисунок 1.14 – Загальна повторюваність літніх посух ($SPI < 0$, %) за сценаріями RCP2.6 (а) та RCP8.5 (б) в період 2020-2050 рр.

М'які літні посухи переважатимуть в Україні за сценарієм RCP8.5: у західних, центральних, північних областях та на сході їх кількість очікується у межах 10-12 випадків (рис. 1.15, б). В Харківській, Дніпропетровській, Херсонській, Миколаївській, Одеській областях та Криму кількість м'яких посух знижується до 8 випадків й менше. За сценарієм RCP2.6 по Україні кількість років з м'якими посухами коливатиметься від 5 до 9, з максимумом на крайньому заході та сході й мінімумом в Київській та Одеській областях (рис. 1.15, а).

Просторовий розподіл помірних посух влітку за обома сценаріями є схожим: простежуються два максимуми повторюваності – в західній половині країни з 3-4 випадками та більш інтенсивний в східній половині (рис. 1.15, б, е), де за сценарієм RCP2.6 кількість випадків досягає 6, а за сценарієм RCP8.5 – 8 років. В жорсткому сценарії також простежується вторинний максимум в Херсонській області, в районі Перекопського перешийку.

Кількість сильних літніх посух за сценарієм RCP2.6 очікується не більше одного випадку за 31 рік на значній частині території країни (рис. 1.15, в). І лише на крайньому сході, південному заході та в Криму прогнозується до двох випадків. За сценарієм RCP8.5 в центральних та південно-західних областях, а також Приазов'ї кількість сильних посух може перевищити 2 випадки, на решті території країни – не більше одного випадку (рис. 1.15, ж). Екстремальні посухи за обома сценаріями влітку не очікуються у більшості областей України (рис. 1.15, г, з). За сценарієм RCP2.6 екстремальні посухи (не більше 1 випадку) прогнозуються лише в західних областях – Львівській, Івано-Франківській, Тернопільській, Рівенській, Волинській та на Закарпатті. У сценарії RCP8.5 виникнення по одному випадку екстремальних посух можливе, окрім перелічених областей, на півдні Одеської області та в Луганській області.

Отже, м'які літні посухи за сценарієм RCP2.6 можна очікувати в Україні з повторюваністю раз на п'ять років, ще в трьох-п'яти роках за весь період можуть виникнути помірні посухи і в 1-2 роках сильні та екстремальні посухи. За сценарієм RCP8.5 м'які посухи будуть виникати в середньому кожні три роки, помірні – кожні 7-8 років. Кількість сильних та екстремальних посух в деяких районах досягне 2 випадків за весь період.

Літньо-осінні посухи

Загальна повторюваність літньо-осінніх посух за обома сценаріями прогнозується вищою за повторюваність літніх посух, а в деяких районах вищою за весняно-літні посухи (рис. 1.16). За сценарієм RCP2.6 максимум повторюваності (понад 56 %) спостерігається в північно-східних областях (Харківська, Сумська) та розповсюджується на центральні області (Дніпропетровська, Кіровоградська, Черкаська) (рис. 1.16, а). В західній половині України і на півдні повторюваність не перевищує 48 %, а на крайньому заході підвищується до 52 %.

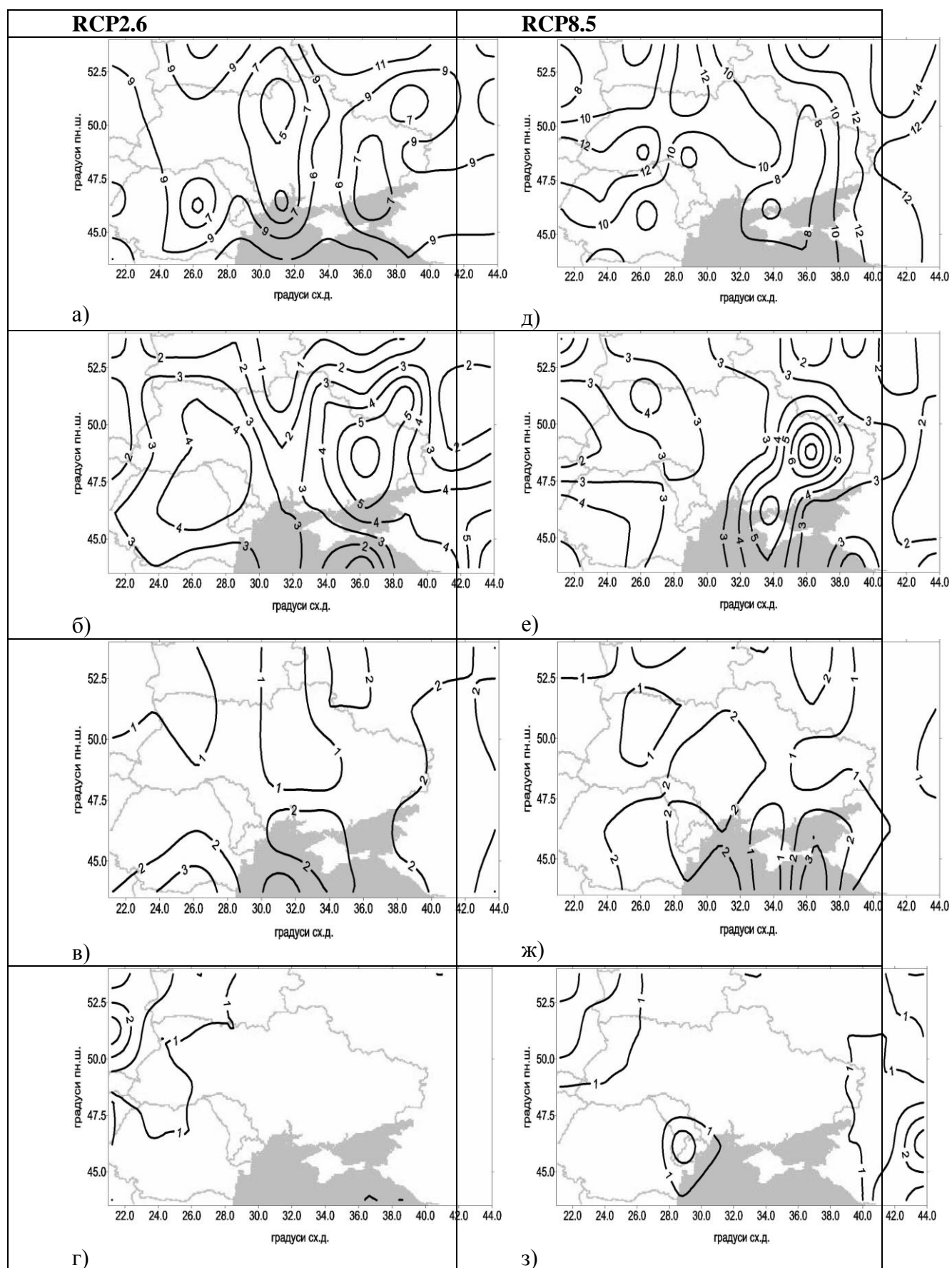


Рисунок 1.15 – Повторюваність літніх посух (кількість років) різної інтенсивності за кліматичними сценаріями RCP2.6 та RCP8.5 в період 2020-2050 рр.: (а), (д) – слабкі посухи; (б), (е) – помірні посухи; (в), (ж) – сильні посухи; (г), (з) – екстремальні посухи

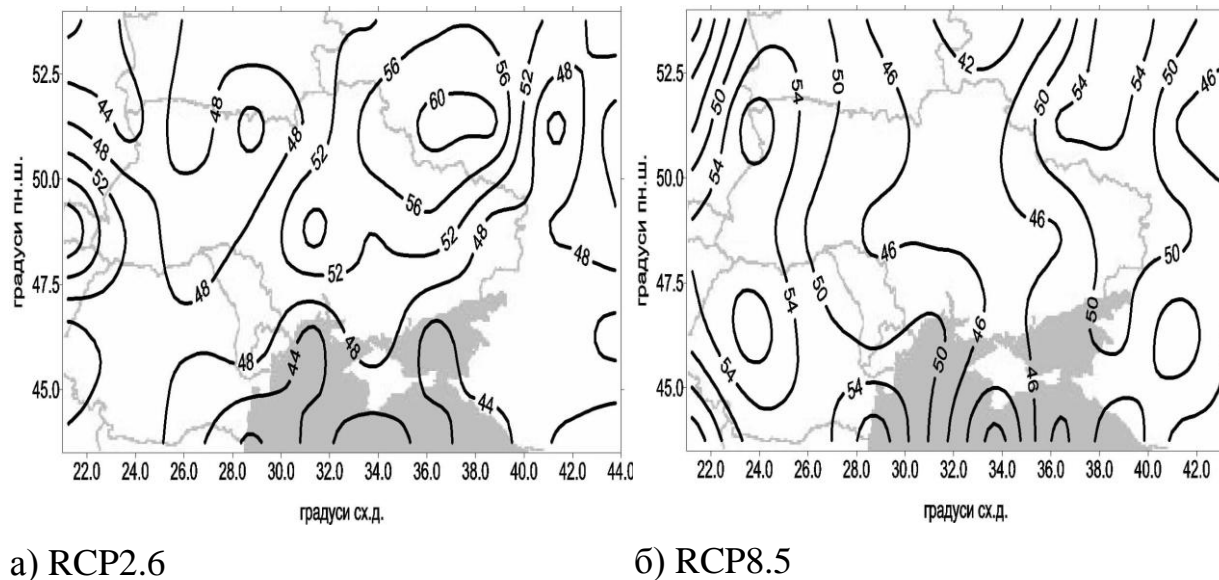


Рисунок 1.16 – Загальна повторюваність літньо-осінніх посух ($SPI < 0$, %) за сценаріями RCP2.6 (а) та RCP8.5 (б) в період 2020-2050 рр.

За жорстким сценарієм RCP8.5 розподіл осередків повторюваності має меридіональний характер, внаслідок чого зони підвищеної повторюваності осінніх посух (понад 50 %) займають західні та східні області, а в центрі країни повторюваність знижується до 46% та менше (рис. 1.16, б). Таким чином, осінні посухи за обома сценаріями можуть спостерігатися в Україні кожний другий рік, а в деяких областях й частіше.

Повторюваність м'яких літньо-осінніх посух за сценарієм RCP2.6 передбачається вищою по всій території порівняно зі сценарієм RCP8.5 (рис. 1.17, а, д). Осередок максимальної повторюваності знаходиться на північному сході (понад 14 випадків в Харківській та Сумській областях) і розповсюджується майже на всю східну половину України (рис. 1.17, а). У західній половині повторюваність в середньому складає 8-10 років і лише на Закарпатті підвищується до 12 випадків. За сценарієм RCP8.5 кількість м'яких посух в більшості областей не перевищує 8-10 випадків (мінімум в центрі країни), в західних областях – до 12 випадків (рис. 1.17, д).

Кількість помірних літньо-осінніх посух за сценарієм RCP2.6 в більшості областей становить 1-2 випадки, але простежується вузька смуга підвищеної повторюваності, яка проходить меридіонально через Одеську, Вінницьку, Житомирську, Черкаську, Київську області, де кількість посух зростає до 4-5 випадків (рис. 1.17, б). За сценарієм RCP8.5 помірних посух по всіх областях прогнозується трохи більше – в середньому 3-4 випадки (рис. 1.17, е). Максимум припадає на Волинську і Рівненську області (до 5-6 випадків), а мінімальна повторюваність (до 2-3 випадків) прогнозується в Північному Причорномор'ї.

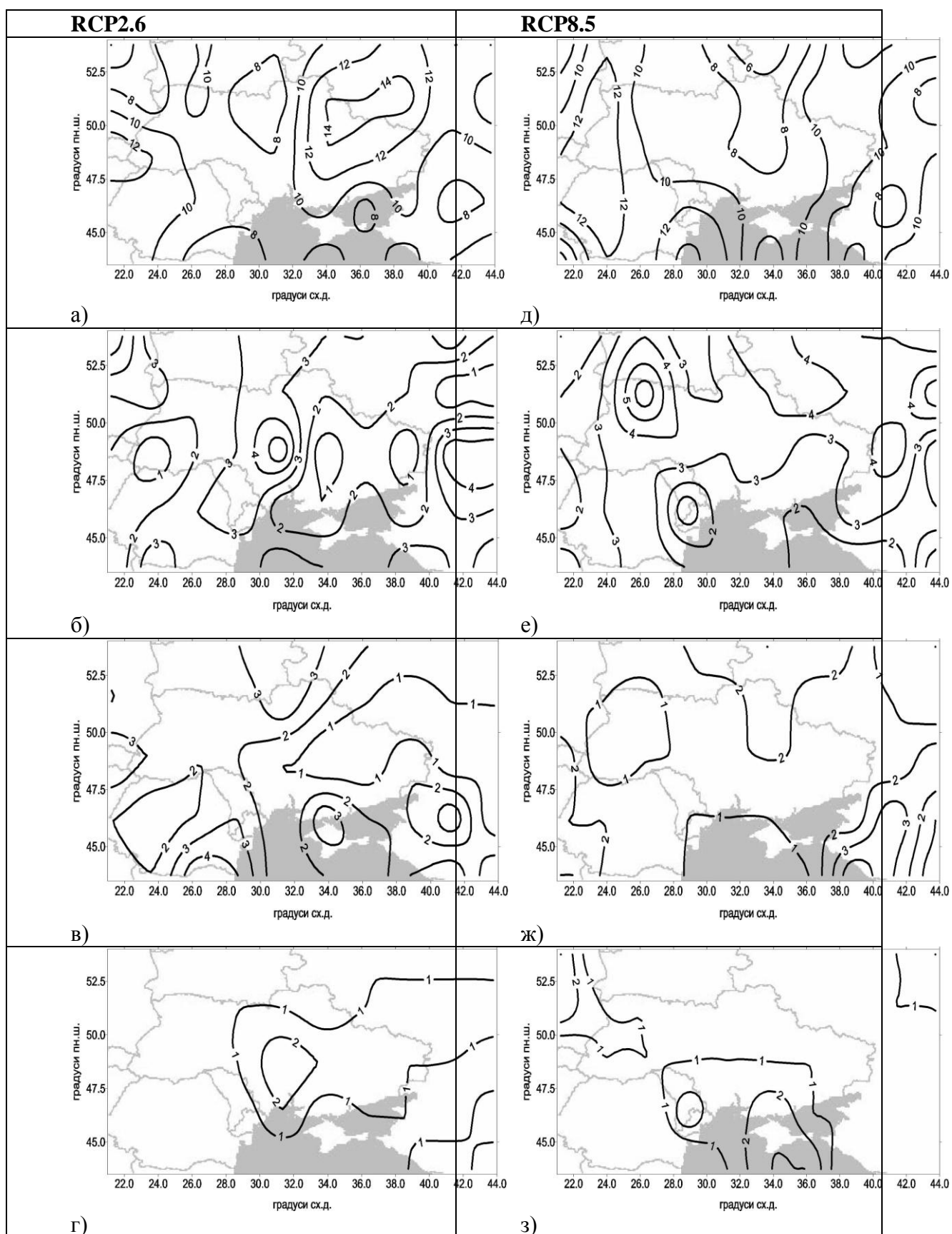


Рисунок 1.17 – Повторюваність літньо-осінніх посух (кількість років) різної інтенсивності за кліматичними сценаріями RCP2.6 та RCP8.5 в період 2020-2050 рр.: (а), (д) – слабкі посухи; (б), (е) – помірні посухи; (в), (ж) – сильні посухи; (г), (з) – екстремальні посухи

Сильні літньо-осінні посухи за сценарієм RCP2.6 передбачаються з вищою повторюваністю: в західній половині та на півдні України кількість випадків досягатиме 2-3 за 31 рік, а в східній частині – не більше одного (рис. 1.17, в). За сценарієм RCP8.5 повторюваність сильних посух невелика і в межах країни не перевищуватиме 1 випадок (рис. 1.17, ж).

Кількість років з екстремальними посухами за обома сценаріями коливається в межах 1-2 випадків, але осередки максимальної повторюваності розташовані в різних районах (рис. 1.17, г, з). Для сценарію RCP2.6 максимум повторюваності екстремальних посух зосереджений над Одеською, Вінницькою, Миколаївською та Черкаською областями (рис. 1.17, г), а осередок з кількістю випадків ≥ 1 поширюється на схід. В сценарії RCP8.5 зони повторюваності екстремальних посух з кількістю випадків ≥ 1 займають південні області країни, з максимумом в Херсонській області та АР Крим (рис. 1.17, з). Вторинний максимум повторюваності спостерігається в західних областях.

Таким чином, за сценарієм RCP2.6 в період 2020-2050 рр. м'які літньо-осінні посухи будуть спостерігатися кожні 2-3 роки, помірні – не більше 1 разу у 8-10 років. Сумарна кількість сильних та екстремальних посух не перевищуватиме 3-4 випадки за весь період. За сценарієм RCP8.5 м'які посухи можна очікувати кожні 3-4 роки, помірні – кожні 8-10 років, а кількість сильних та екстремальних не перевищить 1-2 випадків в більшості областей України.

Висновки

Проведений аналіз повторюваності посух різної інтенсивності та в різні сезони протягом вегетаційного періоду показав, що за м'яким та жорстким кліматичними сценаріями в Україні протягом 2020-2050 рр. очікується невелике збільшення загальної кількості посух, при цьому відбуватиметься їх перерозподіл у межах теплого сезону. Прогнозується збільшення кількості літньо-осінніх посух та зменшення літніх, особливо за м'яким сценарієм RCP2.6, періодичність яких може досягнути раз на 2-3 роки по всіх областях країни. Окрім того, осередок максимальної повторюваності посух в усі сезони часто прогнозується на північному сході країни та в західних областях, тобто в Лісостеповій зоні, яка в сучасному кліматі не є дуже посушливою. Збільшення відбуватиметься за рахунок, в основному, м'яких посух. В Степу, навпаки, загальна кількість посух майже не змінюватиметься, при цьому зберігатиметься більш висока ймовірність настання сильних та екстремальних посух, ніж в інших агрокліматичних зонах.

2 ВПЛИВ КЛІМАТИЧНИХ ЗМІН НА ТРАНСПОРТНУ ТА ЕНЕРГЕТИЧНУ СИСТЕМИ УКРАЇНИ

2.1 Загальні відомості

На безперебійну роботу транспортної системи впливає перш за все клімат.

Дорожні споруди проектуються та 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. Тому необхідно з урахуванням цих явищ знаходити інженерні рішення, які б забезпечували спорудам необхідні технічні та експлуатаційні якості, та рекомендувати організаціям, які 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. [1]

Коли погодні умови стають більш екстремальними, то транспортна інфраструктура стає менш надійною та менш безпечною. Наприклад, підвищені температури повітря кривлять залізничні шляхи та дорожнє покриття. [2]

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

- 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 викликають аварію.

Глобальне потепління, які прогнозуються за багатьма сценаріями, викликають повторюваність певних небезпечних для транспортної системи явищ погоди. Перш за все, це підвищення температури, збільшення інтенсивних зливових опадів, підвищення рівня моря (в деяких регіонах це може викликати тривалі затоплення та 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 можуть 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. 2.1 наведено характеристики погоди, які найбільше впливають на транспортну систему та негативні наслідки, які вони викликають.

Таблиця 2.1 – Характеристики погоди, класифікація погодних інформаційних повідомлень (зведень) на підставі цих характеристик та їх вплив на транспорт [2]

Характеристика погоди	Категорія	Вплив
Елементи опадів	Замерзаючі опади, відкладення 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 та непевне гальмування, пом'якшення дорожнього покриття, розмивання дорожнього покриття, посухи через дим та порох спричиняють ризик погіршення видимості
Температура	Температура повітря та температура ґрунту, включаючи максимальні та мінімальні температури, хвилі 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	Посилення через тумани, серпанку, імлі тощо, обмеження польотів у верхній тропосфері через вулканічну діяльність	Зниження швидкості, ризик зіткнень та небезпека від швидких змін

В представленій роботі розглянуто ті метеорологічні явища та характеристики, які, в основному, погіршують стан дорожнього покриття, та їх зміни щодо двох сценаріїв RCP4.5 та RCP8.5.

2.2 База даних та загальна методика проведення дослідження

База даних містила ряди середньодобових значень температури, кількості змішаних або рідких опадів, кількості опадів твердої фази, відносної вологості та швидкості вітру, отриманих за період 2011–2050 рр. за

сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 для 28 пунктів України, розташованих уздовж різних автотрас України.

Характерні траєкторії змін клімату RCP4.5 та RCP8.5 є двома з чотирьох сценаріїв, запропонованих IPCC в [4], з яких в RCP4.5 прогнозують стає зростання радіаційного форсингу протягом XXI століття зі значенням у 2100 р. близько і подальшу стабілізацію цього значення після 2100 р. Сценарій RCP8.5 представляє собою найекстремальнішу траєкторію, в якій передбачається безперервне зростання радіаційного форсингу протягом XXI століття зі значенням майже у 2100 р. [5]

В роботі було розглянуто вісім автошляхів: "Одеса – Вознесенськ – Дніпро – Харків", "Вінниця – Хмельницький – Тернопіль – Стрий – Ужгород", "Ковель – Рівне – Веселий Поділ – Харків – Біловодськ", "Семенівка – Ніжин – Черкаси – Бобринець – Одеса – Ізмаїл", "Покровськ – Дніпро – Фастів – Хмельницький – Коломия", "Коростень – Фастів – Пришиб – Клепиніне", "Нова Каховка – Вознесенськ – Вінниця – Чернівці" та "Хмельницький – Вінниця – Фастів – Ніжин – Глухів".

Автошлях «Одеса – Вознесенськ – Дніпропетровськ – Харків» складається з декількох шляхів різного державного та місцевого значення. Його загальна довжина складає 673 км (рис. 2.1).

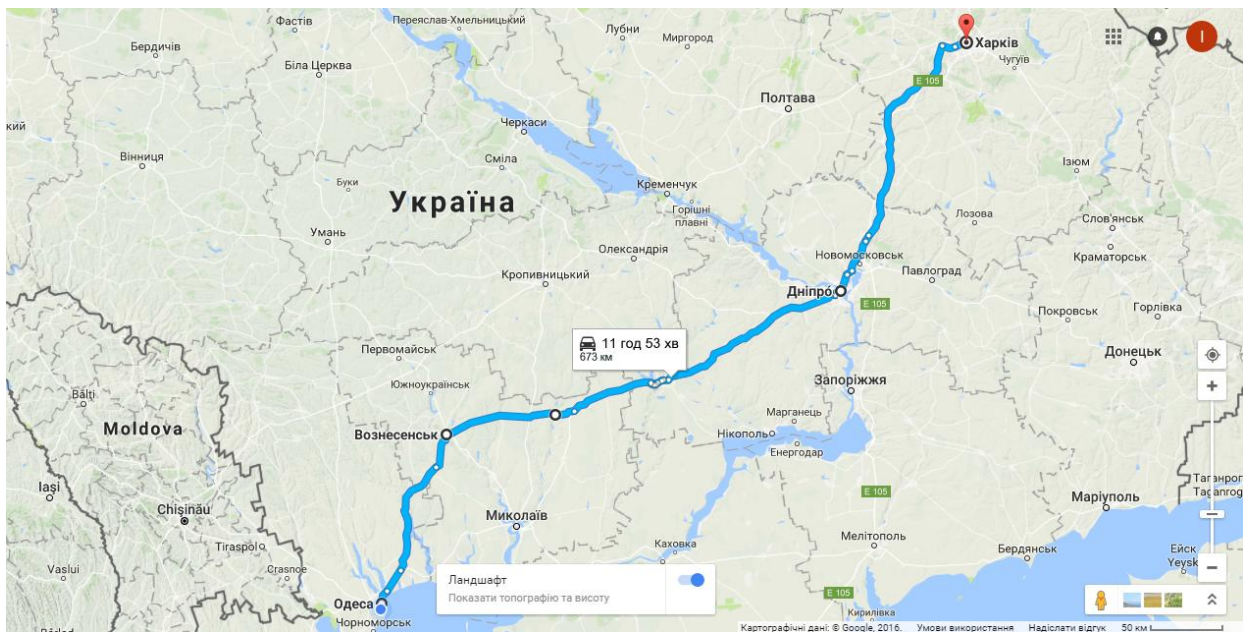


Рисунок 2.1 – Схема автошляху "Одеса – Вознесенськ – Дніпропетровськ – Харків"

Від м. Одеса до м. Вознесенськ шлях є частиною територіальної дороги, тобто дороги місцевого значення, Р55. Загальна довжина цієї частини шляху складає 142 км. Шлях Р55 проходить територією Комінтернівського, Березівського, Веселинівського, Вознесенського, Єланецького та Новобузького районів через Комінтернівське – Веселинове – Вознесенськ – Єланець – Новий Буг. Автомобільний шлях, що пролягає від м. Вознесенськ

до м. Дніпро, складається з двох частин: дорога «Вознесенськ – Новий Буг» є продовженням територіальної дороги Р55, траса «Новий Буг – Дніпро» є частиною шляху національного значення Н11 «Дніпро – Кривий Ріг – Миколаїв». Шлях від м. Вознесенськ до м. Дніпро має довжину 313 км. Дорога між м. Дніпропетровськ та м. Харків є частиною магістралі, тобто автошляху європейського значення Е105 «Кіркенес (Норвегія) – Санкт-Петербург (Росія) – Москва (Росія) – Харків (Україна) – Ялта (Україна)». Протяжність цієї ділянки складає 218 км.

Увесь автошлях, що розглядається, проходить рівнинною територією, на якій висота рельєфу не перевищує 200 м. Автотраса пролягає в основному в степовій зоні, і лише невелика частина траси «Харків – Красноград» пролягає в лісостеповій зоні.

Клімат степової та лісостепової зон помірно континентальний. Середні температури січня змінюються від -5°C на заході до -7°C на сході, липня – відповідно від $+18^{\circ}\text{C}$ до $+20^{\circ}\text{C}$. Кількість опадів зменшується з півночі на південь від 600 до 500 мм за рік. Континентальність клімату зростає як у північному, так і східному напрямках. Тобто континентальність клімату зростатиме, якщо просуватись уздовж автошляху в напрямку від Одеси до Харкова. Це означає, що виникає ризик зростання температури влітку та зниження температури взимку до екстремальних значень.

Для континентального клімату є характерними сильні вітри, що може також погано вплинути на безперебійну роботу автошляху.

Автошлях, який розглядається, розпочинається в м. Одеса, що знаходиться на відміну від решти пунктів під впливом не континентального, а морського клімату. В цьому випадку спостерігатимуться менші контрасти температур, проте зростає ризик випадіння сильних та частих опадів внаслідок підвищеної вологості та також можуть мати високу повторюваність небезпечні швидкості вітру.

Автошлях "Вінниця – Хмельницький – Тернопіль – Стрий – Ужгород" є складовою частиною Європейської мережі автомобільних шляхів та складається з двох автострад Е471 та Е50. Його загальна довжина складає 815 км (рис. 2.2).

Від м. Вінниця до м. Тернопіль шлях є частиною автостради Е50, яка починається у Бресті (Франція) та походить через Париж, Ужгород, Донецьк, Ростов та закінчується у Махачкалі. Між м. Тернопіль та м. Стрий автострада Е50 збігається з міжнародним шляхом М12, а між м. Стрий та м. Ужгород з двома автошляхами міжнародного значення Е471 та М06, яка з'єднує пункти Київ та Чоп.

Автошлях, що розглядається, проходить гористою місцевістю, яка має досить складний рельєф. Висота рельєфу коливається від 200 до 1010 м (у найвищій точці).

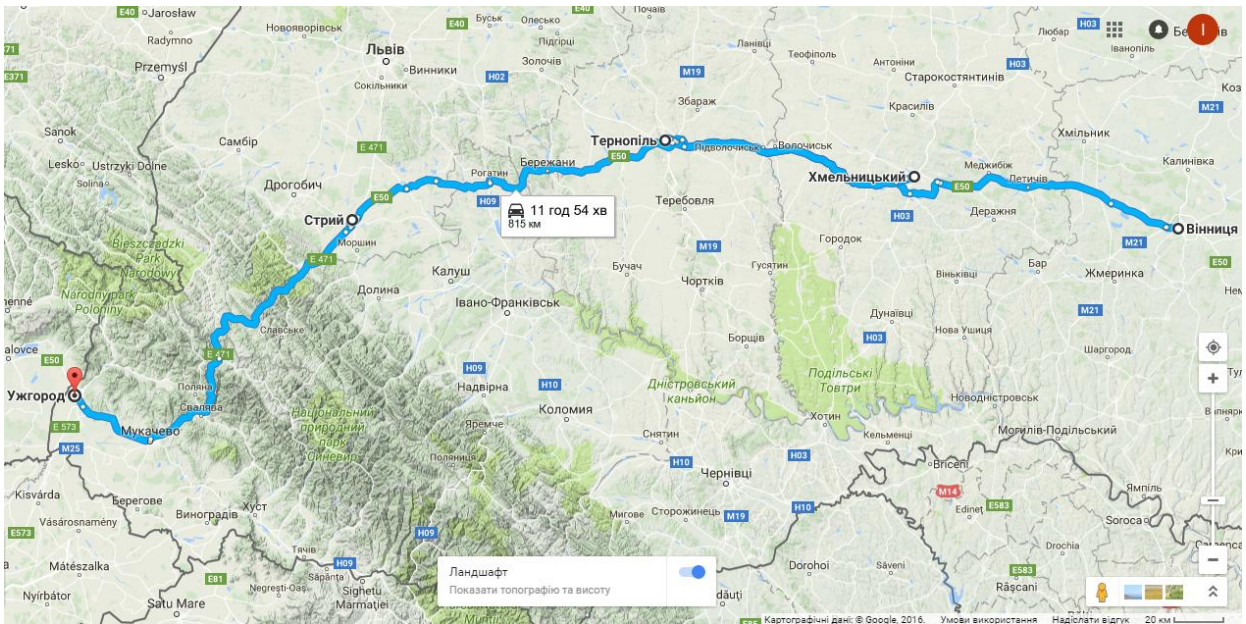


Рисунок 2.2 – Схема автошляху "Вінниця – Хмельницький – Тернопіль – Стрий – Ужгород"

Автотраса пролягає через лісостепову (Подільська височина) зону, зону широколистяних лісів та Карпатські гори. Кожна з цих зон має свої кліматичні умови. Клімат у лісостеповій та широколистолисовій зонах є помірно континентальний. Його континентальність збільшується у східному напрямку. У зоні широколистяних лісів опадів випадає найбільше серед рівнинних територій України (600 – 700 мм за рік). Клімат Карпатських гір істотно відрізняється від клімату прилеглих рівнинних територій і формується в умовах вертикальної поясності. Він характеризується великою кількістю опадів і високою вологістю повітря, значною тривалістю морозного періоду, порівняно низькими температурами повітря і ґрунту. Тому впродовж усього шляху погодні умови, особливо в зимовий час та перехідні сезони року, можуть бути досить несприятливими для транспорту.

Третій автошлях "Ковель – Рівне – Веселий Поділ – Харків – Біловодськ" (рис. 2.3) має загальну довжину 1290 км та більша його частина співпадає з трасами міжнародного та національного значення E85/M19 (шлях E85 проходить з півночі на південь від Клайпеди до Александруполіса по території Литви, Білорусі, України, Румунії, Болгарії та Греції) та N22, який з'єднує Устілуг, Луцьк та Рівне.

Автотраса пролягає через три природні зони – степову, лісостепову та полісся. Рельєф місцевості протягом шляху змінюється від рівнинного (Полтавська рівнина) до гірського (Придніпровська та Волинська височини). Найбільша частина шляху знаходиться у лісостеповій зоні.

Як вже було вказано, клімат степової та лісостепової зони є континентальним. Характерною рисою зони мішаних лісів є заболоченість. Проте Полісся характеризується досить м'яким кліматом з невеликою кількістю екстремальних погодних умов. Тому найбільш несприятливі

погодні умови можуть бути очікуваними у степовій зоні, на сході України, де різко виражений континентальний клімат, спостерігаються досить часто екстремальні температури.

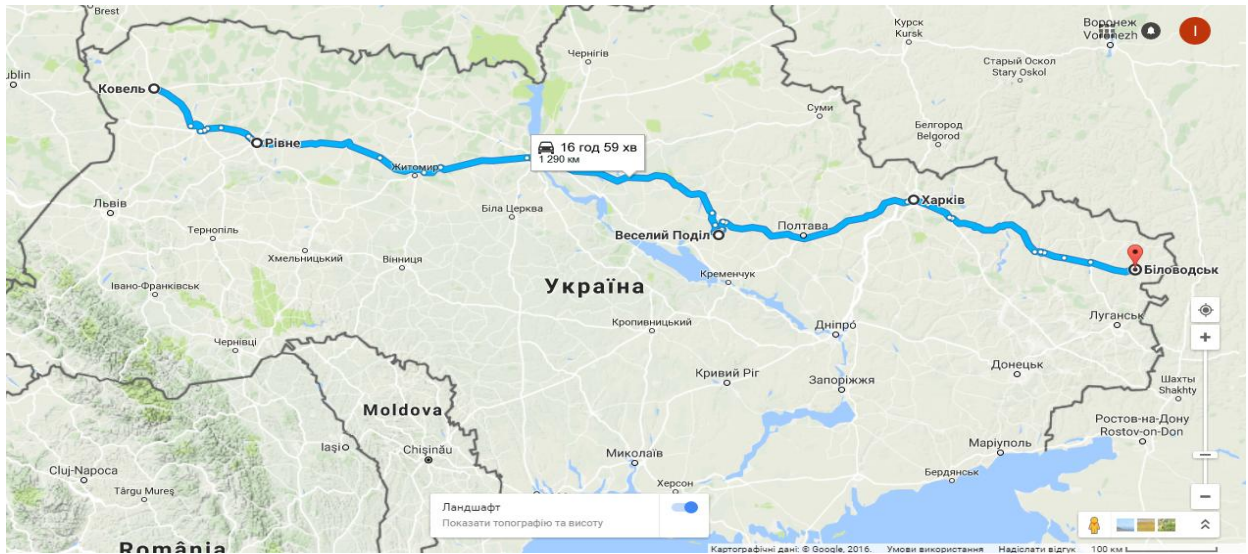


Рисунок 2.3 – Схема автошляху "Ковель – Рівне – Веселий Поділ – Харків – Біловодськ"

Четвертий автошлях "Семенівка – Ніжин – Черкаси – Бобринець – Одеса – Ізмаїл" (рис. 2.4) перетинає територію України з півночі на південний захід та складається з декількох шляхів різного державного та місцевого значення. Загальна його протяжність складає 1125 км. Від м. Семенівка до м. Хлоп'яники автошлях прямує територіальними дорогами Т2512, Т2519, Т2521, далі до м. Сосниця частиною автошляху є траса Р12, від м. Сосниця до м. Корюківка шлях знову збігається з територіальною дорогою Т2521, після чого до м. Мала Кошелівка його частиною стає траса М12 (міжнародний транспортний коридор «Стрий – Тернопіль – Кропивницький – Знаменка»), а до м. Пирятин – траса регіонального значення Р67. Між м. Пирятин до м. Богданівка автошлях проходить міжнародною трасою М03, далі – трасами національного значення Н16, Н01 та Н14. Між пунктами Одеса та Ізмаїл шлях збігається з трасою М15.

Автошлях, що розглядається, проходить через три природні зони України, а його напрямок з півночі на південь обумовлює більш сильний вплив погодних умов на транспортну систему на півдні улітку, а на півночі – взимку.

П'ятий автошлях "Покровськ – Дніпро – Фастів – Хмельницький – Коломия" (рис. 2.5) перетинає територію України по її північній частині зі сходу на захід.

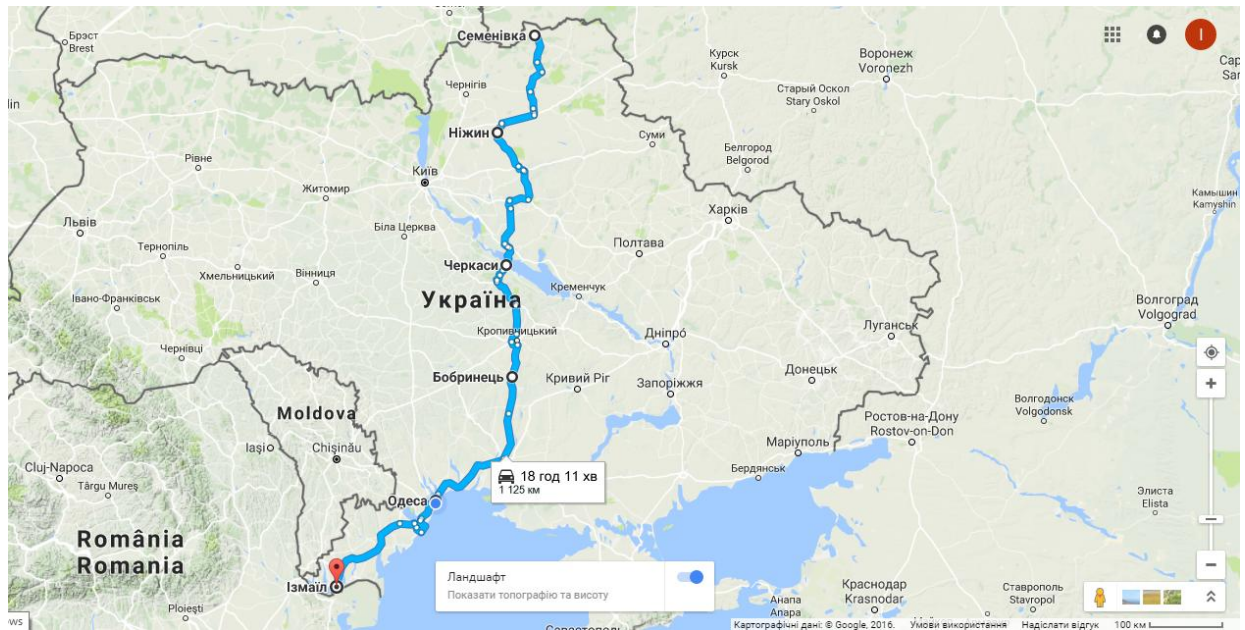


Рисунок 2.4 – Схема автошляху "Семенівка – Ніжин – Черкаси – Бобринець – Одеса – Ізмаїл"

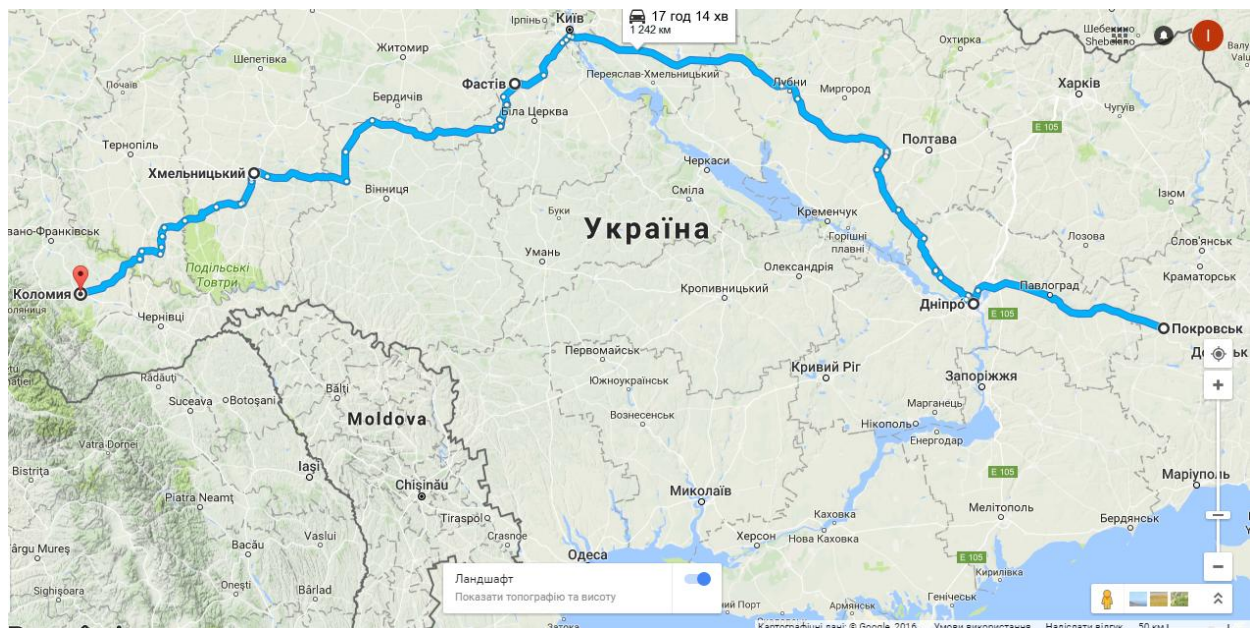


Рисунок 2.5 – Схема автошляху "Покровськ – Дніпро – Фастів – Хмельницький – Коломия"

Від м. Покровськ до м. Дніпро автошлях є частиною європейського транспортного коридору E50, а до м. Решетилівка – регіональної траси P52. До м. Київ автошлях співпадає з трасою міжнародного значення M03, після м. Київ цей шлях складається з регіональних трас P19, P32 та P31 до м. Літин, ділянка шляху між м. Літин та м. Хмельницький є трасою європейського значення E50. Решту шляху складають автотраси регіонального значення P50 та P24.

Автошлях проходить через степову, лісостепову природні зони України та Карпатські гори. Уздовж шляху висота рельєфу коливається в широких межах від 0 до 500 м, оскільки шлях пролягає через низовини (Придніпровська низовина) та гірську місцевість (Подільська та Придніпровська височина та Карпати). Найбільш несприятливі погодні умови для транспортної системи спостерігатимуться в східній частині шляху через різко виражений континентальний клімат та в західній частині через вплив Карпат.

Автошлях пролягає рівнинною територією України з північного заходу на південь, з'єднуючи північні райони України з півостровом Крим (рис. 2.6).

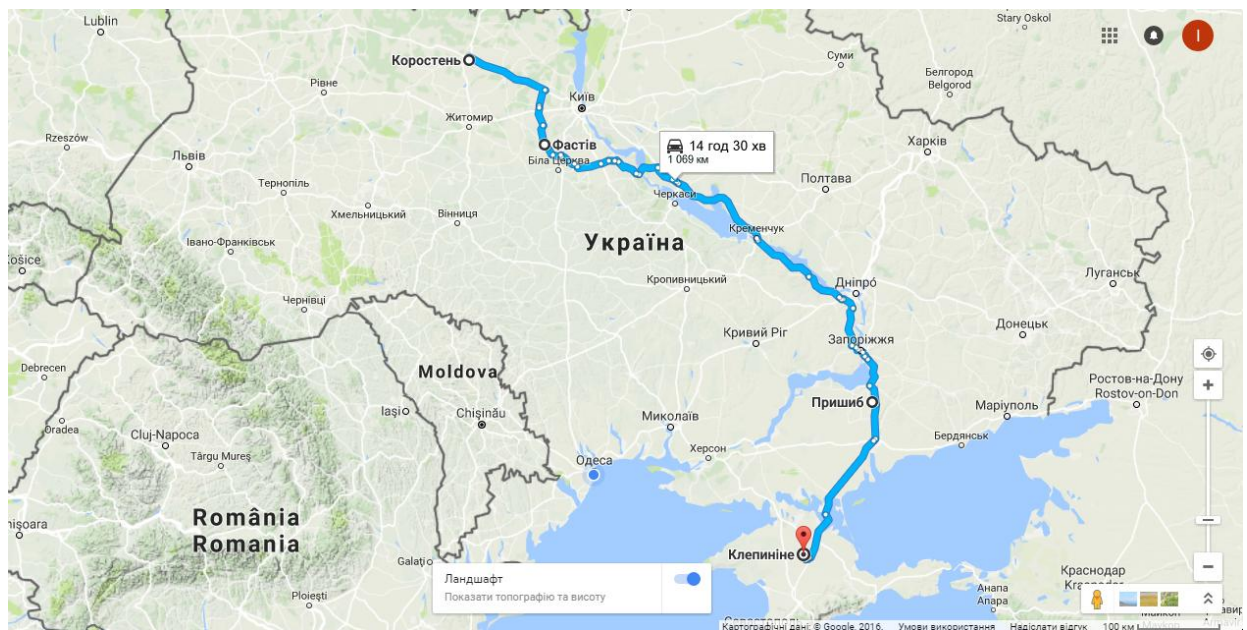


Рисунок 2.6 – Схема автошляху "Коростень – Фастів – Пришиб – Клепиніне"

Таким чином, автошлях проходить через три природних зони України та сягає степових районів Кримського передгір'я. Протяжність цього шляху складає 1069 км. Від м. Клепиніне до м. Запоріжжя автошлях є частиною міжнародної траси М18 (автомобільна дорога Харків – Сімферополь – Алушта – Ялта) та траси європейського значення Е105 (це один з основних маршрутів, що проходить від Норвегії через Росію та Україну в Крим). Від м. Запоріжжя до м. Гельмязів шлях є дорогою національного значення Н08 та від м. Дружня до м. Коростень співпадає з міжнародною та європейською автотрасами М07/Е373. Решта шляху між м. Гельмязів до м. Дружня складається з доріг регіонального значення Р32 та Р04.

Вздовж всього автошляху клімат є помірно континентальним. Вплив клімату на транспортну систему буде виявлятися в екстремальних температурах (влітку – в південних, а взимку – в північних областях), в екстремальних опадах тощо.

Автошлях "Нова Каховка – Вознесенськ – Вінниця – Чернівці" (рис. 2.7) пролягає через територію всієї країни з північного заходу на південний схід.

Впродовж прямування маршрутом в його склад входять такі дороги: E58 (від м. Нова Каховка до м. Миколаїв, це шлях, який зв'язує Австрію з Росією), R06 (від м. Миколаїв до м. Великі Трояни), M05/E95 (від м. Великі Трояни до м. Умань, M05 – є частиною автобану Київ–Одеса, а E95 – це одна з основних доріг міждержавного значення, яка проходить через такі пункти як Санкт-Петербург, Гомель, Київ, Одеса, Самсун, Мерзіфон), E50 (від м. Умань до м. Вінницькі Хутори, це одна з основних доріг Західно-Східного напрямку), M12 та M21 (від м. Вінницькі Хутори до м. Лука-Барська), T0218, T0610, T2308 (від м. Лука-Барська до м. Круг) та Н03 (від м. Круг до м. Чернівці).

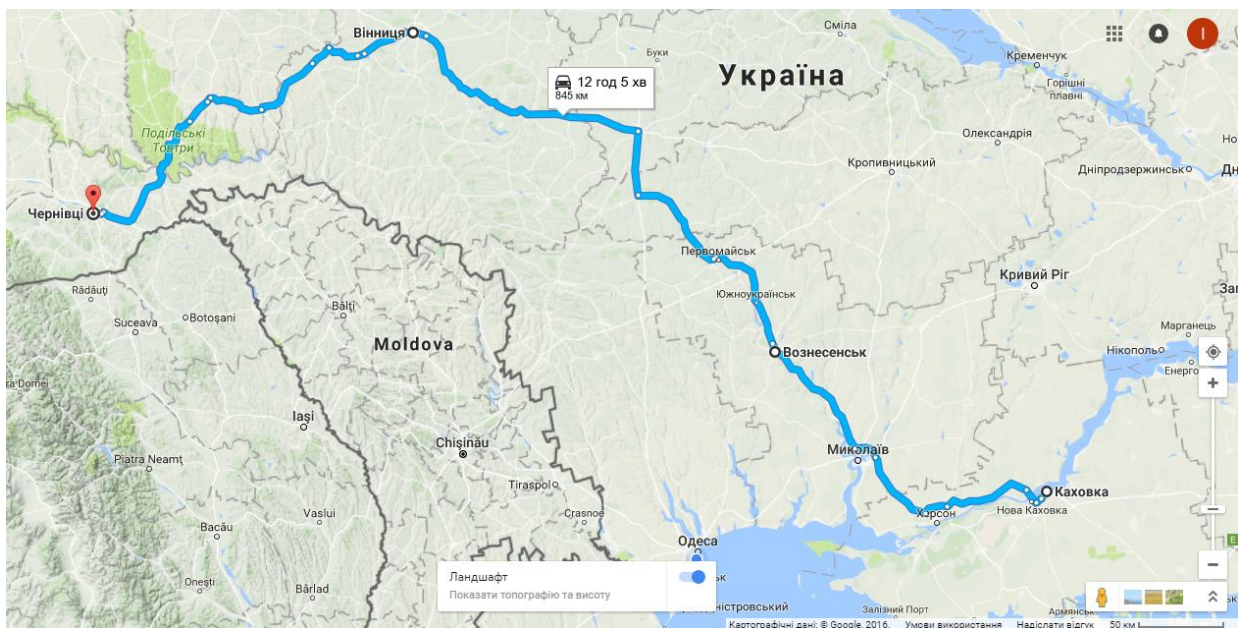


Рисунок 2.7 – Схема автошляху "Нова Каховка – Вознесенськ – Вінниця – Чернівці"

Автошлях "Нова Каховка – Вознесенськ – Вінниця – Чернівці" проходить від Причорноморської низовини через Придніпровську височину на Подільську височину, тому вздовж шляху висота рельєфу є досить неоднорідною та змінюється в межах від 0 до 386 м (у найвищій точці). Шлях пролягає через дві природні зони степову та лісостепову. Клімат вздовж всієї автотраси є помірно континентальним і таким чином вплив погодних умов на транспорт виявляється в таких саме природних явищах як і для попереднього автошляху.

Автошлях "Хмельницький – Вінниця – Фастів – Ніжин – Глухів" (рис. 2.8) проходить північними та західними областями України, починаючись на Подільській височині і закінчуючись на Полтавській рівнині. Таким чином, висота рельєфу змінюється від 192 до 382 м. Загальна довжина шляху є 704 км.

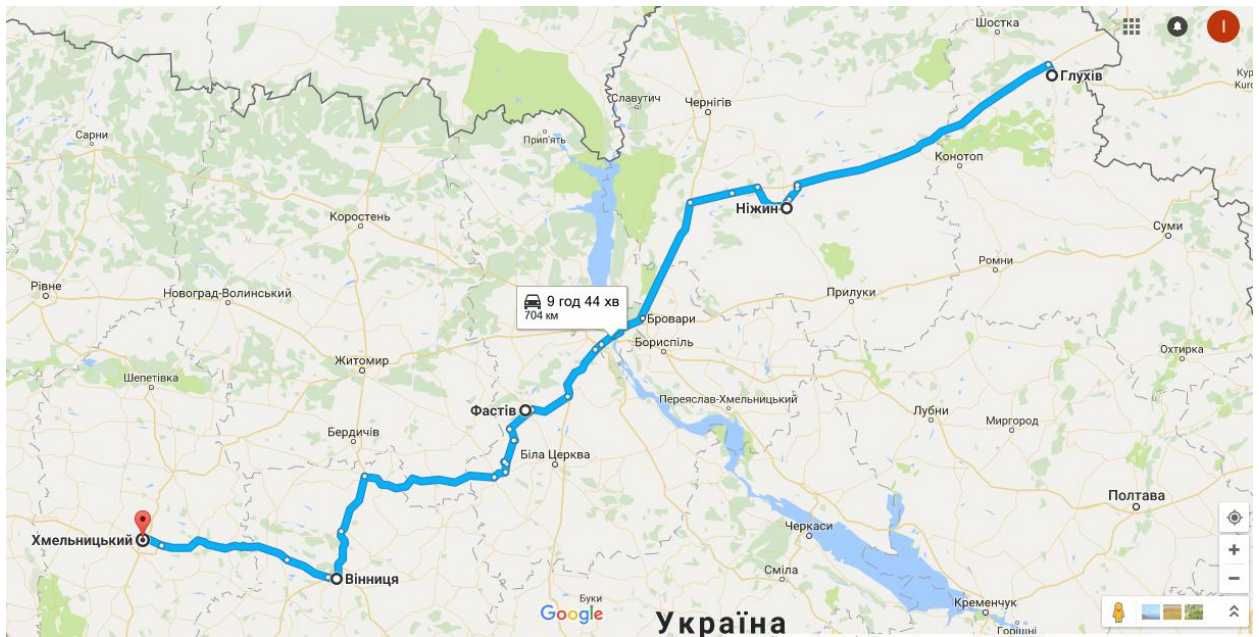


Рисунок 2.8 – Схема автошляху "Хмельницький – Вінниця – Фастів – Ніжин – Глухів"

Більша частина автошляху складається з трас регіонального значення Р32 та Р19 (від м. Комсомольське до м. Митниця), інші частини шляху є трасами міжнародного та європейського значення Е50 (м. Хмельницький – м. Вінниця), М21 (м. Вінниця – м. Комсомольське), Е95 (м. Митниця – м. Кіпті) та М02/Е101 (м. Кіпті – м. Глухів).

Це єдиний шлях з усіх автошляхів, які розглядаються, що пролягає тільки в одній природній зоні України, – лісостеповій. Вздовж цього шляху погодні умови будуть змінюватись найменше порівняно з іншими шляхами. Проте, помірно континентальний клімат лісостепової зони не виключає наявності екстремальних та небезпечних явищ погоди.

Задля оцінки впливу змін клімату на роботу автошляхів використовувались розраховані за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 за періоди 2011–2050 рр. та 2021–2050 рр. такі характеристики, як

- 1) найвища і найнижча середньодобові температури повітря в різні місяці року;
- 2) багаторічна середня місячна температура повітря на протязі року;
- 3) температура з забезпеченістю 0,94 найбільш холодного та найбільш спекотного місяця;
- 4) кількість днів з екстремальними середньодобовими температурами нижче за -30, -35 та -40°C та вище за 25, 30, 35°C;
- 5) кількість днів з від'ємними температурами нижче від 0, -5, -10 та -15°C;
- 6) повторюваність метеорологічних явищ, що погіршують стан дорожнього покриття, а саме: ожеледиця, сніговий накат, льодова суга, ожеледь, мокре покриття та швидкість вітру ≥ 10 м/с при ожеледиці, в різні місяці року;

- 7) кількість днів з метеорологічними явищами, що погіршують стан дорожнього покриття, в кожен рік періоду 2011-2050 рр.;
- 8) повторюваність середньодобової швидкості вітру, яка дорівнює або вища за 10 м/с, 15 м/с та 20 м/с, в різні місяці року;
- 9) кількість днів з середньодобовою швидкістю вітру, яка дорівнює або вища за 10 м/с, 15 м/с та 20 м/с, в кожен рік періоду, що розглядається.

На базі даних, які були доступними, визначення метеорологічних явищ, що погіршують стан дорожнього покриття, виконувалось за методиками, запропонованими в [3]:

1. Ожеледиця утворюється, в основному:
 - при температурах повітря від -2 до -6 °С, відносній вологості повітря від 65 до 85 %.
2. Сніговий накат, заледенілий сніг та сніг, який тане, утворюється зазвичай:
 - при випаданні снігу при температурах повітря від 0 до -6 °С (в цьому діапазоні температур сніг має підвищену вологість і легко ущільнюється);
 - при температурах повітря від -6 до -10°С утворення сніжного накату можливо при відносній вологості повітря вище 90%, коли сніг має достатню вологість для ущільнення.
3. Тверда, зерниста та льодова суга, ожеледь утворюються найчастіше:
 - при температурах повітря від +2 до -5,2°С, відносній вологості повітря вище 90 %;
4. Мокре покриття утворюється внаслідок:
 - випадіння опадів при додатних температурах та при таненні мокрого снігу при невеликих від'ємних температурах (до -5°С).
5. Швидкість вітру ≥ 10 м/с при ожеледиці спостерігається у випадку поєднання:
 - температур повітря від -2 до -6°С, відносній вологості повітря від 65 до 85 % та швидкості вітру ≥ 10 м/с.

Для зручності автошляхи, що розглядаються, було пронумеровано, таким чином:

- шлях № 1 – "Одеса – Вознесеньск – Дніпро – Харків";
- шлях № 2 – "Вінниця – Хмельницький – Тернопіль – Стрий – Ужгород";
- шлях № 3 – "Ковель – Рівне – Веселий Поділ – Харків – Біловодськ";
- шлях № 4 – "Семенівка – Ніжин – Черкаси – Бобринець – Одеса – Ізмаїл";
- шлях № 5 – "Покровськ – Дніпро – Фастів – Хмельницький – Коломия";
- шлях № 6 – "Коростень – Фастів – Пришиб – Клепиніне";
- шлях № 7 – "Нова Каховка – Вознесеньск – Вінниця – Чернівці";
- шлях № 8 – "Хмельницький – Вінниця – Фастів – Ніжин – Глухів".

Для всіх міст України та автошляхів, які розглядаються в роботі, було розраховано соціальні та економічні ризики за методикою, запропонованою в [8]. За цими методиками соціальний ризик розраховується за формулою

$$P_{\text{соц}} = p \cdot \frac{s}{S} \cdot t \cdot m \cdot K, \quad (2.1)$$

де p – ймовірність природного явища,

s – середня площа території, яка охоплюється небезпечним явищем,

S – площа території,

m – кількість населення,

t – середня тривалість небезпечного явища,

K – коефіцієнт агресивності.

Економічний ризик розраховується за формулою:

$$R_{\text{екон}} = A \cdot P_{\text{соц}} = A \cdot p \cdot \frac{s}{S} \cdot t \cdot m \cdot K, \quad (2.2)$$

де A – ціна ризика, грн. (доля ВРП на одну людину).

Середня тривалість небезпечного явища, t , та середня площа території, яка охоплена явищем, s , визначались:

Вид небезпечного явища	Тривалість, год	Площа, кв. км
Сильний вітер	4,8	8500
Сильний дощ	9,7	25500
Сильний мороз	24	Площа області
Сильна спека	24	Площа області

Коефіцієнт агресивності небезпечних явищ було прийнято відповідно до робіт [8] та [9] наступними:

Вид небезпечного явища	Коефіцієнт агресивності
Сильний вітер	1,0
Сильний дощ	0,03
Сильний мороз	0,1
Сильна спека	0,1

Інформація про ВРП станом на 2012 р., кількість населення станом на 2016 р. та площу областей України було взято з сайтів державних установ [10-12].

2.3 Аналіз отриманих результатів

2.3.1 Температура повітря

2.3.1.1 Середня температура повітря

За обома сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 було розраховано середню місячні та річну температуру повітря. На рис. 2.9 та 2.10 представлено середні річні температури повітря, розраховані для різних автошляхів за періоди 1961-1990 рр., 2011-2050 рр. та 2021-2050 рр. Загальна тенденція для всіх пунктів полягає в тому, що середня річна температура, розрахована за сценарієм RCP8.5, є більшою, ніж за сценарієм RCP4.5, приблизно на $0,5^{\circ}\text{C}$ для обох періодів 2011-2040 рр. та 2021-2050 рр. Лише на станції Біловодськ (рис. 2.9, в) результат обох сценаріїв є однаковим (Луганська область). Можна бачити, що для всіх пунктів найвагомий внесок у підвищення температури повітря є з боку тридцятирічного періоду 2021-2050 рр., оскільки за період 2011-2050 рр. температури є нижчими.

Слід зауважити, що зазвичай порівняно з кліматичною нормою 1961-1990 рр. температура збільшується у період 2011-2050 рр., виключаючи ст. Вознесенськ (Миколаївська область), Ужгород (Закарпатська область) та Коломия (Івано-Франківська область), де, навпаки, температура за сценаріями в подальші періоди підвищується, проте, все ж таки опиняється нижчою за кліматичну норму 1961-1990 рр. Тобто на цих станціях не відбувається очікуваного підвищення температури.

На ст. Біловодськ (Луганська область) за обома сценаріями річна температура за період 2021-2050 рр. є рівною багаторічній температурі за період 1961-1990 рр. На деяких інших станціях річна температура за сценарієм RCP4.5 за період 2011-2050 рр. є нижчою від кліматичної норми 1961-1990 рр.: м. Харків, м. Дніпро, м. Вінниця, м. Харків, м. Рівне, м. Веселий Поділ, м. Ковель, м. Бобринець, м. Семенівка, м. Хмельницький, м. Чернівці, м. Фастів, м. Ніжин, м. Глухів, проте, на всіх цих станціях спостерігається підвищення температури у період 2021-2050 рр. за обома сценаріями. На автошляхах № 1, 4 та 5 різниця у річних температурах уздовж траси сягає $3-5^{\circ}\text{C}$ та лишається однаковою для всіх періодів 2011-2050 рр., 2021-2050 рр. та 1961-1990 рр. На автошляхах № 6 та 7, навпаки, порівняно з кліматичною нормою різниця у річних температурах збільшується, що може призвести до більш великих перепадів температур та підвищення негативних впливів на транспортну систему. На інших шляхах № 2, 3, 8 різниця у річних температурах уздовж шляхів є невеликою, що вказує на найбільш комфортні умови. Це пояснюється тим, що ці автошляхи є зонально орієнтованими, а автотраса № 8, окрім того, пролягає лише західних та північних областях.

Отримані результати дають змогу зробити висновок про загальне підвищення багаторічних середніх температур, проте, незважаючи на підвищення температури, континентальність не зменшується, а в деяких випадках, навпаки, збільшується.

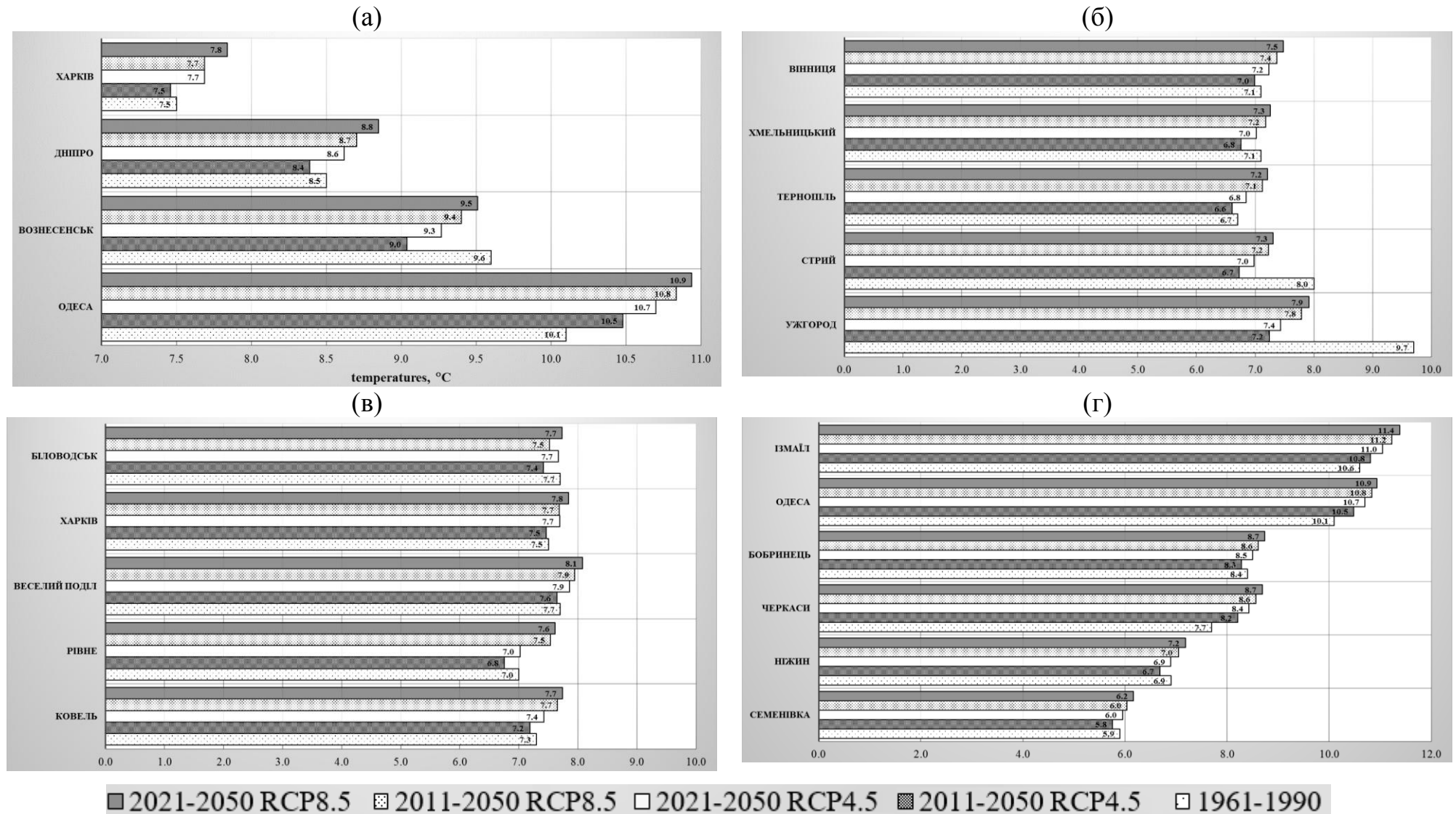


Рисунок 2.9 – Середня температура за періоди 1961-1990, 2011-2050 та 2021-2050 для сценаріїв RCP4.5 та RCP8.5 вздовж автошляхів № 1 (а), № 2 (б), № 3 (в) та № 4 (г.)

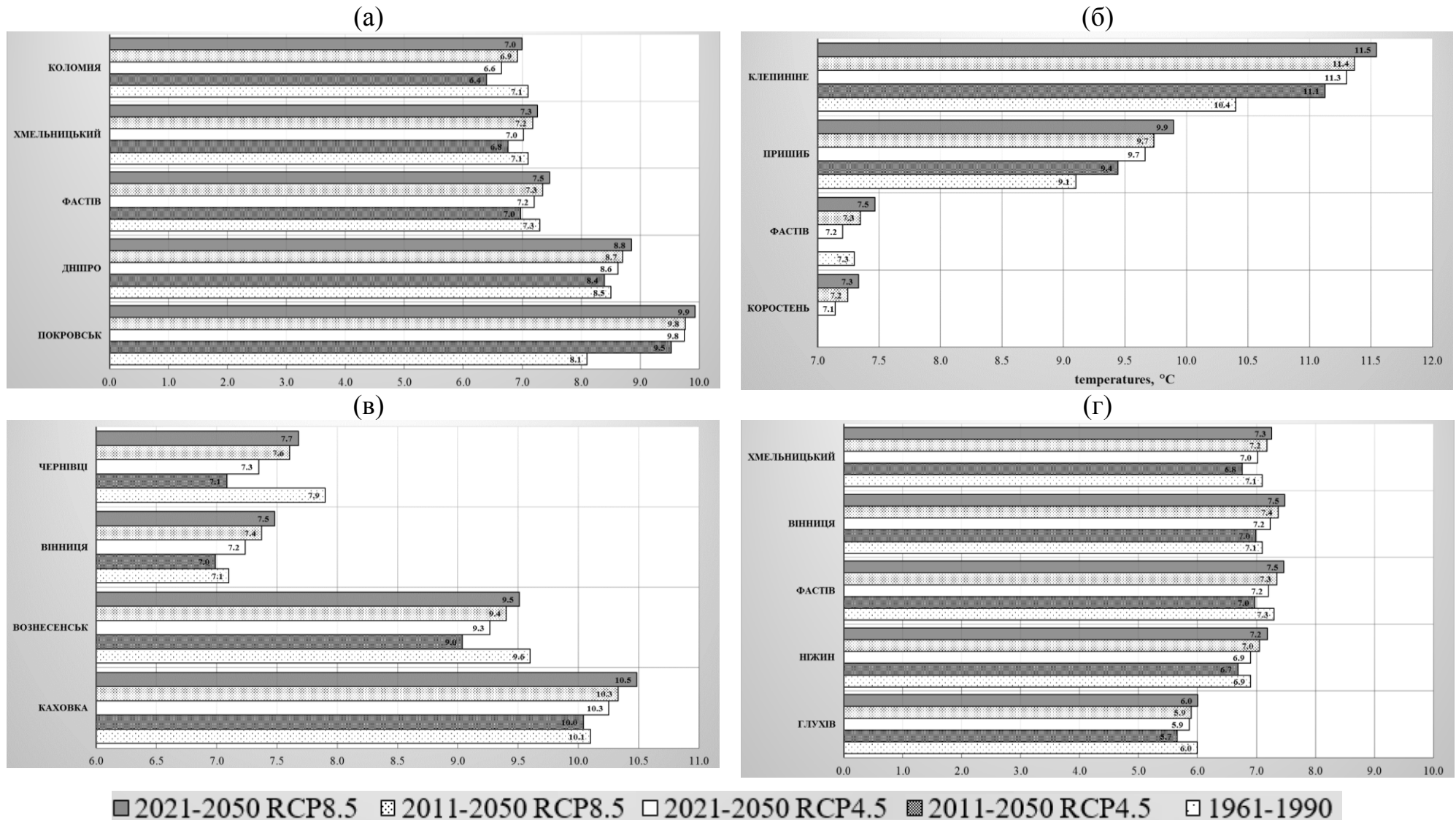


Рисунок 2.10 – Середня температура за періоди 1961-1990, 2011-2050 та 2021-2050 для сценаріїв RCP4.5 та RCP8.5 вздовж автошляхів № 5 (а), № 6 (б), № 7 (в) та № 8 (г.).

За даними сценаріїв RCP4.5 та RCP8.5 було розраховано температури з різною забезпеченістю уздовж всіх автошляхів для січня та липня за період 2021-2050 рр. та порівняно з кліматичною нормою. Ці характеристики дають добре уявлення про амплітуду зміни температури та у яких межах можна її очікувати.

На рис. 2.11 та 2.12 представлено середньодобову температуру з забезпеченістю 1 та 99 % у січні за періоди 2021-2050 рр. та 1961-1990 рр.

Можна бачити, що уздовж всіх трас за обома сценаріями порівняно з кліматичною нормою 1961-1990 рр. амплітуда зміни середньої добової температури збільшується та відбувається зсув середньої добової температури у бік більш екстремальних значень. Наприклад, якщо в Ужгороді в січні у 1961-1990 рр. з забезпеченістю 1 % можна було очікувати температуру $-11,5^{\circ}\text{C}$, а забезпеченістю 1 % – $+2,7^{\circ}\text{C}$, то за сценарієм RCP4.5 температури з такими забезпеченостями вже будуть іншими (більш екстремальними) $+3,6$ та $-14,8^{\circ}\text{C}$, відповідно, а за сценарієм RCP8.5 становитимуть $+4,5$ та $-15,8^{\circ}\text{C}$, відповідно. Це означає збільшення ймовірності екстремальних температур та небезпечних погодних умов. Окрім того, незважаючи на загальне підвищення температури, такі результати вказують на збільшення ймовірності як високих так і низьких температур, тобто такі результати вказують на розбалансування кліматичної системи.

Сценарії уздовж різних автотрас показують різні результати. Наприклад, уздовж автотраси № 2 від сценарію RCP4.5 до сценарію RCP8.5 відбувається збільшення амплітуди середніх добових температур та просування середньої добової температури у бік більш екстремальних значень. Такі результати є характерними для південних станцій та станцій південного заходу, наприклад, м. Клепиніне, м. Одеса, м. Ізмаїл, м. Ужгород, м. Хмельницький, м. Тернопіль, м. Ковель, м. Чернівці. Слід зазначити, що для двох станцій північної України (м. Семенівка та м. Фастів) отримано такий самий результат. Оскільки автошлях № 2 об'єднує станції саме південного заходу, тому було отримано такий результат.

Для інших автотрас результати, отримані за сценаріями не є такими однозначними, оскільки ці автошляхи з'єднують станції півдня та півночі, сходу та заходу країни. Для північних та центральних областей за сценарієм RCP4.5 амплітуда середньої добової температури, так само як і зсув до більш екстремальних значень, навпаки, є більшими, ніж за сценарієм RCP8.5. Наприклад, м. Дніпро, м. Веселий Поділ (Полтавська область), м. Ніжин (Чернігівська область) та м. Глухів (Сумська область). Такий саме результат отримано для м. Пришиб (Запорозька область) та м. Біловодськ (Луганська область).

Для інших міст України спостерігається за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 спостерігається збереження амплітуди середньої добової температури, проте, для сценарію RCP4.5 збільшення температури є більшим, ніж за сценарієм RCP8.5.

З отриманих результатів можна зробити висновок, що взимку за сценарієм RCP8.5 несприятливі погодні умови для транспорту будуть спостерігатись в південних та південно-західних областях, а за сценарієм RCP4.5 в інших областях України.

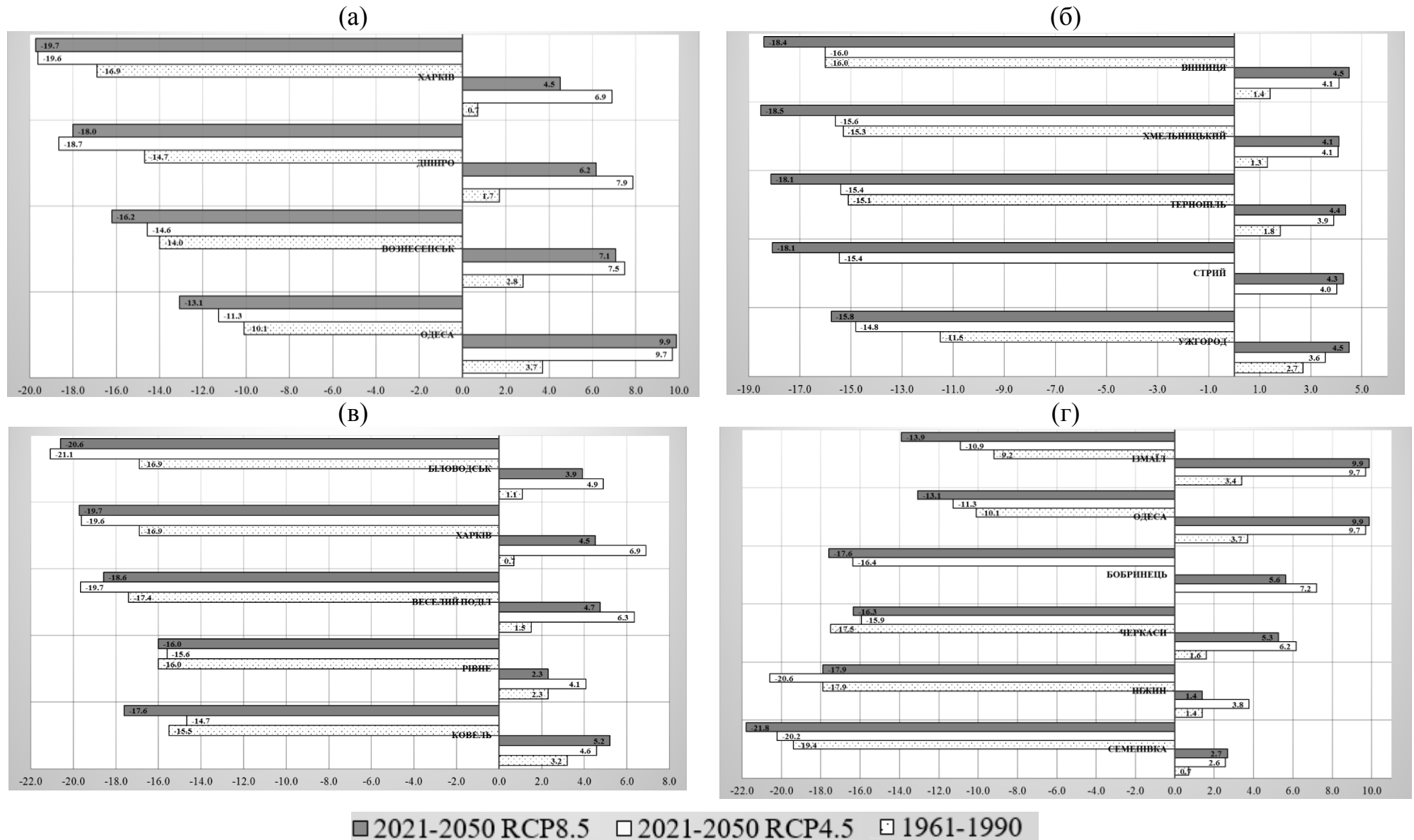


Рисунок 2.11 – Процентилі «99» та «1» середньої добової температури в січні за періоди 1961-1990 і 2021-2050 для сценаріїв RCP4.5 та RCP8.5 вздовж автошляхів № 1 (а), № 2 (б), № 3 (в) та № 4 (г).

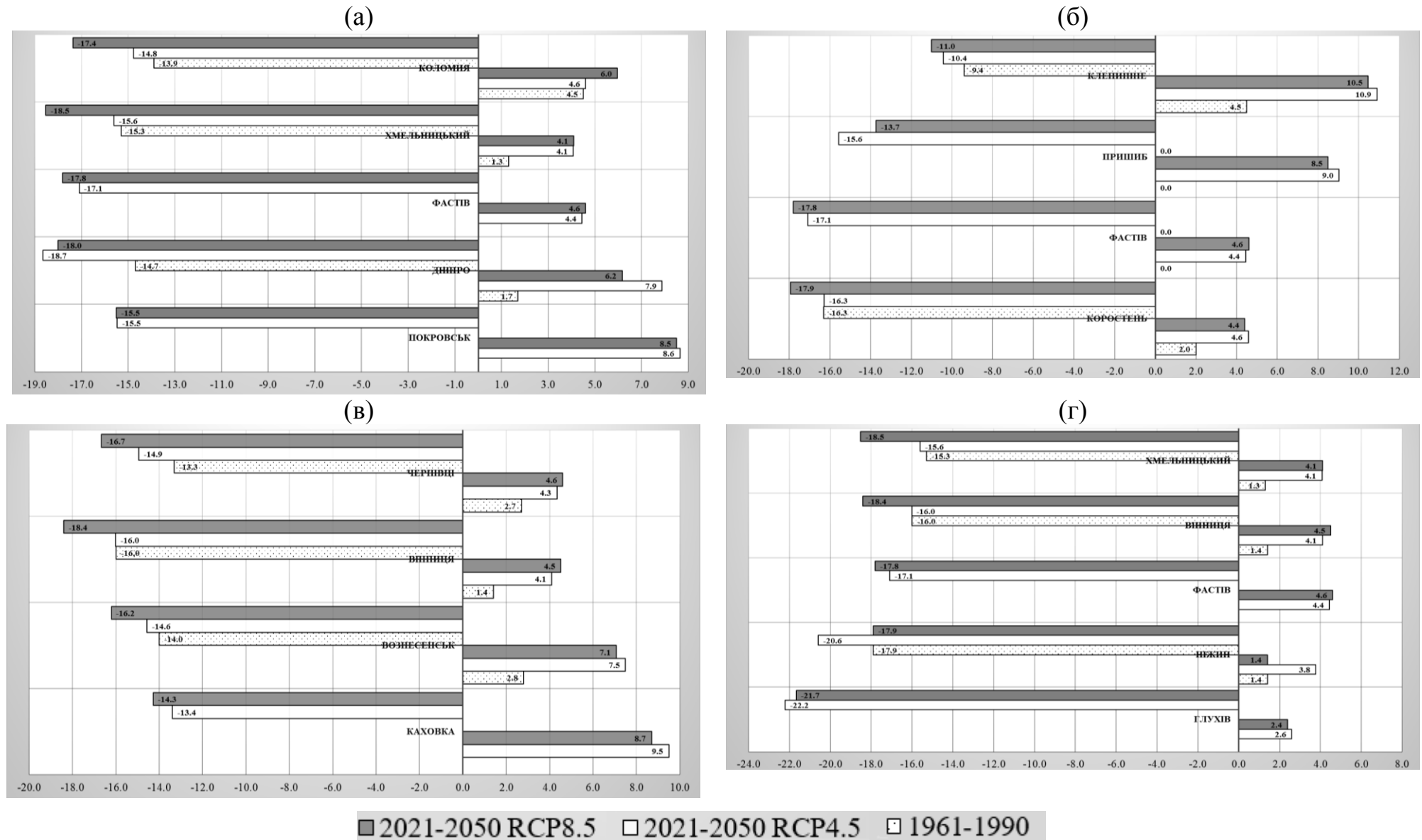


Рисунок 2.12 – Процентилі «99» та «1» середньої добової температури в січні за періоди 1961-1990 і 2021-2050 для сценаріїв RCP4.5 та RCP8.5 вздовж автошляхів № 5 (а), № 6 (б), № 7 (в) та № 8 (г).

На рис. 2.13 та 2.14 представлено середньодобову температуру з забезпеченістю 1 та 99 % у липні за періоди 2021-2050 рр. та 1961-1990 рр.

Порівняно зі змінами середньої добової температури в січні зміни середньої добової температури в липні мають дещо інший характер.

Немає яскраво вираженої тенденції як для сценарію RCP4.5 так і для сценарію RCP8.5 відповідно до географічних ознак. Для всіх пунктів спостерігається єдина загальна риса у характері змін температури в обох сценаріях – збільшення амплітуди змін температури та зсув температури як в область низьких так і в область високих значень порівняно з періодом 1961-1990 рр.

Порівняно з січнем амплітуда змін температури збільшується в кілька разів за обома сценаріями, тому влітку вплив погодних умов на транспортну систему є більш інтенсивною. Причому, слід зазначити, що і в січні, і в липні амплітуда змін температури не залежить ні від широтної, ні від меридіональної орієнтації шляхів.

Для автошляхів № 1, 5, 6 та 7 спостерігається загальна тенденція в зміні температури: найбільша амплітуда середньої добової температури та найбільший зсув у бік екстремальних значень відбувається для сценарію RCP4.5, в сценарії RCP8.5 мають місце такі саме зміни проте амплітуда змін є меншою. Станції автотраси № 5 розташовані в зональному напрямку, проте інші станції знаходяться вздовж меридіонально спрямованих доріг.

Для траси № 2 для ст. Стрий (передгір'я Карпат) амплітуда температур є найбільшою за сценарієм RCP8.5, для інших станцій (центральні райони Західної України), навпаки, для сценарію RCP4.5.

Уздовж автотраси № 4 в північних районах (м. Семенівка та м. Ніжин) спостерігаються найнижчі значення процентилі 1 % за сценарієм RCP8.5, а найвищі значення процентилі 99 % за сценарієм RCP4.5, для інших станцій Південної та Центральної України більш екстремальні значення процентилів 1 % та 99 % мають місце за сценарієм RCP4.5.

Так само і уздовж автотраси № 8 в північних районах (м. Семенівка та м. Глухів) спостерігаються такі самі тенденції, що і для північних районів траси №4, в іншій частині траси спостерігаються більш екстремальні значення процентилів 1 % та 99 % мають місце за сценарієм RCP4.5.

Для шляху № 3 в м. Харків, м. Веселий Поділ (північно-східна Україна) має місце амплітуда зміни температур за сценарієм RCP4.5, проте, для ст. Біловодськ нижча за сценарієм RCP4.5, а вища – за сценарієм RCP8.5 та навпаки у м. Ковель та м. Рівне (північно-західна Україна).

Оскільки влітку найбільш небезпечними є високі температури, то в незалежності від різниці в змінах температур уздовж різних трас, більш небезпечним для всіх трас є сценарій RCP4.5.

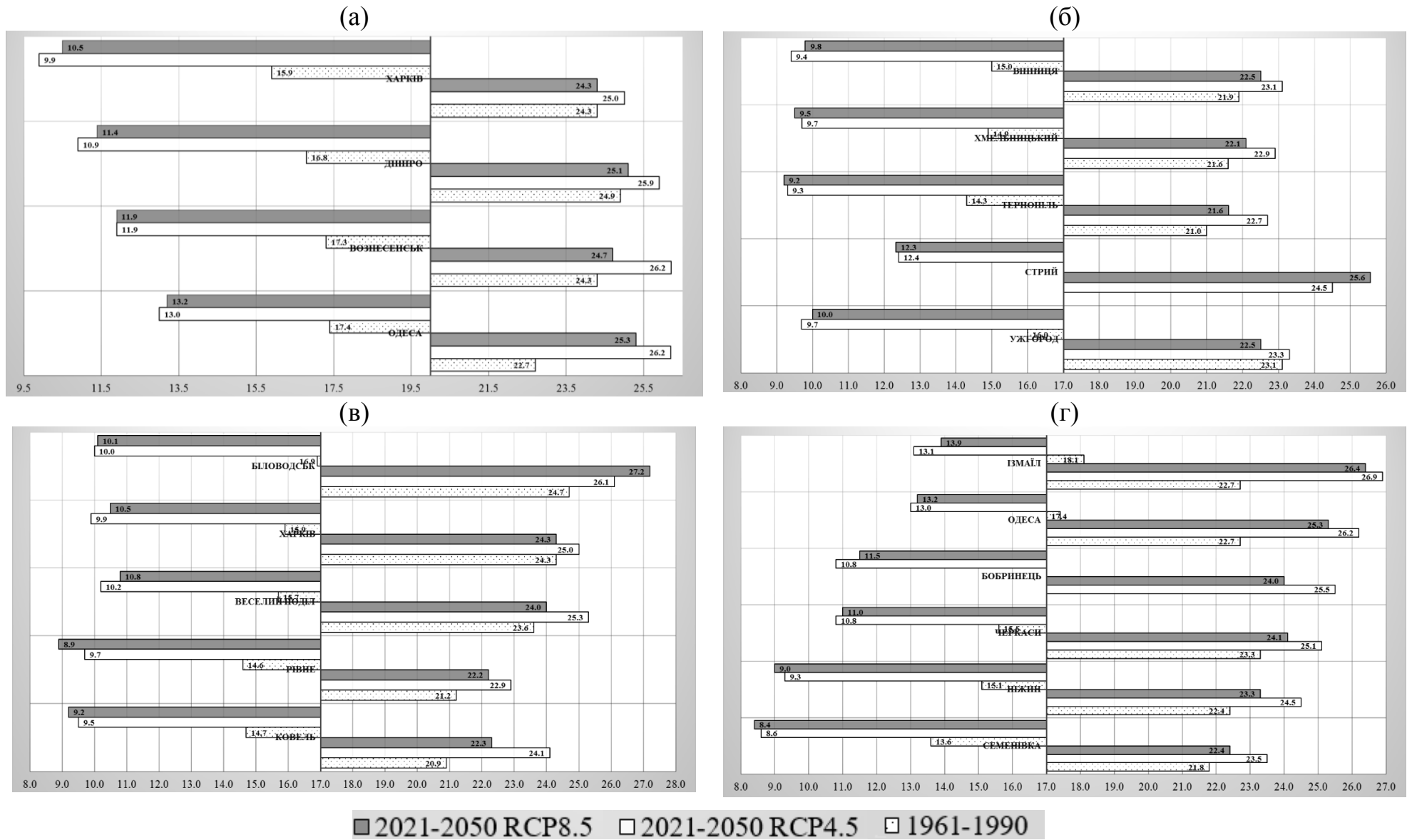


Рисунок 2.13 – Процентилі «99» та «1» середньої добової температури в липні за періоди 1961-1990 і 2021-2050 для сценаріїв RCP4.5 та RCP8.5 вздовж автошляхів № 1 (а), № 2 (б), № 3 (в) та № 4 (г).

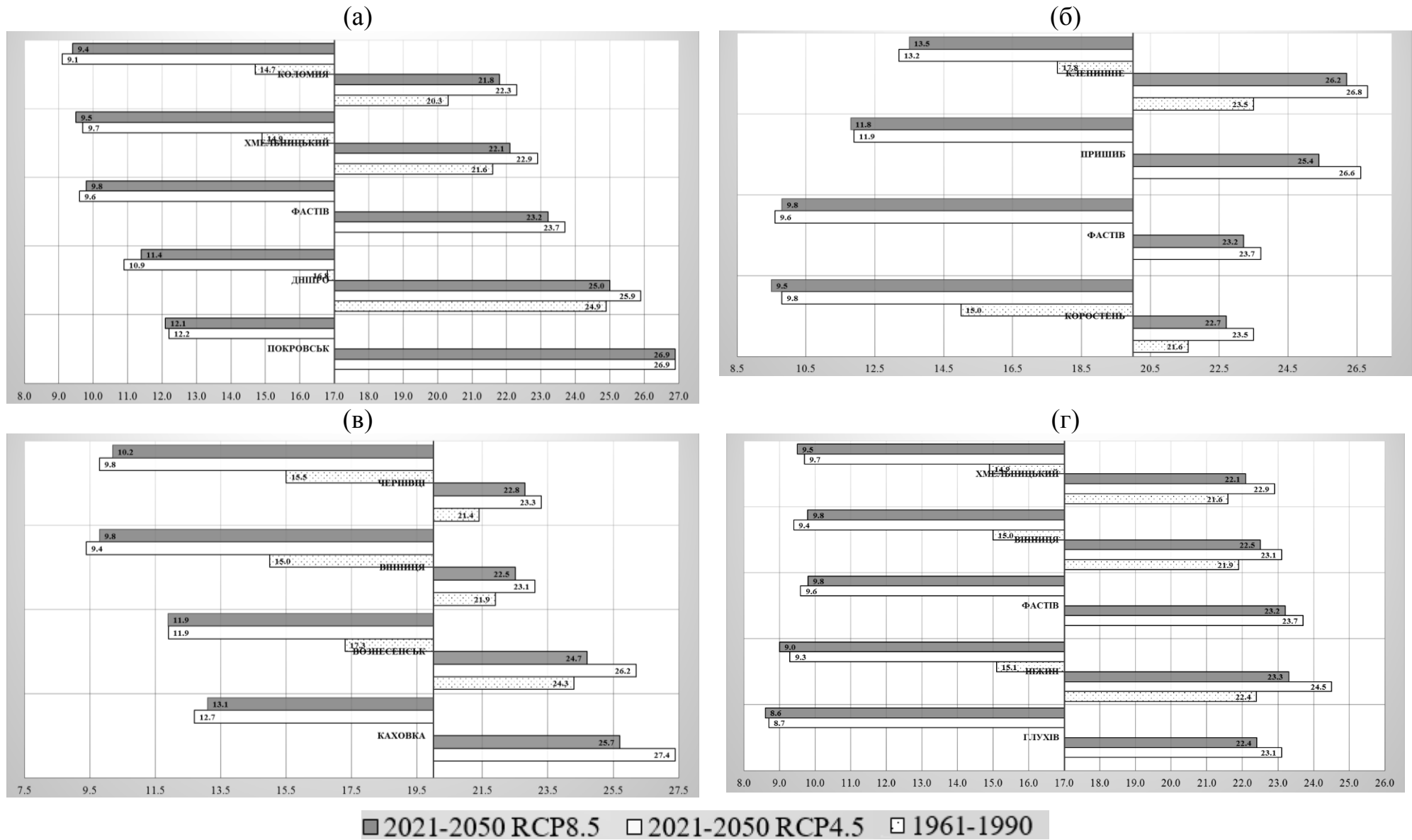


Рисунок 2.14 – Процентилі «99» та «1» середньої добової температури в липні за періоди 1961-1990 і 2021-2050 для сценаріїв RCP4.5 та RCP8.5 вздовж автошляхів № 5 (а), № 6 (б), № 7 (в) та № 8 (г).

На рис. 2.15 та 2.16 представлено середньодобову температуру з забезпеченістю 50 % у січні, а на рис. 2.17 та 2.18 у липні за періоди 2021-2050 рр. та 1961-1990 рр. уздовж автотрас, які розглядаються.

Для всієї території України мають місце яскраво виражені тенденції.

Для всіх автошляхів в січні (рис. 2.15, 2.16) спостерігається збільшення 50-тої процентиля середньої добової температури за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5. Оскільки можна вважати, що температура підкорюється нормальному закону розподілу, то це означає, що підвищується і середнє значення, і модальне значення середньої добової температури в січні.

Слід звернути увагу, що для всіх станцій відбувається найбільше зростання значень 50-тої процентиля середньої добової температури за сценарієм RCP4.5. Порівняно з кліматичною нормою 1961-1990 рр. це зростання складає приблизно 3-4⁰С.

За сценарієм RCP8.5 зростання є не таким помітним та складає в більшості випадків 1-2⁰С.

Слід зауважити, що для деяких південних станцій, розташованих в Криму та на морському узбережжі, значення 50-тої процентиля змінюється на додатне: м. Одеса, м. Клепиніне (за обома сценаріями) та м. Ізмаїл (за сценарієм RCP4.5).

В липні (рис. 2.17, 2.18) спостерігаються дещо інші тенденції. Для всієї території України значення 50-тої процентиля середньої добової температури зменшується. Найбільше зменшується за сценарієм RCP8.5, виключаючи ст. Дніпро, Біловодськ, Пришиб, Покровськ та Каховка (станції східно-південної України). Для цих станцій, навпаки більше зменшення значення 50-тої процентиля відбувається за сценарієм RCP4.5. Для деяких станцій за обома сценаріями отримано однакові значення 50-тої процентиля, а саме м. Стрий, м. Харків, м. Клепиніне. До цієї ж групи можна віднести м. Одеса та м. Ізмаїл. Більша частина цих станцій також належить до південно-східних областей України.

Зменшення значення 50-тої процентиля порівняно з кліматичною нормою складає приблизно 0,5-1,0⁰С.

Таким чином, з отриманих результатів можна бачити, що спостерігається суттєве пом'якшення клімату, оскільки спостерігається за обома сценаріями відбувається підвищення температури взимку та зменшення влітку, проте, це внесок екстремальних значень стає більшим, оскільки повторюваність більш низьких та більш високих температур стає більшою. Для транспортної системи це має досить негативні наслідки.

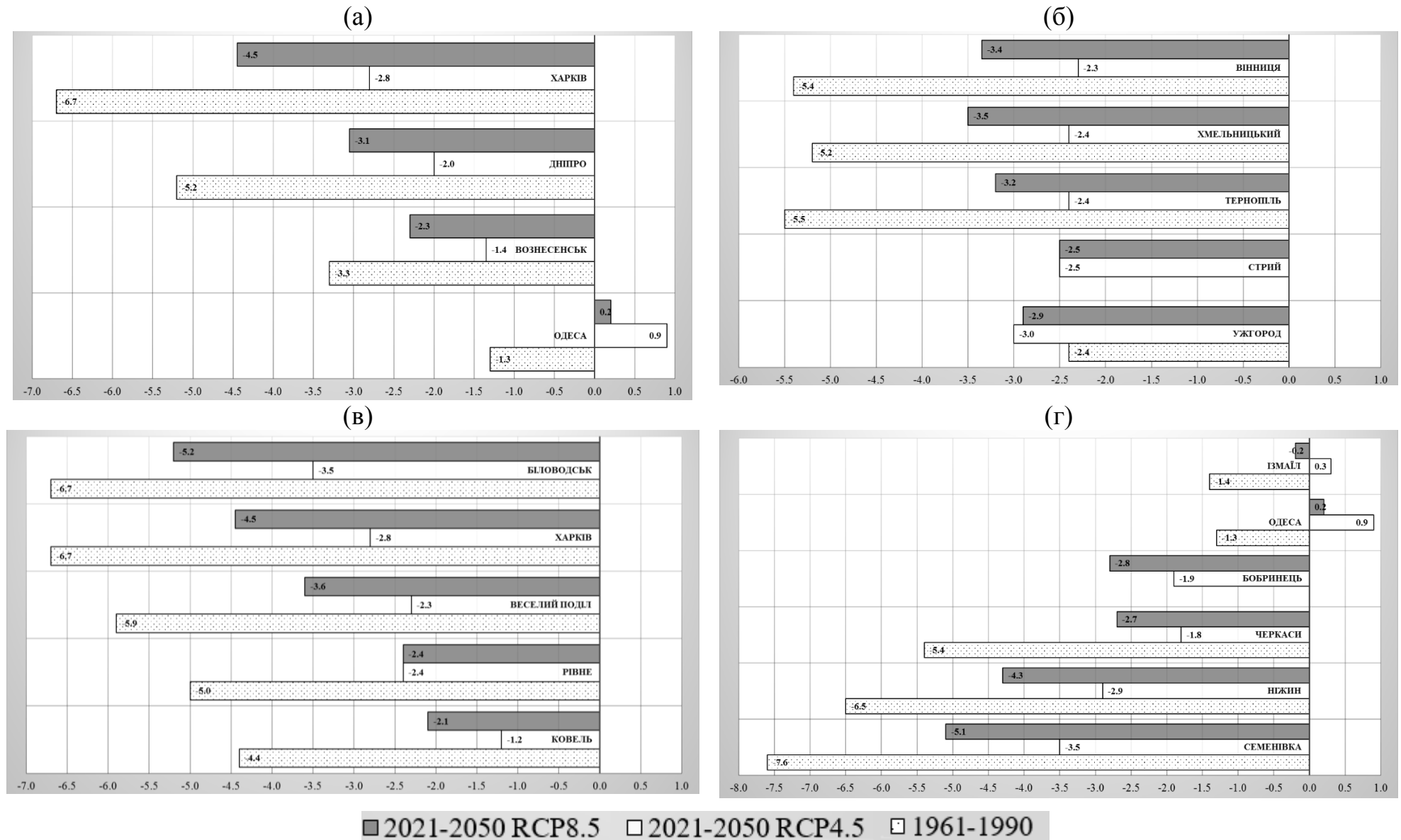


Рисунок 2.15 – Процентиль «50» середньої добової температури в січні за періоди 1961-1990 і 2021-2050 для сценаріїв RCP4.5 та RCP8.5 вздовж автошляхів № 1 (а), № 2 (б), № 3 (в) та № 4 (г).

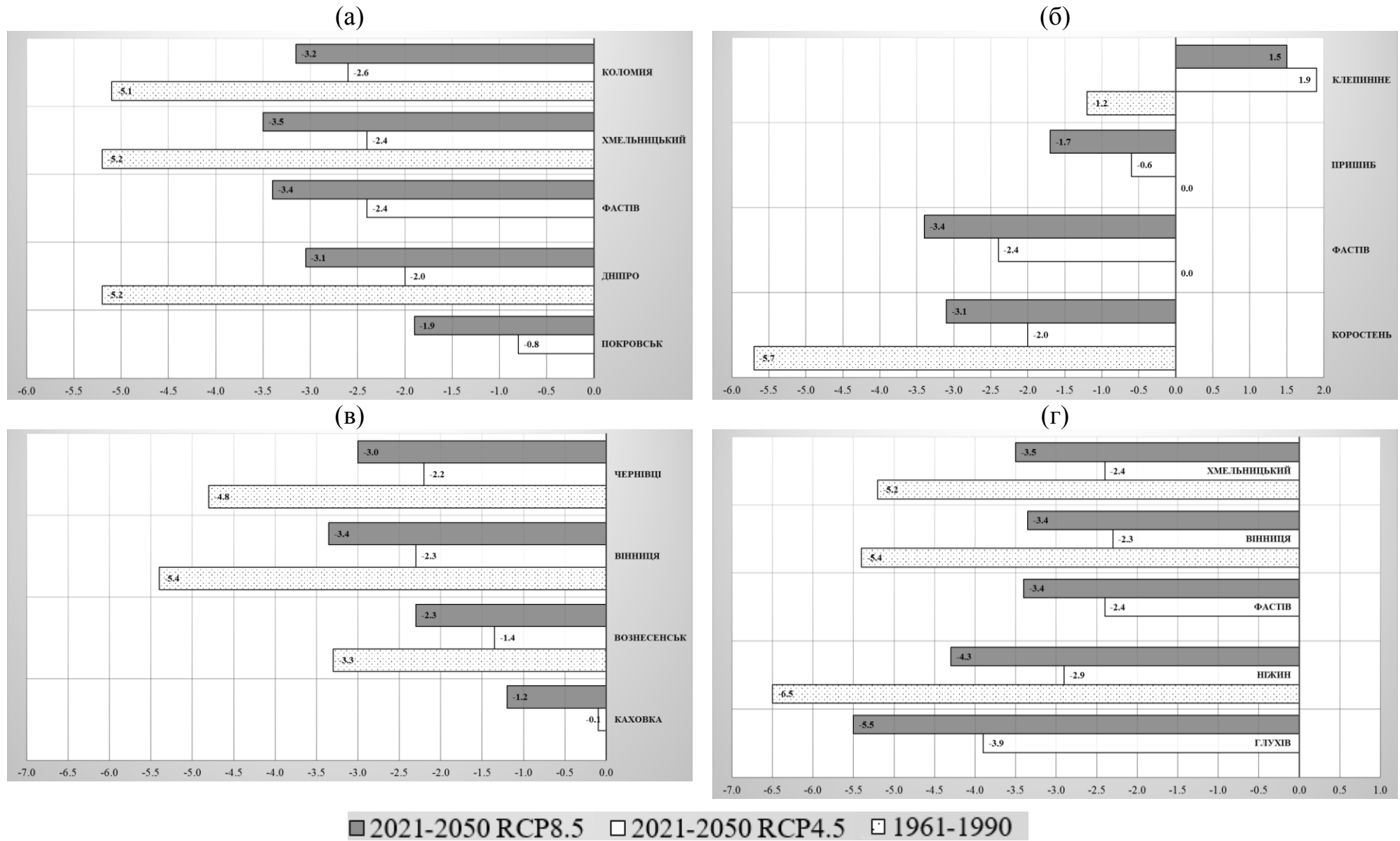


Рисунок 2.16 – Процентиль «50» середньої добової температури в січні за періоди 1961-1990 і 2021-2050 для сценаріїв RCP4.5 та RCP8.5 вздовж автошляхів № 5 (а), № 6 (б), № 7 (в) та № 8 (г).

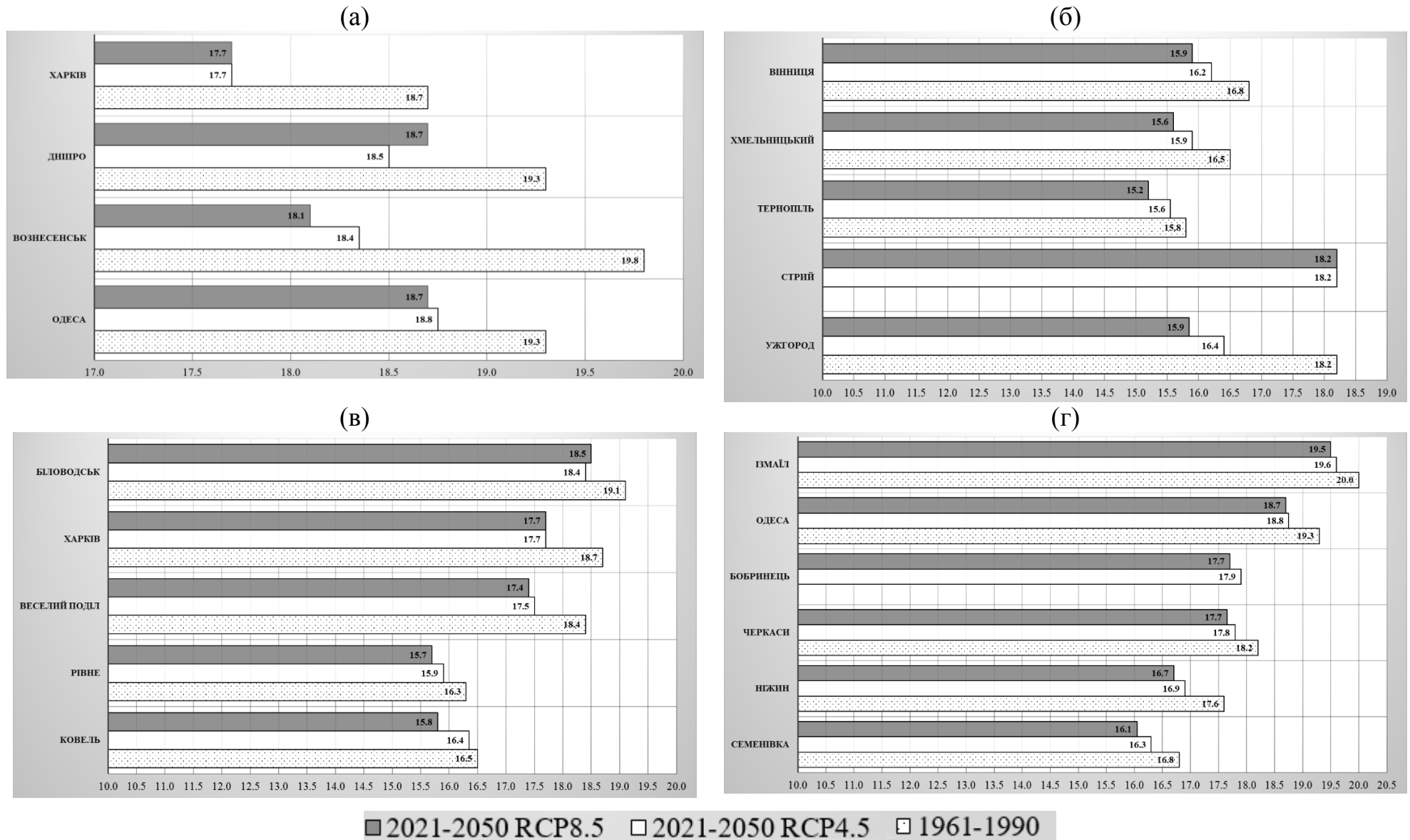


Рисунок 2.17 – Процентиль «50» середньої добової температури в липні за періоди 1961-1990 і 2021-2050 для сценаріїв RCP4.5 та RCP8.5 вздовж автошляхів № 1 (а), № 2 (б), № 3 (в) та № 4 (г).

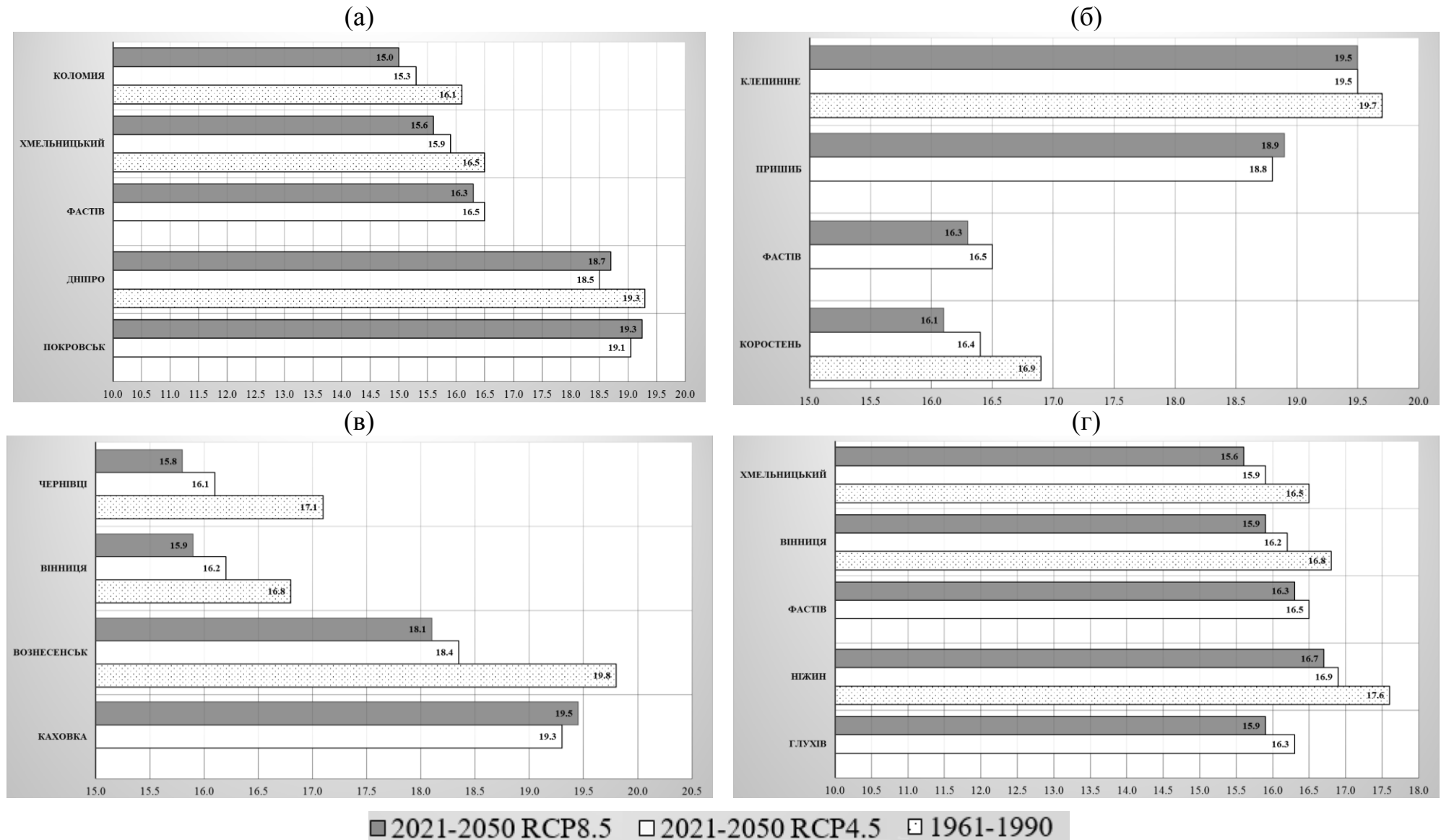


Рисунок 2.18 – Процентиль «50» середньої добової температури в липні за періоди 1961-1990 і 2021-2050 для сценаріїв RCP4.5 та RCP8.5 вздовж автошляхів № 5 (а), № 6 (б), № 7 (в) та № 8 (г).

2.3.1.2 Середньодобова максимальна температура повітря

На рис. 2.19 та 2.20 представлено зміну багаторічної середньої максимальної температури повітря уздовж восьми автотрас України за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 за періоди 1961-1990 рр., 2011-2050 рр. та 2021-2050 рр.

Для середньодобових багаторічних середніх максимальних температур мають місце такі саме тенденції як і для багаторічних середніх температур.

Яскраво вираженими зміни температур є уздовж трас, розташованих у меридіональному напрямку, а саме траси № 4, 5, 6 та 7. Перепад максимальних температур уздовж цих трас складає від 3 до 7⁰C.

Порівняно з кліматичною нормою 1961-1990 рр. відбувається зростання багаторічної середньої максимальної температури за обома сценаріями. Виключенням є такі станції як м. Вознесенськ (Миколаївська область), м. Ужгород (Закарпатська область), м. Семенівка (Чернігівська область), м. Глухів (Сумська область) та м. Коломия (Івано-Франківська область). Схожі тенденції мають місце для цих станцій і для середньорічної температури, виключаючи м. Семенівка та м. Глухів, проте, для м. Семенівка спостерігається зростання середньорічної температури за сценарієм RCP8.5 становить +0,1⁰C, а для м. Глухів цього зростання взагалі не відбувається (0,0⁰C).

Для середньорічної максимальної температури як і для середньорічної температури зростання температури найбільшим виявляється за сценарієм RCP8.5 за період 2021-2050 рр., а найменше за сценарієм RCP4.5 за період 2011-2050 рр.

Це підтверджує висновок про те, що найбільший внесок у збільшення температури відбуватиметься у період 2021-2050 рр., тобто температура з часом підвищуватиметься. Також це свідчить про те, що повторюваність екстремально високих температур з часом зростатиме.

На рис. 2.21 та 2.22 представлено динаміку кількості днів з середніми максимальними температурами, які перевищують певні порогові значення. За такі порогові значення було обрано ті, вище яких день вважається спекотним, тобто +30⁰C, +35⁰C та +40⁰C.

На рис. також представлено кількість таких днів, визначену за період 1961–1990 рр. з тією різницею, що за цей період спекотний визначався не за середньою максимальною, а за максимальною температурою. Тому порівняння може бути лише приблизним. В роботі [13] було отримано кількість спекотних днів для середньодобових максимальних температур за період 1961-1990 рр. для 9 станцій України. На основі цих даних та даних кліматичного кадастру було визначено середній для станцій, що розглядалися коефіцієнт переходу від кількості днів, визначених за середньодобовими температурами, та кількістю днів, визначених за максимальними температурами. Коефіцієнт переходу становить 3.48.

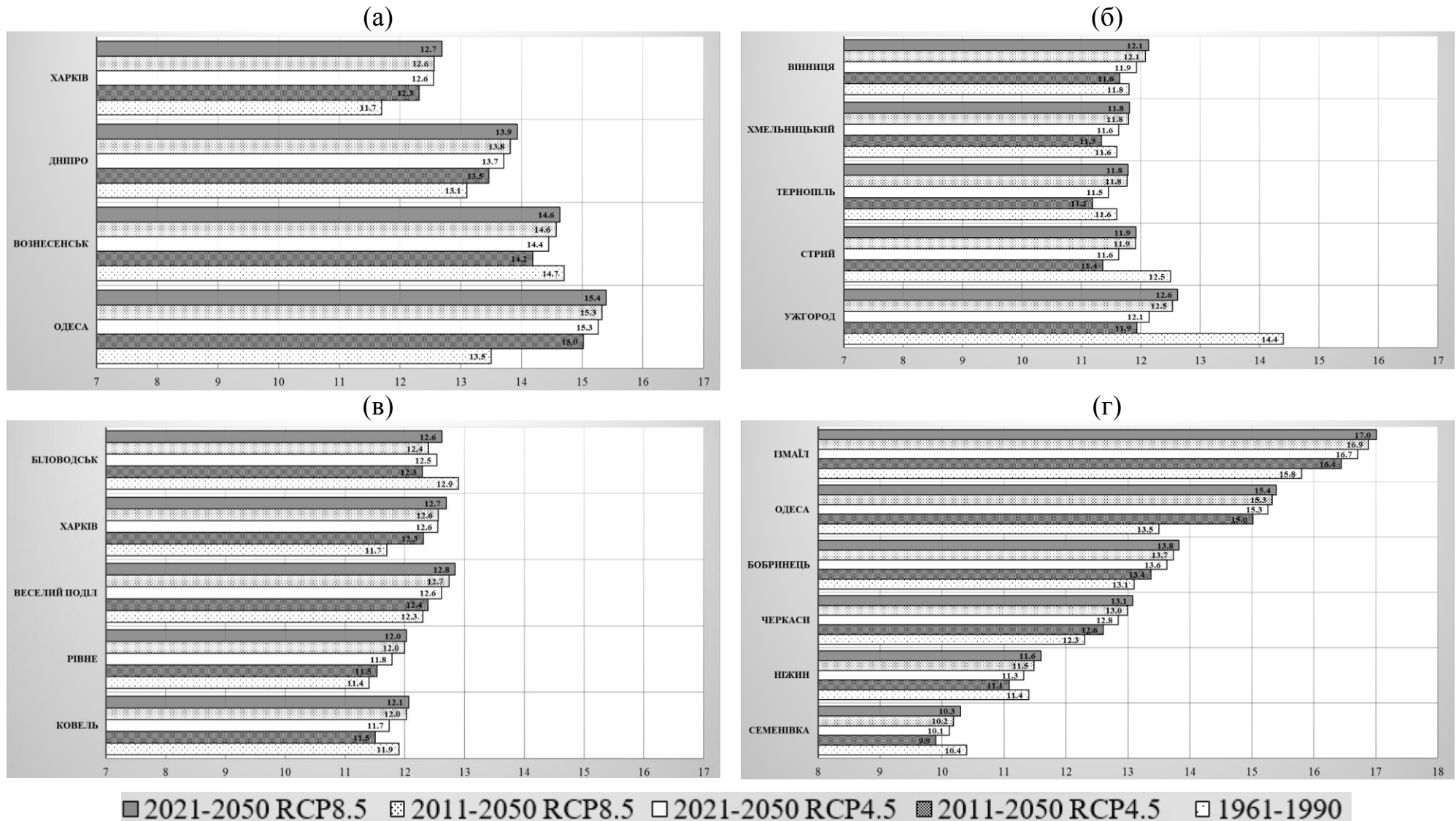


Рисунок 2.19 – Середньорічна добова максимальна температура за періоди 1961-1990, 2011-2050 та 2021-2050 для сценаріїв RCP4.5 і RCP8.5 для автошляхів № 1 (а), № 2 (б), № 3 (в), № 4 (г).

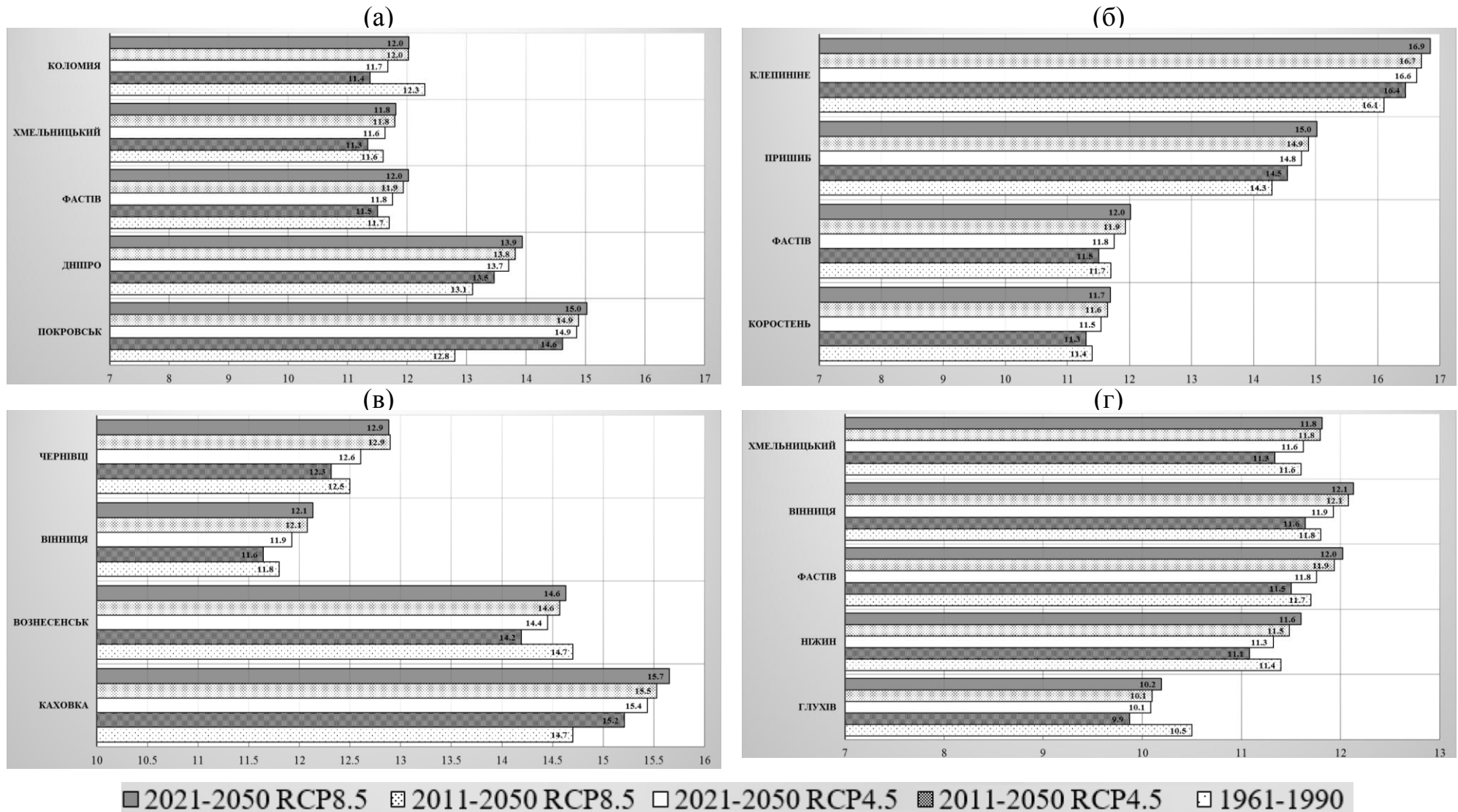


Рисунок 2.20 – Середньорічна добова максимальна температура за періоди 1961-1990, 2011-2050 та 2021-2050 для сценаріїв RCP4.5 і RCP8.5 для автошляхів № 5 (а), № 6 (б), № 7 (в), № 8 (г).

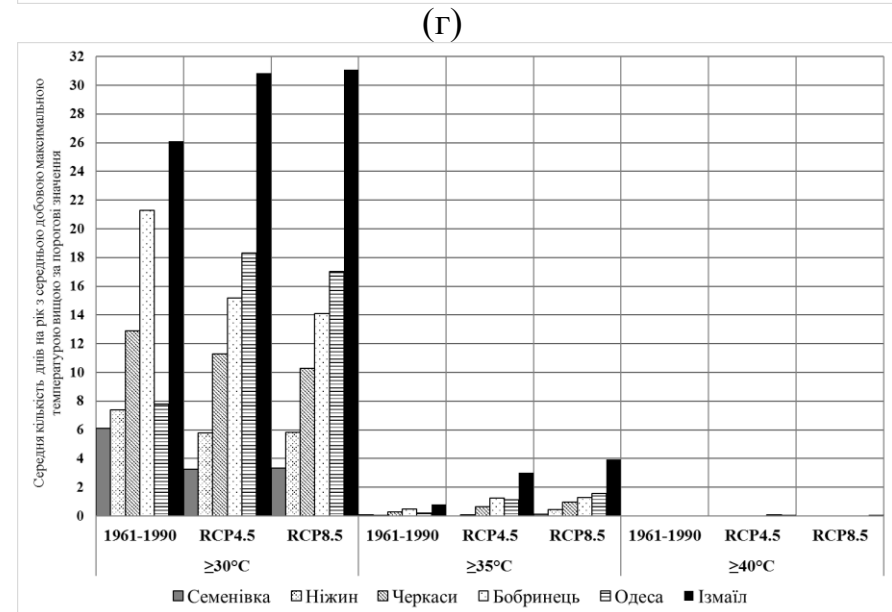
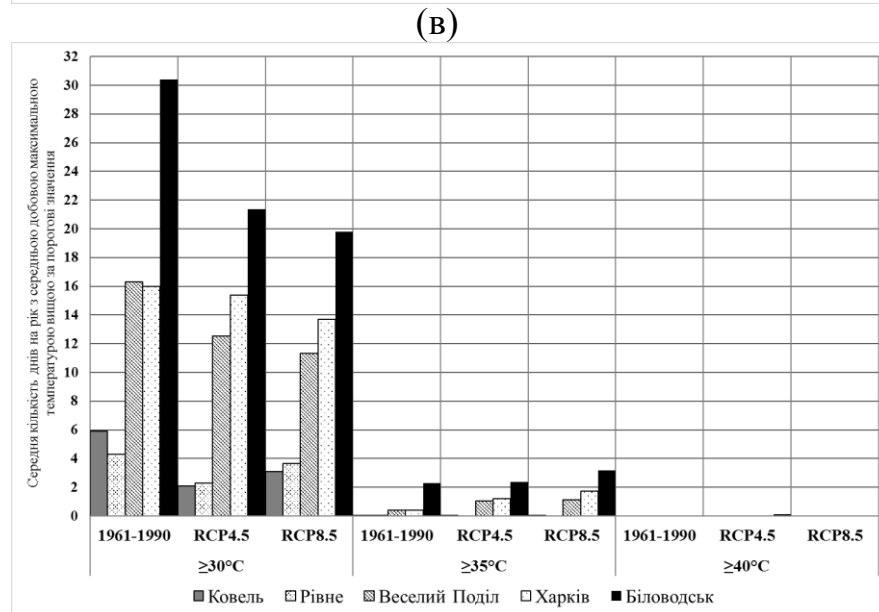
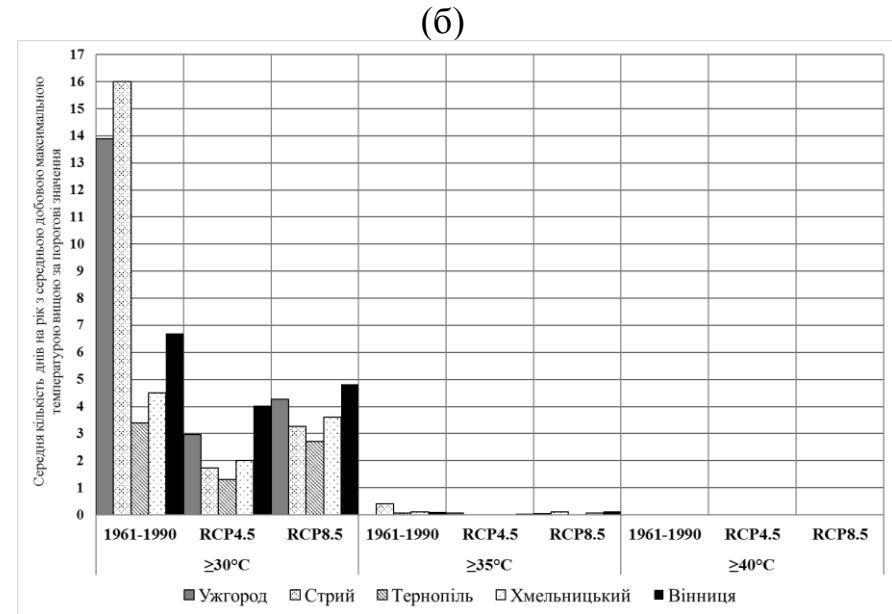
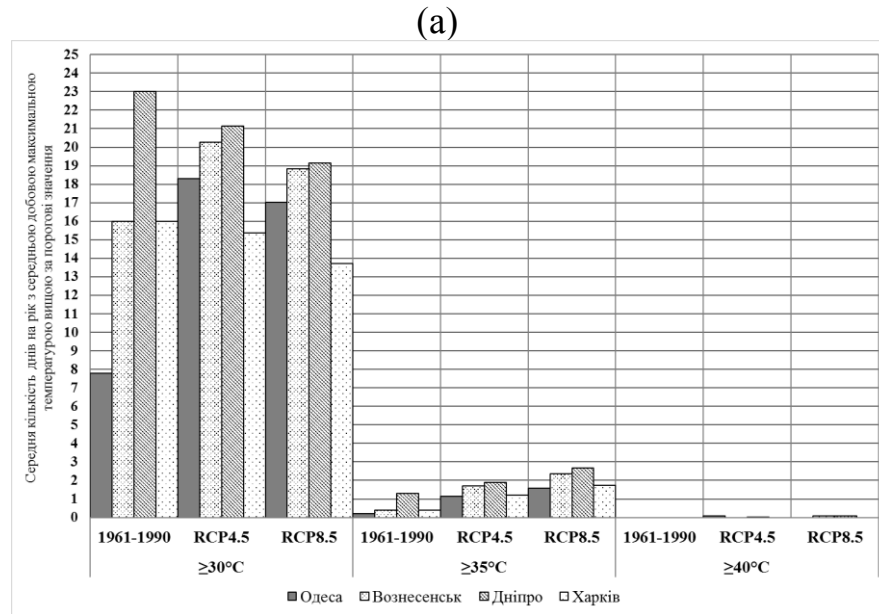


Рисунок 2.21 – Кількість днів з вищими за певні межі середньодобовими максимальними температурами за період 2021-2050 рр. та максимальними температурами за період 1961-1990 рр. для автошляхів № 1 (а), № 2 (б), № 3 (в), № 4 (г).

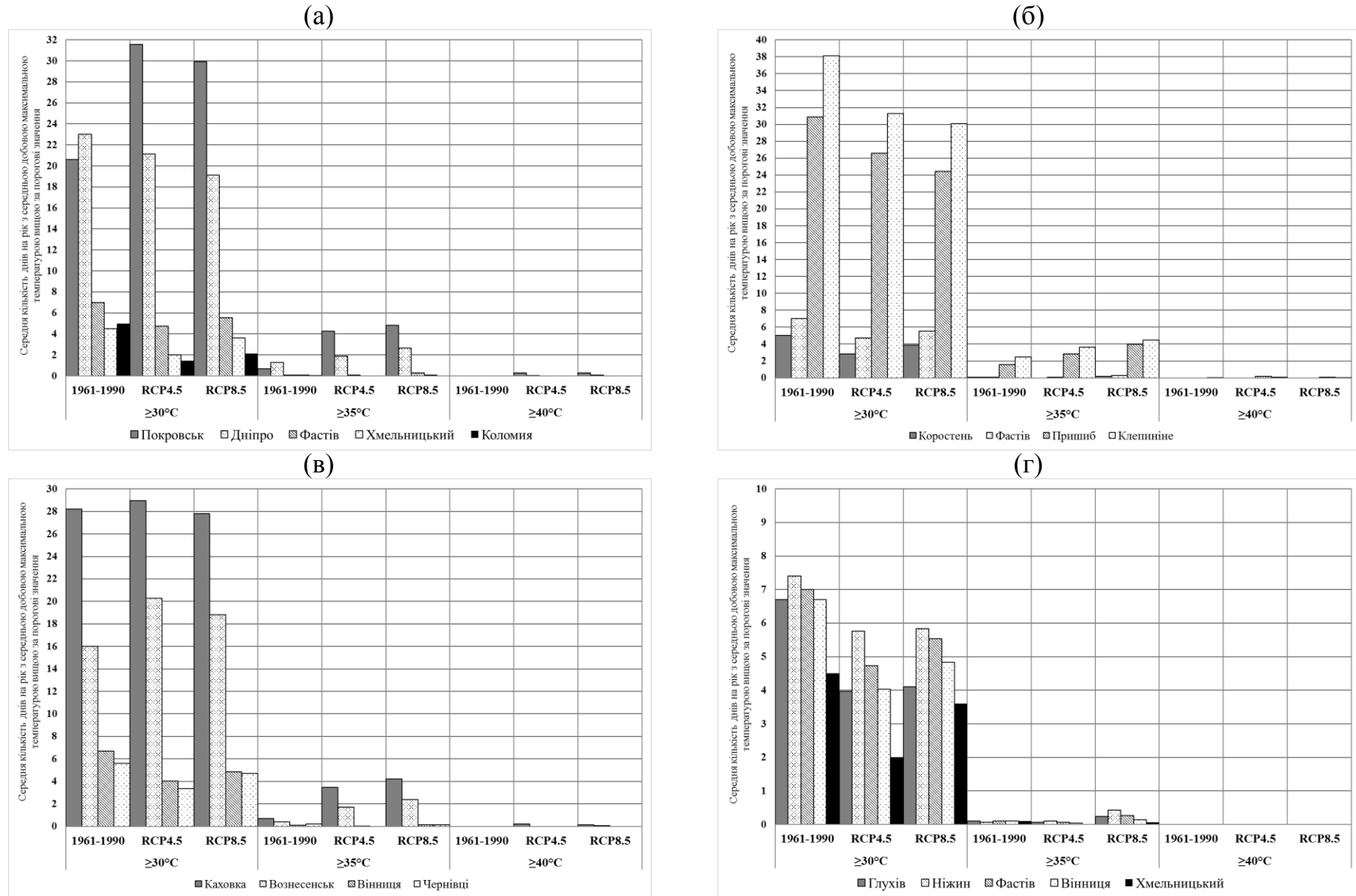


Рисунок 2.22 – Кількість днів з вищими за певні межі середньодобовими максимальними температурами за період 2021-2050 рр. та максимальними температурами за період 1961-1990 рр. для автошляхів № 5 (а), № 6 (б), № 7 (в), № 8 (г).

Використовуючи коефіцієнт переходу «3.48» для кількості днів зі спекотною погодою за період 2021-2050 рр. можна бачити, що кількість таких днів в значній степені перевищує кліматичну норму.

Наприклад, в табл. 2.2 представлено зміну середньої кількості днів за рік з середньодобовою максимальною температурою вищою за певні межі для шляху № 3 за періоди 1961-1990 рр. та 2021-2050 рр. за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5.

Таблиця 2.2 – Середня кількість днів за рік з максимальною температурою (1961-1990 рр.) та середньодобовою максимальною температурою (2021-2050 рр.) вищою за певні межі за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5

Критерій	Період	Ковель	Рівне	Веселий Поділ	Харків	Біловодськ
$\geq 30^{\circ}\text{C}$	1961-1990	5.9	4.3	16.3	16.0	30.4
	RCP4.5	2.1	2.3	12.5	15.4	21.4
	RCP8.5	3.1	3.7	11.3	13.7	19.8
$\geq 35^{\circ}\text{C}$	1961-1990	0.06	0.1	0.4	0.4	2.3
	RCP4.5	0.0	0.0	1.0	1.2	2.4
	RCP8.5	0.0	0.0	1.1	1.7	3.2
$\geq 40^{\circ}\text{C}$	1961-1990	0.0	0.0	0.0	0.0	0.03
	RCP4.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.13
	RCP8.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.03

Якщо результати, отримані за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 помножити на коефіцієнт переходу 3.48, то одержимо значення, які зведено в табл. 2.3.

Таблиця 2.3 – Середня кількість днів за рік з максимальною температурою вищою за певні межі за періоди 1961-1990 рр. та 2021-2050 рр. за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5

Критерій	Період	Ковель	Рівне	Веселий Поділ	Харків	Біловодськ
$\geq 30^{\circ}\text{C}$	1961-1990	5.9	4.3	16.3	16.0	30.4
	RCP4.5	7.3	8.0	43.5	53.6	74.5
	RCP8.5	10.8	12.9	39.3	47.7	68.9
$\geq 35^{\circ}\text{C}$	1961-1990	0.06	0.1	0.4	0.4	2.3
	RCP4.5	0.0	0.0	3.5	4.2	8.4
	RCP8.5	0.0	0.0	3.8	5.9	11.1
$\geq 40^{\circ}\text{C}$	1961-1990	0.0	0.0	0.0	0.0	0.03
	RCP4.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5
	RCP8.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1

Можна бачити, що кількість спекотних днів збільшується в 3-4 рази порівняно з періодом 1961-1990 рр. навіть для регіонів, де не зафіксовано

збільшення кількості днів з середньодобовою максимальною температурою порівняно з кліматичною нормою для спекотних днів.

Для деяких регіонів України виявлено навіть зростання кількості днів з середньодобовою максимальною температурою $\geq 30^{\circ}\text{C}$ порівняно з кліматичною нормою для спекотних днів. Наприклад, для м. Каховка, м. Одеса, м. Ізмаїл, м. Вознесенськ та м. Покровськ, тобто для південних та східних районів України.

Збільшення кількості днів з середньодобовою максимальною температурою $\geq 30^{\circ}\text{C}$ на більшу величину відбувається за сценарієм RCP4.5, виключаючи ст. Вінниця, Чернівці, Глухів, Ніжин, Фастів, Хмельницький, Коростень, Коломия, Ковель, Рівне, Ужгород, Стрий, Тернопіль, які в більшості належать до західних та центральних районів України. Враховуючи, що 30°C є межим значенням для визначення спекотних днів в цих регіонах, то можна вважати для цих районів сценарій RCP8.5 є більш екстремальним, ніж сценарій RCP4.5.

Зростання кількості днів з середньою максимальною температурою $\geq 35^{\circ}\text{C}$ порівняно з кліматичною нормою спостерігається в усіх регіонах України. За сценарієм RCP8.5 зростання є більшим, ніж за сценарієм RCP4.5 також для території всієї України. Найбільш інтенсивне зростання кількості днів з середньою максимальною температурою $\geq 35^{\circ}\text{C}$ має місце в південних та східних районах України. Для південних районів України межим значенням для виявлення спекотних днів є 35°C , з чого можна зробити висновок, що для південних регіонів більш екстремальним є також сценарій RCP8.5.

2.3.1.3 Середньодобова мінімальна температура повітря

На рис. 2.23 та 2.24 представлено зміну багаторічної середньої мінімальної температури повітря уздовж восьми автотрас України за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 за періоди 1961-1990 рр., 2011-2050 рр. та 2021-2050 рр.

Можна бачити, що за обома сценаріями річна середньодобова мінімальна температура збільшується, причому найбільше зростання температури відбувається за сценарієм RCP8.5 для періоду 2021-2050 рр. Виходячи з того, що за обома сценаріями річна середньодобова мінімальна температура є більшою для періоду 2021-2050 рр., ніж для періоду 2011-2050 рр., можна зробити висновок, що основне підвищення температури припадатиме на період 2021-2050 рр.

Проте, слід зауважити дуже цікаву тенденцію, яка не спостерігається для зміни річної середньодобової максимальної температури та річної середньодобової температури: практично для всіх пунктів, що розглядається, підвищення мінімальної температури не перевищує кліматичну норму, виключаючи ст. Ужгород, Ковель, Ізмаїл, Семенівка, Покровськ, Клепиніне та Глухів.

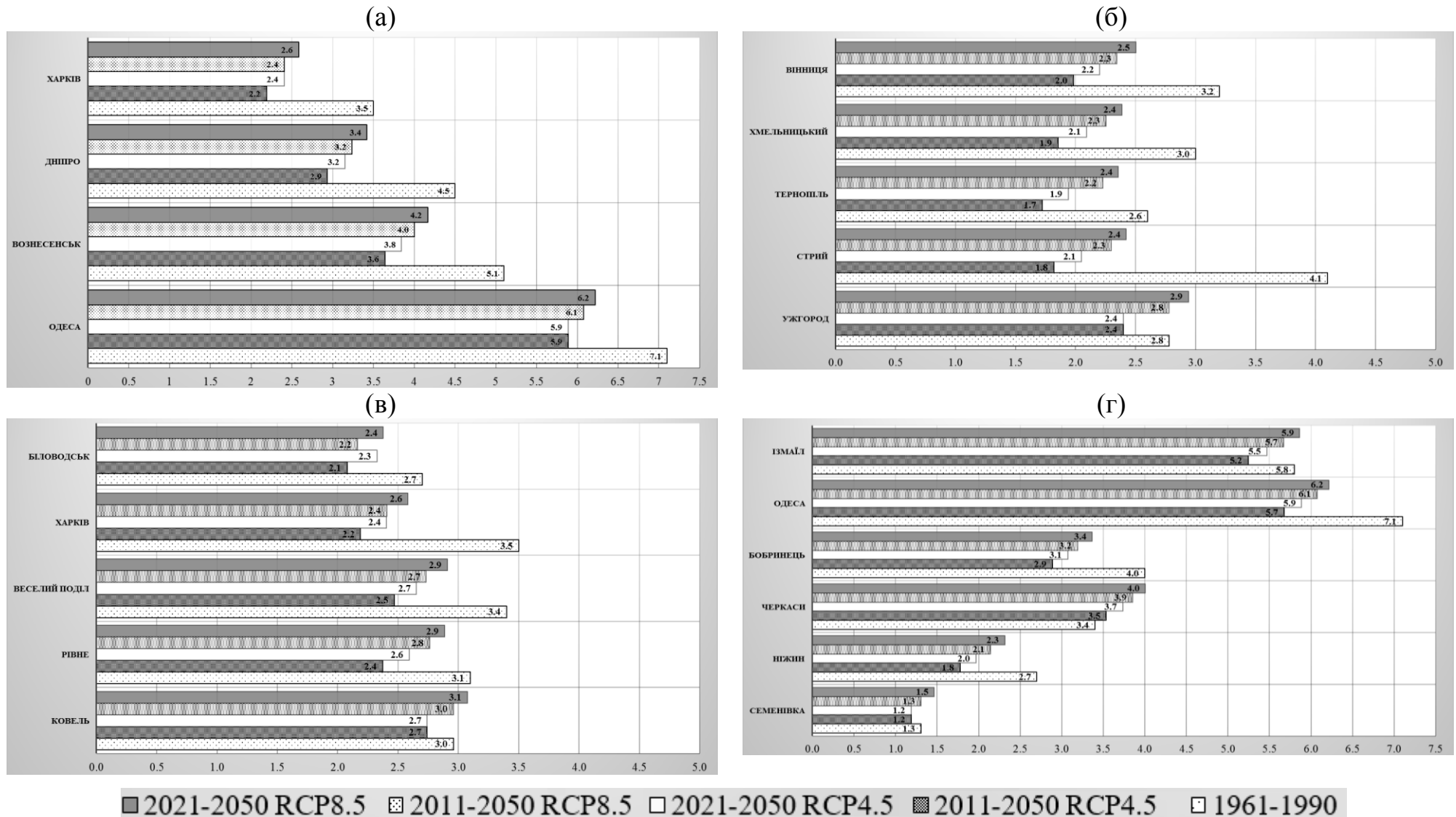


Рисунок 2.23 – Середньорічна мінімальна температура за періоди 1961-1990, 2011-2050 та 2021-2050 для сценаріїв RCP4.5 і RCP8.5 для автошляхів № 1 (а), № 2 (б), № 3 (в), № 4 (г).

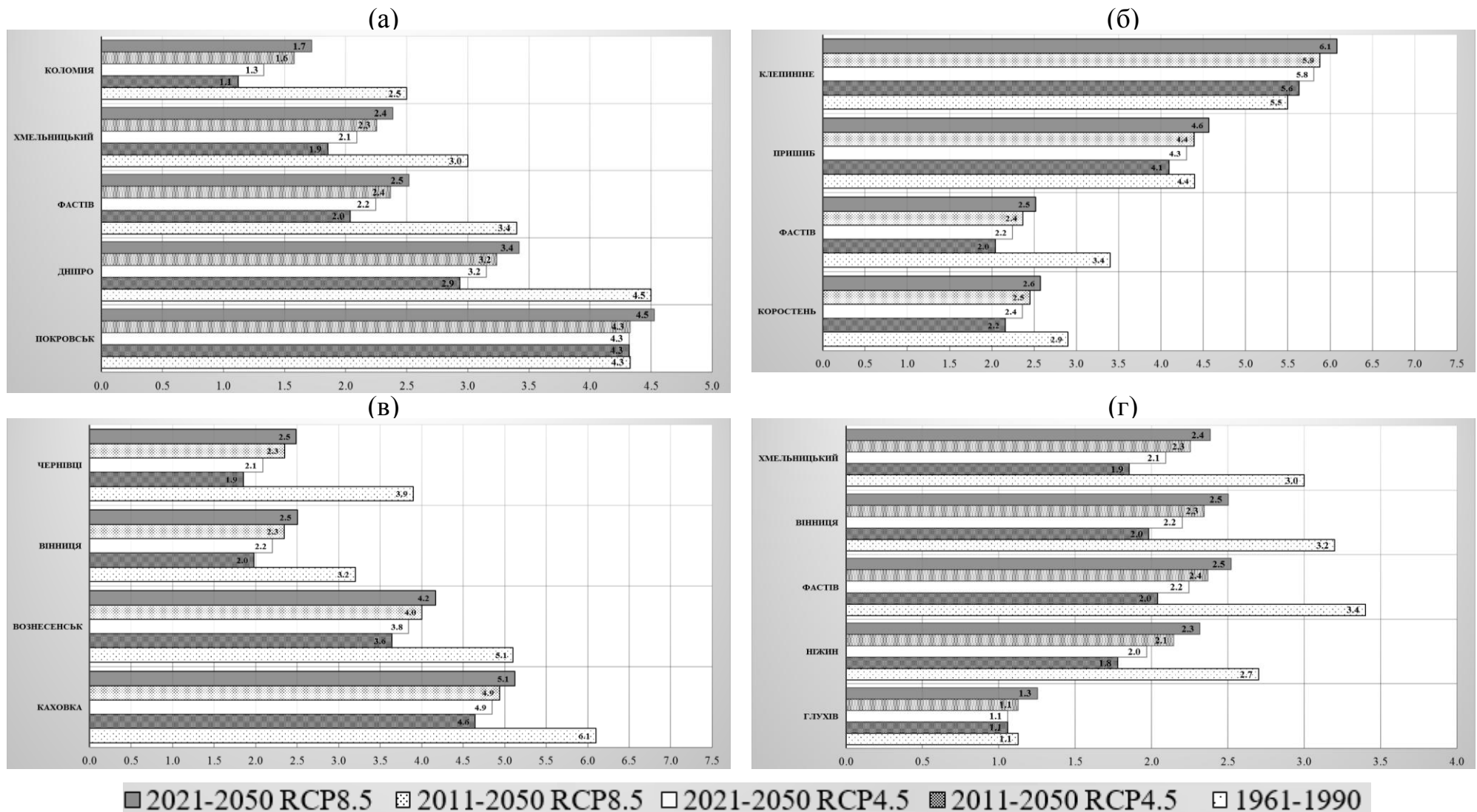


Рисунок 2.24 – Середньорічна мінімальна температура за періоди 1961-1990, 2011-2050 та 2021-2050 для сценаріїв RCP4.5 і RCP8.5 для автошляхів № 5 (а), № 6 (б), № 7 (в), № 8 (г).

Різниця між найбільшим та найменшим значеннями річної мінімальної температури за обома сценаріями становить приблизно $0,5-1,0^{\circ}\text{C}$. В той самий час перевищення кліматичної норми над значеннями річної мінімальної температури за періоди 2011-2050 та 2021-2050 рр. може сягати $1,0-2,0^{\circ}\text{C}$.

Зміна мінімальної температури є найбільшою для автотрас, які спрямовані у меридіональному напрямку, та найменшою, напрям яких є зональним.

На рис. 2.25 та 2.26 представлено динаміку кількості днів з середньодобовими мінімальними температурами, які є нижчими за певні порогові значення або рівними їм. За такі порогові значення було обрано -10°C , -15°C , -20°C , -25°C та -30°C .

За обома сценаріями не спостерігаються дні, в які температура є нижче або дорівнює -30°C , виключаючи м. Глухів, для якого кількість таких днів на рік за сценарієм RCP8.5 складає 0,1. Досить маленький відсоток днів з температурою $\leq -25^{\circ}\text{C}$ має місце в північних та центральних регіонах України, в основному, за сценарієм RCP8.5.

Мінімальні температури $\leq -15^{\circ}\text{C}$ та $\leq -10^{\circ}\text{C}$ спостерігаються уздовж всіх шляхів України, проте кількість днів з такими температурами зменшується порівняно з кліматичною нормою. Проте, результати за періоди 1961-1990 рр. та 2021-2050 рр. слід порівнювати з обережністю, оскільки, кількість днів за період 1961-1990 рр. визначалась з абсолютними мінімальними температурами, а за період 2021-2050 рр. – з середньодобовими мінімальними температурами, тобто результат є заниженим.

Для м. Харків (Східна Україна), м. Біловодськ (Східна Україна), м. Дніпро (Центральна Україна), м. Ізмаїл (Південна Україна), м. Коростень (Північна Україна) спостерігається збільшення днів з середньодобовими мінімальними температурами $\leq -15^{\circ}\text{C}$ та $\leq -10^{\circ}\text{C}$ за сценарієм RCP8.5, ніж за сценарієм RCP4.5. Для м. Глухів та м. Каховка за сценарієм збільшується кількість днів з температурами $\leq -15^{\circ}\text{C}$, проте, кількість днів з температурами $\leq -10^{\circ}\text{C}$ зменшується.

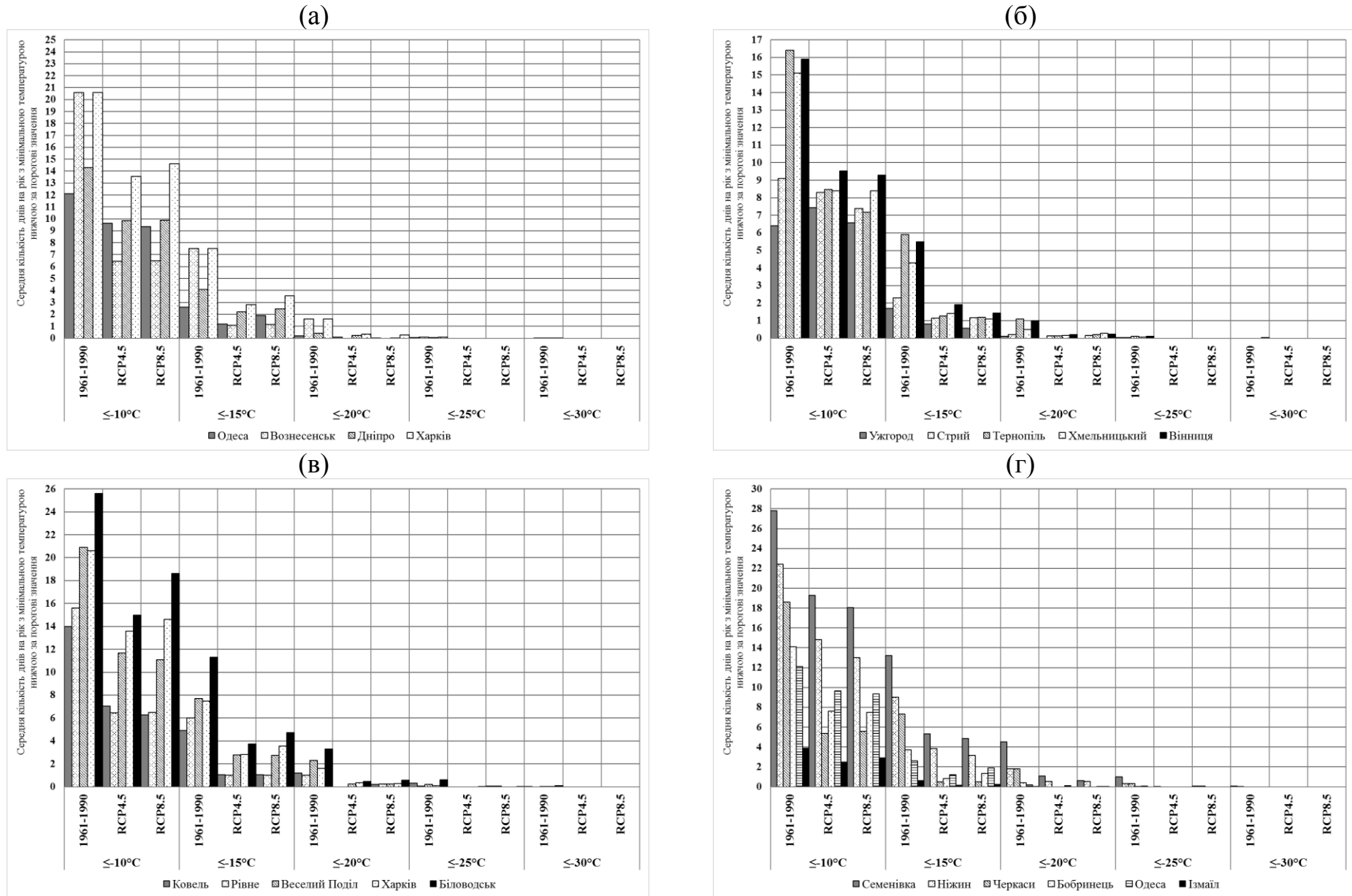
Для всіх інших станцій кількість днів мінімальні температури з середньодобовими мінімальними температурами $\leq -15^{\circ}\text{C}$ та $\leq -10^{\circ}\text{C}$ за сценарієм RCP4.5 більша, ніж за сценарієм RCP8.5.

Кількість днів з температурами $\leq -15^{\circ}\text{C}$ на рік не перевищує 6 днів за обома сценаріями, найменша кількість днів має місце для автошляху № 2, що проходить західними областями, автотраси № 6, яка з'єднує північні та південні області України, автотраси № 7, яка пролягає південними, центральними та західними регіонами та автошляху № 5, який з'єднує захід та схід країни.

Кількість днів з температурами $\leq -10^{\circ}\text{C}$ на рік не перевищує 20 днів, причому для автотрас № 2, 5, 6 та 7 така кількість днів є не більшою за 10.

Тенденції в зміні кількості днів з мінімальними температурами нижчими за певні межі лишаються однаковими.

Хоча за сценарієм RCP8.5 відбувається суттєве зменшення днів з середніми мінімальними температурами меншими за певні межі, проте, більшість днів найнижчими температурами, має місце саме за цим сценарієм.



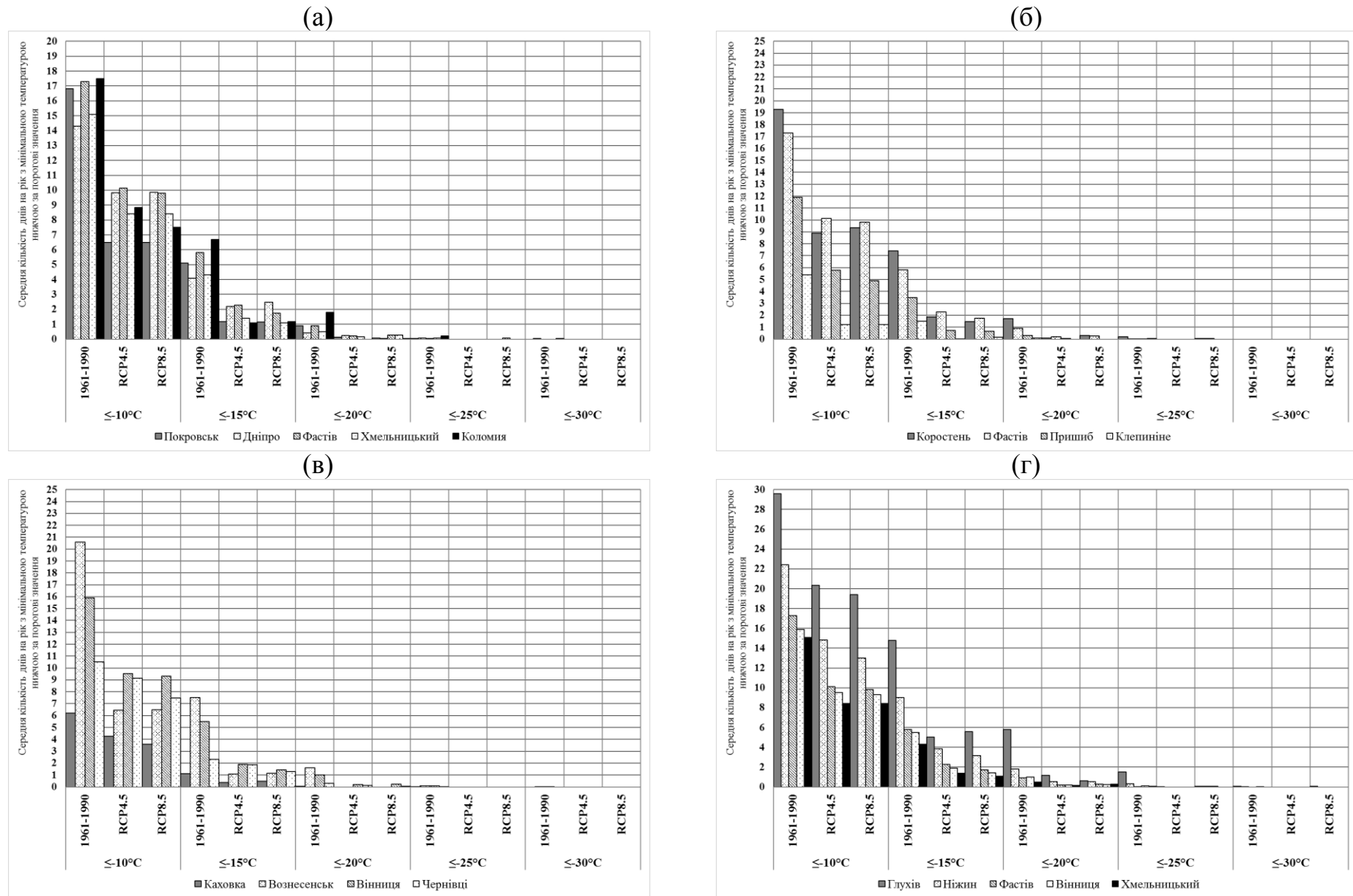


Рисунок 2.26 – Кількість днів з нижчими за певні межі середньодобовими мінімальними температурами за період 2021-2050 рр. та мінімальними температурами за період 1961-1990 рр. для автошляхів № 5 (а), № 6 (б), № 7 (в), № 8 (г).

2.3.2 Опади

В табл. 2.4 та 2.5 представлено кількість опадів за холодний, теплий періоди та рік для 1961-1990 рр. та 2021-2050 рр. за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5.

Рисунки 2.27 та 2.28 інформують про середню кількість днів з кількістю опадів вищою за певні межі для періодів 1961-1990 рр. та 2021-2050 рр. за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5.

На рис. 2.29 та 2.30 представлено середню кількість днів за рік з опадами у різному фазовому стані для періодів 1961-1990 рр. та 2021-2050 рр. за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5.

Уздовж траси № 1 середня кількість опадів на рік за усіма сценаріями зменшується на 10-17%, як і в період 1961-1990 рр. Найбільше зменшення кількості опадів за рік відбувається в м. Одеса та м. Вознесенськ (більше, ніж на 10 %). Згідно зі сценарієм RCP4.5 зменшення опадів є більшим, ніж за сценарієм RCP8.5. За обома сценаріями більша частина опадів (від 55 до 60 %) випадає в теплий період.

За обома сценаріями уздовж автошляху №1 спостерігається збільшення кількості днів з опадами $\geq 0,1$, $\geq 0,5$ та $\geq 1,0$ мм/доба, тобто з незначною кількістю опадів. Починаючи зі значення 5,0 мм/доба кількість днів порівняно з кліматичною нормою зменшується, проте, екстремальна кількість опадів (≥ 30 мм/доба) має місце. За сценарієм RCP8.5 спостерігається менша кількість днів з незначними опадами, проте, більша кількість днів з суттєвими опадами ($\geq 5,0$ мм/доба).

Через підвищення температури та зменшення кількості опадів за обома сценаріями у зимовий період різко зменшується кількість твердих опадів, проте, зростає кількість змішаних опадів, особливо за сценарієм RCP4.5.

З табл. 2.4 можна бачити, що за обома сценаріями для більшості станцій автотраси №2 (м. Вінниця, м. Хмельницький, м. Стрий) є зменшення кількості опадів за рік на 9-20%. Більше зменшення опадів має місце для сценарію RCP4.5. В м. Тернопіль кількість опадів лишається однаковою. Виключенням є м. Ужгород, де спостерігається збільшення кількості опадів приблизно на 35% за обома сценаріями. Це означає, що ситуація для автошляху №2 складається небезпечно, оскільки збільшення опадів в Карпатських горах може викликати небезпечні явища для транспорту, наприклад, сходження селю. Більша частина опадів припадає на теплий період (до 70%), що не відрізняється від даних за період 1961-1990 рр.

За обома сценаріями для станцій автотраси №2 кількість днів з опадами більше $\geq 0,1$ мм/доба збільшується в 1,5 рази, збільшується (не так суттєво) кількість днів і з опадами $\geq 0,5$ та $\geq 1,0$ мм/доба. Для більш інтенсивних опадів ($\geq 5,0$ мм/доба) спостерігається тенденція схожа з тенденцією для автошляху №1 – зменшення кількості днів, проте для опадів $\geq 10,0$ мм/доба, $\geq 20,0$ мм/доба та $\geq 30,0$ мм/доба тенденція є протилежною: відбувається збільшення кількості днів, особливо для ст. Ужгород. Це підтверджує висновок про небезпечність цього шляху для транспорту

Таблиця 2.4 – Середня кількість опадів за холодний та теплий періоди і рік відповідно до кліматичної норми та сценаріїв RCP4.5 та RCP8.5 для автошляхів № 1, 2, 3, 4

Автошлях № 1																		
Одеса							Вознесенськ				Дніпро			Харків				
						1961-1990	RCP 4.5	RCP 8.5	1961-1990	RCP 4.5	RCP 8.5	1961-1990	RCP4.5	RCP8.5	1961-1990	RCP4.5	RCP8.5	
	XI-III					204	177	187	187	179	177	209	210	211	196	207	210	
	IV-X					260	228	231	330	253	267	304	263	250	329	269	263	
	рік					464	405	418	517	432	444	513	473	461	525	475	474	
Автошлях № 2																		
Ужгород			Стрий				Тернопіль			Хмельницький			Вінниця					
	1961-1990	RCP4.5	RCP4.5	1961-1990	RCP4.5	RCP4.5	1961-1990	RCP4.5	RCP4.5	1961-1990	RCP4.5	RCP4.5	1961-1990	RCP4.5	RCP4.5			
XI-III	282	422	430	199	176	181	175	173	175	195	184	190	199		203	173		
IV-X	466	581	587	558	433	440	437	434	439	474	409	422	439		341	413		
рік	748	1002	1017	757	609	621	612	607	614	669	593	612	638		544	586		
Автошлях № 3																		
Ковель			Рівне				Веселий Поділ			Харків			Біловодськ					
00	1961-1990	RCP4.5	RCP4.5	1961-1990	RCP4.5	RCP4.5	1961-1990	RCP4.5	RCP4.5	1961-1990	RCP4.5	RCP4.5	1961-1990	RCP4.5	RCP4.5			
XI-III	179	165	185	158	198	198	185	216	216	196	207	210	211		197	200		
IV-X	414	428	414	411	438	440	326	301	317	329	269	263	278		236	223		
рік	593	592	599	569	637	637	511	516	533	525	475	474	489		434	423		
Автошлях № 4																		
Семенівка			Ніжин				Черкаси			Бобринець			Одеса			Ізмаїл		
	1961-1990	RCP4.5	RCP8.5	1961-1990	RCP4.5	RCP8.5	1961-1990	RCP4.5	RCP8.5	1961-1990	RCP4.5	RCP8.5	1961-1990	RCP4.5	RCP8.5	1961-1990	RCP4.5	RCP8.5
XI-III	205	234	410	215	223	217	183	209	202	191	193	195	204	177	187	191	158	168
IV-X	433	366	593	393	341	367	334	298	312	309	271	277	260	228	231	298	241	236
рік	638	599	1004	608	564	584	517	507	514	500	464	472	464	405	418	489	399	404

Таблиця 2.5 – Середня кількість опадів за холодний та теплий періоди і рік відповідно до кліматичної норми та сценаріїв RCP4.5 та RCP8.5 для автошляхів № 5, 6, 7, 8

Автошлях № 5															
Покровськ			Дніпро			Фастів			Хмельницький			Коломия			
	1961-1990	RCP4.5	RCP4.5	1961-1990	RCP4.5	RCP4.5	1961-1990	RCP4.5	RCP4.5	1961-1990	RCP4.5	RCP4.5	1961-1990	RCP4.5	RCP4.5
XI-III	220	233	240	209	210	211	213	197	195	195	184	190	157	177	173
IV-X	314	247	223	304	263	250	427	350	389	474	409	422	542	522	521
рік	534	480	462	513	473	461	640	546	584	669	593	612	699	699	694

Автошлях № 6												
Коростень			Фастів			Пришиб			Клепиніне			
	1961-1990	RCP4.5	RCP8.5	1961-1990	RCP4.5	RCP8.5	1961-1990	RCP4.5	RCP8.5	1961-1990	RCP4.5	RCP8.5
XI-III	191	193	191	213	197	195	199	200	198	165	178	176
IV-X	445	383	395	427	350	389	278	233	228	263	198	214
рік	636	576	586	640	546	584	477	433	427	428	376	390

Автошлях № 7												
Каховка			Вознесенськ			Вінниця			Чернівці			
	1961-1990	RCP4.5	RCP8.5	1961-1990	RCP4.5	RCP8.5	1961-1990	RCP4.5	RCP8.5	1961-1990	RCP4.5	RCP8.5
XI-III	166	183	191	187	179	177	199	203	173	173	177	178
IV-X	275	211	220	330	253	267	439	341	413	487	467	480
рік	441	394	411	517	432	444	638	544	586	660	644	658

Автошлях № 8															
Глухів			Ніжин			Фастів			Вінниця			Хмельницький			
	1961-1990	RCP4.5	RCP4.5	1961-1990	RCP4.5	RCP4.5	1961-1990	RCP4.5	RCP4.5	1961-1990	RCP4.5	RCP4.5	1961-1990	RCP4.5	RCP4.5
XI-III	198	233	235	215	223	217	213	197	195	199	203	173	195	184	190
IV-X	402	357	385	393	341	367	427	350	389	439	341	413	474	409	422
рік	600	589	620	608	564	584	640	546	584	638	544	586	669	593	612

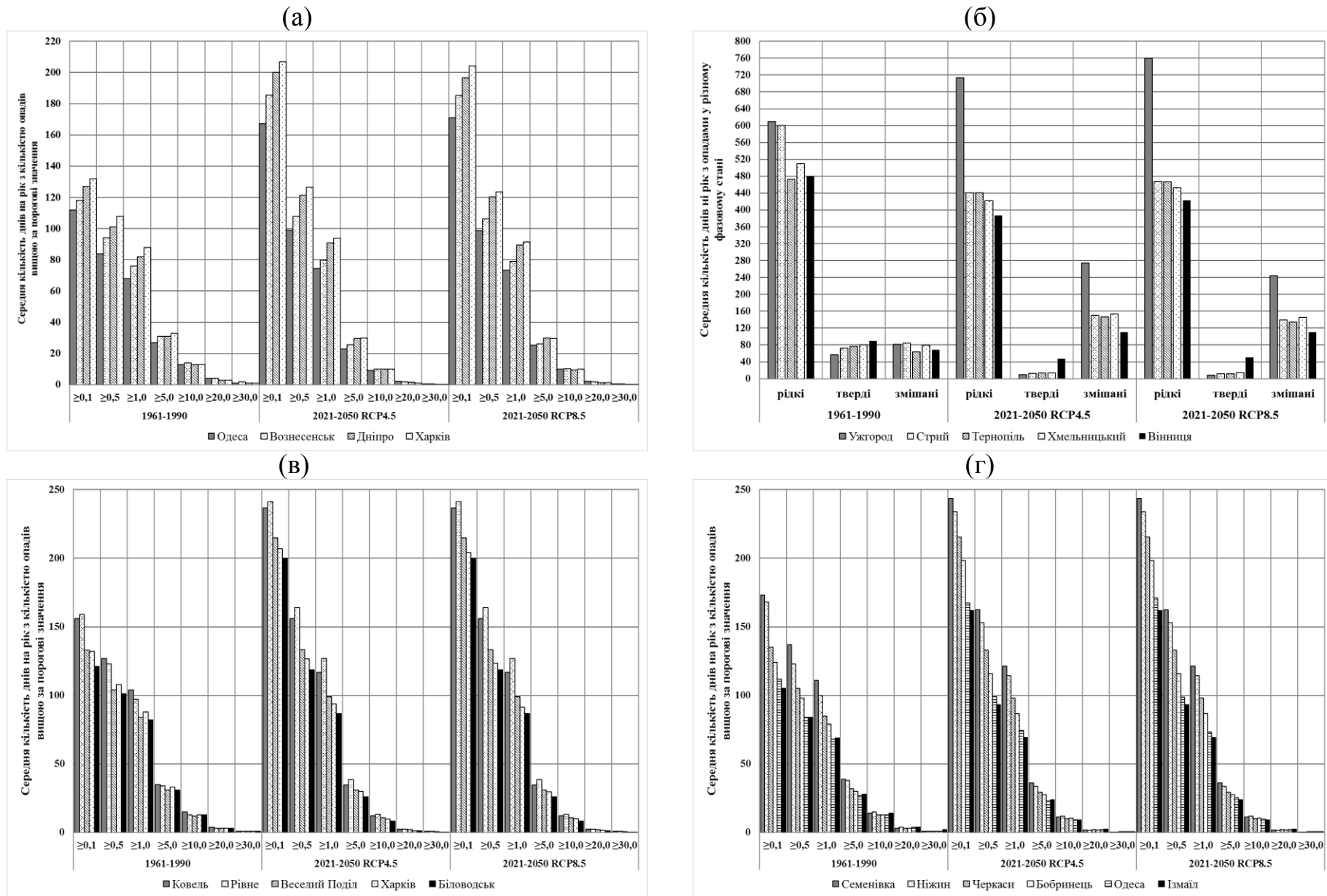


Рисунок 2.27 – Середня кількість днів з кількістю опадів вищою за певні межі за періоди 1961-1990 рр. та 2021-2050 рр. для автошляхів № 1 (а), № 2 (б), № 3 (в), № 4 (г).

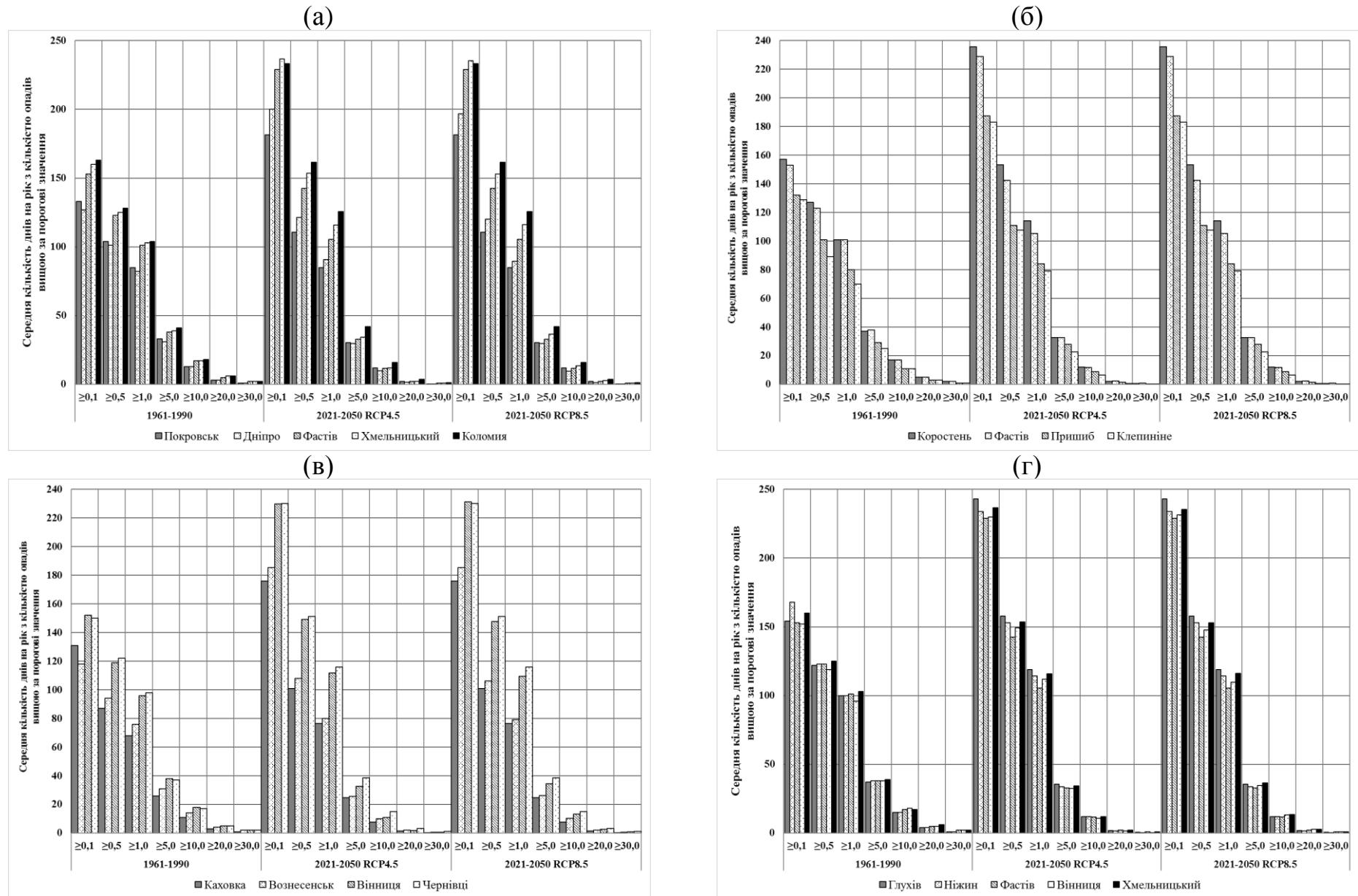


Рисунок 2.28 – Середня кількість днів з кількістю опадів вищою за певні межі за періоди 1961-1990 рр. та 2021-2050 рр. для автошляхів № 5 (а), № 6 (б), № 7 (в), № 8 (г).

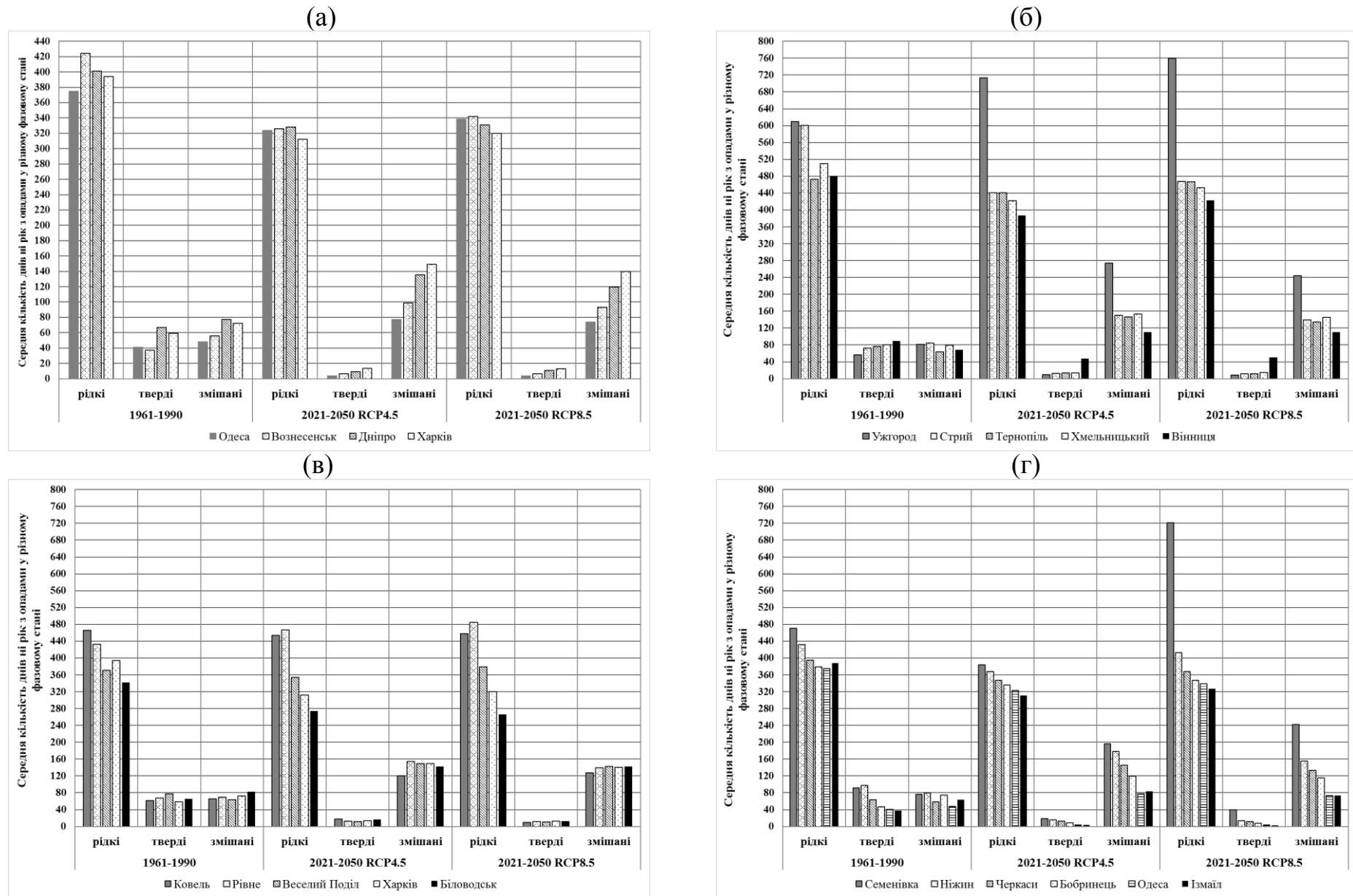


Рисунок 2.29 – Середня кількість днів за рік з опадами у різному фазовому стані для автошляхів № 1 (а), № 2 (б), № 3 (в), № 4 (г).

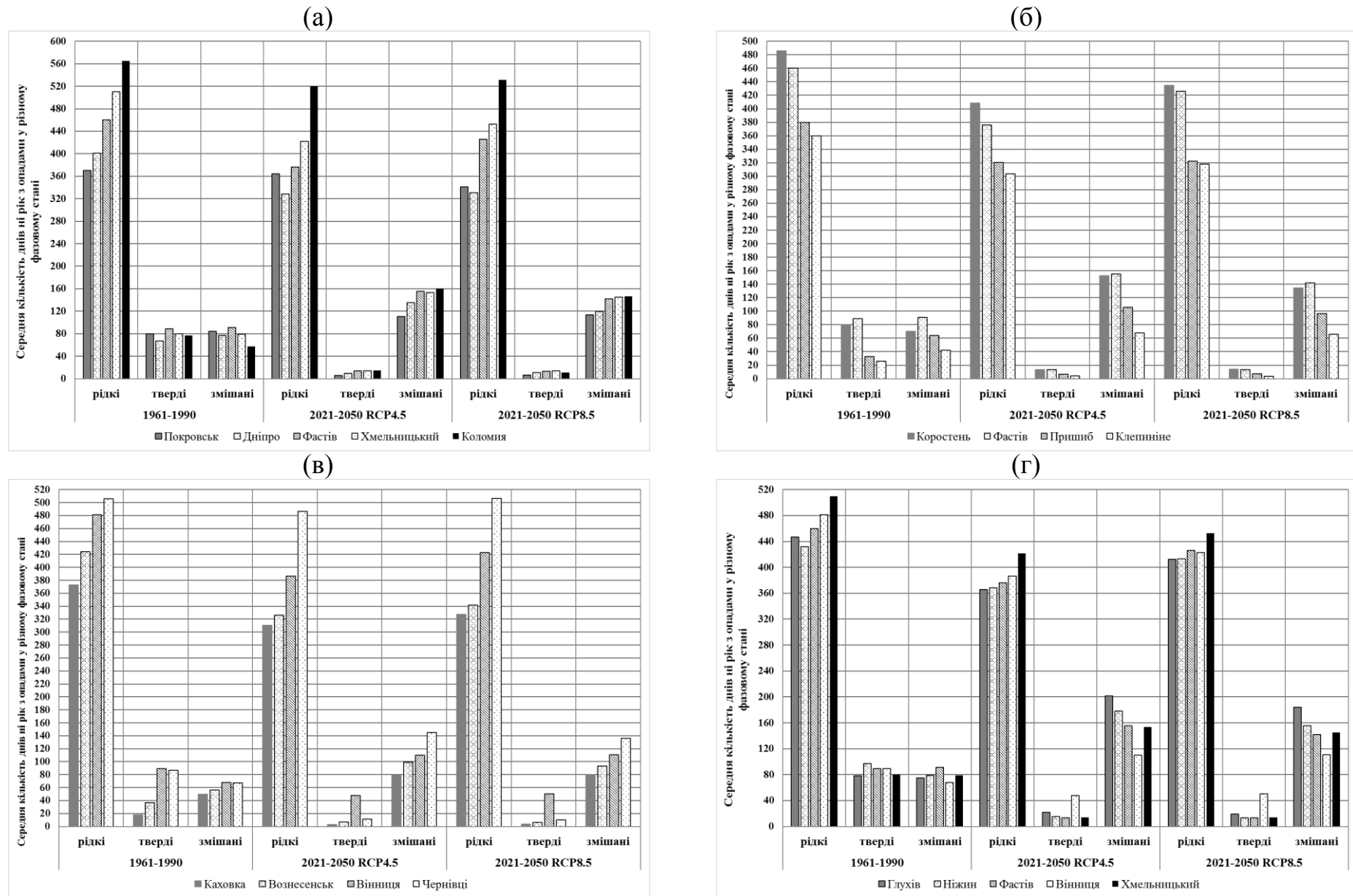


Рисунок 2.30 – Середня кількість днів за рік з опадами у різному фазовому стані для автошляхів № 5 (а), № 6 (б), № 7 (в), № 8 (г).

Так само як і для шляху №1 відбувається різке збільшення кількості днів зі змішаними опадами та зменшення кількості днів з рідкими опадами. На ст. Ужгород є помітним також збільшення кількості рідких опадів.

На автошляху №3 (табл. 2.4) для двох станцій має місце збільшення опадів м. Веселий Поділ (Полтавська область) на 1-4 % та м. Рівне на 12 % за обома сценаріями, для м. Ковель (Волинська область) кількість опадів порівняно з кліматичною нормою лишається незмінною, а для м. Харків та м. Біловодськ зменшується на 10-14 %. Збільшення кількості опадів є більшим за сценарієм RCP8.5, хоча різниця є несуттєвою. Від річної кількості опадів припадає на теплий період для станцій Західної України 70 %, а для станцій Центральної та Східної України – 55-60 %.

Кількість днів з опадами $\geq 0,1$, $\geq 0,5$ та $\geq 1,0$ мм/доба для автошляху №3 збільшується в 1,1-1,5 рази порівняно з кліматичною нормою за обома сценаріями. Особливо помітним збільшення є для м. Ковель та м. Рівне. Для кількості днів з більш інтенсивними опадами спостерігається зменшення, виключаючи м. Веселий Поділ та м. Рівне, що можна пояснити збільшенням річної кількості опадів в цих містах.

Співвідношення між рідкими, змішаними та твердими опадами змінюється для періоду 2021-2050 рр. за обома сценаріями порівняно з періодом 1961-1990 рр. Кількість днів з рідкими опадами лишається практично незмінною, проте, кількість днів з твердими опадами зменшується, а зі змішаними – збільшується.

Для всіх станцій автошляху №4 (табл. 2.4) є характерним зменшення річної кількості опадів на 2-12 % за сценарієм RCP4.5. За сценарієм RCP8.5 спостерігається також зменшення кількості опадів для всіх станцій на 1-18 %, виключаючи ст. Семенівка (Чернігівська область), на якій за цим сценарієм річна кількість опадів збільшується приблизно в 1,5 рази. Близько 60% всіх опадів спостерігається в теплий період для всіх станцій.

Для всіх станцій автотраси №4 за обома сценаріями відбувається різке збільшення кількості днів з незначними опадами ($\geq 0,1$, $\geq 0,5$ та $\geq 1,0$ мм/доба), особливо для кількості днів з опадами $\geq 0,1$ мм/доба. Ця тенденція є характерною і для північних, і для південних станцій. Кількість днів з більш значними опадами повільно зменшується для всіх станцій, проте, екстремальна кількість опадів ($\geq 20,0$ та $\geq 30,0$ мм/доба) має місце.

Кількість днів з рідкими опадами лишається практично незмінною за обома сценаріями для всіх станцій, виключаючи м. Семенівка (за сценарієм RCP8.5 спостерігається збільшення рідких опадів в 1,5 рази), що пов'язано з підвищенням на цій станції річної кількості опадів. Кількість днів зі змішаними опадами різко зростає, а з твердими опадами – зменшується, причому для південних станцій тверді опади (м. Одеса та м. Ізмаїл) практично зникають.

З даних табл. 2.5 можна бачити зменшення річної кількості опадів за обома сценаріями для всіх станцій автошляху № 5 на 9-14 %, виключаючи ст. Коломия (Івано-Франківська область), де за сценарієм RCP4.5 кількість опадів лишається однаковою з періодом 1961-1990 рр., а за сценарієм RCP8.5 кількість опадів зменшується менше ніж на 1 % порівняно з кліматичною нормою.

Для всіх станцій автотраси №5 спостерігається різке збільшення кількості днів з опадами $\geq 0,1$, $\geq 0,5$ та $\geq 1,0$ мм/доба, виключаючи кількість днів з опадами $\geq 1,0$ мм/доба для ст. Покровськ, для цієї станції має місце навіть незначне зменшення такої кількості днів. Кількість днів з опадами $\geq 5,0$ мм/доба для всіх станцій, за виключенням м. Коломия, зменшується порівняно з періодом 1961-1990 рр. Такий результат для м. Коломия можна пояснити незмінністю річної кількості опадів. Кількість днів з більш інтенсивними опадами ($\geq 10,0$, $\geq 20,0$ та $\geq 30,0$ мм/доба) для всіх станцій за обома сценаріями зменшується.

Приблизно на 10-15 % зменшується кількість днів з рідкими опадами, в 1,5 рази збільшується кількість днів зі змішаними опадами і в декілька разів зменшується кількість днів з твердими опадами порівняно з кліматичною нормою. Уздовж автотраси №5 спостерігається не більше 10 днів на рік з твердими опадами.

Уздовж автотраси №6 за обома сценаріями має місце зменшення річної кількості опадів на 10-15 %, причому більше зменшення за сценарієм RCP4.5. На всіх станціях випадає більша кількість опадів у теплий період, ніж у холодний. Для ст. Коростень та Фастів співвідношення між кількістю опадів у теплий та холодний періоди виражається як 70/30, а на ст. Пришиб та Клепиніне – 55/45.

Приблизно в 1,5 рази збільшується кількість днів з опадами $\geq 0,1$ та $\geq 0,5$ мм/доба, а кількість днів з опадами $\geq 1,0$ мм/доба зростає приблизно в 1,1 рази. Кількість днів з більш значними опадами зменшується порівняно з періодом 1961-1990 рр. за обома сценаріями.

Кількість рідких опадів для всіх станцій зменшується, особливо для сценарію RCP4.5. Кількість днів з твердими опадами зменшується до 15 (для північних районів) та 5 (південних районів) днів на рік. Приблизно в два рази збільшується повторюваність змішаних опадів.

Уздовж автотраси №7 за обома сценаріями спостерігається зменшення річної кількості опадів на 7-16 % для всіх станцій порівняно з кліматичною нормою, за виключенням м. Чернівці, де за сценарієм RCP4.5 кількість опадів зменшується на 2 %, а за сценарієм RCP8.5 кількість опадів лишається незмінною. Розподіл опадів між теплим та холодним сезонами є нерівномірним: більша кількість опадів (60-70%) припадає на теплий період.

Для всіх станцій, виключаючи м. Чернівці, має місце збільшення кількості днів з опадами $\geq 0,1$, $\geq 0,5$ та $\geq 1,0$ мм/доба та зменшення днів з більш значною кількістю опадів. Для м. Чернівці зростання повторюваності спостерігається для опадів $\geq 0,1$, $\geq 0,5$, $\geq 1,0$ та $\geq 5,0$ мм/доба, а зменшення – для $\geq 10,0$, $\geq 20,0$ та $\geq 30,0$ мм/доба.

За обома сценаріями повторюваність рідких опадів порівняно з періодом 1961-1990 рр. зменшується, але не в значній степені, особливо для м. Чернівці. Кількість днів зі змішаними опадами збільшується суттєво (приблизно в два рази), особливо за сценарієм RCP4.5. Тверді опади для м. Каховка, м. Вознесенськ та м. Чернівці зменшується в середньому до 5-10 днів на рік. Для м. Вінниця, хоча кількість днів з твердими опадами зменшується приблизно в два рази, проте, все одно лишається значною – 48 та 51 день на рік.

Автошлях №8 характеризується за обома сценаріями для м. Фастів, м. Вінниця та м. Хмельницький зменшенням річної кількості опадів на 9-15% порівняно з періодом 1961-1990 рр. Для м. Глухів та м. Ніжин спостерігається за сценарієм RCP4.5 також зменшення річної кількості опадів, проте, не таке значне, лише на 2-7 %, а за сценарієм RCP8.5 для м. Глухів, навпаки, спостерігається навіть підвищення кількості опадів на 3 %. Від 60 до 70 % всіх опадів припадає на теплий період.

Схоже як і для інших шляхів, для автотраси №8 має місце суттєве збільшення днів з опадами $\geq 0,1$, $\geq 0,5$ та $\geq 1,0$ мм/доба, практично незмінна кількість днів з опадами $\geq 5,0$ мм/доба та зменшення кількості днів з більш інтенсивними опадами.

Виключаючи ст. Вінниця, на всіх інших станціях відбувається значне зменшення повторюваності твердих опадів (в 7-8 разів) та зростання змішаних опадів (в 2–2,5 рази). На ст. Вінниця зростання повторюваності змішаних опадів відбувається приблизно в 2 рази як і на інших станціях, а повторюваність твердих опадів зменшується лише в 2 рази.

Підбиваючи підсумки, можна зробити висновки, що, в основному, за обома сценаріями спостерігається зменшення річної кількості опадів, виключаючи західні та деякі північні регіони, де має місце збільшення річної кількості опадів на 35 %. Зростання опадів, особливо в гірських районах, є небезпечним для транспорту.

Найбільша кількість опадів від 55 до 70 % припадає на теплий період. Для всіх станцій має місце збільшення кількості днів з незначною кількістю опадів ($\geq 0,1$, $\geq 0,5$ та $\geq 1,0$ мм/доба), повторюваність інтенсивних опадів для всіх станцій зменшується, проте, екстремальні опади ($\geq 30,0$ мм/доба) спостерігаються на всіх станціях.

Для всіх станцій зростає кількість змішаних опадів в декілька разів, що є несприятливим фактором для транспортної системи. Кількість твердих опадів, навпаки, зменшується, в південних районах – до декількох днів на рік.

2.3.3 Атмосферні явища

Стан дорожнього покриття поряд з видимістю є однією з найбільш важливих факторів, які впливають на безперебійне функціонування транспортної системи.

На рис. 2.31, 2.32 представлено повторюваність (середня кількість днів на рік) метеорологічних явищ, що погіршують стан дорожнього покриття за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 та період 1961–1990 рр. За період 1961–1990 рр. доступною була інформація лише про хуртовини та ожеледь.

Найбільшу повторюваність з усіх метеорологічних явищ має мокре покриття. За обома сценаріями його повторюваність є найбільшою в травні та червні – приблизно 50 % всіх днів за цей період. Такий результат можна пояснити інтенсифікацією зливових опадів.

В зимові та перехідні сезони року за обома сценаріями повторюваність метеорологічних явищ, що погіршують стан дорожнього покриття, дуже висока. Їх сумарна повторюваність досягає 60-70 %.

В роботі досліджувалась повторюваність таких явищ, як ожеледь, снігова суга, яка включає і зернисту, і льодяну сугу, сніговий накат та ожеледиця. Сніговий накат утворюється при наявності на дорожньому покритті снігу від снігопадів та хуртовин.

Через збільшення змішаних опадів збільшується порівняно з кліматичним періодом повторюваність таких явищ як ожеледь. Уздовж всіх трас спостерігається зростання повторюваності ожеледі приблизно в 2-3 рази, виключаючи південні станції, а саме м. Одеса, м. Клепиніне, на яких має місце зменшення кількості випадків ожеледі приблизно в 2 рази. Для м. Ізмаїл та м. Каховка кількість днів з ожеледдю лишається практично незмінною.

Незважаючи на зменшення повторюваності твердих опадів для всіх станцій України, на всіх автошляхах в зимовий період спостерігається хуртовина, яка є досить небезпечним явищем на дорогах через погіршення видимості насамперед. Порівняно з кліматичною нормою за обома сценаріями в м. Одеса, м. Вознесенськ (автошлях №1), м. Ужгород (автошлях №2), в усіх пунктах автошляху №4, м. Фастів, м. Хмельницький (автошлях №5), в усіх пунктах уздовж автотраси №6, м. Чернівці, м. Вознесенськ (автотраса №7) та в усіх пунктах автошляху №7 (виключаючи м. Вінниця) відбувається збільшення повторюваності хуртовин. Це можна пояснити збільшенням швидкості вітру у зимовий період.

Найменшу повторюваність з усіх явищ, які розглядаються має ожеледиця зі швидкістю вітру ≥ 10 м/с.

Для усіх явищ, виключаючи ожеледь, сценарій RCP8.5 є найекстремальнішим, оскільки повторюваність явищ за цим сценарієм є більшою.

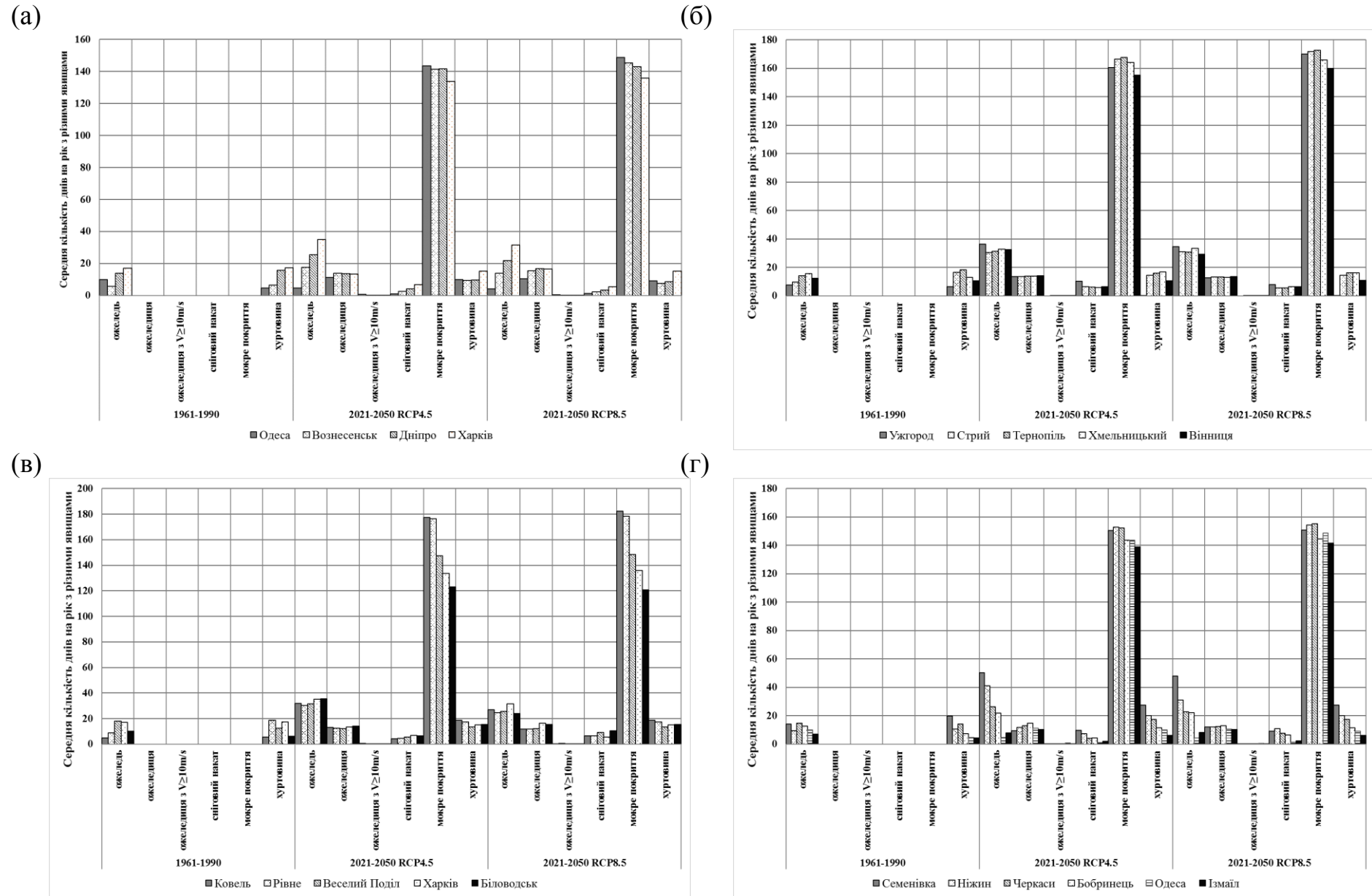
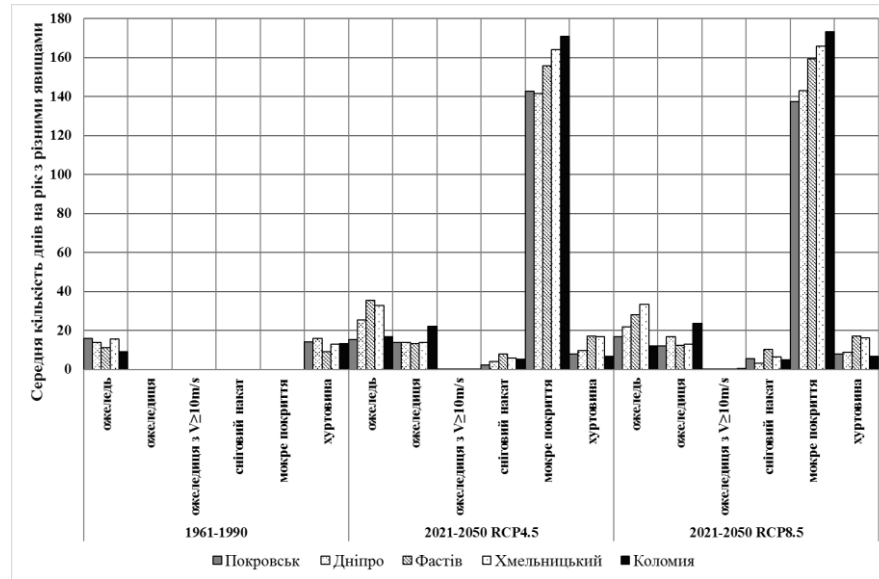
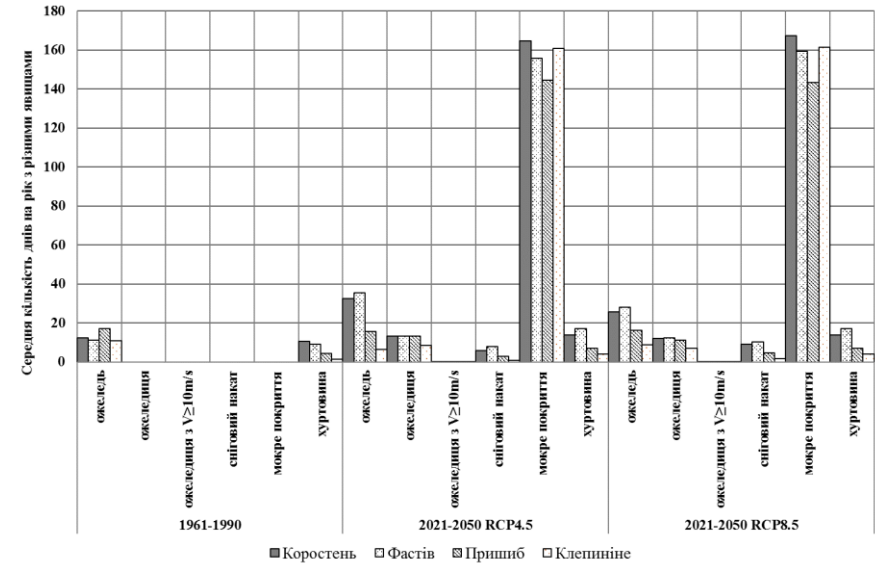


Рисунок 2.31 – Середня кількість днів за рік з різними явищами
для автошляхів № 1 (а), № 2 (б), № 3 (в), № 4 (г).

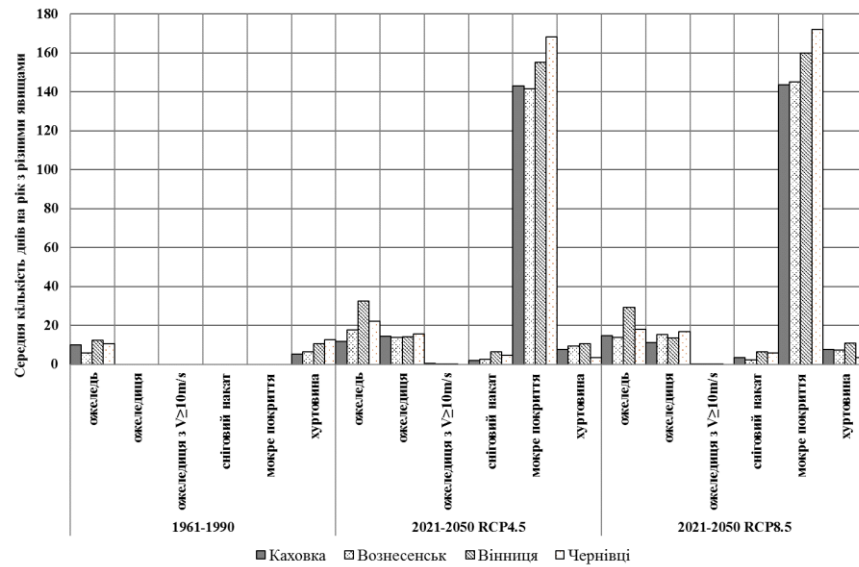
(а)



(б)



(в)



(г)

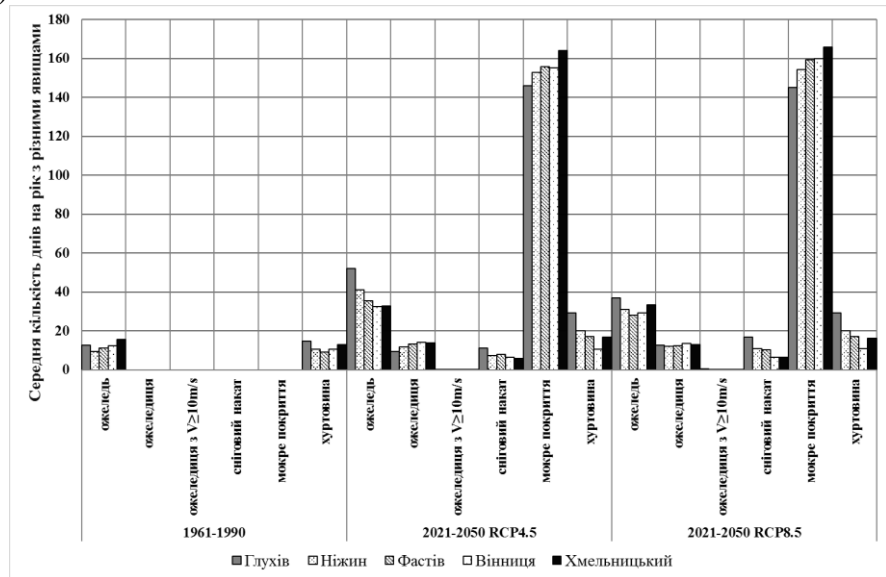


Рисунок 2.32 – Середня кількість днів за рік з різними явищами
для автошляхів № 5 (а), № 6 (б), № 7 (в), № 8 (г).

2.3.4 Вітер

На рис. 2.33 та 2.34 представлено зміну багаторічної середньої швидкості вітру уздовж автотрас за періоди 1961–1990 рр. та 201–2050 рр., 2021–2050 рр. за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5.

На рис. 2.35 та 2.36 представлено кількість днів з максимальною швидкістю вітру $\geq 10, 15, 25$ та 40 м/с за період 1961–1990 рр. та з середньою максимальною швидкістю вітру $\geq 10, 15, 25$ та 40 м/с за період 2021–2050 рр. за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5. Слід зауважити, що кількість днів з максимальною швидкістю вітру в кліматичних довідниках визначається на основі абсолютного максимуму швидкості вітру, а не максимальної середньодобової швидкості, тому результати, отримані в роботі є заниженими порівняно з кліматичною нормою.

Уздовж траси №1 середня швидкість вітру в періоди 2011–2050 рр., 2021–2050 рр. збільшується на $0,1$ – $0,5$ м/с порівняно з кліматичною нормою для ст. Харків та Одеса. На ст. Вознесенськ спостерігається сильне зростання швидкості вітру за сценарієм RCP8.5 на $3,6$ м/с, а на ст. Дніпро, навпаки, спостерігається зменшення швидкості вітру на $0,8$ м/с.

За сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 має місце однакова кількість днів з середньодобовою максимальною швидкістю вітру більшою за $\geq 10, 15, 25$ та 40 м/с, більша кількість днів зі швидкістю ≥ 10 м/с, дні зі швидкістю ≥ 25 м/с не спостерігаються взагалі.

Автотраса № 2 характеризується підвищенням середньої швидкості вітру порівняно з кліматичною нормою приблизно на 1 м/с уздовж всієї траси, особливо вирізняється ст. Стрий, де зростання швидкості вітру складає $1,5$ м/с. Виключення становить ст. Ужгород, на якій швидкість вітру зменшується на $0,1$ м/с.

Найбільша кількість днів за обома сценаріями припадає на швидкості вітру ≥ 10 м/с – приблизно 30 днів для всіх станцій, виключаючи ст. Ужгород, де кількість таких днів практично не спостерігається (становить менше 5 діб).

На автотрасі №3 найбільше зростання середньої швидкості вітру відбувається у м. Біловодськ (Луганська область) та м. Ковель (Волинська область) на $1,3$ та $1,5$ м/с відповідно. В інших пунктах цієї траси також спостерігається збільшення швидкості вітру, проте, на значно меншу величину, на $0,1$ – $0,4$ м/с.

В м. Рівне не спостерігаються дні зі швидкістю вітру ≥ 10 м/с за обома сценаріями, в інших пунктах уздовж траси №3 кількість таких днів коливається від 28 до 48 на рік.

Вздовж автошляху №4 середня річна швидкість зростає на $0,1$ – $1,5$ м/с в період 2021–2050 рр. порівняно з кліматичною нормою. Найменше зростання має місце в м. Ізмаїл, а найбільше – в м. Ніжин та м. Семенівка. Найбільші швидкості вітру спостерігаються в м. Одеса та м. Семенівка.

Кількість днів з середньодобовою максимальною швидкістю вітру ≥ 10 м/с коливається від 24 (м. Бобринець, Кіровоградська область) до 64 (м. Одеса та м. Ізмаїл) на рік.

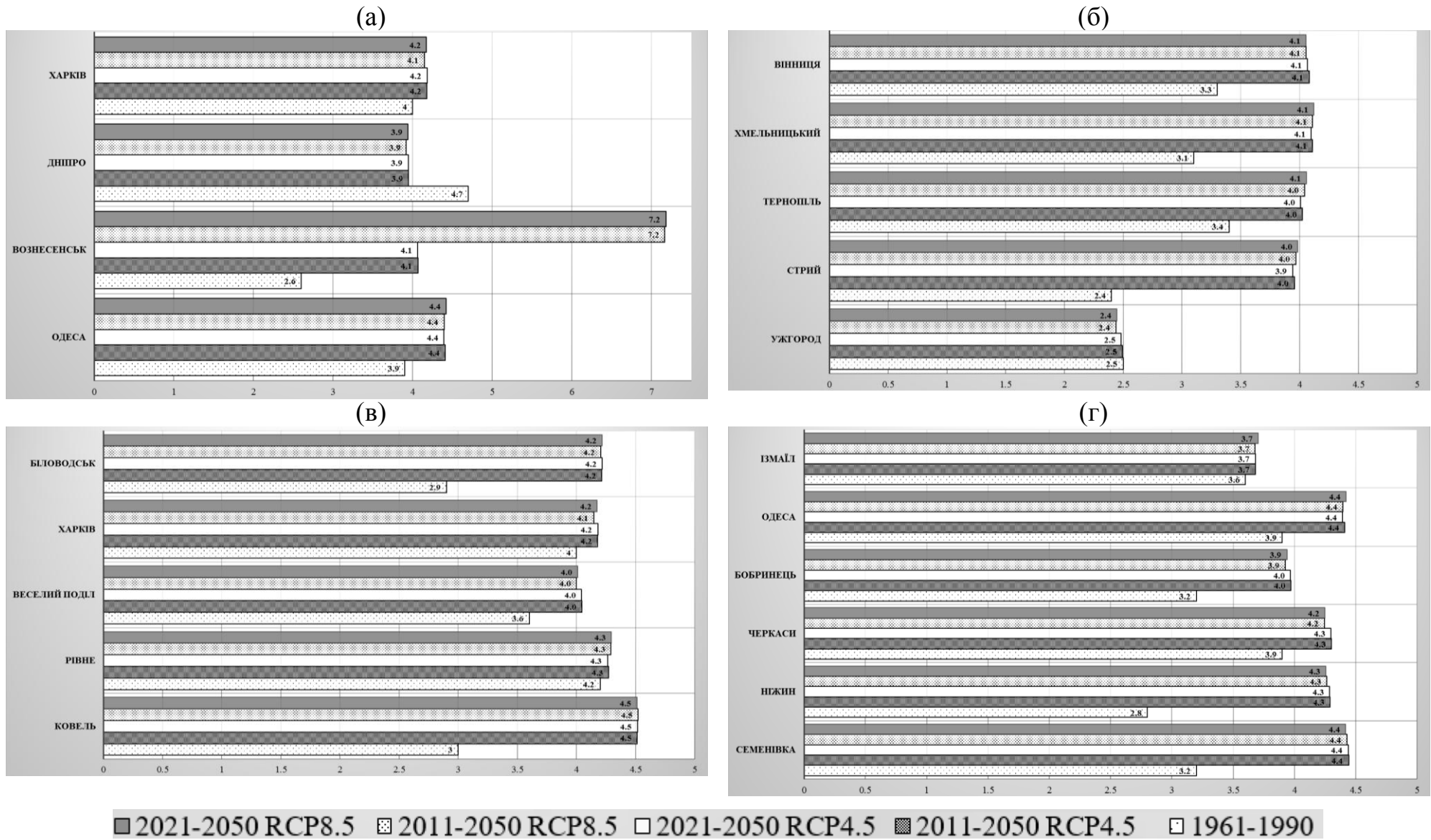


Рисунок 2.33 – Середньорічна швидкість вітру за періоди 1961-1990 рр., 2011-2050 рр. та 2021-2050 рр. за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 для автошляхів № 1 (а), № 2 (б), № 3 (в), № 4 (г).

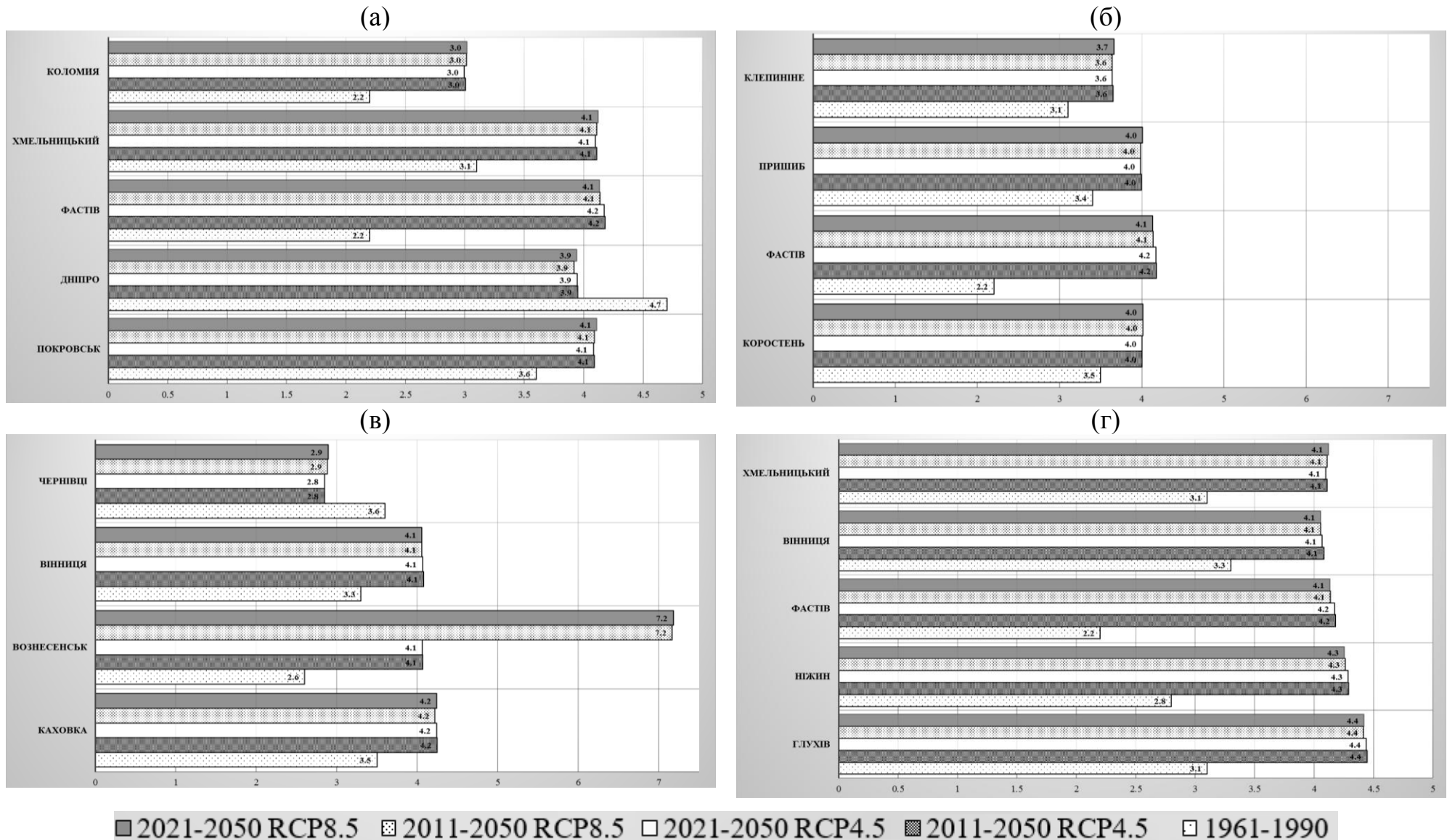


Рисунок 2.34 – Середньорічна швидкість вітру за періоди 1961-1990 рр., 2011-2050 рр. та 2021-2050 рр. за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 для автошляхів № 5 (а), № 6 (б), № 7 (в), № 8 (г).

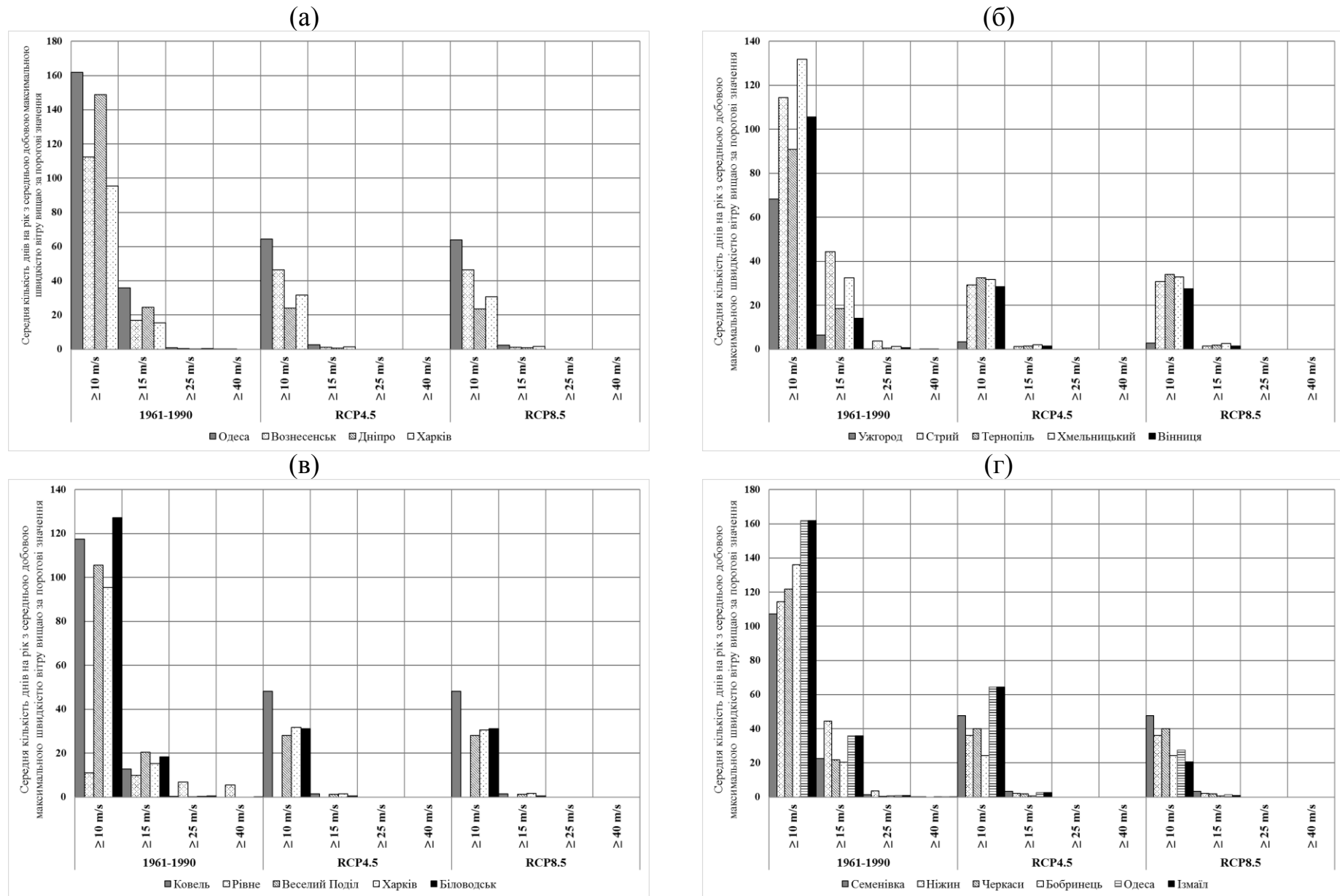


Рисунок 2.35 – Середня кількість днів за рік з середньодобовою максимальною швидкістю вітру вищою за певні межі для автошляхів № 1 (а), № 2 (б), № 3 (в), № 4 (г).

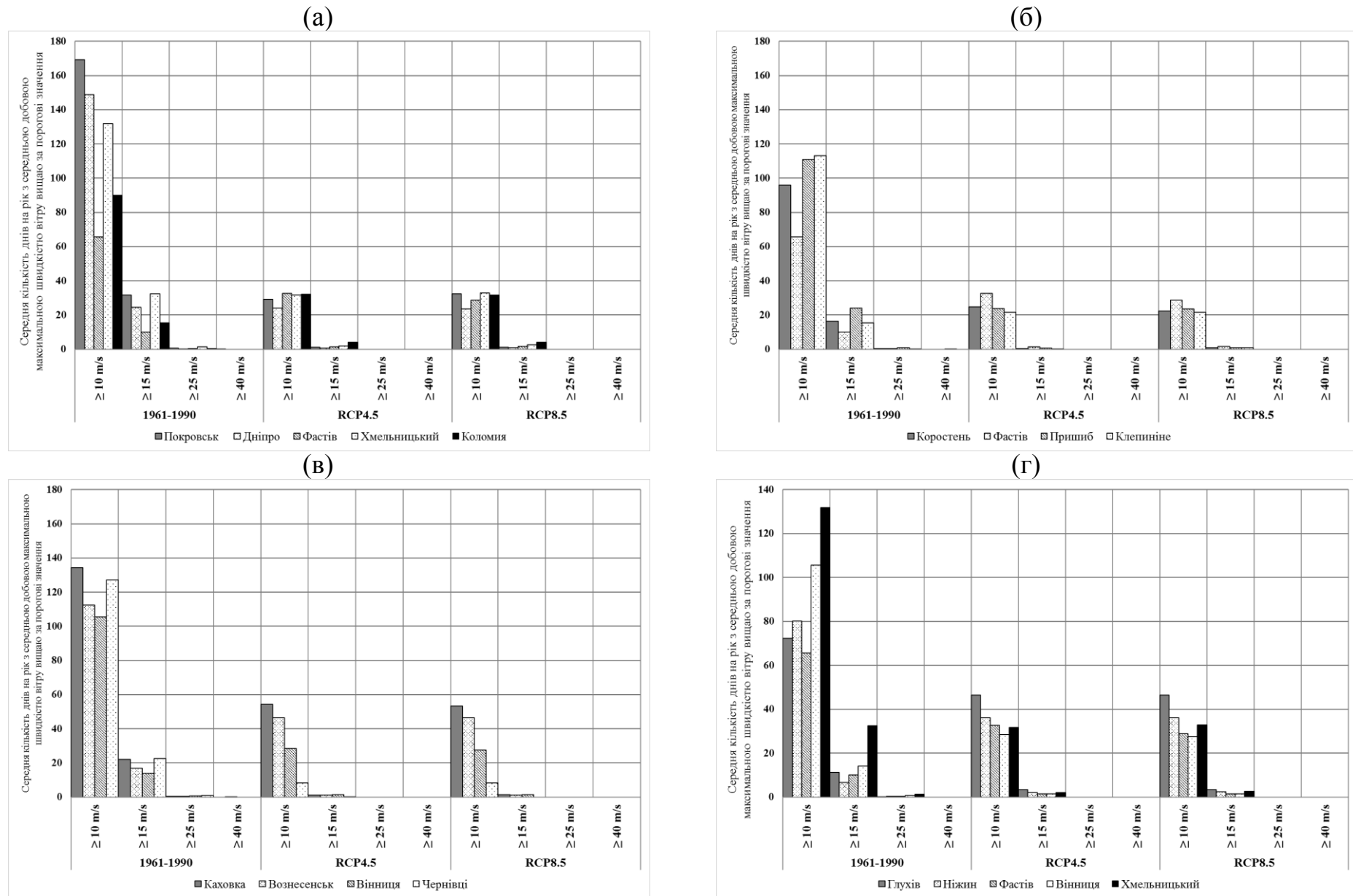


Рисунок 2.36 – Середня кількість днів за рік з середньодобовою максимальною швидкістю вітру вищою за певні межі для автошляхів № 5 (а), № 6 (б), № 7 (в), № 8 (г).

Уздовж автотраси №5 відбувається за обома сценаріями суттєве збільшення середньої швидкості вітру (від 0,5 м/с, м. Покровськ, до 2,0 м/с), виключаючи м. Дніпро, де має місце зменшення швидкості вітру на 0,8 м/с порівняно з кліматичною нормою.

Кількість днів зі швидкістю вітру ≥ 10 та 15 м/с коливається в межах від 24 до 33 на рік та від 2 до 4 на рік, відповідно. Вітер швидкістю ≥ 25 м/с не спостерігаються.

Автотраса №6 характеризується зростанням швидкості вітру порівняно з кліматичною нормою. Швидкість вітру зростає досить рівномірно вздовж всієї траси на 0,5 м/с, виключаючи м. Фастів, для якого зростання складає 2 м/с.

Кількість днів зі швидкістю ≥ 10 м/с не перевищує 33 дні на рік уздовж всієї траси.

На автотрасі №7 в південній та центральній частині спостерігається зростання середньої річної швидкості вітру, особливо на ст. Вознесенськ на 4,6 м/с за сценарієм RCP8.5, проте, в західній частині (м. Чернівці) має місце зменшення швидкості вітру на 0,6 м/с порівняно з кліматичною нормою.

На ст. Чернівці також спостерігається найменша кількість днів зі швидкістю ≥ 10 м/с (8,3 дні на рік) за обома сценаріями. Найбільша кількість днів зі швидкістю ≥ 10 м/с (54,2 дні на рік) має місце на ст. Каховка.

Вздовж автотраси №8, яка пролягає північними та західними областями України, відбувається порівняно з періодом 1961-1990 рр. рівномірне збільшення швидкості вітру для всіх станцій на 1-2 м/с.

Кількість днів зі швидкістю ≥ 10 та 15 м/с є найбільшою для ст. Глухів (46,5 дні на рік та 3,4 дні на рік, відповідно) за обома сценаріями, а найменшою для ст. Вінниця (28,4 дні на рік та 1,5 дні на рік, відповідно).

З проведеного аналізу можна бачити, що середня річна швидкість вітру зростає по всій території України за обома сценаріями, виключаючи тільки ст. Дніпро та м. Чернівці. Найбільше зростання швидкості вітру відбувається у північних та південних районах України.

Слід зауважити, що результати за періоди 2011-2050 рр. та 2021-2050 рр. є практично однаковими за обома сценаріями, що вказує на те, що середні значення швидкості вітру є практично однаковими на протязі періоду 2011-2050 рр.

По всій території України не спостерігається жодного разу середньодобова швидкість ≥ 25 м/с, вкрай нечасто мають місце швидкості вітру ≥ 15 м/с, а кількість днів зі швидкістю ≥ 10 м/с коливається в середньому в межах від 30 до 50. Проте, такі швидкості вітру не становлять небезпеку для транспортної системи.

2.3.5 Соціальні та економічні ризики

В табл. 2.6–2.9 представлено соціальні та економічні ризики внаслідок таких небезпечних явищ, як сильний дощ, сильний вітер, сильний мороз та сильна спека для 24 областей України та АР Крим.

В табл. 2.10 представлено інформацію щодо соціальних та економічних ризиків внаслідок небезпечних явищ, що й в таблицях 2.6–2.9, тільки для автошляхів, які розглядаються в роботі.

Обидві таблиці було отримано на підставі даних за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5, в яких були доступними лише середньодобові дані. Тому соціальні та економічні ризики для сильної спеки та сильного морозу можуть бути заниженими, оскільки періоди сильного морозу та сильної спеки визначаються за абсолютною мінімальною та максимальною температурами, а не середньодобовою, а в якості межових значень було обрано значення для екстремальних температур. Період сильного вітру визначається також за абсолютною, а не середньодобовою максимальною швидкістю, тому в якості межового значення було обрано 20 м/с.

Таким чином, оцінки ризиків зроблені в роботі слід вважати попередніми оцінками і такими, що потребують уточнення.

З табл. 2.6-2.9 можна бачити, що найбільші соціальні та економічні ризики мають місце при сильній спеці, від якої потерпатимуть за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 всі області України, виключаючи Хмельницьку область (за сценарієм RCP4.5 спекотні днів не спостерігаються, а за сценарієм RCP8.5 отримано найменші ризики з усіх областей України). Найбільше від періодів спеки постраждає Харківська область.

Найменшу небезпеку для території України в період 2021-2050 рр. становить сильний мороз. Дні з сильним морозом спостерігаються лише в окремих областях України: за сценарієм RCP4.5 Запорізька, Луганська, Сумська та Чернівецька області, а за сценарієм RCP8.5 Волинська, Житомирська, Київська, Луганська, Рівненська, Сумська та Чернівецька області. Ризики, отримані за сценарієм RCP8.5 є більшими.

Сильний вітер також не так часто спостерігається на території України. Проте, якщо за сценарієм RCP4.5 лише у дев'яти областях спостерігається сильний вітер, то за сценарієм RCP8.5 – у 16 областях. Найбільші збитки від сильного вітру спостерігаються за обома сценаріями в Івано-Франківській області.

Досить часто в Україні має місце сильний дощ. Це явище за обома сценаріями має місце в усіх областях, виключаючи Миколаївську область (в цій області за сценарієм RCP4.5 сильного дощу не спостерігається). Найбільше потерпає від сильного дощу Закарпатська область.

Слід зауважити, що найбільш екстремальними районами України в період 2021–2050 рр. стають західний та східний регіони.

Таблиця 2.6 – Соціальні та економічні ризики, які очікуються в 2021-2050 рр. внаслідок сильного дощу за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 для областей України

№	Область	RCP4.5		RCP8.5	
		Р _{соц} , тис. чоловік	Р _{ек} , тис. грн	Р, тис. чоловік	Р _{екон} , тис. грн
1	Вінницька область	3.82	15.90	2.55	5.65
2	Волинська область	4.37	23.03	4.37	18.43
3	Дніпропетровська область	4.31	26.35	2.16	5.27
4	Донецька область	3.39	9.04	6.79	28.92
5	Житомирська область	3.54	18.96	3.54	15.17
6	Закарпатська область	160.53	14456.90	12.51	70.23
7	Запорізька область	1.36	2.86	1.36	2.29
8	Івано-Франківська область	85.95	5639.11	39.83	968.95
9	Кіровоградська область	1.66	5.03	0.83	1.01
10	Київська область	13.82	153.20	13.82	122.58
11	Кримський півострів	11.46	106.68	5.73	21.34
12	Луганська область	1.75	3.10	1.75	2.48
13	Львівська область	85.36	4986.76	21.95	263.83
14	Миколаївська область	0.00	0.00	2.99	12.20
15	Одеська область	4.53	25.20	4.53	20.17
16	Полтавська область	1.05	2.77	1.05	2.22
17	Рівненська область	9.80	101.22	9.80	80.99
18	Сумська область	1.97	5.87	0.99	1.17
19	Тернопільська область	6.51	29.65	8.13	37.06
20	Харківська область	3.64	14.94	5.46	26.90
21	Херсонська область	0.79	0.97	0.79	0.77
22	Хмельницька область	6.62	45.15	3.97	13.01
23	Черкаська область	2.51	8.43	2.51	6.75
24	Чернівецька область	2.71	2.69	16.25	77.60
25	Чернігівська область	26.47	1761.25	4.81	46.58

Таблиця 2.7 – Соціальні та економічні ризики, які очікуються в 2021-2050 рр. внаслідок сильного вітру за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 для областей України

№	Область	RCP4.5		RCP8.5	
		Р _{соц} , тис. чоловік	Р _{ек} , тис. грн	Р, тис. чоловік	Р _{екон} , тис. грн
1	Вінницька область	0.00	0.00	0.00	0.00
2	Волинська область	0.00	0.00	8.01	0.14
3	Дніпропетровська область	0.00	0.00	15.80	0.64
4	Донецька область	24.88	0.88	24.88	0.88
5	Житомирська область	0.00	0.00	0.00	0.00
6	Закарпатська область	0.00	0.00	0.00	0.00
7	Запорізька область	0.00	0.00	0.00	0.00
8	Івано-Франківська область	169.06	39.68	169.06	39.68
9	Кіровоградська область	0.00	0.00	12.20	0.49
10	Київська область	0.00	0.00	50.67	3.74
11	Крим	0.00	0.00	14.00	0.29
12	Луганська область	0.00	0.00	0.00	0.00
13	Львівська область	0.00	0.00	0.00	0.00
14	Миколаївська область	7.30	0.17	7.30	0.17
15	Одеська область	33.24	2.46	22.16	1.10
16	Полтавська область	15.45	1.08	30.89	4.33
17	Рівненська область	0.00	0.00	17.96	0.62
18	Сумська область	21.70	1.29	21.70	1.29
19	Тернопільська область	11.92	0.18	0.00	0.00
20	Харківська область	0.00	0.00	26.70	1.46
21	Херсонська область	0.00	0.00	5.78	0.09
22	Хмельницька область	0.00	0.00	9.71	0.18
23	Черкаська область	27.58	1.85	36.77	3.30
24	Чернівецька область	0.14	0.00	0.65	0.00
25	Чернігівська область	0.00	0.00	0.00	0.00

Таблиця 2.8 – Соціальні та економічні ризики, які очікуються в 2021-2050 рр. внаслідок сильного морозу за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 для областей України

№	Область	RCP4.5		RCP8.5	
		Р _{соц} , тис. чоловік	Р _{ек} , тис. грн	Р, тис. чоловік	Р _{екон} , тис. грн
1	Вінницька область	0.00	0.00	0.00	0.00
2	Волинська область	0.00	0.00	18.98	0.67
3	Дніпропетровська область	0.00	0.00	0.00	0.00
4	Донецька область	0.00	0.00	0.00	0.00
5	Житомирська область	0.00	0.00	22.79	0.81
6	Закарпатська область	0.00	0.00	0.00	0.00
7	Запорізька область	32.00	1.79	0.00	0.00
8	Івано-Франківська область	0.00	0.00	0.00	0.00
9	Кіровоградська область	0.00	0.00	0.00	0.00
10	Київська область	0.00	0.00	83.81	6.19
11	Кримський півострів	0.00	0.00	0.00	0.00
12	Луганська область	20.09	0.48	20.09	0.48
13	Львівська область	0.00	0.00	0.00	0.00
14	Миколаївська область	0.00	0.00	0.00	0.00
15	Одеська область	0.00	0.00	0.00	0.00
16	Полтавська область	0.00	0.00	0.00	0.00
17	Рівненська область	0.00	0.00	21.19	0.73
18	Сумська область	10.14	0.20	20.28	0.80
19	Тернопільська область	0.00	0.00	0.00	0.00
20	Харківська область	0.00	0.00	0.00	0.00
21	Херсонська область	0.00	0.00	0.00	0.00
22	Хмельницька область	0.00	0.00	0.00	0.00
23	Черкаська область	0.00	0.00	0.00	0.00
24	Чернівецька область	0.06	0.00	0.31	0.00
25	Чернігівська область	0.00	0.00	0.00	0.00

Таблиця 2.9 – Соціальні та економічні ризики, які очікуються в 2021-2050 рр. внаслідок сильної спеки за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 для областей України

№	Область	RCP4.5		RCP8.5	
		Р _{соц} , тис. чоловік	Р _{екон} , тис. грн	Р, тис. чоловік	Р _{екон} , тис. грн
1	Вінницька область	14.56	0.27	58.23	4.31
2	Волинська область	597.92	661.76	882.64	1442.06
3	Дніпропетровська область	1691.53	3929.03	2374.08	7739.54
4	Донецька область	4967.55	22578.73	5627.30	28974.47
5	Житомирська область	968.38	1468.73	1321.56	2735.40
6	Закарпатська область	22.93	0.72	11.47	0.18
7	Запорізька область	1359.83	3233.90	1903.76	6338.45
8	Івано-Франківська область	554.01	520.12	805.83	1100.41
9	Кіровоградська область	326.44	243.42	344.08	270.44
10	Київська область	5950.86	31221.16	6956.64	42666.65
11	Кримський півострів	2319.38	5183.84	2877.75	7980.20
12	Луганська область	1426.09	2398.01	1908.15	4293.21
13	Львівська область	1193.95	1381.84	2250.15	4907.99
14	Миколаївська область	538.77	622.87	750.05	1207.18
15	Одеська область	738.28	620.15	1020.56	1185.04
16	Полтавська область	4910.96	64753.75	4440.76	52947.70
17	Рівненська область	731.00	868.19	1165.36	2206.49
18	Сумська область	1206.73	2846.84	1247.29	3041.44
19	Тернопільська область	378.18	224.04	785.46	966.44
20	Харківська область	11372.48	143410.28	10139.03	113988.78
21	Херсонська область	1006.97	1711.80	1229.66	2552.67
22	Хмельницька область	0.00	0.00	23.57	0.86
23	Черкаська область	3834.29	29133.02	3494.97	24204.89
24	Чернівецька область	926.96	1204.57	945.88	1254.24
25	Чернігівська область	835.87	1702.49	1166.91	3318.03

Таблиця 2.10 – Соціальні та економічні ризики, які очікуються в 2021-2050 рр. внаслідок небезпечних явищ за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 для автошляхів, які розглядаються в роботі

№ а/ш	Сильний дощ				Сильний вітер				Сильний мороз				Сильна спека			
	RCP4.5		RCP8.5		RCP4.5		RCP8.5		RCP4.5		RCP8.5		RCP4.5		RCP8.5	
	Р _{соц} , тис. чол.	Р _{екон} , тис. грн	Р _{соц} , тис. чол.	Р _{екон} , тис. грн	Р _{соц} , тис. чол.	Р _{екон} , тис. грн	Р _{соц} , тис. чол.	Р _{екон} , тис. грн	Р _{соц} , тис. чол.	Р _{екон} , тис. грн	Р _{соц} , тис. чол.	Р _{екон} , тис. грн	Р _{соц} , тис. чол.	Р _{екон} , тис. грн	Р _{соц} , тис. чол.	Р _{екон} , тис. грн
№1	12.49	66.49	15.14	64.53	40.55	2.63	71.97	3.37	0.00	0.00	0.00	0.00	14341.06	148582.32	14283.71	124120.53
№2	262.83	19534.36	49.11	389.78	11.92	0.18	9.71	0.18	0.00	0.00	0.00	0.00	1609.63	1606.87	3128.87	5879.76
№3	20.61	145.06	22.43	131.01	15.45	1.08	83.56	6.55	20.09	0.48	60.26	1.87	19038.44	212091.99	18535.93	174878.22
№4	11.42	41.36	24.13	105.52	60.96	4.32	71.79	4.88	0.06	0.00	0.31	0.00	5825.96	31201.15	5805.49	26914.61
№5	114.10	5872.85	66.57	1138.73	193.94	40.56	270.13	45.13	0.00	0.00	83.81	6.19	13163.95	58249.03	15787.42	80481.93
№6	30.19	281.71	24.46	161.38	0.00	0.00	64.67	4.03	32.00	1.79	106.60	7.01	10598.45	41107.64	13059.71	59720.70
№7	31.08	1778.11	11.14	65.21	7.30	0.17	13.09	0.26	0.00	0.00	0.00	0.00	2396.17	4037.43	3204.86	7082.18
№8	28.95	222.81	37.59	220.01	21.84	1.29	82.73	5.21	10.21	0.20	104.41	7.00	8099.10	35272.84	9231.60	46967.49

З табл. 2.10 можна бачити, що транспортні системи автотраси №1, №3, №4, №5, №7, №8 найбільше потерпатимуть від сильної спеки, а найменше від сильного морозу (для трас №1, 4, 5, 7 це явище взагалі не спостерігається не спостерігається). Для автотраси №2 – найбільш небезпечним явищем буде сильний дощ, а найменш небезпечним – сильний мороз (не спостерігається).

Загальна сума ризику є найбільшою для траси №1 через високу повторюваність спеки. Високими є ризики і для автошляхів №5, 6 та 8. Автошляхи №1, 5 та 6 зв'язують північні та південні райони України, а транспортний коридор №8 – західні та північні райони України та проходить практично в широтному напрямку.

Висновки

В роботі було проаналізовано вплив кліматичних змін на режим роботи транспорту уздовж 8 автошляхів "Одеса – Вознесенськ – Дніпро – Харків", "Вінниця – Хмельницький – Тернопіль – Стрий – Ужгород", "Ковель – Рівне – Веселий Поділ – Харків – Біловодськ", "Семенівка – Ніжин – Черкаси – Бобринець – Одеса – Ізмаїл", "Покровськ – Дніпро – Фастів – Хмельницький – Коломия", "Коростень – Фастів – Пришиб – Клепиніне", "Нова Каховка – Вознесенськ – Вінниця – Чернівці" та "Хмельницький – Вінниця – Фастів – Ніжин – Глухів".

База даних містила ряди середньодобових значень температури, кількості змішаних або рідких опадів, кількості опадів твердої фази, відносної вологості та швидкості вітру, отриманих за період 2011–2050 рр. за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 для 28 міст України.

Як за сценарієм RCP4.5, так і за сценарієм RCP8.5 відбувається суттєве потепління клімату, яке виявляється у суттєвому збільшенні середньомісячних та середніх річних температур для всіх міст, що розглядаються.

Для всіх пунктів спостерігається єдина загальна риса у характері змін температури в обох сценаріях – збільшення амплітуди змін температури та зсув температури як в область низьких так і в область високих значень порівняно з періодом 1961-1990 рр.

Порівняно з січнем амплітуда змін температури в липні збільшується в кілька разів за обома сценаріями, тому влітку вплив погодних умов на транспортну систему є більш інтенсивною.

Оскільки влітку найбільш небезпечними є високі температури, то в незалежності від різниці в змінах температур уздовж різних трас, більш небезпечним для всіх трас є сценарій RCP4.5.

Найбільший внесок у збільшення температури відбуватиметься у період 2021-2050 рр., тобто температура з часом підвищуватиметься. Також це свідчить про те, що повторюваність екстремально високих температур з часом зростатиме.

Зростання кількості днів з середньою максимальною температурою $\geq 35^{\circ}\text{C}$ порівняно з кліматичною нормою спостерігається в усіх регіонах України. За сценарієм RCP8.5 зростання є більшим, ніж за сценарієм RCP4.5 також для території всієї України. Найбільш інтенсивне зростання кількості днів з середньою максимальною температурою $\geq 35^{\circ}\text{C}$ має місце в південних та східних районах України. Для південних районів України межовим значенням для виявлення спекотних днів є 35°C , з чого можна зробити висновок, що для південних регіонів більш екстремальним є також сценарій RCP8.5.

За обома сценаріями спостерігається зменшення річної кількості опадів, виключаючи західні та деякі північні регіони, де має місце збільшення річної кількості опадів на 35 %. Зростання опадів, особливо в гірських районах, є небезпечним для транспорту.

Найбільша кількість опадів від 55 до 70 % припадає на теплий період.

Для всіх станцій має місце збільшення кількості днів з незначною кількістю опадів ($\geq 0,1$, $\geq 0,5$ та $\geq 1,0$ мм/доба), повторюваність інтенсивних опадів для всіх станцій зменшується, проте, екстремальні опади ($\geq 30,0$ мм/доба) спостерігаються на всіх станціях.

Для всіх станцій зростає кількість змішаних опадів в декілька разів, що є несприятливим фактором для транспортної системи. Кількість твердих опадів, навпаки, зменшується, в південних районах – до декількох днів на рік. Через збільшення змішаних опадів збільшується порівняно з кліматичним періодом повторюваність таких явищ як ожеледь. Уздовж всіх трас спостерігається зростання повторюваності ожеледі приблизно в 2-3 рази, виключаючи південні станції, а саме м. Одеса, м. Клепиніне, на яких має місце зменшення кількості випадків ожеледі приблизно в 2 рази.

Також є високою повторюваність хуртовин, незважаючи на зменшення твердих опадів. Найменшу повторюваність з усіх явищ, які розглядаються має ожеледиця зі швидкістю вітру ≥ 10 м/с.

Середня річна швидкість вітру зростає по всій території України за обома сценаріями, виключаючи тільки ст. Дніпро та м. Чернівці. Найбільше зростання швидкості вітру відбувається у північних та південних районах України.

Слід зауважити, що результати за періоди 2011-2050 рр. та 2021-2050 рр. є практично однаковими за обома сценаріями, що вказує на те, що середні значення швидкості вітру є практично однаковими на протязі періоду 2011-2050 рр. По всій території України не спостерігається жодного разу середньодобова швидкість ≥ 25 м/с, вкрай нечасто мають місце швидкості вітру ≥ 15 м/с, а кількість днів зі швидкістю ≥ 10 м/с коливається в середньому в межах від 30 до 50. Проте, такі швидкості вітру не становлять небезпеку для транспортної системи.

2.4 Траєкторії майбутніх кліматичних змін

Зміну і мінливість клімату на нашій планеті в даний час можна вважати встановленим фактом. Є всі підстави припускати, що вони можуть мати певний негативний та непередбачуваний вплив на різні сфери людської діяльності, в особливості на економічному та соціальному рівнях. На ряду з цими перемінами, повторюваність і інтенсивність кліматичних і погодних аномалій останнім часом в світі зростає, тому основними завданнями сьогодення є коректне споживання природних ресурсів, використання альтернативних видів енергії, забезпечення новими даними населення, для попередження економічних збитків, адже основним ресурсом будь-якої країни XXI століття є її капітал. Тому, потреба в інформації про можливі зміни клімату, які розраховуються в різноманітних кліматичних моделях, є більш ніж актуальною.

Використовуючи дані сценаріїв RCP4.5 та RCP8.5 було досліджено зміни енергетичних ресурсів України, а саме дати початку та кінця опалювального періоду, тривалість опалювального періоду, суму градусоднів опалювання за опалювальний період.

Такі дані дають можливість максимально проаналізувати можливі різкі скачки в зміні характеристик опалювального періоду, що є найбільш небезпечними, а також розрахувати ризик можливих майбутніх економічних збитків.

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. Слово репрезентативний означає, що кожна RCP показує лише один з багатьох можливих сценаріїв, які призвели б до отримання 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 століття.

В нашому дослідженні було опрацьовано два сценарії Representative Concentration Pathways, а саме RCP4.5 та RCP8.5 (рис. 2.37). Траєкторії цих сценаріїв показують ріст світової середньої температури 2.6 °C (RCP4.5) та 4.8 °C (RCP8.5) порівняно з періодом розвитку промисловості в 1850 р. Назви кривих RCP засвідчують кількість радіоактивної енергії в ватах на квадратний метр (В/м²). Криві RCP показують ріст в 4.5 та 8.5 В/м² в 2100р. в порівнянні із 1850 р.

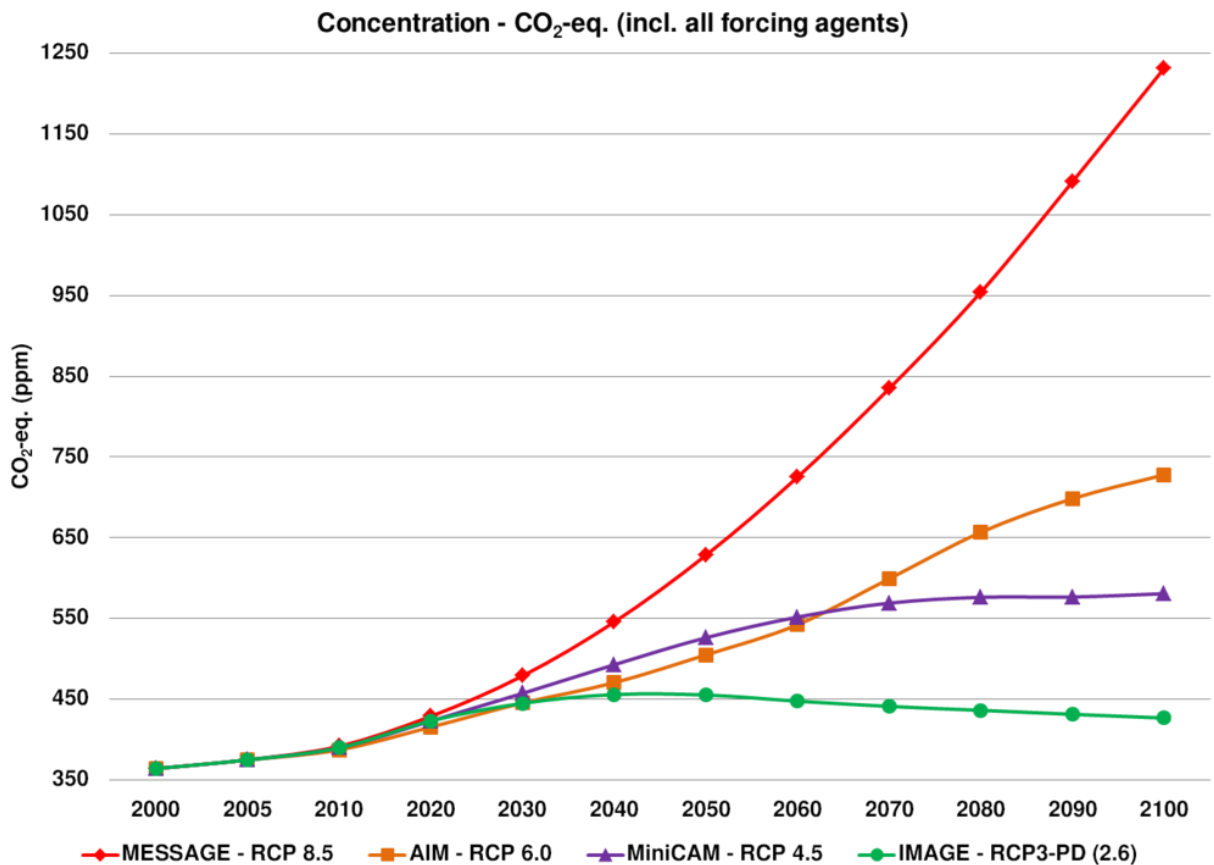


Рисунок 2.37 – Схематичне зображення радіаційного впливу до 2100 року.

Траєкторії RCP служать для визначення параметрів світових моделей циркуляції з відповідними концентраціями парникового газу для визначення їх впливу на світову кліматичну систему. Відповідні сценарії щодо соціально-економічного розвитку, такого як густота населення, використання землі, енергії, – можуть бути показані відповідною кривою RCP [14, 15].

Були використані RCP4.5 та RCP8.5, тому що ці дві траєкторії здаються більш реалістичними з огляду на все ще високу концентрацію парникових газів в майбутньому.

2.5 Розрахункові величини опалювального періоду

До характеристик термічного режиму опалювального періоду (ОП) відносяться:

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

За тривалість опалювального періоду (ТОП) приймається число днів з середньою добовою температурою повітря нижче $+8^{\circ}\text{C}$, тобто проміжок часу між середніми датами початку і закінчення опалювального періоду.

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

В якості кліматичної характеристики питомого тепло- і холодоспоживання був прийнятий такий показник, як сума градусо-днів опалювання за опалювальний сезон, що розраховується за наступним положенням.

Встановлено, що в неопалювальному приміщенні в середньому температура усередині приміщення в результаті випадкового накопичення тепла вища, ніж зовні. Для традиційних споруд ця різниця становить приблизно 3°C . Для більш масивних або більш легких будівель вона коливається від 8°C до 2°C .

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

Наприклад, умови усередині приміщення прийнято вважати комфортними при температурі в ньому 18°C . Таким чином, опалення будівлі можна починати при температурі зовнішнього повітря нижче 15°C (при середній різниці 3°C).

І зовнішня температура, яка нижча внутрішньої на величину, що передбачена в проекті, називається базовою $t_{\text{баз.}}$. У наведеному прикладі це температура 15°C .

У кожній країні «базові значення» температури можуть бути різними, вони призначаються залежно від характеру клімату і економічних можливостей даної країни. І, крім того, вони розрізняються залежно від призначення будівлі.

І середня сума градусо-днів Q визначається як сума відхилень середньої добової температури повітря від «базової». Розраховується вона непрямым способом по графіку річного ходу температури повітря. Для цього по кривій річного ходу знімається середня багаторічна добова температура $t_{\text{доб}}$ для кожного дня з температурою нижче 15°C , обчислюється різниця між нею і базовою $t_{\text{баз.}}$, і підсумовується за весь період:

$$Q = \sum_{i=1}^w (t_{\text{доб}} - t_{\text{баз}}) \quad (2.3)$$

Якщо в місяці всі добові температури нижче базової, то сума градусо-днів визначається по формулі:

$$Q = (t_{\text{сер.м.}} - t_{\text{баз}}) \cdot n, \quad (2.4)$$

де $t_{\text{сер.м.}}$ - середня місячна температура повітря;
 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.

По сумі градусо-днів можна судити і про суворість клімату. У 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, які підраховані по середніх місячних нічних і денних температурах. І на основі аналізу цих даних була прийнята наступна 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, що враховується при проектуванні; це найм'якші кліматичні умови, при яких вже потрібне опалювання.

Згідно шкалі градусо-днів опалювання виділяються райони і підрайони, які відмінні по теплозахисних характеристиках житла – шириною корпусу будівель, що визначає компактність його архітектурно-планувального рішення; теплозахисними якостями обгороджувальних конструкцій, залежними багато в чому від опору теплопередачі зовнішніх стін (R); утепленням сходових кліток і входів в будинок [16].

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

Зробивши розрахунок прогностичних даних з 2011 по 2050 роки по 32 станціям України за сценарієм RCP4.5, було знайдено дати початку (ПОП) та кінця (КОП) опалювального періоду, розглянуто динаміку змін тривалості опалювального періоду (ТОП) та суму градусо-днів опалювання за ОП, для більш наочного прикладу було побудовано карти та графіки, приклад яких приведено нижче.

Аналізуючи зміни ТОП та суму градусо-днів опалювання за ОП за сценарієм RCP4.5 за представлений період (табл. 2.11), важливо відмітити те що ТОП та сума градусо-днів опалювання за ОП (рис. 2.38-рис. 2.41), на більшості

території України має рівномірний зональний розподіл і лише в деяких регіонах, зокрема в районі Подільської височини, має меридіональний характер, та замкнені ізолінії.

Таблиця 2.11 – Осереднені розрахункові величини за сценарієм RCP4.5

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

На рис. 2.38 та рис. 2.39 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 найбільш підданим до негативного впливу змін температури, ТОП в середньому зменшується на 9 днів, так наприклад, на ст. Семенівка в середньому зменшується з 206 до 199 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 та 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 днів, за періоди 2011-2031 та 2031-2050 роки відповідно, в середньому ж на території східної України ТОП зменшилась в середньому на 7 днів між відповідними періодами.

Схожа ситуація спостерігається і із зміною суми градусо-днів опалювання за ОП (рис. 2.40 та рис. 2.41), в середньому зменшились на 90°C , з 3283 до 3193°C 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°C з 3565 до 3406°C , та 170°C з 3568 до 3398°C за періоди 2011-2031 та 2031-2050 роки відповідно

Але слід відмітити 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 ГДОП 3170°C , а 2046-47 роках, при такому ж ТОП, суми градусо-днів опалювання за ОП дорівнює 2754°C . А на ст. Чернігів, на фоні глобального підняття температури, при ТОП 213 днів, суворість зими 2038-39 років характеризується ГДОП 4292°C , такі дані здобуто з урахуванням середньої температури $-10,3^{\circ}\text{C}$ в березні 2039 року. Що підтверджує збільшення ймовірності виникнення днів з екстремальними температурами, та зменшення періоду між переходом від відносно теплого до більш холодного ОП.

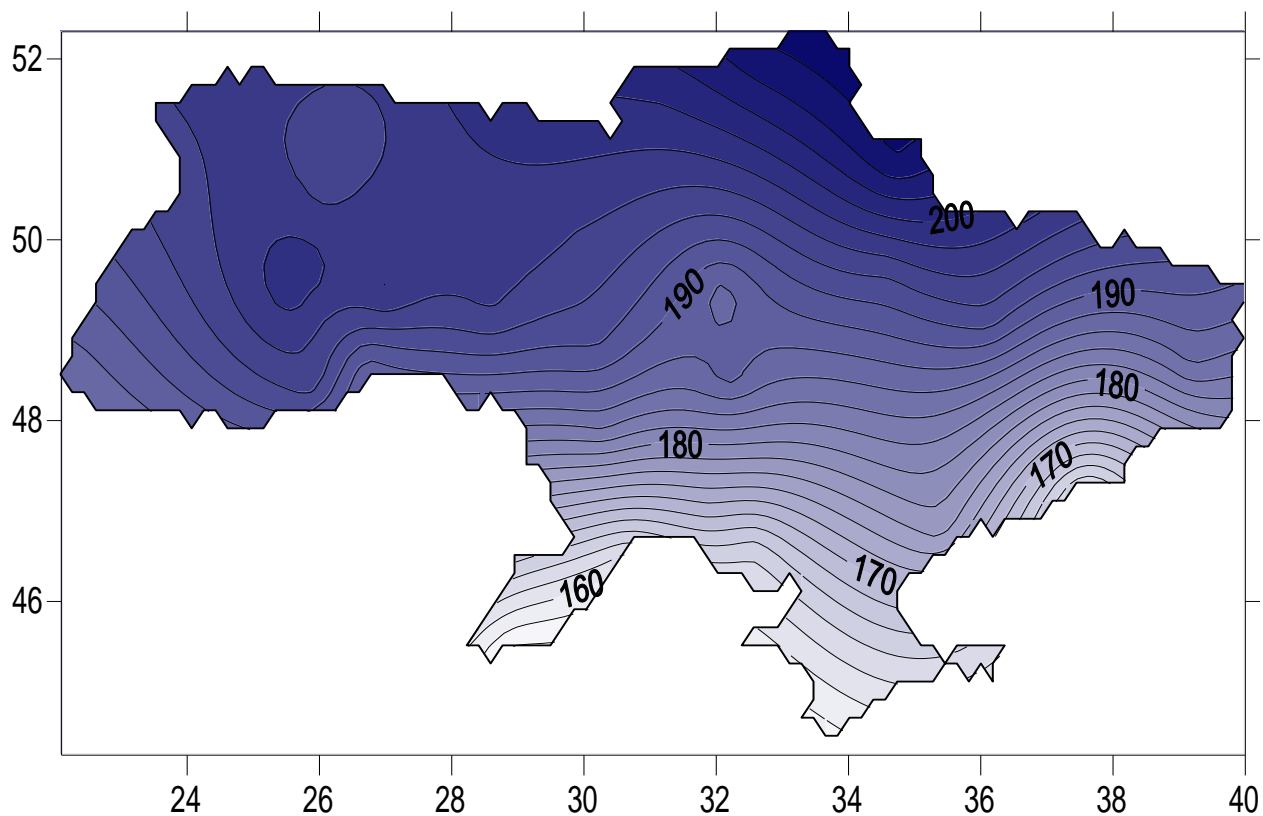


Рисунок 2.38 – Осереднена тривалість опалювального періоду з 2011 по 2031 роки за сценарієм RCP4.5

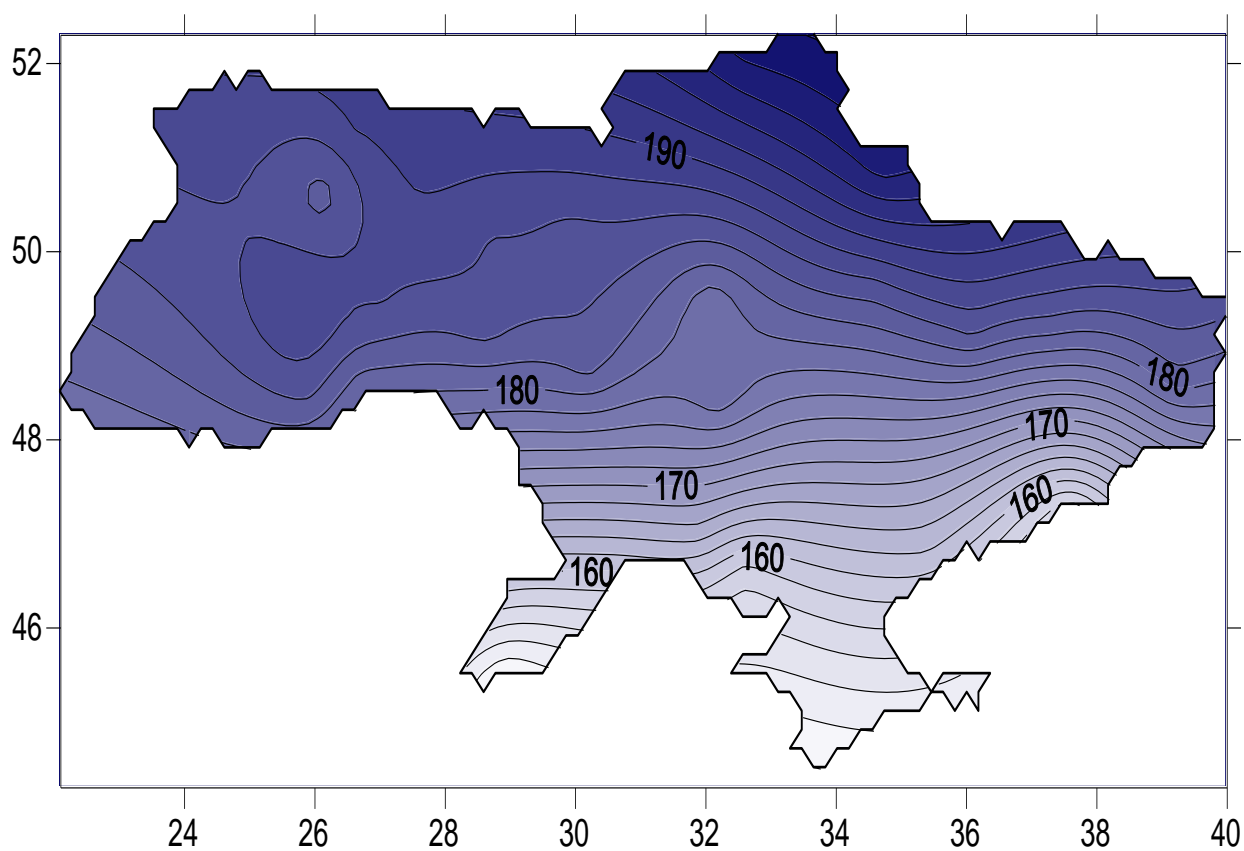


Рисунок 2.39 – Осереднена тривалість опалювального періоду з 2031 по 2050 роки за сценарієм RCP4.5

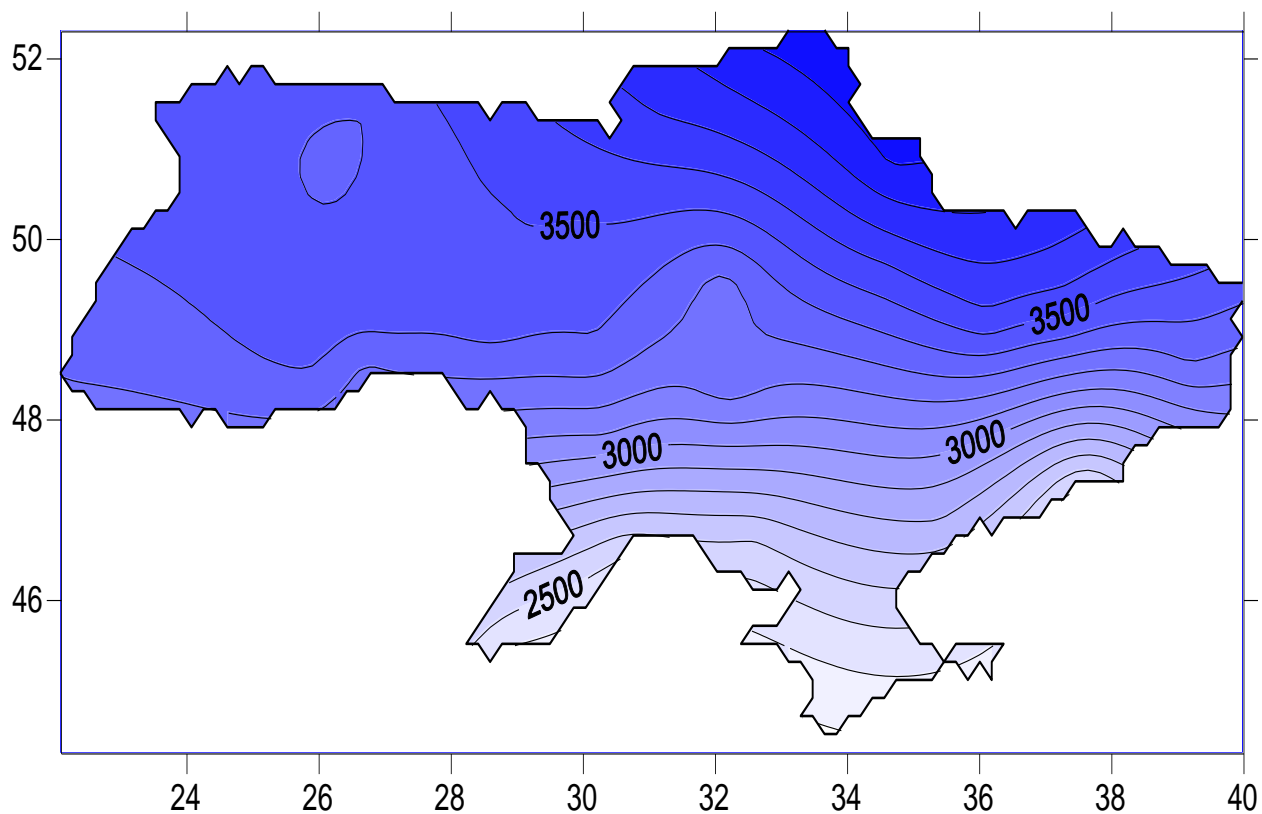


Рисунок 2.40 – Осереднена сума градусо-днів опалювання за період з 2011 по 2031 роки за сценарієм RCP4.5

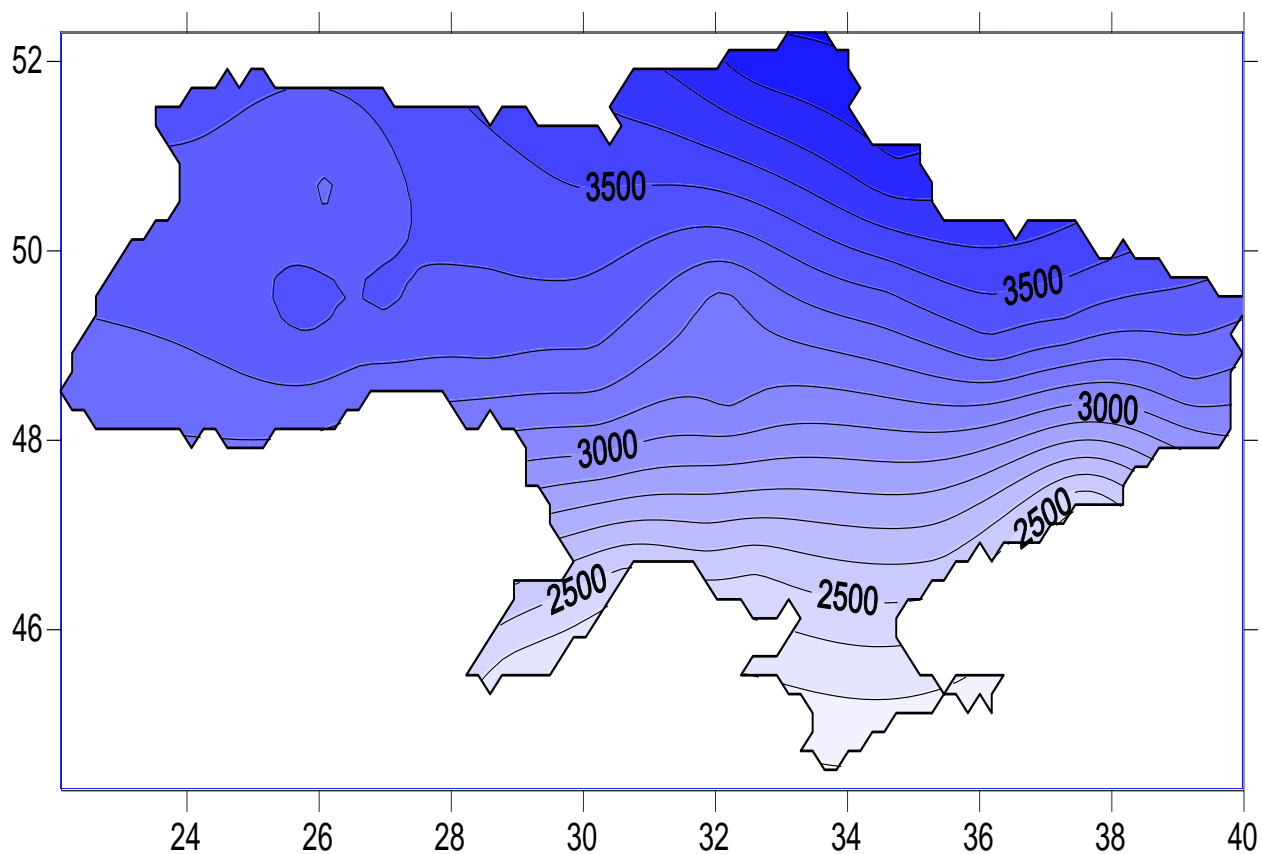


Рисунок 2.41 – Осереднена сума градусо-днів опалювання за період з 2031 по 2050 роки за сценарієм RCP4.5

Відповідні розрахунки було зроблено за прогностичними даними сценарію RCP8.5, з 2011 по 2050 роки по 17 станціям України (табл. 2.12). Як і за сценарієм RCP4.5 розподіл ізогипс (рис. 2.42-2.45) по території України має зональний характер та лише в районі Подільської височини спостерігаються меридіональні збурення, замкнених ізоліній не спостерігається.

Таблиця 2.12 – Осереднені розрахункові величини за сценарієм RCP8.5

Номер та назва станції	Широта	Довгота	Осереднена ТОП за		Осереднені $Q(^{\circ}\text{C})$ за	
			2011-31 роки	2031-50 роки	2011-31 роки	2031-50 роки
1 Семеновка	52,2	32,6	201	196	3859,5	3766,9
3 Чернигов	51,5	31,2	196	189	3556,2	3463,2
9 Луцк	51,5	31,2	187	181	3226,0	3101,9
13 Сарны	51,3	26,6	189	183	3295,6	3211,3
16 Сумы	50,9	34,7	205	191	3822,8	3661,4
19 Ровно	50,6	26,1	189	180	3251,7	3148,5
20 Новоград-	50,6	27,6	189	183	3361,9	3270,1
22 Житомир	50,2	28,7	189	184	3360,6	3326,5
23 Фастов	50,1	29,9	190	185	3370,3	3313,8
36 Полтава	49,6	34,6	189	182	3479,3	3336,6
45 Ужгород	48,6	22,3	182	173	3205,1	3024,8
49 Черновцы	48,4	25,9	185	180	3181,3	3137,7
51 Кировоград	48,5	32,2	181	178	3241,5	3094,7
62 Мариуполь	47,1	37,6	154	157	2291,0	2260,8
64 Одесса аеропорт	46,4	30,7	154	154	2335,8	2331,0
69 Херсон	46,6	32,6	164	154	2579,8	2442,8
83 Луганск	48,6	39,2	187	179	3393,0	3280,7

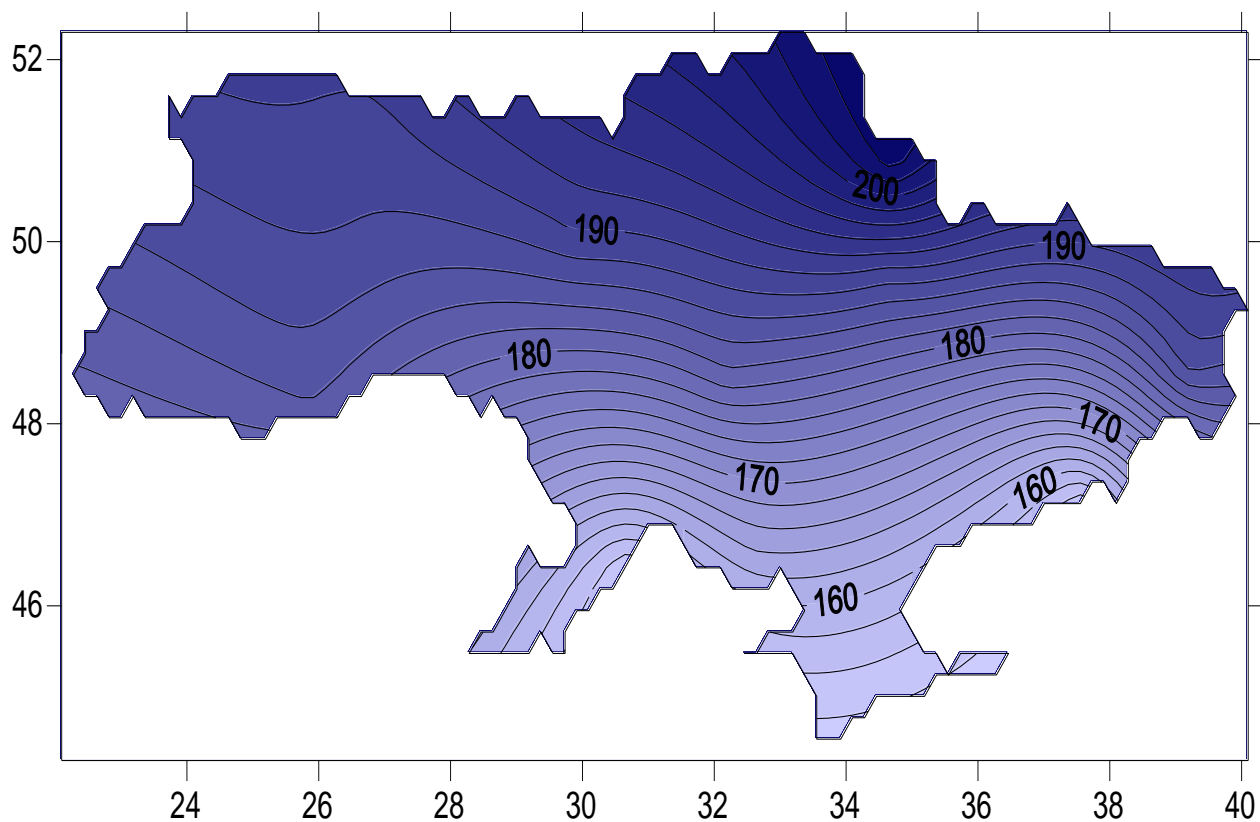


Рисунок 2.42– Осереднена тривалість опалювального періоду з 2011 по 2031 роки за сценарієм RCP8.5

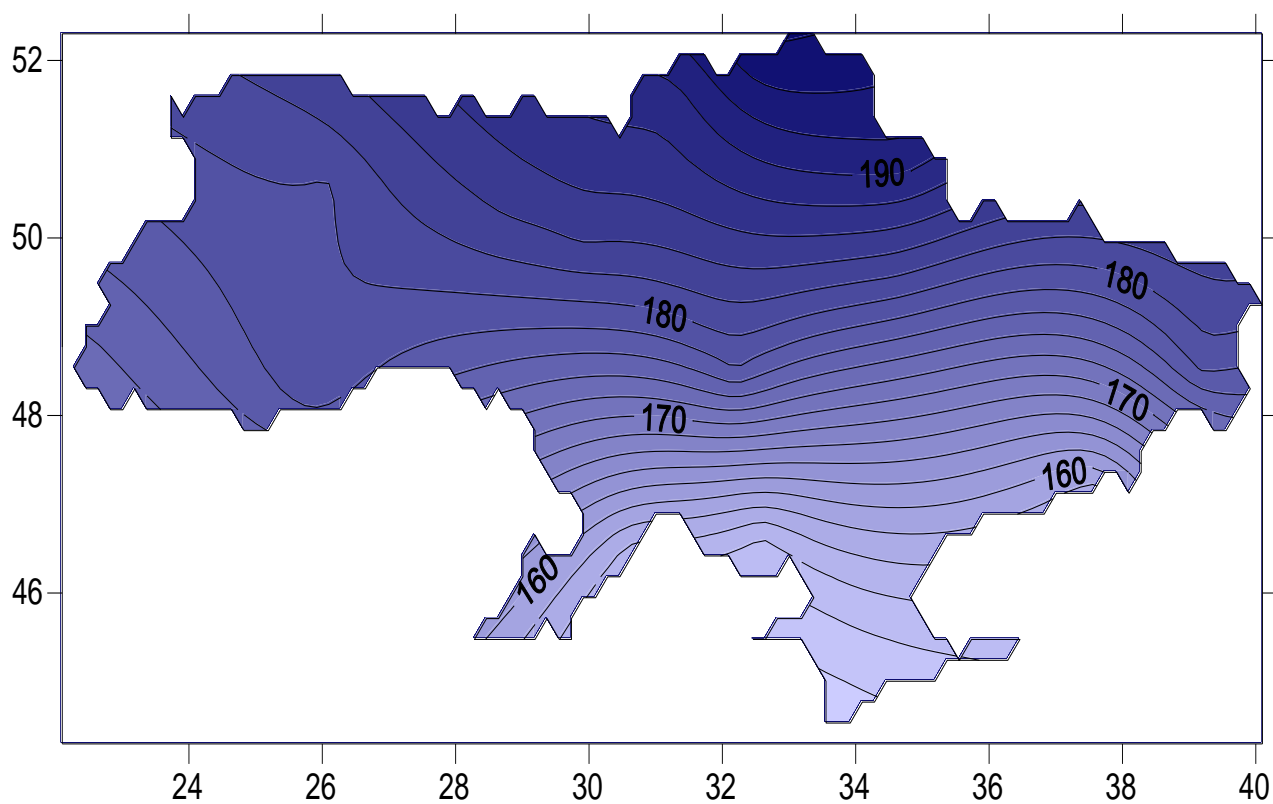


Рисунок 2.43 – Осереднена тривалість опалювального періоду з 2031 по 2050 роки за сценарієм RCP8.5

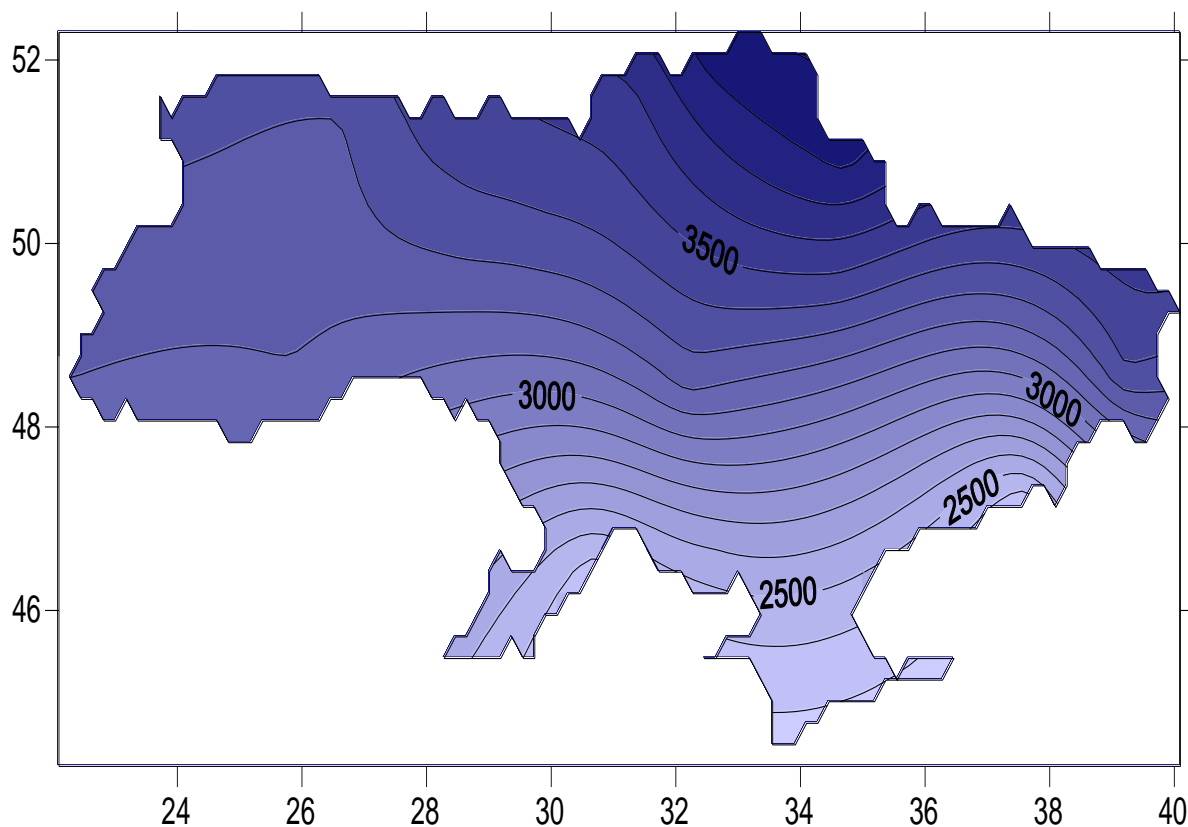


Рисунок 2.44 – Осереднена сума градусо-днів опалювання за період з 2011 по 2031 роки за сценарієм RCP8.5

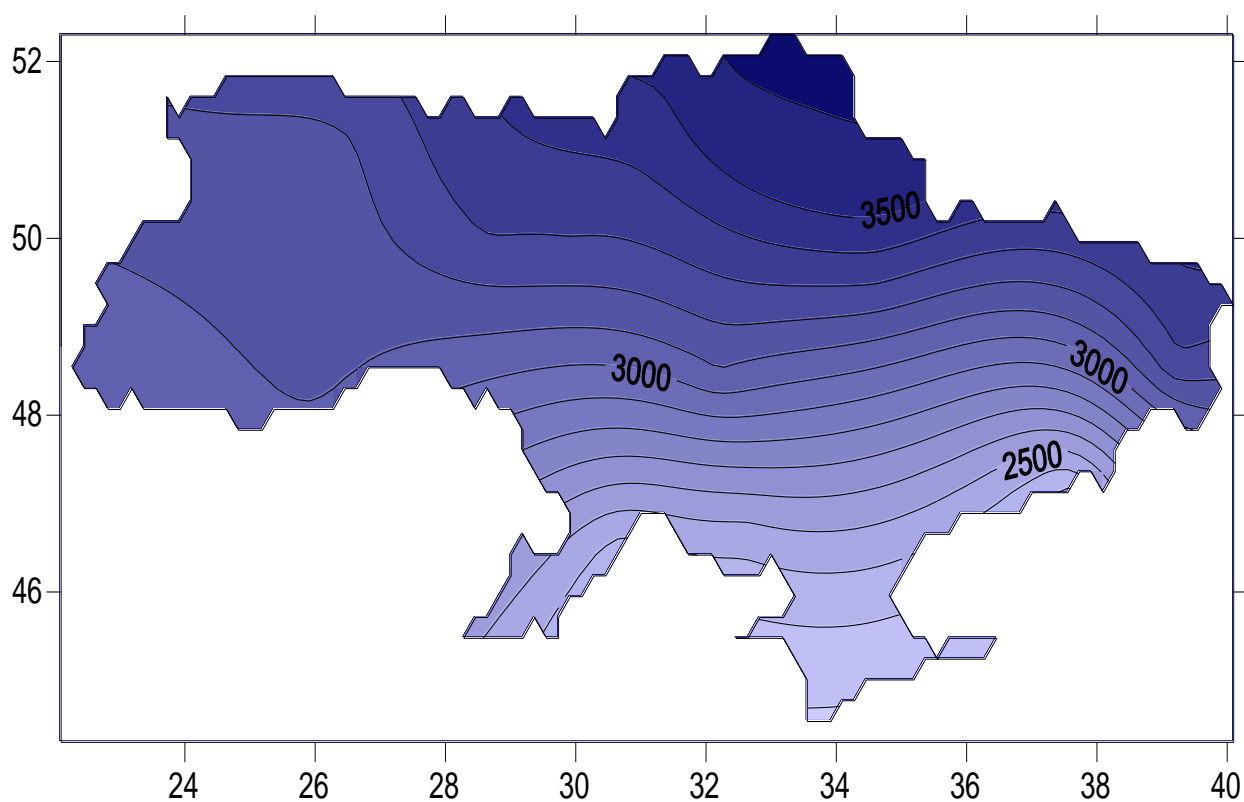


Рисунок 2.45 – Осереднена сума градусо-днів опалювання за період з 2031 по 2050 роки за сценарієм RCP8.5

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 та Херсон ТОП зменшується на 14 та 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 сценарію RCP8.5, відповідно збільшуються між річні коливання від холодної зими до відносно теплої, а в окремих роках середня температура опалювального періоду перевищувала 4 °С на ряду з різким зменшенням середньої температури до -4 °С, що несе в собі окремо небезпечні явлення та збитки, тому є рекомендованим розглядати, в цьому випадку, ТОП та суму градусо-днів опалювання ОП, окремо для кожної станції або ж регіону.

Проаналізувавши ряди даних ТОП на станції Одеса (табл. 2.13) за 49 років (2011-2050 рр.) за сценарієм RCP4.5 максимальна ТОП склала – 185 днів; мінімальна – 119 дні. Середня тривалість опалювального періоду склала 159 днів. Згідно розрахованих даних по сценарію RCP4.5, ТОП на території міста буде зменшуватись в середньому на 0,1 діб (рис. 2.46). Відповідно з 2011 по 2050 буде зменшуватись й суворість зим (рис. 2.47) в середньому на 3,4 °С щорічно. Максимум суми градусо-днів опалення ОП складає 3154,3 °С, мінімум – 1703,2 °С. Середнє значення суми градусо-днів опалення ОП становить 2425,9 °С.

Таблиця 2.13 – Розрахункові величини ТОП, за сценарієм RCP4.5 за період з 2011 по 2050 роки. Одеса

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

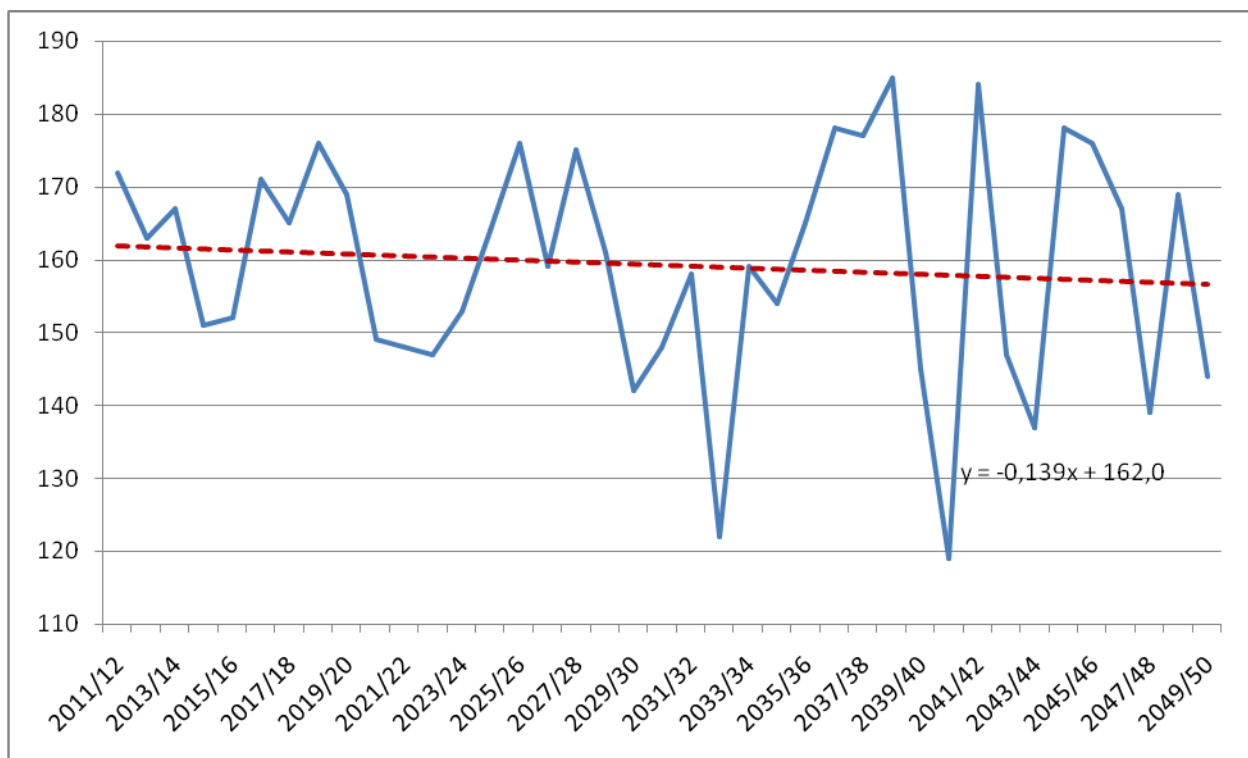


Рисунок 2.46 – Динаміка змін тривалості опалювального періоду згідно сценарієм RCP4.5 за період з 2011 по 2050 роки. Одеса.

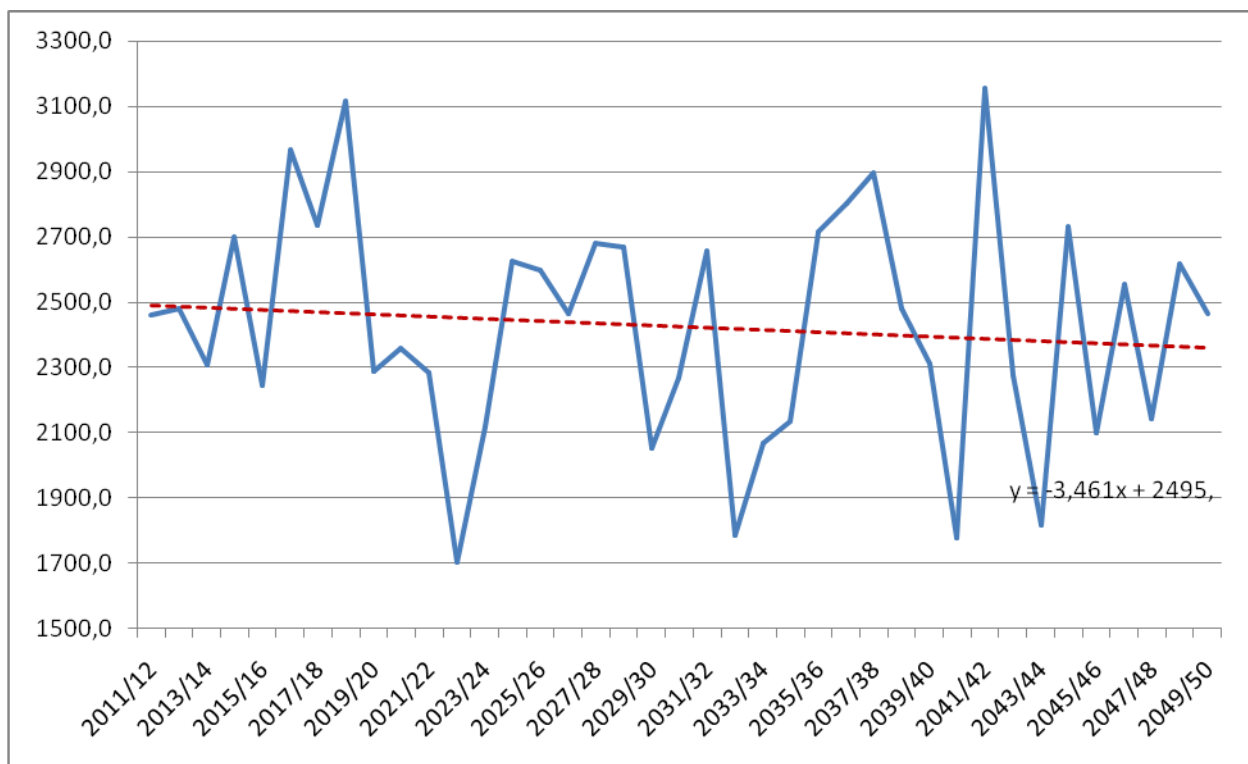


Рисунок 2. 47 – Динаміка змін суми градусо-днів опалення ОП згідно сценарієм RCP4.5 за період з 2011 по 2050 роки. Одеса

Більш детально розглянемо характеристики ОП на станції Одеса згідно сценарію RCP8.5 за період з 2011 по 2050 рр.(табл. 2.14).

Таблиця 2.14 – Розрахункові величини ТОП, за сценарієм RCP8.5 за період з 2011 по 250 роки. Одеса

Роки	Дата ПОП	Дата КОП	ТОП, дні	$Q, ^\circ\text{C}$	Сер. міс. темп.
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 сценарієм RCP8.5 за період з 2011 по 2050 роки, в місті Одеса характеризується тим, що між річні коливання до 2050 року зменшаться, середня ТОП склала 154 днів, максимальна ТОП склала – 187 днів з 2021-2022 роки; мінімальна – 122 дні в 2020-2021 роках (рис. 2.48).

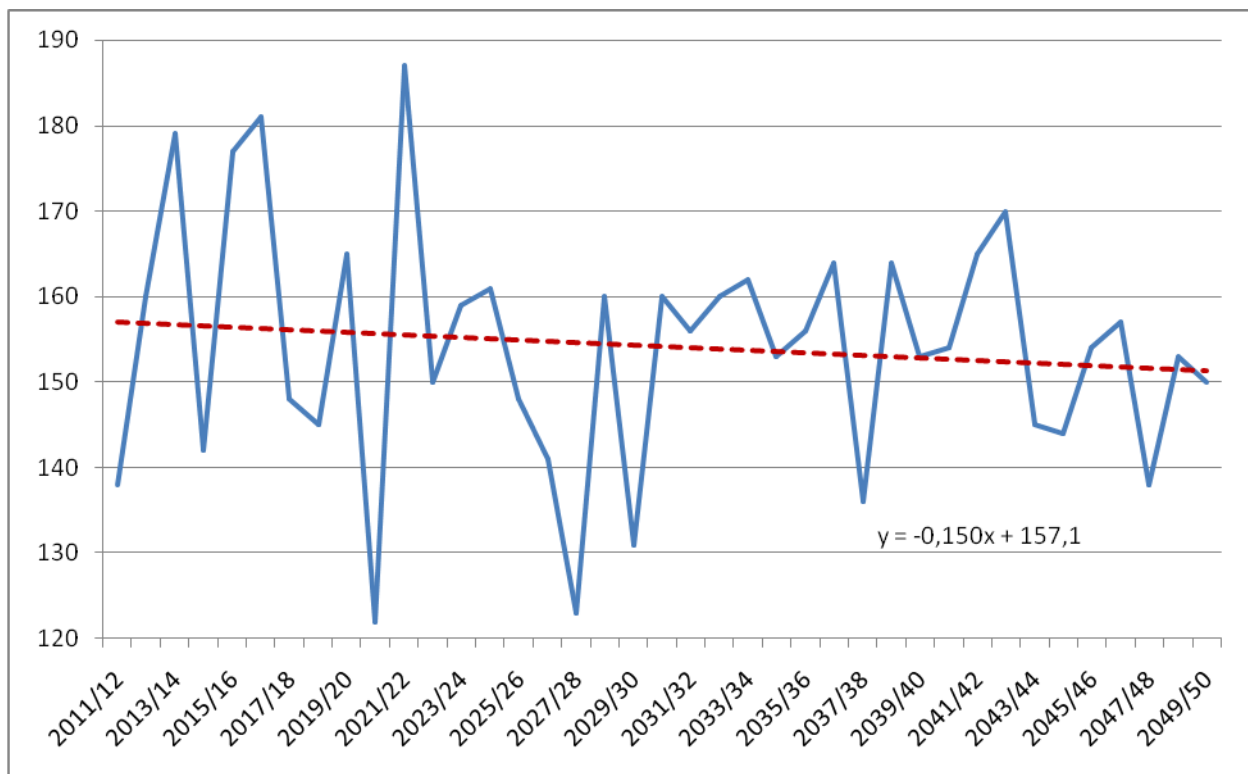


Рисунок 2.48 – Динаміка змін тривалості опалювального періоду згідно сценарієм RCP8.5 за період з 2011 по 2050 роки. Одеса

Максимум суми градусо-днів опалення ОП складає 2772,2 °С, мінімум – 1806,5 °С. Середнє значення суми градусо-днів опалення ОП становить 2333,5 °С (рис. 2.49).

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. 2.50).

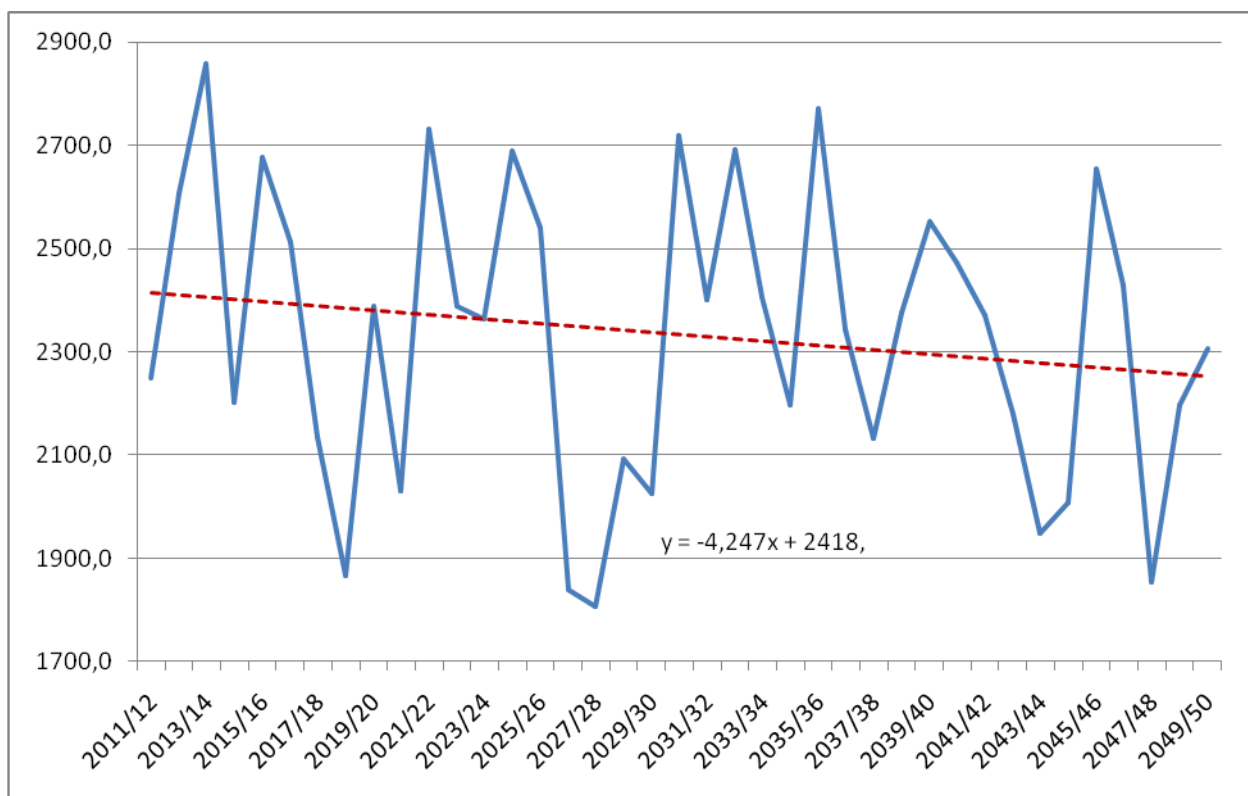


Рисунок 2.49– Динаміка змін суми градусо-днів опалення ОП згідно сценарієм RCP8.5 за період з 2011 по 2050 роки. Одеса

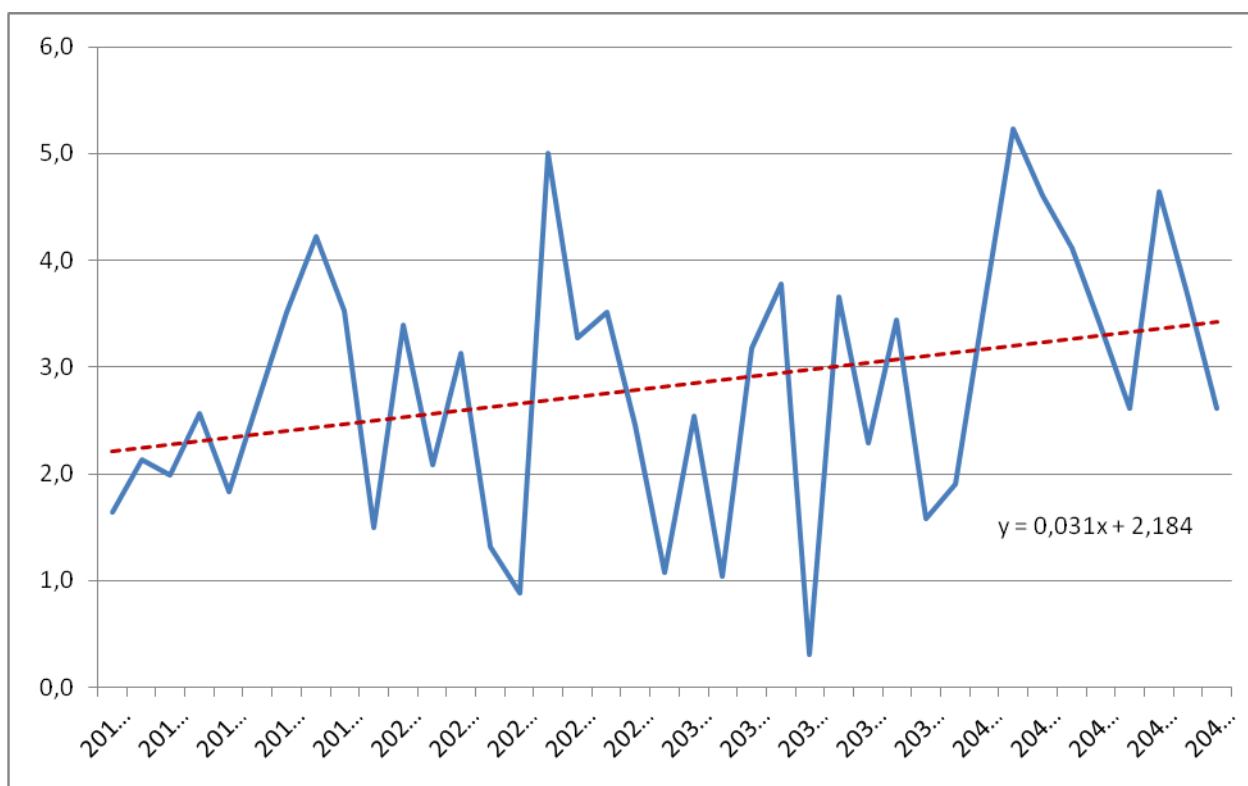


Рисунок 2.50 – Динаміка змін середньомісячної температури ОП згідно сценарієм RCP8.5 за період з 2011 по 2050 роки. Одеса

В результаті проведеного дослідження впливу мінливості клімату на характеристик ОП за період з 2011 по 2050 роки за сценаріями RCP4,5 та RCP8.5 можна зробити наступні висновки:

1. Згідно сценарних даних ТОП на території України до 2050 року зменшується в середньому на 6-8 діб;
2. Найбільш схильним до змін в ТОП: за сценарієм RCP4.5 – західна Україна; за сценарієм RCP8.5 – північна Україна;
3. Розподіл ТОП та 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, та 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 за сценарієм . RCP8.5;
6. Суми градусо-діб опалювання за ОП, за сценарієм RCP4.5, в середньому зменшились на 96 °С, з 3224 до 3128 °С за періоди 2011-2031 та 2031-2050 роки відповідно за сценарієм . RCP8.5;
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.

3 ЕНЕРГЕТИЧНИЙ ПОТЕНЦІАЛ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В УКРАЇНІ

3.1 Розвиток альтернативної енергетики як об'єкту державного регулювання

Сучасна світова енергетика, в тому числі і в Україні в основному базується на невідновлюваних джерелах енергії, які, маючи 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), яке опубліковано у річному енергетичному звіті за 2015 р. щорічне споживання електроенергії у світі з 2013 по 2040 рр. збільшуватиметься в середньому на 0,8 % у відповідності до очікуваного зростання населення. За прогнозами EIA, в структурі глобального паливно-енергетичного балансу буде збільшуватися 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 загальному паливно-енергетичному балансі країни повинна збільшитися до 19 % в 2030 [1].

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 та припливів, гідроенергія, енергія біомаси, газу з органічних відходів, газу каналізаційно-очисних станцій, біогазів, та вторинні енергетичні ресурси, до яких належать доменний та коксівний газ, газ метан дегазації вугільних родовищ, перетворення скидного енергопотенціалу технологічних процесів [2].

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 та використанні енергії з відновлюваних джерел енергії, до яких належать періодичні або сталі потоки енергії, що розповсюджуються в природі і обмежені лише стабільністю Землі як космопланетарного елемента: променева енергія Сонця, вітер, гідроенергія, природна теплова енергія тощо.

Тобто 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 [3].

Використання енергії Сонця сприяє не тільки збереженню земного клімату, але й зменшує залежність країн від імпорتنих 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 залишився б у минулому. Перетворювати енергію Сонця в інші види енергії можна двома способами: фотоелектричним (прямий спосіб) і фототермічним (енергію світла перетворюють спочатку в теплову енергію, потім – в електричну) [4].

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 1 1%.

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 своєю чергою залежить від географічного положення території.

Сонячна радіація – це невичерпне джерело відновлюваної енергії. Енергія сонячного проміння може бути використана як теплова. Сонячна енергія як енергоресурс майбутнього має безліч переваг, переважно вона не шкодить здоров'ю людей та довкіллю, не спотворює ландшафт, її не потрібно експортувати та імпортувати, сама енергія є безкоштовним ресурсом, а головною перевагою є те, що вона відновлювана. Вчені дослідили, що $\frac{3}{4}$ від усієї споживаної енергії суспільством становить теплова енергія. Сонячні установки, призначені для перетворення сонячної енергії в інші види енергії та передавання 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 [5 -9].

Перспективи заміщення традиційних паливно-енергетичних ресурсів за рахунок використання альтернативних джерел енергії здійснено в наукових працях [10, 11]. 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 та року наведені в монографії [12], але тут не порашовані дані щодо обсягу надходження сонячної енергії на територію України. Кліматичні дані, що використовують для розрахунку і проектування геліоустановок, наведені у Державних будівельних нормах України [13]. 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” [14], але ці дослідження не містять класифікації кількості сонячної енергії в опалювальний період.

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

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 спектру, тому все більше світових держав замислюються про 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 через 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 потреба в тепловій енергії на 40-50 % за рахунок використання енергії Сонця, В Німеччині (під Дюсельдорфом) проводилися випробування сонячної водонагрівальної установки колекторів площею 65м². Експлуатація установки показала, що середня економія тепла, що витрачається на обігрів, становила 60 % , а в літній період — 80-90 %. Для умов Німеччині сім'я з 4 чоловік може забезпечити себе теплом при наявності енергетичної 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. Найбільшою сумарною площею 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 у 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 даний 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 на 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.

3.2 Законодавче забезпечення державного регулювання розвитку альтернативної енергетики в Україні

В сучасних умовах в Україні гостро відчувається нестача енергоресурсів та відбуваються 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, заснованої на нетрадиційних відновлюваних джерелах енергії, що вимагає 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 вступив у дію 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:

- розроблення 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 та науково-технічних програм;

- розроблення та 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 [1].

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, що 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.

Набув чинності Порядок продажу, обліку та розрахунків за електричну енергію, вироблену з енергії сонячного випромінювання об'єктами електроенергетики (генеруючими установками) приватних домогосподарств. Нагадаємо, що виробництво електроенергії з енергії сонячного випромінювання приватними домогосподарствами здійснюється без відповідної ліцензії.

30 червня 2015 р. на підпис Президенту України Петра Порошенка 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 будуть 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 середньосвітовими рівнів. Найбільше зниження відбулося в тариф 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 за рахунок прийнятих рішень на законодавчому рівні, проекти відновлюваної енергетики активно розвивалися. За підсумками 2014 року електростанціями вітро-, геліо - і на біомасі вироблено 1,7 млрд кВт*год. В цілому їх частка складала 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 складатиме 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 енергозбереження, зближенню з ЄС, створенню конкурентного і прозорого енергоринку, захисту та 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 [15].

3.3 Стан, проблеми та перспективи розвитку сонячної енергетики України

В даний час, комунальне господарство України щорічно споживає близько 74 мільйонів т.у.п. Щорічно 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 50 %. У разі використання цього потенціалу економічне зростання не повинен 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 [16 - 25] .

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, що обслуговують промислові, сільськогосподарські та комунальні підприємства; малі автономні установки для індивідуальних житлових будинків і підприємств побутового обслуговування. За оцінками, зробленим 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 з застосуванням сонячних колекторів. Розвивається два типу 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 активно розвивається концепція будівництва сонячних будинків. Під цим зазвичай мають на увазі комбінацію сонячного теплопостачання, фотоелектрики, пасивного нагріву і природного освітлення. Даний підхід може бути використаний 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 та електричне освітлення часто вносить більший внесок у енергоспоживання, ніж опалення. Добре сконструйований сонячне будівля

може бути практично незалежним від додаткових джерел тепла. При виконанні окремих демонстраційних проектів у Європі отримано зменшення споживання енергії в чотири і більш рази.

Реалізовані в останні роки експериментальні проекти показали, що річна 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 скласти 28 млрд. кВт-год теплової енергії. Реалізація цього потенціалу дозволила б заощадити 3.4 млн. тонн умовного палива (т.у.п.) у рік.

3.4 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, що 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 [26].

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 приходу прямої, розсіяної, сумарної сонячної радіації;

- число годин сонячного саява (тривалість сонячного саява);

- 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 $1,5^{\circ}\text{C}$ 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. і детально представлених в розділі 3 «Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации» 2014 [27] (далі RCP4.5 і 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. В табл. 3.1 вони надані згідно свого широтного і довготного положення у напрямку з півдня на північ. Крім того, всі станції віднесено до основних природних зон України: Полісся, Лісостеп, північний та південний Степ.

3.4.1 Просторово-часовий розподіл середнього балу загальної хмарності

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 обумовлено 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 найбільший прихід сумарної радіації, суттєвий вплив на формування режиму хмарності чинять властивості підстильної поверхні, яка обумовлена орографічними особливостями територій. І для визначення потенціалу сонячної енергії необхідно, перш за все, оцінити режим хмарності.

Таблиця 3.1 – Список станцій, дані яких використані в роботі

Станція	Широта φ	Довгота λ	№ з/п	Станція	Широта φ	Довгота λ
Ізмаїл	45.35	28.83	15	Стрий	49.26	23.84
Клепініно	45.53	34.18	16	Хмельницький	49.43	26.99
Одеса	46.48	30.73	17	Черкаси	49.44	32.06
Нова Каховка	46.75	33.36	18	Тернопіль	49.55	25.59
Красноармійське	47.23	37.93	19	Веселий Поділ	49.60	33.26
Пришиб	47.25	35.32	20	Харків	49.99	36.23
Вознесенськ	47.56	31.34	21	Фастів	50.08	29.91
Чернівці	48.29	25.93	22	Рівне	50.62	26.25
Дніпропетровськ	48.48	34.96	23	Коростень	50.96	28.61
Кіровоград	48.51	32.26	24	Ніжин	51.04	31.88
Коломия	48.54	25.04	25	Ковель	51.21	24.71
Ужгород	48.62	22.29	26	Глухів	51.67	33.91
Біловодськ	49.20	39.57	27	Семенівка	52.17	32.59
Вінниця	49.23	28.47				

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 [28].

Зазначимо, що вплив хмарності на прихід сумарної радіації визначається не стільки кількістю і формою хмар, скільки станом сонячного диску, обумовлюючого 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. Прийнято вважати небо ясним, 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 [29 - 30.].

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 дорівнює більше 60%, а влітку вона істотно менша і у липні становить близько 10%.

На рисунках 3.1 та 3.2 наведено просторовий розподіл середнього за центральними місяцями сезонів року числа днів з ясним та похмурим станом неба для сценаріїв RCP4.5 і RCP8.5 за період 2011-2050 рр.

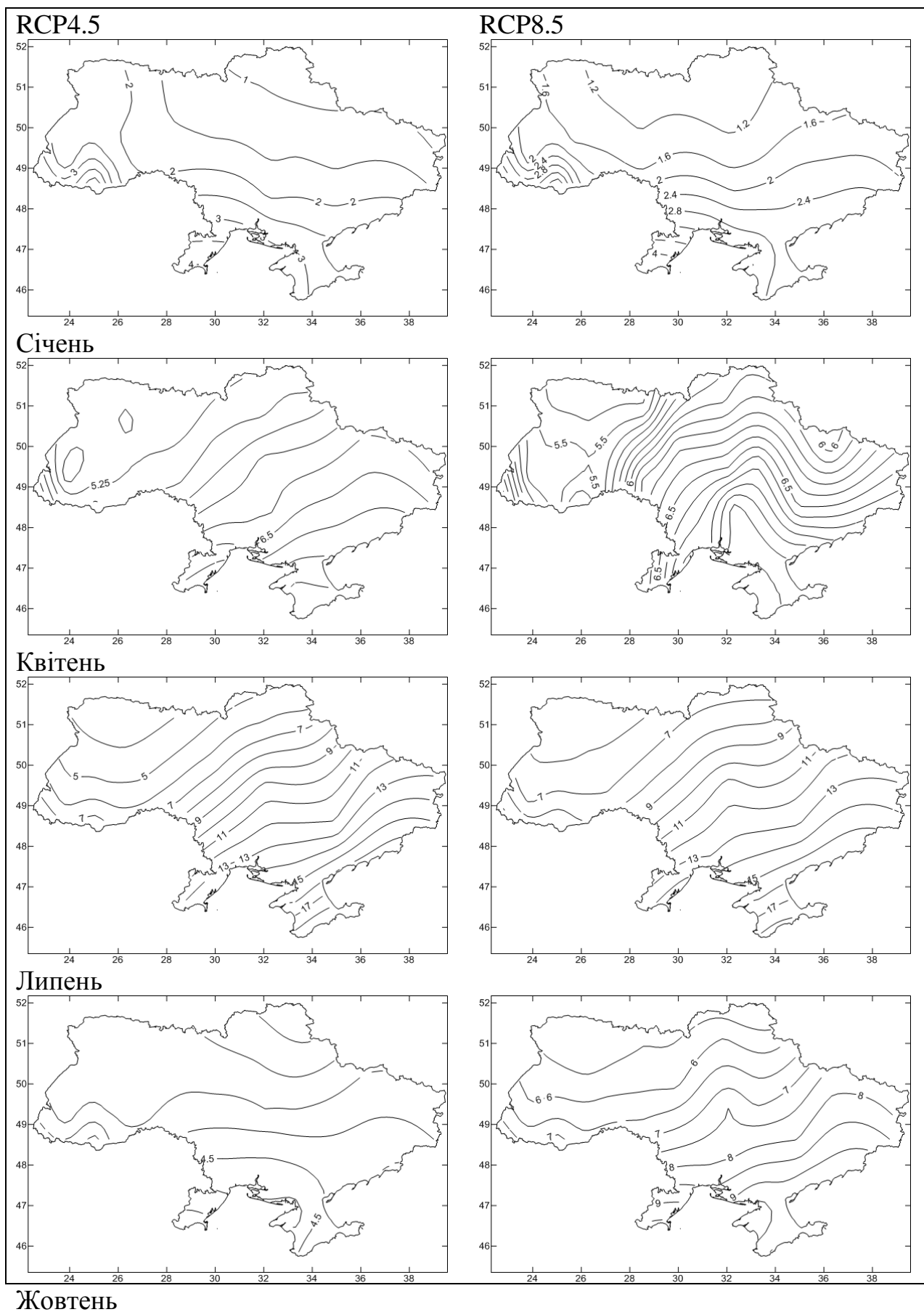


Рисунок 3.1 – Просторовий розподіл середньої кількості днів при ясному стані неба

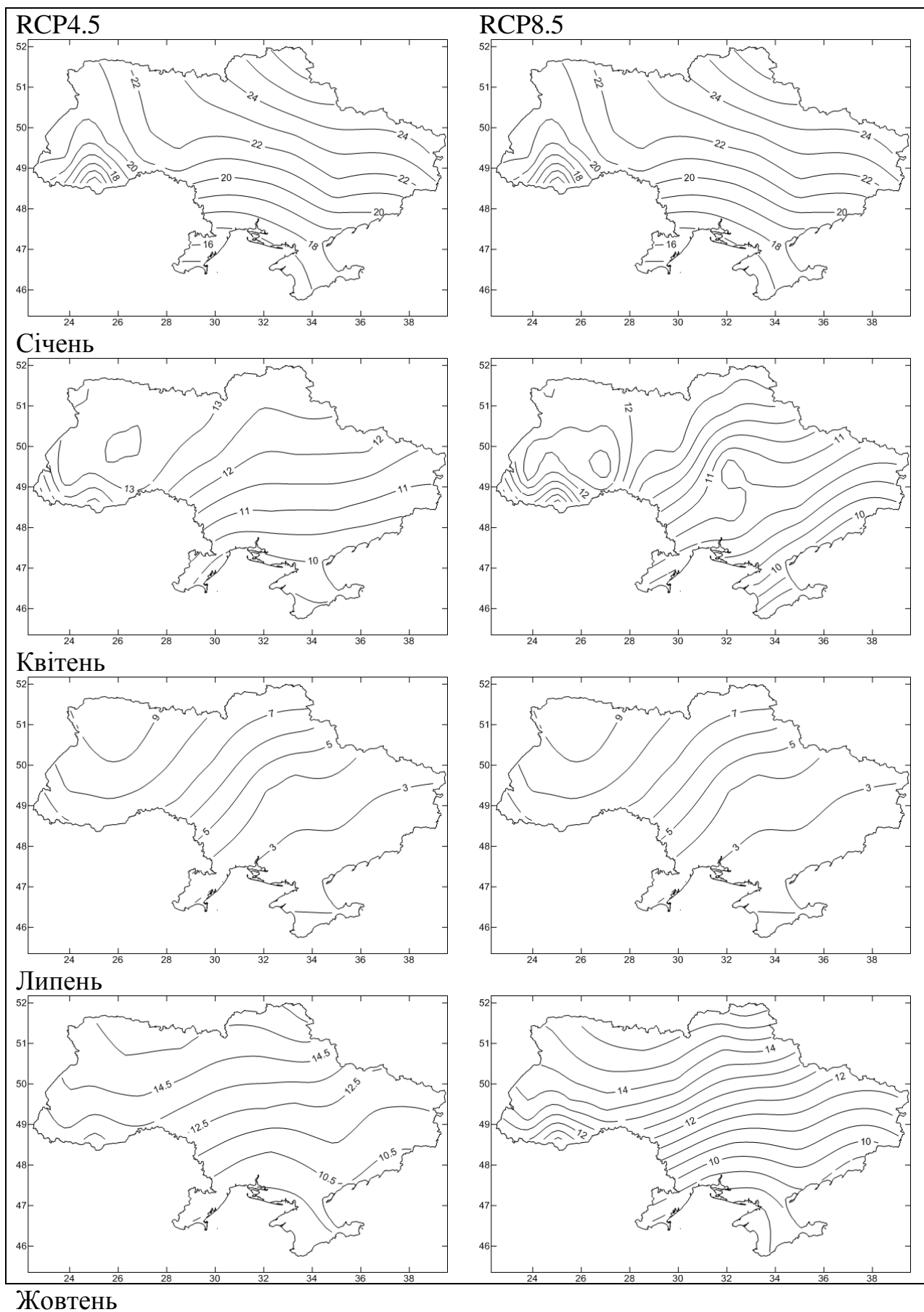


Рисунок 3.2 – Просторовий розподіл середньої кількості днів при похмурому стані неба

Прийнято вважати небо ясним, 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.

Як згадувалось раніше, сумарне за рік число днів з ясним і напівясним станом неба може слугувати 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 доцільно: повсюди число таких днів за рік перевищує 200.

Як згадувалось раніше, сумарне за рік число днів з ясним і похмурим станом неба може слугувати 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 доцільно: 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. 3.3 наведено розподіл кількості днів з різним станом неба в залежності від розташування станцій при різному сценарії при переміщенні з заходу на схід та 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 похмурим станом неба визначається їх режимами в теплий і холодний періоди, дослідження яких дозволяє встановити вклад і роль кожного з них. Для холодного періоду характерним є досить рівномірний просторовий розподіл числа таких днів, що обумовлено переважанням ролі циркуляційного фактору в формуванні режиму хмарності. Коливання їх від найбільших до найменших значень складає 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 ТСС трохи зростає, приблизно від 40 годин на північному заході до 100 годин в Карабі-Яйлі. 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 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.

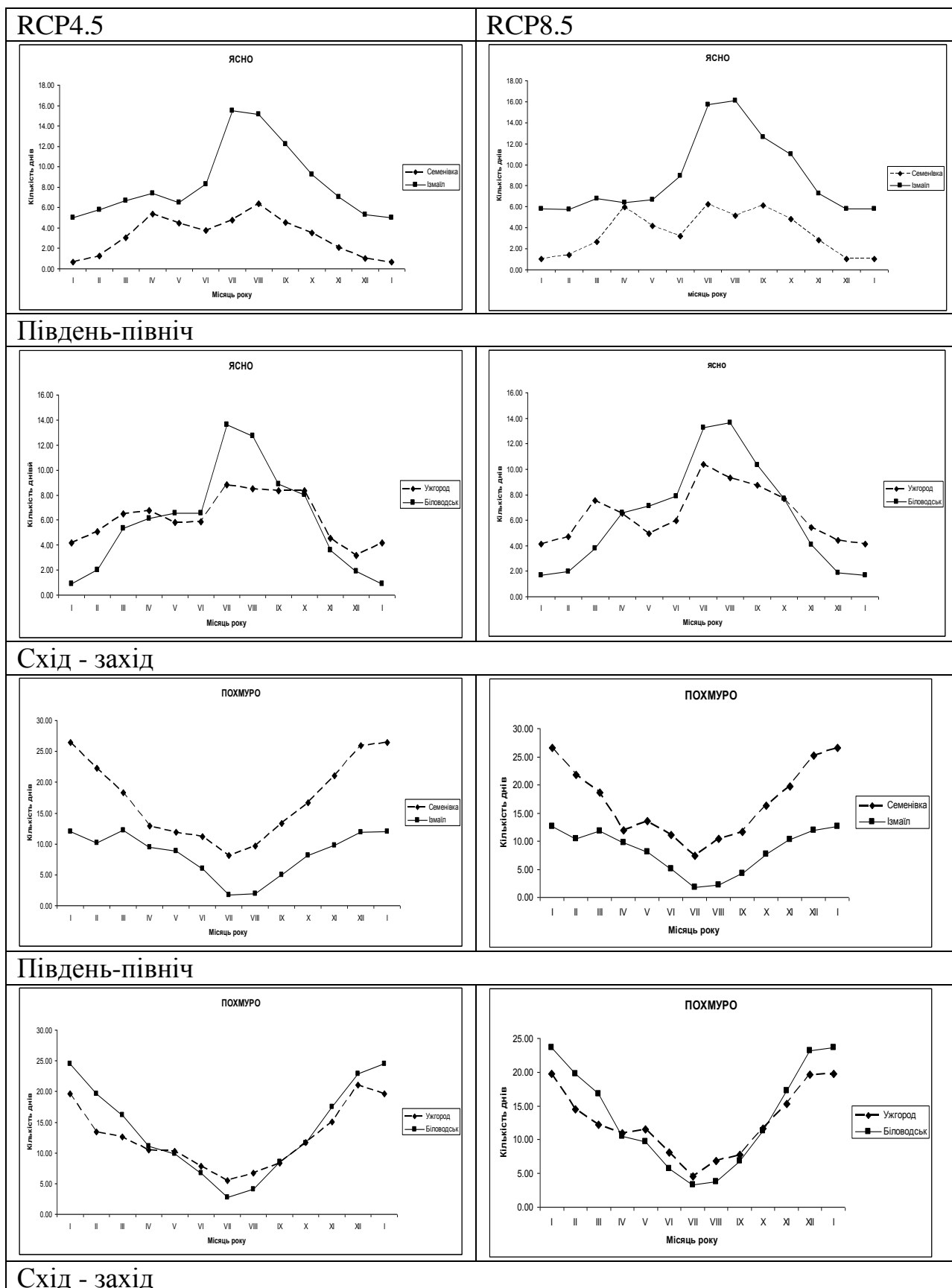


Рисунок 3.3 – Кількість днів при різному стані неба з урахуванням напрямку переміщення

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

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

Для липня і жовтня визначним 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

3.4.2 Загальна характеристика тривалості сонячного саява

Тривалість сонячного саява (ТСС) – одна з важливих характеристик клімату в цілому і радіаційного режиму зокрема.

Неоднорідність підстильної поверхні призводить до мозаїчності у розподілі тривалості сонячного саява у горах. Внаслідок антропогенної діяльності, що спричиняє забруднення атмосфери (міста і великі промислові комплекси), відбувається падіння годин сонячного саява. За рік тривалість сонячного саяву по території України змінюється від величин менших за 1600 годин на північному заході до більш за 2300 на півдні Кримського півострова [31].

Мінімальні для всієї України значення цієї характеристики спостерігаються в грудні (табл. 3.2-3.4), що визначено найменшою тривалістю світлої частини доби (дня) і значною імовірністю похмурого стану неба в цьому місяці. В зоні Полісся тривалість сонячного саява складає 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. Максимальних величин тривалість досягає в Криму – більш за 80 годин (Карабі-Яйла). В цьому місяці фактична тривалість від можливої складає усього 12-20 % (рис.3.4) .

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 і Криму до 120-155 годин, що складає 30–40 % по відношенню до можливої.

Таблиця 3.2 – Тривалість сонячного саява (від сходу до заходу) при ясному небі, години

Станція	Місяць року												Рік
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Семенівка	257.65	277.15	367.51	416.95	486.67	500.38	503.24	440.64	394.53	330.68	264.87	242.00	4482.26
Глухів	260.08	278.34	367.63	415.86	484.32	497.35	500.48	439.07	394.14	331.53	266.86	244.82	4480.49
Ковель	262.16	279.40	367.78	415.00	482.38	494.82	498.14	437.70	393.76	332.20	268.49	247.19	4479.02
Коростень	263.63	280.12	367.84	414.32	480.94	492.99	496.47	436.75	393.54	332.74	269.73	248.91	4477.96
Ніжин	262.43	279.52	367.76	414.83	482.07	494.45	497.82	437.54	393.75	332.34	268.77	247.54	4478.81
Рівне	264.81	280.72	367.92	413.80	479.81	491.54	495.14	435.97	393.33	333.14	270.68	250.27	4477.13
Фастів	266.03	281.32	367.96	413.23	478.62	490.02	493.77	435.19	393.15	333.59	271.70	251.69	4476.27
Стрий	269.93	283.29	368.19	411.50	474.88	485.25	489.37	432.62	392.49	334.96	274.89	256.18	4473.55
Тернопіль	269.20	282.92	368.16	411.83	475.59	486.15	490.20	433.10	392.61	334.69	274.28	255.33	4474.06
Хмельницький	269.37	283.00	368.16	411.75	475.42	485.94	490.01	433.00	392.59	334.76	274.43	255.53	4473.94
Черкаси	269.29	282.95	368.13	411.75	475.45	486.01	490.09	433.06	392.63	334.77	274.40	255.47	4473.98
Веселий Поділ	268.55	282.57	368.08	412.08	476.16	486.91	490.92	433.55	392.75	334.51	273.80	254.61	4474.50
Вінниця	270.32	283.47	368.20	411.31	474.49	484.76	488.93	432.38	392.44	335.11	275.23	256.64	4473.28
Ужгород	272.96	284.82	368.38	410.15	471.98	481.57	485.97	430.63	391.98	336.02	277.36	259.65	4471.48
Коломия	273.29	284.98	368.38	409.99	471.65	481.16	485.61	430.43	391.93	336.15	277.65	260.04	4471.25
Чернівці	273.34	285.00	368.38	409.96	471.60	481.09	485.55	430.39	391.93	336.17	277.70	260.10	4471.22
Кіровоград	273.16	284.89	368.34	410.01	471.73	481.29	485.75	430.53	391.99	336.15	277.58	259.91	4471.33
Вознесенськ	276.49	286.58	368.53	408.50	468.53	477.24	482.02	428.34	391.43	337.34	280.33	263.74	4469.08
Пришиб	277.50	287.08	368.57	408.02	467.54	476.01	480.89	427.68	391.28	337.72	281.18	264.92	4468.40
Красноармійське	277.60	287.13	368.56	407.96	467.43	475.87	480.78	427.62	391.28	337.78	281.28	265.04	4468.33
Одеса	280.48	288.61	368.76	406.69	464.70	472.42	477.57	425.71	390.76	338.78	283.62	268.32	4466.43
Нова Каховка	278.95	287.82	368.66	407.38	466.16	474.27	479.28	426.73	391.03	338.24	282.37	266.57	4467.44
Ізмаїл	284.12	290.47	368.97	405.05	461.22	468.06	473.53	423.31	390.15	340.09	286.62	272.47	4464.07
Клепиніне	283.44	290.11	368.91	405.33	461.85	468.86	474.28	423.77	390.29	339.87	286.09	271.71	4464.50
Харків	270.75	283.67	368.19	411.07	474.02	484.21	488.45	432.12	392.40	335.31	275.63	257.16	4472.97
Біловодськ	270.29	283.42	368.14	411.26	474.44	484.76	488.96	432.43	392.50	335.17	275.27	256.65	4473.28
Дніпропетровськ	272.87	284.74	368.31	410.12	471.99	481.62	486.07	430.72	392.05	336.06	277.37	259.60	4471.52

Таблиця 3.3 - Тривалість сонячного сяйва, години. Сценарій RCP 4.5

Станція	Місяць року												Рік
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Семенівка	37.58	56.42	150.99	237.42	299.31	314.53	371.47	302.67	219.14	152.71	79.33	39.68	2261.25
Глухів	34.40	52.69	142.60	235.66	293.71	314.58	379.80	309.12	227.62	151.33	79.17	40.08	2260.75
Ковель	91.26	105.77	176.22	235.72	282.70	299.67	349.39	287.85	235.97	169.40	110.45	71.43	2415.83
Коростень	70.16	92.04	174.13	230.98	291.66	314.28	363.14	301.85	235.47	165.30	103.17	63.63	2405.81
Ніжин	53.97	76.87	170.24	241.64	305.57	322.22	388.22	318.98	238.88	171.53	94.07	54.30	2436.47
Рівне	83.07	100.26	180.70	228.28	277.83	298.20	345.00	283.38	231.74	167.11	109.85	70.64	2376.05
Фастів	73.59	88.66	173.89	236.92	285.63	320.97	382.67	326.74	245.72	184.01	108.00	68.20	2495.00
Стрий	94.46	108.30	183.76	227.02	273.61	310.51	364.45	302.78	238.18	180.24	120.99	78.26	2482.56
Тернопіль	95.09	111.90	184.08	226.17	274.61	310.33	354.60	298.63	239.82	181.65	117.26	76.80	2470.94
Хмельницький	82.33	104.36	179.63	227.49	272.21	303.71	363.95	300.65	236.53	181.69	118.92	77.28	2448.75
Черкаси	79.48	99.54	184.95	250.82	320.55	358.43	425.66	353.78	274.18	198.70	122.34	80.97	2749.41
Веселий Поділ	73.63	94.86	185.23	248.96	318.72	347.74	432.33	346.49	269.04	198.82	116.36	75.97	2708.15
Вінниця	80.22	106.05	181.73	238.90	277.04	314.29	376.95	324.28	253.78	191.34	123.62	74.92	2543.12
Ужгород	100.16	148.26	218.65	267.63	315.16	356.36	399.36	337.91	283.20	209.47	138.22	83.55	2857.92
Коломия	155.82	159.54	207.36	251.12	288.70	320.77	377.13	316.57	262.92	207.38	159.19	134.84	2841.34
Чернівці	121.90	141.74	196.37	241.20	280.68	317.52	381.78	321.41	263.25	200.35	139.77	105.72	2711.68
Кіровоград	99.35	121.08	193.67	258.31	310.05	352.55	432.48	373.24	297.91	219.85	138.79	93.69	2890.97
Вознесенськ	122.41	146.62	206.85	270.29	320.04	363.90	433.82	384.81	308.25	232.87	158.38	112.30	3060.56
Пришиб	113.24	130.98	202.12	274.06	335.19	371.28	441.72	392.85	322.15	225.51	146.68	98.49	3054.28
Красноармійське	111.71	133.57	205.38	276.05	343.41	392.59	455.57	399.35	324.43	236.44	157.99	101.53	3138.03
Одеса	148.16	169.30	228.99	287.74	331.29	383.84	445.99	394.12	320.75	241.24	171.36	134.59	3257.36
Нова Каховка	127.33	142.63	215.25	275.66	328.19	369.14	445.26	403.33	323.91	240.58	155.54	107.92	3134.72
Ізмаїл	174.14	185.18	223.76	277.46	330.30	374.84	447.56	396.68	324.80	250.40	193.47	167.88	3346.46
Клепиніне	127.09	138.32	209.45	279.34	340.42	380.55	450.18	405.32	334.67	240.38	149.72	110.88	3166.32
Харків	60.70	89.41	175.78	245.27	315.38	356.70	432.51	365.90	280.90	204.70	115.53	67.40	2710.18
Біловодськ	56.24	84.77	176.35	259.43	324.08	376.09	445.19	375.93	281.29	210.29	114.92	67.06	2771.65
Дніпропетровськ	82.61	107.14	188.60	258.92	331.03	366.30	438.47	377.54	288.17	211.60	124.97	83.04	2858.39

Таблиця 3.4 – Тривалість сонячного сйва, години. Сценарій RCP 8.5

Станція	Місяць року												Рік
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Семенівка	36.78	61.86	147.30	251.91	273.16	315.24	383.11	291.75	241.65	156.54	90.94	45.08	2295.31
Глухів	38.17	58.90	136.67	250.56	280.44	312.09	385.45	300.62	247.65	167.90	94.29	41.07	2313.82
Ковель	88.58	106.27	186.86	249.35	273.09	286.17	371.59	278.15	241.18	177.89	113.22	75.75	2448.10
Коростень	62.08	86.79	182.44	250.66	276.15	302.36	375.56	297.97	255.47	170.40	109.24	67.45	2436.56
Ніжин	47.97	80.20	172.41	252.59	298.57	323.59	395.58	312.39	272.13	179.75	101.24	59.09	2495.50
Рівне	80.73	99.51	184.26	247.25	263.51	289.60	368.56	286.90	246.16	176.24	113.24	75.48	2431.41
Фастів	60.71	99.47	188.73	249.32	280.99	327.09	391.03	322.53	268.98	183.21	112.53	73.07	2557.66
Стрий	85.33	108.76	190.33	242.10	275.74	302.07	375.31	301.09	260.68	190.71	120.26	82.84	2535.23
Тернопіль	84.02	111.40	187.34	241.61	263.11	298.58	371.60	295.84	252.91	189.21	117.26	81.75	2494.61
Хмельницький	77.12	104.10	185.86	239.50	275.28	300.07	366.32	307.99	257.15	187.63	120.98	78.10	2500.09
Черкаси	68.63	107.12	198.71	265.81	308.28	365.04	418.42	355.29	296.21	205.18	127.14	82.13	2797.96
Веселий Поділ	68.65	102.43	191.16	262.36	304.90	355.45	419.26	349.99	288.35	205.29	119.79	73.51	2741.13
Вінниця	78.48	108.58	185.29	251.58	283.54	325.19	389.17	328.47	273.73	193.77	123.85	82.16	2623.83
Ужгород	99.06	137.83	222.81	260.79	296.51	351.14	414.25	335.13	290.06	209.74	136.37	95.07	2848.76
Коломия	154.72	154.70	215.98	260.00	297.45	313.15	380.26	321.78	277.29	221.48	168.44	135.26	2900.51
Чернівці	118.82	134.61	199.94	251.10	287.52	317.12	375.13	325.92	278.92	215.26	147.64	110.96	2762.94
Кіровоград	92.52	127.95	204.37	260.36	298.26	367.38	431.69	372.55	310.65	223.10	143.42	92.23	2924.47
Вознесенськ	116.17	148.15	218.15	264.85	314.75	373.44	436.54	378.25	325.54	236.95	160.95	114.22	3087.96
Пришиб	111.00	136.36	211.33	273.72	320.11	397.46	451.80	385.26	329.33	235.59	159.34	104.26	3115.57
Красноармійське	113.95	129.72	211.33	281.49	340.02	417.58	452.08	394.52	338.13	249.79	158.92	107.51	3195.04
Одеса	144.31	167.76	228.69	270.45	328.29	389.75	445.99	390.00	336.06	249.71	171.36	136.97	3259.33
Нова Каховка	127.78	154.45	218.52	270.57	322.93	395.62	450.29	393.35	331.07	248.50	169.66	118.88	3201.59
Ізмаїл	169.10	182.32	229.42	273.41	340.71	389.27	446.79	393.27	334.56	255.34	188.93	167.44	3370.55
Клепиніне	115.20	143.50	213.31	282.38	331.49	407.90	455.16	396.09	333.05	243.39	156.16	110.66	3188.29
Харків	64.63	93.96	185.28	260.35	307.35	376.07	428.97	362.42	302.15	206.86	121.73	67.61	2777.38
Біловодськ	63.87	83.51	168.93	266.97	325.22	392.65	436.52	379.42	302.55	213.26	117.45	64.99	2815.34
Дніпропетровськ	83.18	112.88	202.27	265.21	309.46	384.50	434.32	375.49	308.08	220.88	131.06	84.16	2911.49

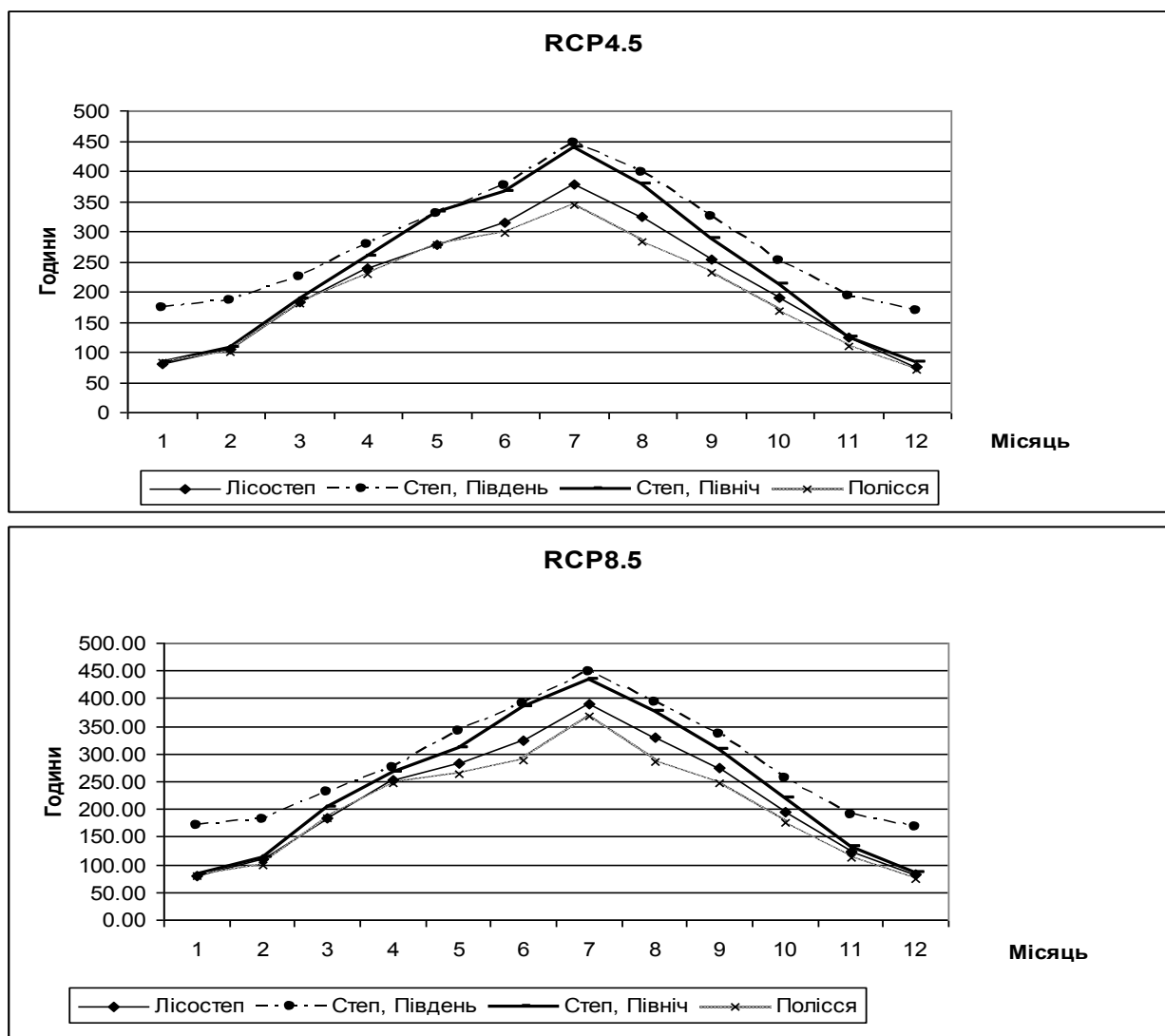


Рисунок 3.4 – Тривалість сонячного сяйва

Максимальних значень місячна тривалість сонячного сяйва 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), а в Криму до 350 годин. Це визначено найбільшою тривалістю дня і найбільшим числом ясних і напівясних днів в порівнянні з іншими місяцями.

Безперервна тривалість сонячного сяйва, що 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 сяйва за день з Сонцем збільшується до 9–10 год,

починаючи з півночі, і до 11 год у Криму. Виняток становлять гірські райони Українських Карпат, де він дещо підвищується у літні місяці (до 7 год), проте за мінімальними значеннями в окремі роки майже удвічі менший необхідного рівня.

3.4.3 Загальна характеристика радіаційного режиму на території України

Як відомо, актинометрична мережа дуже рідкісна і за даними актинометричних станцій неможливо дати детальне просторовий розподіл радіаційних характеристик у межах окремих областей. Тому для аналізу просторового розподілу складових радіаційного балансу використовувалися дані NASA Surface meteorology and Solar Energy (The Atmospheric Science Data Center at NASA Langley Research Center) за період 1986 – 2005 [28].

Наявність у нашому розпорядженні кліматичних даних за 1986-2005 рр. та сценарних даних за відрізок часу в сто років (2011 – 2050 рр.) дозволило 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. Це дало можливість зробити попередню оцінку часового розподілу сумарної радіації у різних регіонах України (рис.3.5).

У розглянутому інтервалі часу спостерігаються помітні коливання величини сумарної радіації від року до року (рис. 3.6).

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 знизилися до $41,3 \text{ Вт/м}^2$, а в період з 2011 по 2050 рр., коли накреслюється 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 сценарних даних зміни у режимі сонячної радіації на території України до 2050 р. можуть відбуватися у напрямку зменшення у надходженні сонячної радіації до підстильної поверхні. Але протягом першій половині XXI сторіччя у характері цих змін можливі деякі особливості.

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

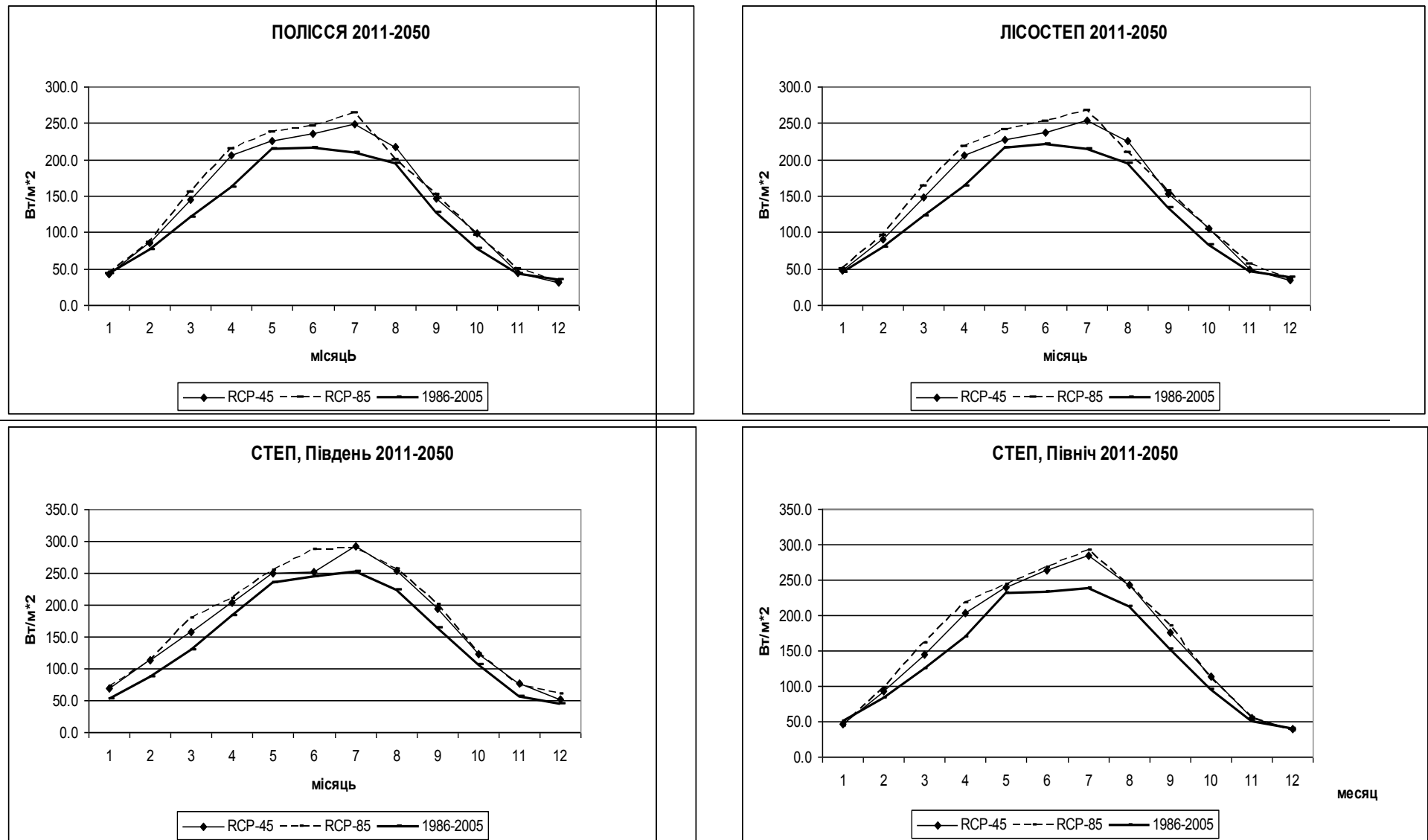


Рисунок 3.5 – Середня добова за місяць короткохвильова радіація, Вт/м²

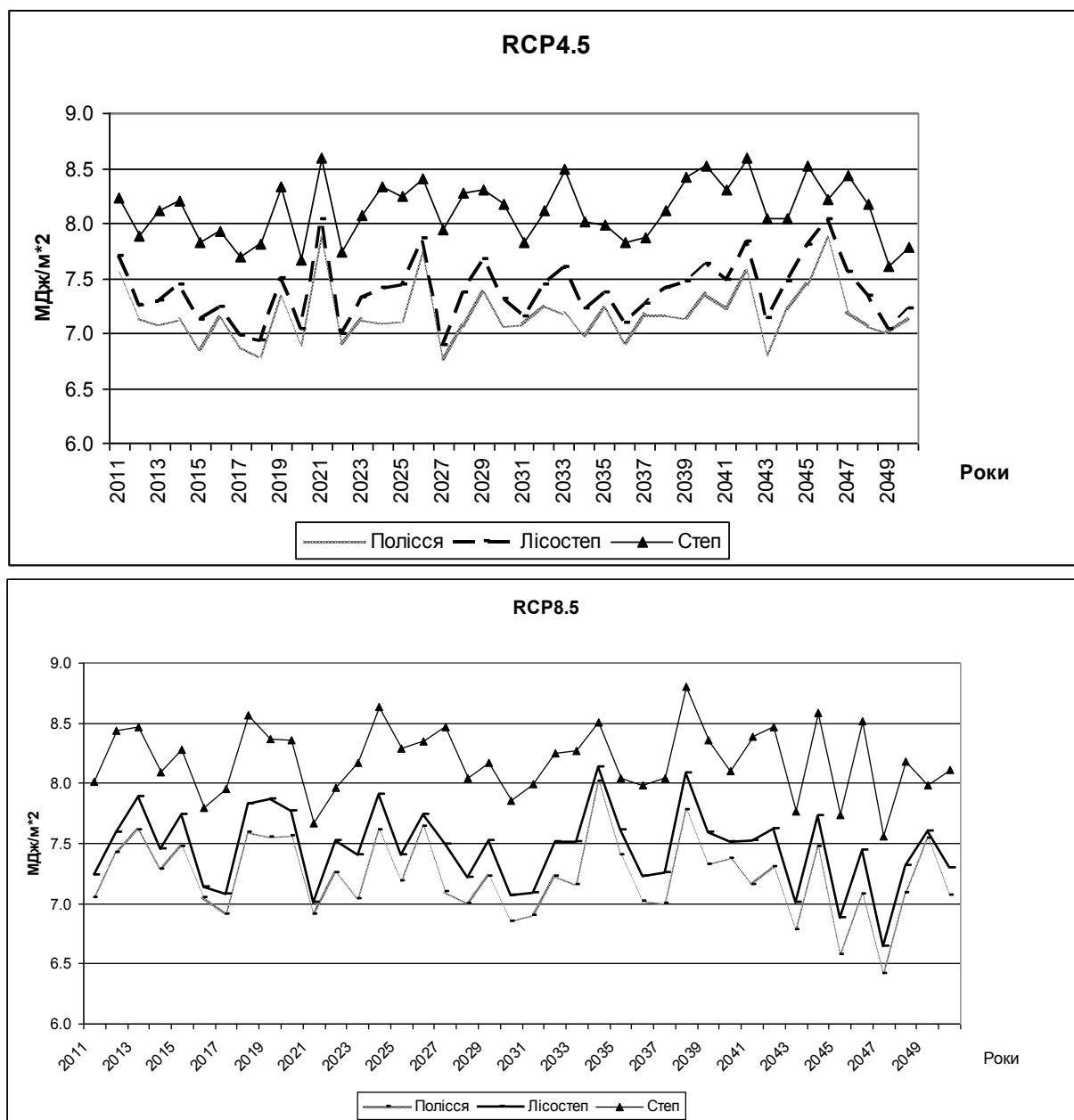


Рисунок 3.6 – Часовий розподіл середньої добової короткохвильової радіації

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 однакове. 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 рідкісні, 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 за звичайними, надходжень сонячної радіації.

3.4.4 Умови ефективного застосування сонячних електроенергетичних систем

Найбільшу кількість енергії від Сонця можна отримати при використанні системи, кут нахилу якої змінюється відповідно до положення Сонця. Вона збільшує річне надходження сонячної радіації в середньому на 35 % порівняно з нерухомою поверхнею, нахиленою на оптимальний кут для року і на 40 % для кута, що дорівнює широті місцевості. За такими кутами нахилу приймальної поверхні, при однаковій широті місцевості, річне виробництво енергії становить для фотоінтегратора від 80 до 200 кВт год/м², а для плоского колектора – від 200 до 900 кВт год/м².

Для конструювання сонячних енергетичних установок з рухомою поверхнею необхідно використовувати значення сумарної радіації, яка надходить на поверхню, нахилену на оптимальний кут для кожного місяця, та на поверхню, нахилену на кут, що дорівнює широті місцевості, а також оцінку ефективності роботи різних сонячними енергетичними установками (СЕУ) за даними про кількість виробленої енергії.

За даними розподілу річної суми сумарної радіації за 2001–2014 рр. перспективною для геліоенергетики можна вважати значну частину території країни, де показники сумарної радіації перевищують 4000 МДж/м², а на півдні та в Криму – наближаються до максимальних значень щодо сонячних ресурсів [26]. Підтвердженням перспективності використання сонячних електричних станцій, що можуть бути конкурентоспроможними відносно ТЕС і АЕС, є розподіл тривалості сонячного сяйва вище 2000 год за рік у Степу, в Криму і на Закарпатті.

Геліоенергетика також має перспективу розвитку у Закарпатті. Умови для використання енергії сонячного випромінювання особливо сприятливі в низинній зоні. Кількість сонячного сяйва в Закарпатській низовині в середньому на рік – 2025 год. тобто майже половина максимально можливої (4450 год.). Це на 30 % більше, ніж у гірській зоні. Правда, середня тривалість дня взимку 8.5 год., тоді як влітку – 15,5 години. Отже, розвиток сонячної енергетики в області перспективний, насамперед, для потреб населення і комунального сектора, які є найбільшими споживачами тепла і електроенергії.

Наближеною до них можна вважати і територію східного Лісостепу із значеннями тривалості сонячного саява вище 1900 год. Обмеження для їх запровадження стосується західного Лісостепу і гірських районів Українських Карпат.

Вибір оптимальної орієнтації сонячних панелей є одним з найважливіших питань при практичному використанні сонячних установок будь-якого типу. На жаль, на різних сайтах, присвячених сонячній енергії, цей аспект розглядається дуже мало, хоча нехтування ним здатне знизити ефективність панелей до неприйняттого рівня.

Справа в тому, що кут падіння променів на поверхню сильно впливає на коефіцієнт відбиття, а отже, на частку несприйнятої сонячної енергії. Наприклад, для скла при відхиленні кута падіння від перпендикуляра до його поверхні до 30° коефіцієнт відбиття практично не змінюється і становить трохи менше 5 %, тобто більше 95 % падаючого випромінювання проходять всередину. Далі зростання відображення стає помітним, і до 60° частка відбитого випромінювання збільшується удвічі — майже до 10 %. При куті падіння 70° відображається близько 20% випромінювання, а при 80° — 40 %. Для більшості інших речовин залежність ступеня відбиття від кута падіння має приблизно той же характер.

Ще важливіше так звана ефективна площа панелі, тобто перекривається нею переріз потоку випромінювання. Вона дорівнює реальній площі панелі, помноженої на синус кута між площиною і напрямком потоку (або, що те ж саме, на косинус кута між перпендикуляром до панелі і напрямком потоку). Тому, якщо панель перпендикулярна потоку, її ефективна площа дорівнює її реальній площі, якщо потік відхилився від перпендикуляра на 60° — половині реальній площі, а якщо потік паралельний панелі і промені ковзають уздовж її поверхні, ефективна площа панелі дорівнює нулю. Таким чином, суттєве відхилення потоку від перпендикуляра до панелі не тільки збільшує відображення, але і знижує її ефективну площу, що обумовлює дуже помітне падіння виробітку.

Очевидно, що для наших цілей найбільш ефективна постійна орієнтація панелі перпендикулярно потоку сонячних променів. Але це зажадає зміни положення панелі в двох площинах, оскільки положення Сонця на небі залежить не тільки від часу доби, але і від пори року. Хоча така система, безумовно, технічно можлива, вона виходить досить складною, а тому дорогий і не надто надійною.

У зв'язку з усім вищевикладеним, практично завжди панелі індивідуальних сонячних установок монтуються нерухомо, що забезпечує відносну дешевизну і високу надійність установки. Однак тут особливо важливим стає вибір кута розміщення панелі.

Найкраще солярна система працює, коли вона спроектована з урахуванням реальних місцевих умов (проведення розрахунків, розміщення колекторів і спосіб використання), на підставі таких вихідних даних:

- кількості 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 обумовлює 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 30° до 60° відносно горизонту, в літні місяці більш вигідний кут 30° , а в зимові — 60° .

- затінення колекторів небажано, короткочасне затінення допускається в ранкові години;

- 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.

Із збільшенням хмарності інсоляція значно зменшується, хоча основна частина розсіяної радіації разом з прямої складової сонячного випромінювання, що досягає поверхні землі. В умовах суцільної хмарності на землю в середньому передається близько половини падаючої сонячної радіації.

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

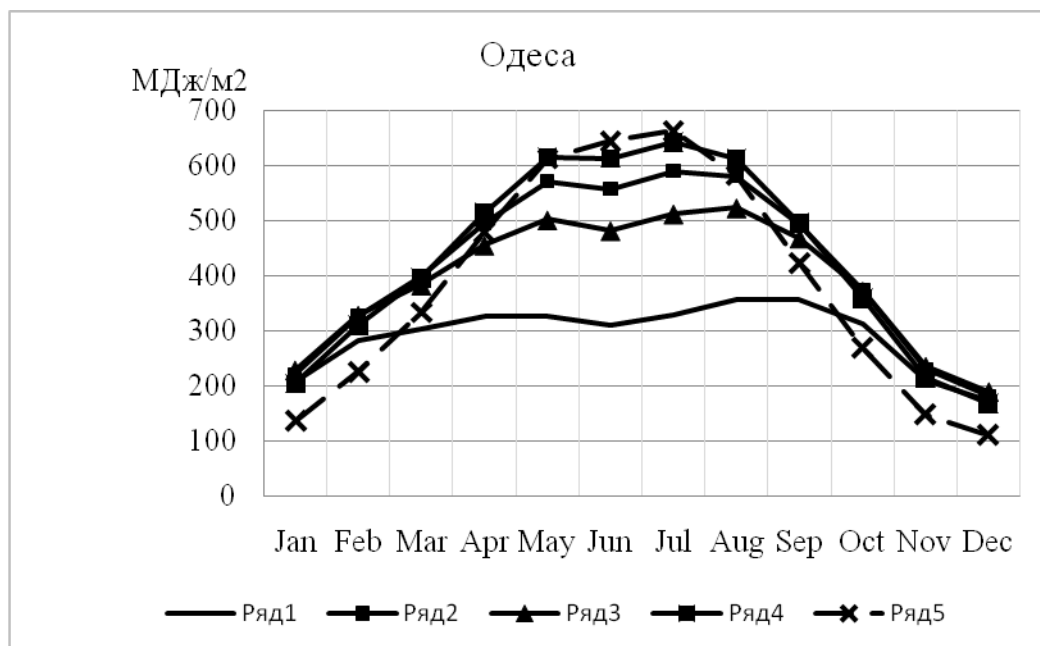
Морські (денні) бризи виносять велику кількість сольового аерозолі в атмосферу — на сотні кілометрів від берега, який різко збільшує розсіювання і поглинання частинками аерозолі сонячних променів (аерозольне ослаблення). При цьому, оскільки берегової (нічний) бриз завжди слабкіше морського, то він не повертає в море аерозоль верхніх шарів атмосфери, що були днем занесені вітром вглиб узбережжя.

Розглянемо діаграми для різних кутів установки панелей (рис. 3.7), для населених пунктів, що розташовані в центральних областях Південного Степу (Одеса), Лісостепу (Вінниця), Полісся (Львів), Північного Степу (Кіровоград).

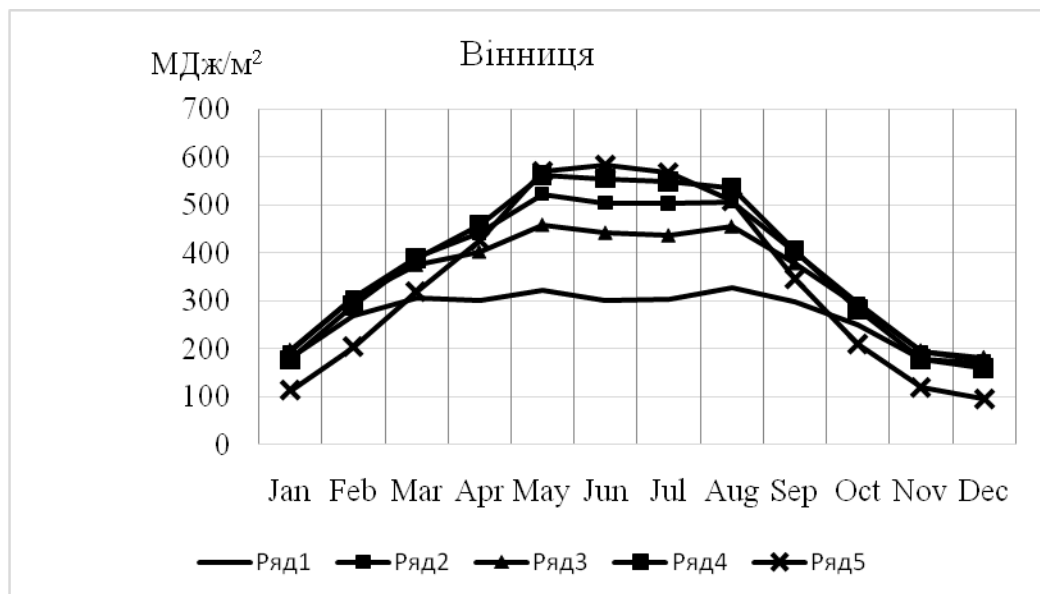
Звичайно, панель, що повертається слідом за Сонцем, поза конкуренцією. Однак навіть у довгі літні дні її ефективність перевищує ефективність нерухомих горизонтальної (ряд 5). А ось в найбільш енергодефіцитний період з жовтня по лютий перевага поворотній панелі над нерухомими мінімальна і практично невідчутна. Правда, в цей час перевага похилій панелі становить не горизонтальна, а вертикальна панель (ряд 1). І

це не дивно — низькі промені зимового сонця ковзають по горизонтальній панелі, але добре сприймаються майже перпендикулярно їм вертикальній.

а)



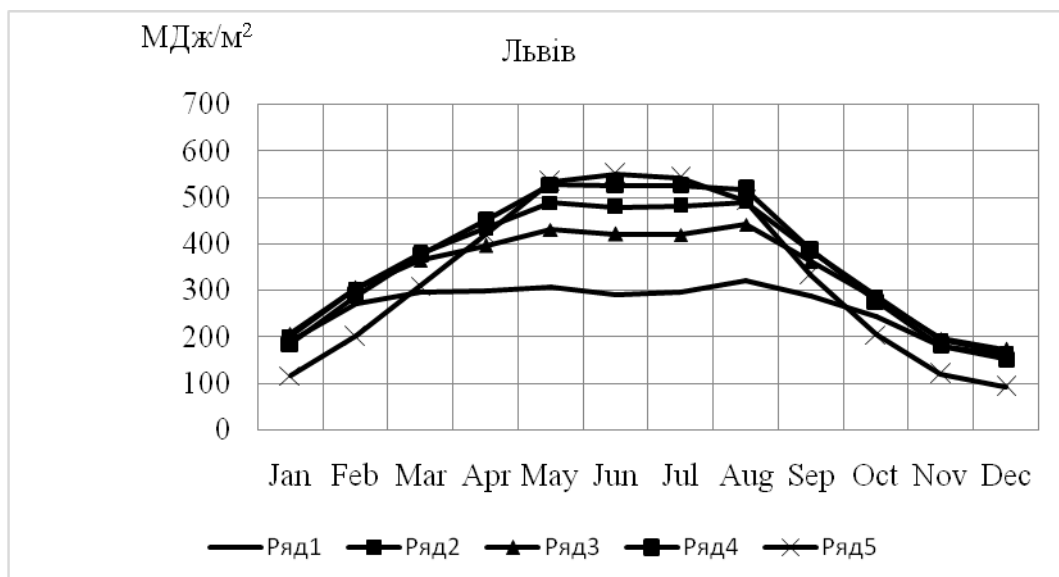
б)



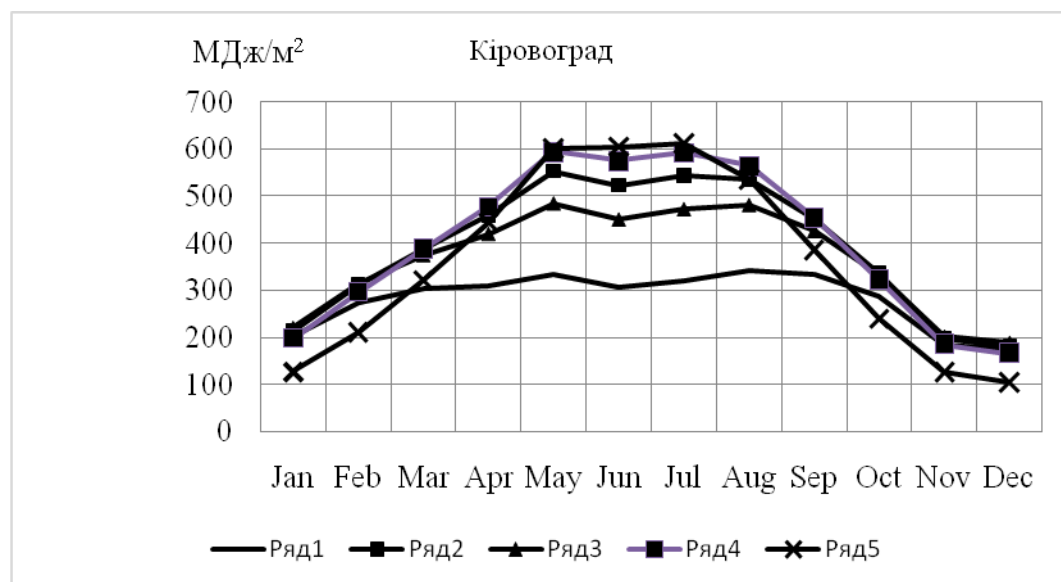
ряд 1 – вертикальна поверхня; ряд 2 – оптимальний кут на протязі року;
 ряд 3 – кращий кут зимою; ряд 4 – кращий кут літом;
 ряд 5 – горизонтальна поверхня.

Рисунок 3.7 – Сприйняття сонячної енергії панелями різної орієнтації, аркуш 1

в)



г)



ряд 1 – вертикальна поверхня; ряд 2 – оптимальний кут на протязі року;
 ряд 3 – кращий кут зимою; ряд 4 – кращий кут літом;
 ряд 5 – горизонтальна поверхня.

Рисунок 3.7, аркуш 2

Тому в лютому, листопаді і грудні вертикальна панель за своєю ефективністю перевершує навіть похилу і майже не відрізняється від поворотною. І лише в період довгих днів з квітня по серпень горизонтальна панель з отриманої енергії випереджає вертикальну і наближається до похилої, а в червні навіть трохи перевершує її.

Якщо ж врахувати, що при кутах падіння понад 60° частка відбитого від поверхні панелі світла починає стрімко зростати, а її ефективна площа скорочується в два рази і більше, то час ефективного сприйняття сонячного випромінювання для такої панелі не перевищує 8 годин — тобто менше 50% від загальної тривалості дня. Саме цим пояснюється факт стабілізації

продуктивності вертикальних панелей на протязі всього періоду довгих днів — з березня по вересень. І нарешті, трохи осібно стоїть січень — в цьому місяці продуктивність панелей всіх орієнтацій практично однакова. Справа в тому, що цей місяць в дуже похмурий, і більше 80% всієї сонячної енергії припадає на розсіяне випромінювання, а для такого випромінювання орієнтація панелі не надто важлива (головне, не направити її в землю).

В табл. 3.5 наведені кути нахилу панелі найбільш рентабельні для регіонів України літом, зимою та оптимальний на протязі всього року.

Таблиця 3.5 – Кути орієнтації сонячної панелі

Станція	Кут нахилу поверхні, град		
	Оптимально, рік	Зима	Літо
Лісостеп			
Вінниця	41	26	56
Київ	40	25	55
Полтава	40	25	55
Суми	39	24	54
Тернопіль	40	25	55
Харків	40	25	55
Хмельницький	41	26	56
Черкаси	41	26	56
Чернівці	42	27	57
Полісся			
Житомир	40	25	55
Івано-Франківськ	41	26	56
Луцьк	39	24	54
Львів	40	25	55
Рівне	39	24	54
Чернігів	38	23	53
Північний Степ			
Горлівка	42	27	57
Дніпропетровськ	42	27	57
Донецьк	42	27	57
Кіровоград	42	27	57
Кривий Ріг	41	26	56
Луганськ	41	26	56
Південний Степ			
Запоріжжя	42	27	57
Маріуполь	43	28	58
Миколаїв	43	28	58
Одеса	44	29	59
Севастополь	45	30	60
Сімферополь	45	30	60
Херсон	43	28	58

На наступному етапі були розраховані значення можливого збереження, резервування та перерозподілу енергопостачання, коли сонячна

електростанція може використовуватися в якості єдиного джерелі електричного струму.

В якості вхідної інформації були взяті наступні дані:

- необхідна потужність сонячної станції – 7,5 кВт;
- споживання енергії зимою – 700 кВт/місяць;
- споживання енергії в літні місяці – 200 кВт/місяць;
- кут нахилу поверхні сонячної батареї, обирався згідно таблиці 3.5.

На рисунку 3.8 схема перерозподілу електроенергії, що виробляється сонячними батареями за вищенаведених умов. Зона **II** – некомпенсована енергія. Цей надлишок енергії можна продавати за «зеленим тарифом».

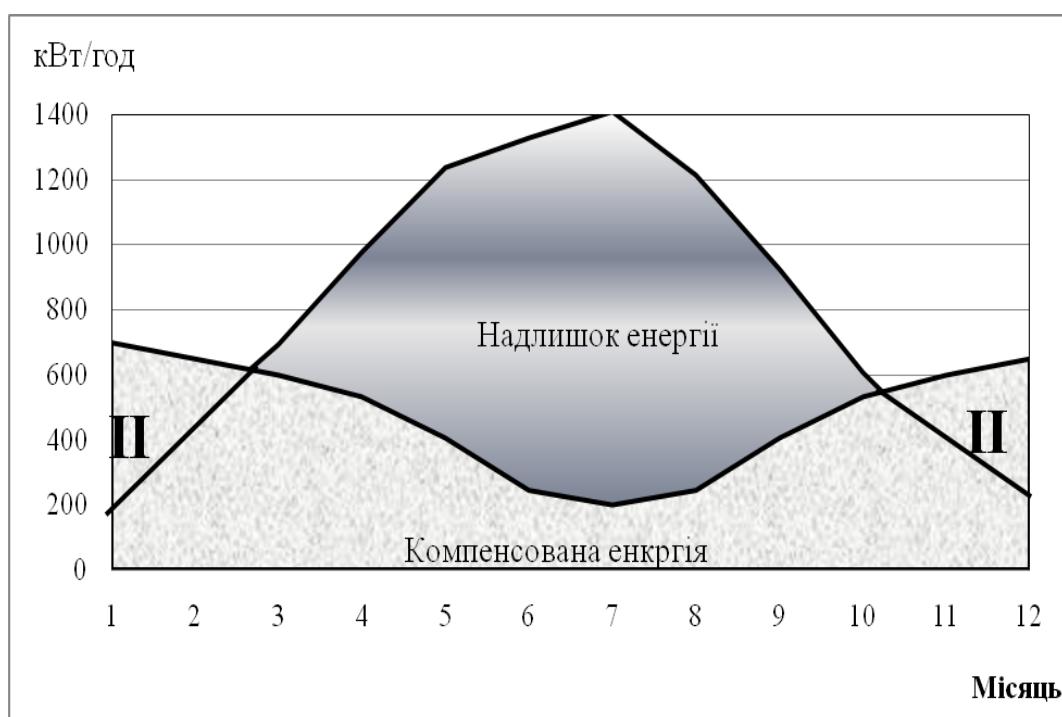


Рисунок 3.8 – Схема перерозподілу електричної енергії, що виробляється сонячною електростанцією

Розрахунки проводилися для станцій з урахуванням орієнтації сонячних батарей за напрямками горизонту: схід-південь-захід через 22,5 градуси. Виявилось, що краще за все встановлювати модулі сонячних батарей незалежно від куту нахилу в межах 157,5 – 202,5 градуси горизонту, тобто – на південь.

В таблиці 3.6 наведені дані про кількість електричної енергії, що виробляється за модельних умов, її перерозподіл.

Таблиця 3.6 - Виробка електричної енергії сонячними панелями, кВт·год

Параметр	Місяць року												Рік	Не компенсована електроенергія станцією, кВт·год	Компенсована електроенергія станцією, кВт·год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII			
Споживана енергія	700	650	600	533	406	245	200	245	406	533	600	650	5768		
Область															
Кримська	289	468	693	977	1237	1328	1409	1214	925	607	352	243	9742	1248	4520
Одеська	284	480	700	996	1285	1332	1373	1212	894	573	309	238	9674	1291	4477
Запорізька	275	455	662	956	1179	1302	1339	1179	881	555	288	216	9384	1370	4400
Донецька	276	453	670	924	1249	1265	1290	1180	836	510	280	219	9129	1395	4373
Дніпропетровська	276	453	670	924	1249	1265	1300	1157	834	517	273	219	9163	1395	4373
Кіровоградська	274	455	675	928	1247	1252	1270	1122	814	511	260	219	9017	1424	4344
Харківська	271	461	700	894	1227	1245	1268	1113	798	479	271	205	8926	1446	4322
Закарпатська	258	436	684	920	1144	1212	1193	1190	760	460	272	201	8650	1505	4263
Сумська	258	441	700	910	1203	1215	1228	1066	728	452	251	198	8643	1535	4233
Вінницька	244	672	895	1186	1211	1179	1069	733	450	251	205	205	8528	1550	4218
Київська	244	427	674	905	1199	1193	1199	1214	1067	713	233	198	8493	1590	4178
Рівненська	231	414	647	885	1162	1182	1139	1047	691	428	238	185	8249	1637	4131
Волинська	283	404	647	894	1155	1162	1130	1041	688	419	240	181	8195	1655	4113
Львівська	247	419	645	865	1069	1105	1105	1018	687	423	243	190	8016	1611	4157

3.5 Оцінка вразливості геліоенергетичних ресурсів від екстремальних умов клімату

Як зазначалось вище, найкраще солярна система працює, коли вона спроектована з урахуванням реальних місцевих умов, на підставі таких вихідних даних: кількості сонячних годин і інтенсивність сонячного випромінювання змінюється в залежності від забруднення атмосфери.

Кількість сонячної радіації, що досягає поверхні Землі, залежить від різних атмосферних явищ та від положення Сонця як протягом дня, так і протягом року. Хмари - основне атмосферне явище, що 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 відрізнятися. Наприклад, гори можуть отримати менше сонячного випромінювання, ніж прилеглі передгір'я і на 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 відрізнятися 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.

Із збільшенням хмарності інсоляція значно зменшується, хоча основна частина розсіяної радіації разом з прямої складової сонячного випромінювання, що досягає поверхні землі. В умовах суцільної хмарності на землю в середньому передається близько половини падаючої сонячної радіації.

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, 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 хмар, сонячні батареї будуть отримувати прямі сонячні промені плюс відбите світло хмар! Таким чином, вони отримують навіть більше світла, ніж у ясний день.

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

Морські (денні) бризи виносять велику кількість сольового аерозолі в атмосферу — на сотні кілометрів від берега, який різко збільшує розсіювання і поглинання частинками аерозолі сонячних променів (аерозольне ослаблення). При цьому, оскільки берегової (нічний) бриз завжди слабкіше морського, то він не повертає в море аерозоль верхніх шарів атмосфери, що були днем занесені вітром вглиб узбережжя.

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 приходу прямої, розсіяної, сумарної сонячної радіації; число годин сонячного сяйва (тривалість сонячного сяйва); 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 [27].

Згідно з довгостроковим прогнозом за результатами оцінок, заснованих на 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 приходу сумарної сонячної радіації на території України буде незначною ($\pm 2-6\%$) та практично однаковою у всі три періоду.

До середини XXI століття і, особливо до його кінця, згідно модельного прогнозу зростання температури буде більш інтенсивним, що позитивно позначиться на роботі сонячних колекторів. Особливо сприятливі умови для широкого використання теплових сонячних установок будуть у західних та 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 геліоенергетиці.

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

В основі непрямого методу розрахунку економічного ризику лежать наступні основні постулати [32]:

- розвиток індустрії і сільського господарства тісно пов'язане з щільністю 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, байєсовський підхід).

У розрахунках ризику, обумовленого кожним ОЯ в окремо, доцільно використовувати емпіричний метод.

Згідно з наведеним вище визначенням ризику його складовими служать частота небажаного події, зокрема даного ОЯ, 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: $R_{ek} = A \cdot p \cdot (s/S) \cdot t \cdot m \cdot k$ [32].

В таблицях 3.7 – 3.15 наведені розрахунки економічного ризику по деяким областям: Одеська, Донецька, Харківська, Кіровоградська, Вінницька, Львівська, Дніпропетровська, Житомирська та Миколаївська та по території України в цілому. Відомості про територіальний та адміністративний устрій, населення та валовий промисловий продукт взято з <https://ru.wikipedia.org>.

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

Таблиця 3.7 – Значення економічного ризику (тис.грн). Одеська область

Район	територія (площа), км ²	населення	Березень	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень
			p =0,4 t = 12	p =0,3 t = 13,5	p =0,29 t = 15	p =0,17 t = 15,7	p =0,06 t = 15,4	p =0,08 t = 13,7	p =0,15 t = 13	p =0,27 t = 14,4
Ананьївський	1050	32537	455	384	412	253	88	104	185	369
Арцизьський	1379	51742	950	802	861	528	183	217	386	770
Балтський	1317	48604	852	719	773	474	164	195	346	691
Березовський	1637	36046	786	663	712	437	151	179	319	637
Б-Дністровський	1852	62326	1537	1297	1393	855	296	351	625	1245
Біляївський	1496	104723	2086	1760	1891	1160	402	476	848	1690
Болградський	1364	74951	1362	1149	1234	757	262	311	553	1103
Великомихайлівський	1436	32687	625	527	567	348	120	143	254	506
Захарьєвський	956	21029	268	226	243	149	52	61	109	217
Іванівський	1162	29658	459	387	416	255	88	105	186	372
Ізмаїльський	1194	52209	830	700	752	462	160	190	337	672
Кілійський	1359	59837	1083	914	981	602	208	247	440	877
Кодимський	818	34788	379	320	343	211	73	87	154	307
Лиманський	1487	67214	1331	1123	1206	740	256	304	541	1078
Любашівський	1100	33629	493	416	446	274	95	112	200	399
Миколаївський	1093	20153	293	248	266	163	56	67	119	238
Овідіопільський	815	60308	655	552	593	364	126	149	266	530
Окнянський	1013	22879	309	260	280	172	59	70	125	250
Подольський	956	30981	394	333	357	219	76	90	160	320
Роздільнянський	1368	58298	1062	896	963	591	204	243	431	860
Ренійський	861	40680	466	394	423	259	90	107	190	378
Савранський	618	19750	163	137	147	90	31	37	66	132
Саратський	1475	49907	980	827	888	545	189	224	398	794
Тарутинський	1874	45169	1127	951	1022	627	217	257	458	913
Татарбунарський	1748	41710	971	819	880	540	187	222	394	787
Ширяєвський	1502	29809	596	503	540	332	115	136	242	483
Одеса	237	990554	3127	2638	2833	1738	602	714	1270	2532
ОБЛАСТЬ	33310	2 390,30	23640	19946	21424	13145	4551	5398	9604	19149

Таблиця 3.8 – Значення економічного ризику (тис.грн). Донецька область

Район	територія (площа), км ²	населення	Березень	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень
			p =0,41 t = 11,9	p =0,31 t = 13,6	p =0,27 t = 15	p =0,14 t = 15,8	p =0,05 t = 15,5	p =0,07 t = 13,8	p =0,15 t = 13	p =0,28 t = 10,9
Олександрівський	1010	19470	333	288	277	151	53	66	133	209
Амвросіївський	1455	45421	1121	968	930	508	178	222	448	701
Бахмутський	1859,8	44531	1404	1214	1166	637	223	278	561	878
Великоновосілівський	1901	41141	1326	1146	1101	601	211	263	530	830
Волноваський	2549,4	83686	3618	3126	3003	1640	575	716	1446	2263
Добропільський	949	16495	265	229	220	120	42	53	106	166
Костянтинівський	1172,7	19102	380	328	315	172	60	75	152	238
Лиманський	1018	21813	377	325	313	171	60	75	150	236
Мангушський	794,7	27216	367	317	304	166	58	73	147	229
Никольський	1221	29252	606	523	503	275	96	120	242	379
Новоазовський	818,6	35670	495	428	411	224	79	98	198	310
Покровський	1316	31860	711	614	590	322	113	141	284	445
Слов'янський	1273	34052	735	635	610	333	117	146	294	460
Старобешевський	1282	50537	1099	949	912	498	175	218	439	687
Тельманівський	812,9	29459	406	351	337	184	65	80	162	254
Шахтарський	1194	19692	399	345	331	181	63	79	159	249
Ясинуватський	809	27753	381	329	316	173	60	75	152	238
ОБЛАСТЬ	26592	4320821	14022	12116	11639	6357	2227	2776	5604	8771

Таблиця 3.9 – Значення економічного ризику (тис.грн). Харківська область

Район	територія (площа), км ²	населення	Березень	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень
			p =0,50 t = 11,9	p =0,38 t = 13,7	p =0,34 t = 15,3	p =0,24 t = 16,1	p =0,12 t = 15,8	p =0,15 t = 13,9	p =0,25 t = 13,1	p =0,38 t = 10,8
Балаклійський	1986,5	84332	2932,4	2565,8	2597,3	1904,4	934,4	1027,6	1614,1	2022,6
Барвінківський	1364,5	24264	579,5	507,1	513,3	376,4	184,7	203,1	319,0	399,7
Близнюківський	1380	20390	492,5	431,0	436,3	319,9	157,0	172,6	271,1	339,7
Богодухівський	1160	40193	816,1	714,1	722,9	530,0	260,1	286,0	449,2	562,9
Борівський	875,3	18334	280,9	245,8	248,8	182,4	89,5	98,4	154,6	193,8
Валківський	1011	35000	619,4	541,9	548,6	402,2	197,4	217,0	340,9	427,2
Великобурлуцький	1220,8	26500	566,3	495,5	501,6	367,8	180,5	198,4	311,7	390,6
Вовчанський	1888	49602	1639,3	1434,3	1451,9	1064,6	522,4	574,4	902,3	1130,7
Дворічанський	1112	21000	408,8	357,7	362,0	265,5	130,3	143,2	225,0	281,9
Дергачівський	900	96300	1517,1	1327,4	1343,7	985,2	483,4	531,6	835,0	1046,4
Зачепилівський	794	17900	248,8	217,7	220,4	161,6	79,3	87,2	136,9	171,6
Зміївський	1364	78200	1867,1	1633,6	1653,7	1212,5	595,0	654,3	1027,7	1287,8
Золочівський	968,6	28798	488,3	427,2	432,5	317,1	155,6	171,1	268,8	336,8
Ізюмський	1553	21200	576,3	504,2	510,4	374,3	183,6	202,0	317,2	397,5
Кегичівський	782	23500	321,7	281,5	284,9	208,9	102,5	112,7	177,1	221,9
Коломацький	330	8600	49,7	43,5	44,0	32,3	15,8	17,4	27,3	34,3
Красноградський	985	4800	82,8	72,4	73,3	53,7	26,4	29,0	45,6	57,1
Краснокутський	1041	31400	572,2	500,6	506,8	371,6	182,3	200,5	314,9	394,7
Куп'янський	1280	28400	636,3	556,8	563,6	413,2	202,8	223,0	350,2	438,9
Лозівський	1404	32500	798,7	698,9	707,4	518,7	254,5	279,9	439,6	550,9
Нововодолазький	1282,7	39700	891,4	779,9	789,5	578,9	284,0	312,4	490,6	614,8
Первомайський	1225	19900	426,7	373,4	377,9	277,1	136,0	149,5	234,9	294,3
Печенізький	468	11300	92,6	81,0	82,0	60,1	29,5	32,4	51,0	63,9
Сахновщинський	1169	23700	485,0	424,3	429,5	314,9	154,5	169,9	266,9	334,5
Харківський	1403,4	187100	4596,2	4021,5	4071,0	2984,9	1464,6	1610,6	2529,9	3170,2
Чугуївський	1149	49000	985,5	862,3	872,9	640,0	314,0	345,3	542,4	679,8
ОБЛАСТЬ	31 415	2 718,60	23356,4	20435,8	20687,1	15167,9	7442,6	8184,5	12855,8	16110,0

Таблиця 3.10 – Значення економічного ризику (тис.грн). Кіровоградська область

Район	територія (площа), км ²	населення	Березень	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень
			p =0,47 t = 11,9	p =0,36 t = 13,7	p =0,35 t = 15,2	p =0,25 t = 16	p =0,11 t = 15,7	p =0,13 t = 13,9	p =0,22 t = 13,1	p =0,34 t = 10,8
Олександрійський	1900	21630	863,97	761,86	821,80	617,90	266,78	279,13	445,19	567,23
Олександрівський	1159	30000	730,96	644,57	695,28	522,77	225,71	236,16	376,65	479,90
Бобринецький	1496	31531	991,65	874,45	943,25	709,21	306,20	320,38	510,98	651,05
Благовіщенський	701	28718	423,22	373,20	402,56	302,68	130,68	136,73	218,08	277,86
Гайворонський	695	43454	634,90	559,86	603,91	454,07	196,04	205,12	327,15	416,83
Голованівський	1145	36800	885,81	781,13	842,58	633,52	273,52	286,19	456,45	581,57
Добровеличківський	1297	34099	929,76	819,88	884,38	664,95	287,09	300,39	479,09	610,42
Долинський	1276	37962	1018,33	897,98	968,63	728,29	314,44	329,01	524,73	668,57
Знам'янський	1334	30232	847,84	747,64	806,45	606,36	261,79	273,92	436,88	556,63
Кіровоградський	1557	37600	1230,74	1085,29	1170,67	880,20	380,03	397,63	634,18	808,02
Компаніївський	967	18162	369,22	325,58	351,19	264,06	114,01	119,29	190,25	242,40
Маловисківський	1248	51164	1342,36	1183,71	1276,84	960,03	414,49	433,69	691,70	881,31
Новгородківський	997	18947	397,12	350,19	377,74	284,01	122,62	128,30	204,63	260,73
Новоархангельський	1206	25265	640,55	564,85	609,29	458,11	197,79	206,95	330,07	420,55
Новомиргородський	1032	35935	779,63	687,49	741,57	557,57	240,73	251,88	401,73	511,85
Новоукраїнський	1688	48486	1720,59	1517,25	1636,61	1230,53	531,28	555,89	886,60	1129,63
Вільшанський	645	13800	187,12	165,01	177,99	133,83	57,78	60,46	96,42	122,85
Онufріївський	889	21757	406,62	358,57	386,77	290,81	125,56	131,37	209,53	266,96
Петрівський	1195	28954	727,39	641,42	691,88	520,21	224,60	235,01	374,81	477,56
Світловодський	1219	16618	425,86	375,53	405,08	304,57	131,50	137,59	219,44	279,60
Устинівський	942	16690	330,52	291,46	314,39	236,38	102,06	106,78	170,31	217,00
ОБЛАСТЬ	24 588	999000	15884	14007	15109	11360	4905	5132	8185	10429

Таблиця 3.11 – Значення економічного ризику (тис.грн). Вінницька область

Район	територія (площа), км ²	населення	Березень p =0,50 t = 11,9	Квітень p =0,40 t = 13,7	Травень p =0,40 t = 15,3	Червень p =0,33 t = 16,1	Липень p =0,21 t = 15,7	Серпень p =0,24 t = 13,9	Вересень p =0,33 t = 13,1	Жовтень p =0,42 t = 10,8
Барський	1100	53720	1225,62	1128,80	1260,63	1094,40	679,14	687,17	1025,40	934,35
Бершадський	1286	61289	1634,74	1505,61	1681,45	1459,73	905,84	916,55	1367,69	1246,25
Вінницький	910	78461	1480,88	1363,91	1523,20	1322,34	820,58	830,29	1238,97	1128,96
Гайсинський	1100	58414	1332,71	1227,44	1370,79	1190,03	738,48	747,21	1115,00	1016,00
Жмеринський	1130	35481	831,57	765,89	855,33	742,55	460,79	466,24	695,73	633,95
Іллінецький	910	38264	722,20	665,15	742,83	644,88	400,18	404,92	604,22	550,57
Калинівський	1090	59266	1339,86	1234,02	1378,14	1196,41	742,44	751,22	1120,98	1021,44
Козятинський	1120	40838	948,66	873,72	975,76	847,09	525,67	531,88	793,68	723,21
Крижопільський	880	34617	631,83	581,92	649,88	564,18	350,11	354,25	528,61	481,68
Липовецький	970	38181	768,15	707,47	790,10	685,91	425,64	430,68	642,66	585,60
Літинський	960	36468	726,12	668,76	746,87	648,38	402,36	407,12	607,50	553,56
Могилів-Подільський	930	33940	654,67	602,95	673,37	584,58	362,76	367,05	547,72	499,09
Мурованокурилівський	890	26580	490,65	451,89	504,67	438,12	271,88	275,09	410,50	374,05
Немирівський	1290	51076	1366,57	1258,62	1405,62	1220,27	757,24	766,20	1143,33	1041,81
Оратівський	870	22218	400,91	369,24	412,37	357,99	222,15	224,78	335,42	305,64
Піщанський	600	21563	268,34	247,14	276,01	239,61	148,69	150,45	224,50	204,57
Погребисьенський	1200	31372	780,82	719,14	803,13	697,22	432,66	437,78	653,26	595,26
Тепликський	810	29581	496,96	457,71	511,16	443,76	275,38	278,63	415,78	378,86
Томашпільський	780	34503	558,18	514,09	574,13	498,43	309,30	312,96	467,00	425,53
Тростянецький	860	36786	656,16	604,32	674,90	585,91	363,59	367,89	548,97	500,22
Тульчинський	1120	57155	1327,69	1222,82	1365,63	1185,55	735,70	744,40	1110,80	1012,17
Тиврівський	880	43396	792,06	729,49	814,69	707,26	438,89	444,09	662,67	603,83
Хмільницький	1250	37868	981,77	904,22	1009,82	876,66	544,01	550,45	821,38	748,45
Чечельницький	760	22265	350,96	323,24	360,99	313,39	194,48	196,78	293,63	267,56
Шаргородський	1140	58386	1380,51	1271,46	1419,95	1232,71	764,96	774,01	1154,99	1052,44
Ямпільський	790	41383	678,07	624,51	697,44	605,48	375,73	380,18	567,30	516,93
Вінниця	113	372432	872,87	803,92	897,81	779,42	483,67	489,40	730,28	665,44

Таблиця 3.12 – Значення економічного ризику (тис.грн). Львівська область

Район	територія (площа), км ²	населення	Березень	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень
			p =0,50 t = 11,9	p =0,42 t = 13,7	p =0,42 t = 15,3	p =0,36 t = 16,1	p =0,24 t = 15,8	p =0,30 t = 14	p =0,35 t = 13,1	p =0,45 t = 10,8
Бродівський	1157	63850	1860,65	1799,36	2009,51	1812,50	1185,82	1313,40	1433,80	1519,79
Буський	856	50871	1096,77	1060,64	1184,51	1068,38	698,98	774,19	845,16	895,85
Городоцький	727	73974	1354,52	1309,90	1462,88	1319,46	863,25	956,13	1043,78	1106,38
Дрогобицький	1271	76338	2443,76	2363,26	2639,26	2380,51	1557,43	1725,00	1883,13	1996,08
Жидачівський	996	80812	2027,25	1960,47	2189,43	1974,78	1291,99	1431,00	1562,17	1655,87
Жовківський	1295	109173	3560,87	3443,57	3845,74	3468,71	2269,38	2513,56	2743,97	2908,54
Золочівський	1097	74686	2063,56	1995,58	2228,65	2010,15	1315,13	1456,63	1590,16	1685,53
Кам'янка-Бузький	867	61832	1350,22	1305,74	1458,24	1315,27	860,51	953,09	1040,46	1102,87
Миколаївський	675	94506	1606,70	1553,77	1735,24	1565,11	1023,97	1134,14	1238,10	1312,36
Мостиський	845	61991	1319,34	1275,88	1424,89	1285,19	840,83	931,30	1016,67	1077,65
Перемишлянський	918	47763	1104,35	1067,97	1192,70	1075,76	703,81	779,54	851,00	902,04
Пустомитівський	953	112009	2688,54	2599,98	2903,63	2618,96	1713,44	1897,80	2071,76	2196,02
Радехівський	1144	52439	1510,96	1461,18	1631,83	1471,85	962,95	1066,56	1164,32	1234,16
Самбірський	934	74598	1754,87	1697,06	1895,26	1709,45	1118,40	1238,73	1352,28	1433,39
Сколівський	1471	50310	1863,97	1802,57	2013,09	1815,72	1187,93	1315,74	1436,35	1522,50
Сокальський	1573	98123	3887,50	3759,45	4198,51	3786,89	2477,55	2744,12	2995,67	3175,34
Старосамбірський	1245	82135	2575,54	2490,70	2781,59	2508,88	1641,42	1818,03	1984,68	2103,72
Стрийський	809	68449	1394,72	1348,78	1506,30	1358,62	888,87	984,51	1074,75	1139,22
Турківський	1193	54906	1649,80	1595,45	1781,79	1607,10	1051,44	1164,57	1271,32	1347,57
Яворівський	1548	123321	4808,17	4649,78	5192,82	4683,72	3064,30	3394,00	3705,12	3927,34
Львів	192	728545	3523,13	3407,08	3804,98	3431,95	2245,33	2486,92	2714,88	2877,72
ОБЛАСТЬ	21 833	2 534 200	45445	43948	49081	44269	28963	32079	35020	37120

Таблиця 3.13 – Значення економічного ризику (тис.грн). Дніпропетровська область

Район	територія (площа), км ²	населення	Березень	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень
			p =0,48 t = 11,9	p =0,36 t = 13,7	p =0,31 t = 15,2	p =0,22 t = 16	p =0,1 t = 15,7	p =0,12 t = 13,9	p =0,23 t = 13,1	p =0,36 t = 10,8
Апостолівський	1380	64242	1463,72	1263,84	1207,46	902,01	402,32	427,43	772,09	996,31
Васильківський	1330	37340	819,95	707,98	676,40	505,29	225,37	239,44	432,51	558,11
Верхньодніпровський	1290	56932	1212,57	1046,98	1000,28	747,24	333,29	354,09	639,61	825,36
Дніпровський	1435	78904	1869,43	1614,15	1542,15	1152,03	513,83	545,91	986,10	1272,47
Криворізький	1350	43759	975,35	842,16	804,59	601,06	268,08	284,82	514,48	663,89
Криничанський	1680	40330	1118,66	965,90	922,81	689,37	307,47	326,67	590,08	761,44
Магдалинівський	1600	37606	993,43	857,77	819,51	612,20	273,05	290,10	524,02	676,20
Межівський	1250	28529	588,78	508,38	485,71	362,84	161,83	171,93	310,58	400,77
Нікопольський	1940	44716	1432,27	1236,68	1181,52	882,63	393,67	418,25	755,50	974,90
Новомосковський	1990	75828	2491,39	2151,18	2055,22	1535,31	684,78	727,53	1314,17	1695,82
Павлоградський	1450	32906	787,77	680,20	649,86	485,46	216,53	230,04	415,54	536,22
Петриківський	930	25994	399,13	344,63	329,25	245,96	109,71	116,55	210,54	271,68
Петропавлівський	1250	35403	730,65	630,88	602,73	450,26	200,83	213,36	385,41	497,33
Покровський	1210	41864	836,34	722,14	689,93	515,39	229,88	244,23	441,16	569,28
П'ятихатський	1650	53275	1451,33	1253,15	1197,25	894,38	398,91	423,81	765,56	987,88
Синельниківський	1650	41674	1135,29	980,26	936,54	699,62	312,05	331,52	598,85	772,76
Солонянський	1730	42500	1213,93	1048,16	1001,41	748,08	333,66	354,49	640,33	826,29
Софіївський	1360	28541	640,87	553,35	528,67	394,93	176,15	187,14	338,05	436,22
Томаківський	1190	31629	621,43	536,57	512,64	382,95	170,81	181,47	327,80	422,99
Царичанський	900	30774	457,28	394,84	377,23	281,80	125,69	133,53	241,21	311,26
Широківський	1214,7	27455	550,62	475,43	454,22	339,32	151,34	160,79	290,44	374,79
Юр'ївський	900	15773	234,38	202,37	193,35	144,43	64,42	68,44	123,63	159,53
Дніпро	405	979054	6546,6	5652,7	5400,5	4034,3	1799,4	1911,7	3453,2	4456,1
ОБЛАСТЬ	31974	3 254	28571	24670	23569	17607	7853	8343	15071	19448

Таблиця 3.14 – Значення економічного ризику (тис.грн). Житомирська область

Район	територія (площа), км ²	населення	Березень	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень
			p =0,50 t = 11,9	p =0,41 t = 13,8	p =0,40 t = 15,5	p =0,37 t = 16,4	p =0,25 t = 16	p =0,30 t = 14,1	p =0,37 t = 13,1	p =0,42 t = 10,7
Андрушівський	1000	38769	714,64	679,57	744,67	728,81	480,43	508,05	582,16	544,81
Баранівський	1000	45000	829,50	788,79	864,35	845,95	557,65	589,71	675,73	632,37
Бердичівський	866	31600	504,44	479,68	525,63	514,44	339,12	358,62	410,93	384,56
Брусилівський	600	16500	182,49	173,53	190,16	186,11	122,68	129,74	148,66	139,12
Ємільчинський	2100	41000	1587,10	1509,22	1653,79	1618,58	1066,96	1128,31	1292,89	1209,93
Житомирський	1441	66900	1777,02	1689,81	1851,69	1812,26	1194,64	1263,33	1447,60	1354,72
Коростенський	1739	28237	905,15	860,73	943,18	923,10	608,50	643,49	737,35	690,04
Коростишівський	974	43238	776,30	738,20	808,91	791,69	521,88	551,89	632,39	591,81
Лугинський	994	17161	314,44	299,00	327,65	320,67	211,39	223,54	256,15	239,71
Любарський	757	3100	43,26	41,13	45,07	44,12	29,08	30,75	35,24	32,98
Малинський	1406	46600	1207,7	1148,4	1258,4	1231,6	811,93	858,61	983,85	920,72
Народицький	1284	9604	227,31	216,16	236,86	231,82	152,81	161,60	185,17	173,29
Новоград-Волинський	2100	58000	2245,17	2134,99	2339,51	2289,70	1509,36	1596,15	1828,97	1711,61
Овруцький	3200	58 809	3468,94	3298,70	3614,69	3537,73	2332,06	2466,15	2825,87	2644,55
Олевський	2248	47028	1948,75	1853,11	2030,63	1987,39	1310,08	1385,41	1587,49	1485,63
Попільнянський	1037	37082	708,83	674,05	738,62	722,89	476,53	503,93	577,43	540,38
Пулинський	853	26000	408,81	388,75	425,99	416,92	274,83	290,64	333,03	311,66
Радомишльський	1 297	38 530	921,17	875,97	959,88	939,44	619,28	654,88	750,41	702,26
Романівський	928	30340	519,00	493,53	540,81	529,29	348,91	368,97	422,79	395,66
Ружинський	1002	28077	518,59	493,14	540,38	528,87	348,63	368,68	422,45	395,35
Хорошівський	870	38000	609,40	579,50	635,01	621,49	409,68	433,24	496,43	464,58
Черняхівський	850	33700	528,02	502,11	550,21	538,49	354,97	375,38	430,14	402,54
Чуднівський	1037	43200	825,78	785,26	860,48	842,16	555,15	587,07	672,70	629,54
Житомир	61	268001	301,35	286,56	314,01	307,32	202,59	214,24	245,48	229,73
Бердичів	101	101477	188,93	179,65	196,86	192,67	127,01	134,31	153,90	144,03
М. Новоград-Волинський	27	62348	31,03	29,51	32,33	31,65	20,86	22,06	25,28	23,66

Таблиця 3.15 – Значення економічного ризику (тис.грн). Миколаївська область

Район	територія (площа), км ²	населення	Березень	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень
			p =0,42 t = 11,9	p =0,34 t = 13,6	p =0,32 t = 15,1	p =0,22 t = 15,9	p =0,1 t = 15,5	p =0,1 t = 13,8	p =0,18 t = 13	p =0,30 t = 10,9
Арбузинський	1318	22400	554,41	512,92	535,99	388,02	171,93	153,08	259,57	407,32
Баштанський	1706	42000	1345,53	1244,84	1300,84	941,71	417,28	371,51	629,96	988,55
Березанський	1378	25100	649,51	600,91	627,94	454,58	201,43	179,34	304,09	477,19
Березнегуватський	1264	23200	550,68	509,47	532,39	385,41	170,78	152,05	257,82	404,58
Братський	1129	21300	451,58	417,79	436,58	316,05	140,05	124,69	211,43	331,78
Веселинівський	1245	27000	631,24	584,01	610,28	441,80	195,76	174,29	295,54	463,77
Вітовський	1460	55000	1507,93	1395,09	1457,84	1055,37	467,64	416,35	705,99	1107,86
Вознесенський	1392	72772	1902,25	1759,91	1839,07	1331,35	589,93	525,23	890,61	1397,57
Врадіївський	801	21000	315,88	292,24	305,38	221,08	97,96	87,22	147,89	232,07
Доманівський	1458	29000	794,00	734,58	767,63	555,70	246,24	219,23	371,74	583,35
Єланецький	1018	16231	310,28	287,06	299,98	217,16	96,23	85,67	145,27	227,96
Казанківський	1349	25000	633,31	585,92	612,28	443,24	196,40	174,86	296,51	465,29
Кривоозерський	814	29000	443,29	410,12	428,57	310,25	137,47	122,40	207,54	325,68
Миколаївський	1430	528381	14188,8	13127,1	13717,6	9930,5	4400,3	3917,7	6643,0	10424,4
Новобузький	1243	34000	793,62	734,24	767,26	555,44	246,12	219,13	371,56	583,07
Новоодеський	1428	38000	1019,00	942,75	985,16	713,18	316,02	281,36	477,08	748,66
Очаківський	1488	31800	888,58	822,08	859,06	621,90	275,57	245,34	416,02	652,83
Первомайський	1319	103758	2569,99	2377,67	2484,63	1798,68	797,01	709,60	1203,23	1888,15
Снігурівський	1395	48000	1257,42	1163,33	1215,66	880,04	389,96	347,19	588,71	923,82
ОБЛАСТЬ	24 635	1192942	30807,3	28502,0	29784,1	21561,4	9554,1	8506,2	14423,6	22634

Висновки

Проаналізовано:

- стан, проблеми та перспективи розвитку сонячної енергетики України;
- нормативно - правове регулювання сонячної енергетики в Україні;
- проведена оцінка змін геліоресурсів в Україні в умовах потепління клімату за сценаріями помірного впливу RCP4.5 і екстремального впливу RCP8.5.

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

Річна кількість днів з ясним, напівясним та похмурым станом неба визначається їх режимами в теплий і холодний періоди. Для холодного періоду характерним є досить рівномірний просторовий розподіл числа таких днів, що обумовлено переважанням ролі циркуляційного фактору в формуванні режиму хмарності. Коливання їх від найбільших до найменших значень складає 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 визначним 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.

2. Загальна характеристика тривалості сонячного сяйва по території України:

В зоні Полісся тривалість сонячного сяйва складає 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 сяйва 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), 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 та 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.

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

- кількості 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 обумовлює 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.

4 ВПЛИВ ЗМІН КЛІМАТУ НА ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНІ РЕСУРСИ УКРАЇНИ

4.1 Вітровий режим України

4.1.1 Короткий огляд режиму вітру на Україні за минулий кліматичний період

Дослідженню режиму вітру на Україні присвячена значна кількість теоретичних і експериментальних робіт [1, 2, 3]. Узагальнення цих досліджень було виконано у фундаментальній монографії «Клімат України», підготовленій співробітниками Українського науково-дослідницького гідрометеорологічного інституту, під редакцією В.М. Ліпніцького, В.А. Дячука і В.М. Бабіченко, опублікованої в 2003 році [4].

В зв'язку зі зміною сучасного клімату, почнемо дослідження можливих змін вітрового режиму з аналізу просторового розподілу швидкостей вітру по території України за період, діючої до теперішнього часу кліматичної норми, з 1960 до 1990 рр, тобто до початку різкого потепління клімату, яке спостерігалось протягом останнього десятиліття ХХ століття.

Розглянемо поля вітру, які побудовані за даними кліматичної норми (рис.4.1).

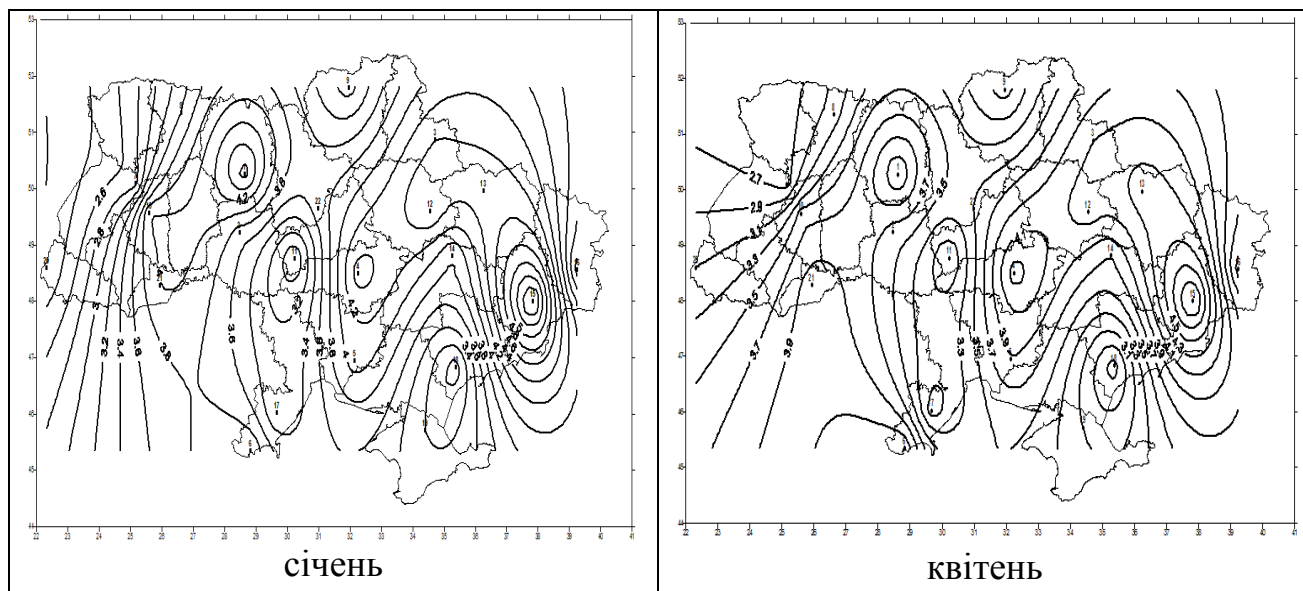


Рисунок 4.1– Просторовий розподіл середньомісячних швидкостей вітру для січня та квітня, побудований за даними 27- х метеостанцій (кліматична норма 1961-1990 рр.)

Характерними особливостями розподілу швидкості вітру (рис. 4.1-4.2), незалежно від сезону, є:

- наявність двох «зон» найбільших швидкостей вітру $\bar{V} > 4$ м/с в Харківській і Донецькій області та в східних областях північного регіону (Рівненська та Луцька області), а також в Житомирській області. Відзначимо, що наявність зон великих швидкостей вітру в районах Донецької, Харківської та Луганської області підтверджується аналогічними швидкостями вітру в прилеглих територіях Російської Федерації;

- зони з великими швидкостями вітру, на сході і заході України, розділені улоговиною, шириною в 200-300 км, з середньомісячними швидкостями не більше 2,5-3,0 м/с. Улоговина, у вигляді меридіональне спрямованої смуги, простягається від південного (Одеська область) до північного регіону України (Чернігівська область).

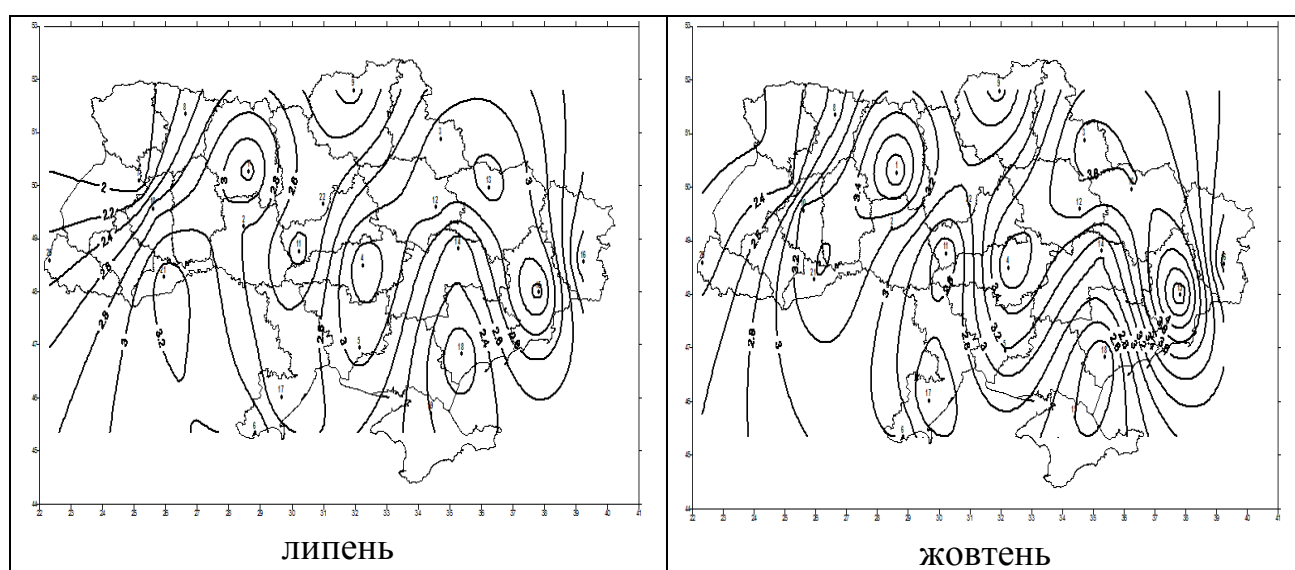


Рисунок 4.2 – Просторовий розподіл середньомісячних швидкостей вітру для липня та жовтня, побудований за даними 27-х метеостанцій (кліматична норма 1961-1990 рр.)

Швидкість вітру. Важливою характеристикою вітрового режиму є швидкість вітру. Найбільша середня місячна швидкість вітру спостерігається майже на всій території України в лютому (50-55 %), іноді цей максимум доводиться на січень, листопад або грудень (10-15 %) і лише в окремих випадках – на березень, квітень (4-5 %).

Найменша швидкість вітру відмічається влітку. В липні-серпні на більшій частині території швидкість вітру зменшується до мінімальних значень.

Мінливість швидкості вітру за окремі місяці незначна, за винятком Українських Карпат. Загальний характер збільшення швидкості вітру (на півночі до 3-4 м/с, на півдні до 5-6 м/с) відмічається з півночі на південь і обумовлено температурною неоднорідністю, а також сезонними баричними

циркуляційними процесами в поєднанні з орографічними особливостями місцевості.

Відмінність швидкості вітру між північними і південними районами в холодний період року досягає 3,5 м/с, влітку і восени вона зменшується і дорівнює 2,8 м/с, а весною – 2,3 м/с. Середня швидкість вітру майже на всій території за останні роки зменшилася на 10-35 %.

Проте, на окремих станціях (Чернігів, Житомир, Тернопіль, Вінниця, Дніпропетровськ, Ужгород, Чернівці, Сімферополь) спостерігається збільшення швидкості вітру, тому зменшення швидкості вітру слід пояснювати не тільки суб'єктивними причинами, але й впливом змін динамічних макроциркуляційних процесів [4].

У таблиці 4.1 наведені середньомісячні швидкості вітру для 27 метеостанцій за період кліматичної норми, дані яких будуть використовуватися при аналізі змін швидкості вітру для двох прогнозованих періодів 2011-2030 рр. і 2031-2050 рр., розрахованих за сценаріями зміни клімату RCP4.5 та RCP8.5.

Таблиця 4.1 – Середньомісячні швидкості вітру кліматичної норми (1961-1990 рр.) для п'яти регіонів України

№ ст.	Назва станції	Місяці												Рік
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Західна частина України (W.U.)														
7	Ковель	3,5	3,5	3,6	3,2	2,7	2,5	2,4	2,2	2,4	2,9	3,6	3,4	3
19	Рівне	4,8	4,7	4,6	4,3	3,7	3,4	3,3	3,1	3,7	4,2	5,1	4,9	4,2
27	Стрий	3,1	2,8	2,9	2,6	2,1	2,1	1,9	1,6	1,9	2,3	2,9	2,8	2,4
29	Тернопіль	4	4,1	4	3,6	3	2,8	2,7	2,5	2,9	3,3	4,1	4	3,4
30	Хмельницький	4,1	4,2	4,1	3,8	3,1	3	2,8	2,6	2,9	3,4	4,2	4,1	3,5
45	Ужгород	2,2	2,5	2,8	3,1	2,7	2,4	2,3	2,1	2,3	2,3	2,5	2,3	2,5
47	Коломия	2,3	2,4	2,5	2,6	2,3	2,1	2	1,8	1,8	1,9	2,3	2,1	2,2
49	Чернівці	4	4,2	4,1	4	3,6	3,4	3,3	3,1	3,1	3,4	3,8	3,7	3,6
	Середнє	3,50	3,55	3,58	3,40	2,90	2,71	2,59	2,38	2,63	2,96	3,56	3,41	3,10
Північна частина України (N.U.)														
1	Семенівка	3,7	3,8	3,5	3,4	2,9	2,7	2,5	2,4	2,9	3,3	3,8	3,9	3,2
6	Глухів	3,6	3,7	3,5	3,3	2,9	2,6	2,4	2,4	2,7	3,1	3,6	3,8	3,1
11	Коростень	4	3,7	3,8	3,6	3	2,9	2,9	2,9	3,2	3,5	4,1	4	3,5
12	Ніжин	3,3	3,4	3,2	3	2,6	2,4	2,3	2,2	2,4	2,7	3,2	3,3	2,8
23	Фастів	2,6	2,6	2,5	2,5	2,1	1,8	1,7	1,7	1,8	2,1	2,4	2,4	2,2
	Середнє	3,44	3,44	3,30	3,16	2,70	2,48	2,36	2,32	2,60	2,94	3,42	3,48	2,96
Центральна частина України (C.U.)														
34	Черкаси	4,5	4,6	4,4	4,3	3,8	3,2	3,1	3,2	3,3	3,6	4,1	4,3	3,9
35	Веселий Поділ	4,2	4,5	4,1	4	3,3	2,9	2,9	3	3,1	3,4	3,9	4	3,6
40	Вінниця	3,7	3,9	3,7	3,6	3	2,7	2,8	2,6	2,8	3,2	3,7	3,7	3,3
51	Кіровоград	4,5	4,8	4,6	4,4	3,9	3,5	3,4	3,5	3,6	3,8	4,2	4,4	4,1
80	Дніпропетровськ Кайдакі	5,4	5,7	5,2	5	4,4	3,8	3,7	3,8	4,1	4,6	4,9	5,2	4,7
	Середнє	4,46	4,70	4,40	4,26	3,68	3,22	3,18	3,22	3,38	3,72	4,16	4,32	3,92

Продовження табл.4.1

№ ст.	Назва станції	Місяці												
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Рік
Східна частина України (E.U.)														
63	Красноармійськ	4,3	4,6	4,2	4,1	3,7	3,1	2,8	2,8	2,9	3,3	3,8	4	3,6
73	Харків	4,5	4,8	4,6	4,4	3,8	3,4	3,3	3,2	3,4	3,8	4,2	4,4	4
79	Біловодськ	3,4	3,6	3,4	3,1	2,8	2,2	2,2	2,2	2,4	2,7	3,1	3,4	2,9
	Середнє	4,07	4,33	4,07	3,87	3,43	2,90	2,77	2,73	2,90	3,27	3,70	3,93	3,50
Південна частина України (S.U.)														
55	Вознесенськ	2,9	3	3,1	3	2,6	2,4	2,2	2,1	2,1	2,2	2,6	2,7	2,6
57	Пришиб	4	4,5	4	3,8	3,3	2,7	2,6	2,7	2,8	3,1	3,5	3,6	3,4
64	Одеса аеропорт	4,6	4,6	4,3	3,8	3,4	3,2	3,2	3,3	3,4	3,9	4,3	4,3	3,9
66	Нова Каховка	4,2	4,4	4	3,6	3,2	3	3	3,1	3	3,3	3,8	3,9	3,5
67	Ізмаїл	4	4,4	4,3	4,3	3,8	3,5	3,2	2,9	2,9	3	3,3	3,6	3,6
72	Клепиніне	3,7	4,1	3,9	3,5	3	2,6	2,6	2,6	2,5	2,6	3,2	3,3	3,1
	Середнє	3,90	4,17	3,93	3,67	3,22	2,90	2,80	2,78	2,78	3,02	3,45	3,57	3,35

Найбільшу повторюваність (60-90 %) має слабкий (0-1 м/с) і помірний (2-5 м/с) вітер, в горах в зимові місяці повторюваність такого вітру зменшується до 50-60 %. Швидкість 6-10 м/с частіше всього спостерігається в холодний період року або в перехідні сезони. Вітер із швидкістю більше 10 м/с буває рідко, в зимові місяці на більшій частині території частота його складає 3-8 %, в гірських районах вона зростає до 20-30 %, влітку майже на всій території зменшується до 1-2 %, в горах – 10 %.

Найбільше число днів з вітром 10 м/с спостерігається на більшій частині території в квітні і коливається від 10 до 15 днів. В центральних і південних областях такий вітер спостерігається частіше (15-18 днів) в січні і березні, в горах найбільше число днів з вітром більше 10 м/с приходить на грудень (18-20 днів). В середньому за рік така швидкість, на значній частині території, спостерігається від 90 до 150 днів, на Закарпатській низовині до 70 днів, на височинах, в горах і на узбережжі Чорного та Азовського морів їх кількість зростає до 200-250 днів. Вітер із швидкістю більше 15 м/с на значній території в середньому за рік відмічається від 5 до 30 днів.

4.1.2 Основи моделювання режиму вітру у зв'язку зі змінами клімату

Зміни клімату – одна з основних глобальних проблем. В даній роботі використовуються результати глобальних кліматичних моделей [5] що виконали оцінки змін характеристик земної кліматичної системи в XXI-XXII ст. з врахуванням антропогенного впливу відповідно до сучасних сценаріїв сімейства RCP (Representative Concentration Pathways).

Сценарії RCP – новий етап після сценаріїв сімейства SRES (Special Report on Emission Scenarios), використаних в міжнародному проекті порівняння кліматичних моделей CMIP3 і четвертого звіту Міжурядової

групи експертів по змінах клімату (МГЕІК) [6]. В п'ятий оцінний звіт МГЕІК включені результати розрахунків сучасних кліматичних моделей (в межах міжнародного проекту CMIP5 – Coupled Model Intercomparison Project, Phase 5) із сценаріями RCP.

За допомогою кліматичної моделі проведені чисельні експерименти для 1000-2300 рр. з врахуванням сценаріїв антропогенного та природничого впливу на клімат за рахунок парникових газів, тропосферних і стратосферних вулканічних сульфатних аерозолів, зміни сонячної сталої і зміни сільськогосподарських площ відповідно до протоколу “Historical simulations проекту” порівняння кліматичних моделей CMIP5 (<http://www.iiasa.ac.at/webapps/tnt/RcpDb> і <http://climate.uvic.ca/EMICAR5>). Для XXI ст. антропогенний вплив враховувався згідно з сценаріями RCP 2.6, 4.5, 6.0 і 8.5.

Кліматична модель в цілому реалістично відтворює зміни клімату, зокрема приповерхневої температури T_g в XX і XXI ст. Швидкість зміни глобальної приповерхневої температури в 1906-2005 рр. за моделлю отримано $0,85\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{століття}$ – в межах невизначеності відповідних емпіричних оцінок $0,56\text{--}0,92\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{століття}$. В XXI ст. залежно від сценарію антропогенного впливу глобальна приповерхнева температура збільшується на $1,1\text{--}2,9\text{ }^{\circ}\text{C}$. Через термічну інерцію системи при припиненні змін антропогенного навантаження на клімат в XXII–XXIII ст. величина T_g додатково збільшується на $0,2\text{--}3,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ при сценаріях RCP 4.5, RCP 6.0 і RCP 8.5 (великі значення відповідають більш агресивним антропогенним сценаріям для XXI ст.).

При сценарії RCP 2.6 в кінці XXI ст. починається зниження глобальної приповерхневої температури, тому до кінця XXIII ст. температура на поверхні зменшується на $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ відносно кінця XXI ст.

4.2 Результати дослідження змін швидкостей вітру в різних регіонах України у зв'язку з прогнозованими змінами клімату до 2050 р., згідно зі сценаріями RCP4.5 і RCP8.5

У розділі наводяться результати розрахунків майбутніх регіональних змін вітрового режиму, які отримані за допомогою ансамблю глобальних моделей загальної циркуляції атмосфери і океану (МЗЦА) нового покоління [7,8], 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:

- широтна та меридіональна складові вектору вітру;
- середня та максимальна (пориви) швидкість вітру осереднені за добу.

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

1. Середньомісячні та середньорічні швидкості вітру.
2. Середньомісячні та середньорічні швидкості поривів вітру.
3. Абсолютні мінімуми та 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.

4.2.1 Зміна вітрового режиму

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

- 1) північні області NU: Житомирська, Київська, Чернігівська, Сумська області;
- 2) східні області EU: Харківська, Луганська, Донецька області;
- 3) південні області SU: Запорізька, Херсонська, Миколаївська, Одеська області, АР Крим;
- 4) західні області WU: Львівська, Чернівецька, Хмельницька, Рівненська, Луцька, Закарпатська, Івано-Франківська, Тернопільська області;
- 5) центральні області ZU: Полтавська, Дніпропетровська, Кіровоградська, Черкаська, Вінницька області.

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

Тимчасові зміни середньорічних швидкостей вітру

Почнемо аналіз з порівняння режиму вітру за минулий 30 річний кліматичний період з 1961 по 1990 рр., з середніми багаторічними даними для прогнозованих періодів с 2011-2030 рр. по 2030-2050 рр., який моделювався моделями МЗЦА в рамках сценаріїв RCP4.5 і RCP8.5.

У таблиці 4.2 показані результати цих порівняння для п'яти регіонів України (27 метеостанцій).

Таблиця 4.2 – 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 та швидкість по кліматичної норми

№ ст.	Назва станцій	Норма	Сценарій RCP4.5			Сценарій RCP8.5		
			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.)								
7	Ковель	3	4,51	4,56	-0,05	4,52	4,48	0,04
19	Рівне	4,2	4,28	4,31	-0,03	4,26	4,27	-0,01
27	Стрий	2,4	3,98	3,96	0,02	3,94	3,97	-0,03
29	Тернопіль	3,4	4,05	4,04	0,01	4,01	4,04	-0,03
30	Хмельницький	3,5	4,11	4,10	0,01	4,11	4,12	-0,01
45	Ужгород	2,5	2,49	2,41	0,08	2,50	2,46	0,04
47	Коломия	2,2	3,02	3,03	-0,01	2,99	3,00	-0,01
49	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.)								
1	Семенівка	3,2	4,43	4,45	-0,02	4,46	4,40	0,06
6	Глухів	3,1	4,42	4,42	0	4,47	4,41	0,06
11	Коростень	3,5	4,01	4,03	-0,02	4,00	4,00	0
12	Ніжин	2,8	4,27	4,29	-0,02	4,31	4,24	0,07
23	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.)								
34	Черкаси	3,9	4,27	4,24	0,03	4,33	4,24	0,09
35	Веселий Поділ	3,6	4,03	4,00	0,03	4,06	4,00	0,06
40	Вінниця	3,3	4,09	4,05	0,04	4,08	4,06	0,02
51	Кіровоград	4,1	3,96	3,90	0,06	3,98	3,94	0,04
80	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

Продовження табл.4.2

№ ст.	Назва станцій	Норма	Сценарій RCP4.5			Сценарій RCP8.5		
			2011-2030			2031-2050		
			RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5 - RCP8.5	RCP4.5	RCP8.5	RCP4.5 - RCP8.5
Східна частина України (E.U.)								
63	Красноармійськ	3,6	4,11	4,05	0,06	4,07	4,13	-0,06
73	Харків	4	4,15	4,12	0,03	4,21	4,17	0,04
79	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.)								
55	Вознесенськ	2,6	4,05	4,04	0,01	4,08	4,07	0,01
57	Пришиб	3,4	4,01	3,93	0,08	3,99	4,03	-0,04
64	Одеса аеропорт	3,9	4,42	4,35	0,07	4,40	4,44	-0,04
66	Нова Каховка	3,5	4,26	4,17	0,09	4,24	4,27	-0,03
67	Ізмаїл	3,6	3,67	3,63	0,04	3,69	3,72	-0,03
72	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

На всіх станціях за сценаріями RCP4.5 і RCP8.5 прогнозується збільшення швидкості вітру, а з огляду на те, що осереднення проведено за 30-літній період, можна визнати що швидкість вітру значно збільшується. Різниця в середніх швидкостях вітру для двох сценаріїв за прогнозовані періоди, абсолютно незначна.

На рисунках 4.3 і 4.4 показаний просторовий розподіл різниць швидкостей вітру отриманих двома сценаріями.

Просторовий розподіл різниць, для двох послідовних періодів, істотно відрізняється один від одного. У перший період позитивні різниці, практично спостерігаються на всій території України (крім західних областей), тоді як у другому періоді відбувається перерозподіл знаку різниць.

У зв'язку з цим далі будемо аналізувати майбутні зміни вітрового режиму на Україні використовуючи тільки результати сценарію RCP4.5.

По-перше порівнюємо відмінність швидкостей вітру по даним кліматичної норми, які були виміряні до початку періоду різкого потепління клімату (90 рр., кінця XX століття) з прогнозованими швидкостями в першій половині XXI століття.

Нижче в таблицях 4.3 і 4.4 показані ці різниці для періодів 2011-2030 рр. та 2031-2050 рр.

З таблиць 4.3 та 4.4 випливає, що усереднена для кожного регіону швидкість вітру за період 2011-2030 рр. скрізь вище на 0,2-0,7 м/с (колонка «рік»), ніж швидкість з кліматичної норми. На окремих станціях зростання швидкості, в різні сезони року, буде перевищувати 1,0 м/с.

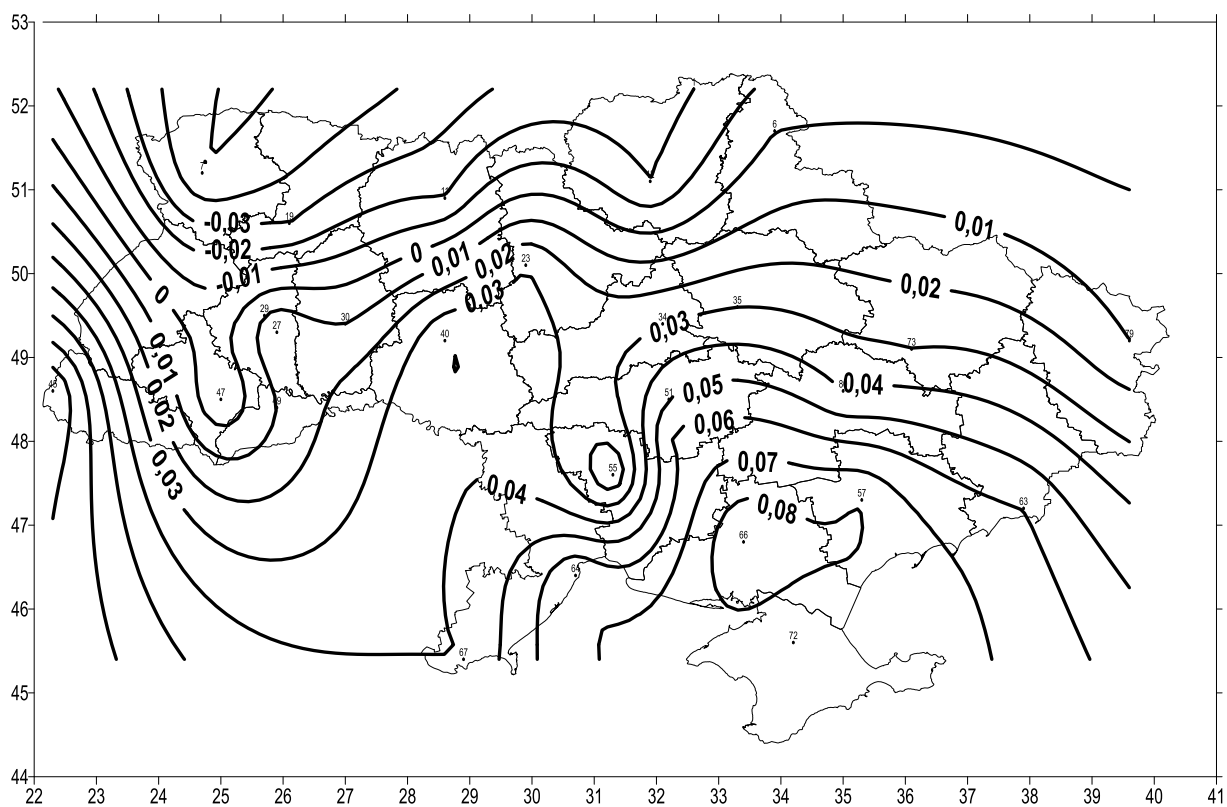


Рисунок 4.3 – Середньорічна різниця швидкостей між сценаріями RCP4.5 і RCP8.5 для періоду 2011-2030 рр. $\Delta V = (\bar{V}_{RCP45} - \bar{V}_{RCP85}), \text{м/с}$

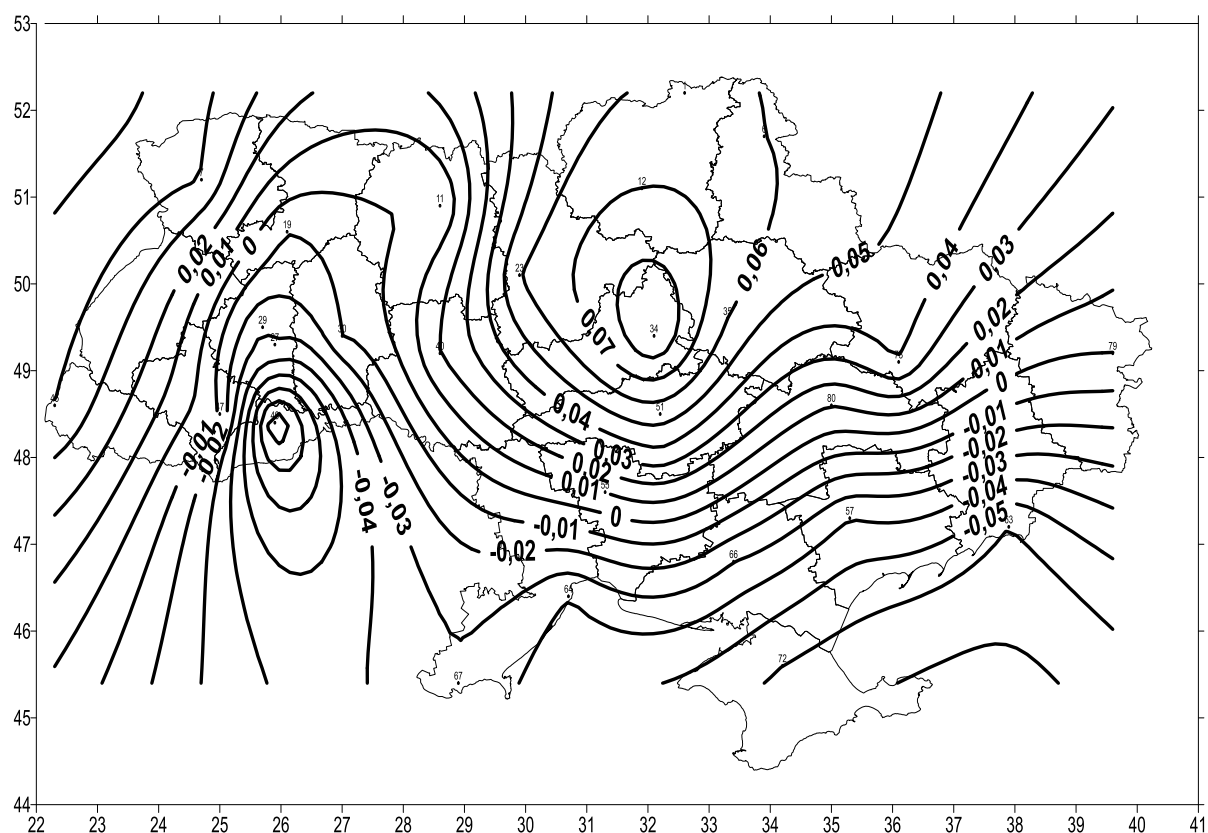


Рисунок 4.4 – Середньорічна різниця швидкостей між сценаріями RCP4.5 і RCP8.5 для періоду 2031-2050 рр. $\Delta V = (\bar{V}_{RCP45} - \bar{V}_{RCP85}), \text{м/с}$

Таблиця 4.3– Різниця між середньомісячними швидкостями вітру V_M за період 2011-2030 рр. та швидкостями, які відповідають кліматичної норми V_{KH} . $\Delta \bar{V} = \bar{V}_M - \bar{V}_{KH}$. Сценарій RCP4.5

№ ст.	Станція	Місяці																											
		I		II		III		IV		V		VI		VII		VIII		IX		X		XI		XII		Рік			
		V _М	V _{КН}	V _М	V _{КН}	V _М	V _{КН}	V _М	V _{КН}	V _М	V _{КН}	V _М	V _{КН}	V _М	V _{КН}	V _М	V _{КН}	V _М	V _{КН}	V _М	V _{КН}	V _М	V _{КН}	V _М	V _{КН}	V _М	V _{КН}		
Західна частина України (W.U.)																													
7	Ковель	5,6	3,5	5,4	3,5	4,8	3,6	4,5	3,2	4,0	2,7	3,8	2,5	3,4	2,4	3,6	2,2	4,1	2,4	4,5	2,9	5,0	3,6	5,4	3,4	4,5	3,0		
19	Рівне	5,6	4,8	5,4	4,7	4,7	4,6	4,1	4,3	3,7	3,7	3,5	3,4	3,0	3,3	3,3	3,1	3,8	3,7	4,2	4,2	4,8	5,1	5,2	4,9	4,3	4,2		
27	Стрий	4,8	3,1	4,8	2,8	4,5	2,9	4,1	2,6	3,6	2,1	3,3	2,1	3,0	1,9	3,1	1,6	3,7	1,9	3,8	2,3	4,3	2,9	4,6	2,8	4,0	2,4		
29	Тернопіль	5,0	4,0	5,0	4,1	4,5	4,0	4,1	3,6	3,6	3,0	3,3	2,8	3,0	2,7	3,1	2,5	3,7	2,9	3,9	3,3	4,4	4,1	4,8	4,0	4,0	3,4		
30	Хмельницький	5,1	4,1	5,0	4,2	4,7	4,1	4,2	3,8	3,7	3,1	3,4	3,0	3,0	2,8	3,2	2,6	3,8	2,9	4,0	3,4	4,4	4,2	4,8	4,1	4,1	3,5		
45	Ужгород	2,6	2,2	2,7	2,5	2,9	2,8	2,9	3,1	2,5	2,7	2,3	2,4	2,1	2,3	2,2	2,1	2,5	2,3	2,3	2,3	2,2	2,5	2,6	2,3	2,5	2,5		
47	Коломия	3,8	2,3	4,0	2,4	3,3	2,5	3,1	2,6	2,6	2,3	2,6	2,1	2,2	2,0	2,4	1,8	2,8	1,8	2,6	1,9	3,2	2,3	3,6	2,1	3,0	2,2		
49	Чернівці	3,1	4,0	3,1	4,2	3,1	4,1	3,1	4,0	2,8	3,6	2,6	3,4	2,4	3,3	2,5	3,1	2,9	3,1	2,9	3,4	3,2	3,8	3,0	3,7	2,9	3,6		
		4,5	3,5	4,4	3,6	4,1	3,6	3,7	3,4	3,3	2,9	3,1	2,7	2,8	2,6	2,9	2,4	3,4	2,6	3,5	3,0	4,0	3,6	4,3	3,4	3,7	3,1		
Північна частина України (N.U.)																													
1	Семенівка	5,8	3,7	5,6	3,8	5,1	3,5	4,5	3,4	3,8	2,9	3,5	2,7	3,3	2,5	3,4	2,4	3,9	2,9	4,3	3,3	4,7	3,8	5,2	3,9	4,4	3,2		
6	Глухів	5,9	3,6	5,7	3,7	5,2	3,5	4,4	3,3	3,8	2,9	3,5	2,6	3,2	2,4	3,4	2,4	3,9	2,7	4,2	3,1	4,7	3,6	5,2	3,8	4,4	3,1		
11	Коростень	5,0	4,0	4,8	3,7	4,5	3,8	4,0	3,6	3,5	3,0	3,4	2,9	2,9	2,9	3,3	2,9	3,6	3,2	3,9	3,5	4,4	4,1	4,8	4,0	4,0	3,5		
12	Ніжин	5,4	3,3	5,2	3,4	5,0	3,2	4,4	3,0	3,7	2,6	3,4	2,4	3,2	2,3	3,4	2,2	3,9	2,4	4,2	2,7	4,6	3,2	4,9	3,3	4,3	2,8		
23	Фастів	5,4	2,6	5,1	2,6	4,8	2,5	4,2	2,5	3,6	2,1	3,5	1,8	3,1	1,7	3,3	1,7	3,8	1,8	4,1	2,1	4,6	2,4	4,9	2,4	4,2	2,2		
		5,5	3,4	5,3	3,4	4,9	3,3	4,3	3,2	3,7	2,7	3,5	2,5	3,1	2,4	3,3	2,3	3,8	2,6	4,1	2,9	4,6	3,4	5,0	3,5	4,3	3,0		
Центральна частина України (C.U.)																													
34	Черкаси	5,2	4,5	5,1	4,6	4,9	4,4	4,3	4,3	3,7	3,8	3,5	3,2	3,2	3,1	3,4	3,2	4,0	3,3	4,2	3,6	4,7	4,1	4,9	4,3	4,3	3,9		
35	Веселий Поділ	4,7	4,2	4,8	4,5	4,8	4,1	4,1	4,0	3,6	3,3	3,4	2,9	3,1	2,9	3,3	3,0	3,8	3,1	3,9	3,4	4,3	3,9	4,5	4,0	4,0	3,6		
40	Вінниця	5,0	3,7	4,9	3,9	4,7	3,7	4,2	3,6	3,7	3,0	3,4	2,7	3,1	2,8	3,2	2,6	3,8	2,8	4,0	3,2	4,4	3,7	4,6	3,7	4,1	3,3		
51	Кіровоград	4,5	4,5	4,7	4,8	4,7	4,6	4,1	4,4	3,6	3,9	3,4	3,5	3,2	3,4	3,3	3,5	3,8	3,6	3,8	3,8	4,2	4,2	4,3	4,4	4,0	4,1		
80	Дніпропетровськ Кайдакі	4,4	5,4	4,5	5,7	4,6	5,2	4,1	5,0	3,6	4,4	3,4	3,8	3,2	3,7	3,4	3,8	3,8	4,1	3,8	4,6	4,1	4,9	4,3	5,2	3,9	4,7		
		4,8	4,5	4,8	4,7	4,7	4,4	4,2	4,3	3,6	3,7	3,4	3,2	3,2	3,2	3,3	3,2	3,9	3,4	3,9	3,7	4,3	4,2	4,5	4,3	4,1	3,9		
Східна частина України (E.U.)																													
63	Красноармійськ	4,3	4,3	4,6	4,6	4,9	4,2	4,3	4,1	3,7	3,7	3,5	3,1	3,6	2,8	3,7	2,8	3,9	2,9	4,0	3,3	4,3	3,8	4,5	4,0	4,1	3,6		
73	Харків	4,8	4,5	5,0	4,8	4,9	4,6	4,3	4,4	3,6	3,8	3,4	3,4	3,3	3,3	3,5	3,2	4,0	3,4	3,9	3,8	4,3	4,2	4,7	4,4	4,1	4,0		
79	Біловодськ	4,8	3,4	5,0	3,6	4,8	3,4	4,3	3,1	3,8	2,8	3,6	2,2	3,5	2,2	3,7	2,2	3,9	2,4	3,9	2,7	4,3	3,1	4,7	3,4	4,2	2,9		
		4,6	4,1	4,8	4,3	4,9	4,1	4,3	3,9	3,7	3,4	3,5	2,9	3,4	2,8	3,6	2,7	3,9	2,9	3,9	3,3	4,3	3,7	4,6	3,9	4,1	3,5		
Південна частина України (S.U.)																													
55	Вознесенськ	4,2	2,9	4,4	3,0	4,7	3,1	4,3	3,0	3,9	2,6	3,8	2,4	3,6	2,2	3,7	2,1	4,0	2,1	3,8	2,2	4,1	2,6	4,1	2,7	4,1	2,6		
57	Пришиб	4,5	4,0	4,6	4,5	4,8	4,0	4,3	3,8	3,6	3,3	3,4	2,7	3,3	2,6	3,4	2,7	3,8	2,8	3,9	3,1	4,3	3,5	4,4	3,6	4,0	3,4		
64	Одеса аеропорт	4,8	4,6	5,0	4,6	5,2	4,3	4,7	3,8	3,9	3,4	4,0	3,2	3,6	3,2	3,7	3,3	4,3	3,4	4,5	3,9	4,8	4,3	4,8	4,3	4,4	3,9		
66	Нова Каховка	4,3	4,2	4,5	4,4	4,9	4,0	4,7	3,6	4,1	3,2	4,0	3,0	3,9	3,0	3,9	3,1	4,1	3,0	4,0	3,3	4,3	3,8	4,3	3,9	4,3	3,5		
67	Ізмаїл	3,7	4,0	4,1	4,4	4,3	4,3	4,0	4,3	3,4	3,8	3,4	3,5	3,1	3,2	3,1	2,9	3,5	2,9	3,8	3,0	3,9	3,3	3,7	3,6	3,7	3,6		
72	Клепиніне	4,0	3,7	4,1	4,1	4,3	3,9	4,1	3,5	3,4	3,0	3,3	2,6	3,2	2,6	3,3	2,6	3,3	2,5	3,6	2,6	3,8	3,2	3,9	3,3	3,7	3,1		
		4,2	3,9	4,4	4,2	4,7	3,9	4,3	3,7	3,7	3,2	3,7	2,9	3,4	2,8	3,5	2,8	3,8	2,8	3,9	3,0	4,2	3,5	4,2	3,6	4,0	3,4		

Таблиця 4.4 – Різниця між середньомісячними швидкостями вітру V_M за період 2031-2050 рр. та швидкостями, які відповідають кліматичної норми V_{KH} . $\Delta \bar{V} = \bar{V}_M - \bar{V}_{KH}$. Сценарій RCP4.5

№ ст.	Станція	Місяці																									
		I		II		III		IV		V		VI		VII		VIII		IX		X		XI		XII		Рік	
		V _м	V _{кн}	V _м	V _{кн}	V _м	V _{кн}	V _м	V _{кн}	V _м	V _{кн}	V _м	V _{кн}	V _м	V _{кн}	V _м	V _{кн}	V _м	V _{кн}	V _м	V _{кн}	V _м	V _{кн}	V _м	V _{кн}	V _м	V _{кн}
Західна частина України (W.U.)																											
7	Ковель	5,50	3,5	5,14	3,5	4,99	3,6	4,35	3,2	4,14	2,7	3,78	2,5	3,62	2,4	3,72	2,2	4,18	2,4	4,42	2,9	4,93	3,6	5,49	3,4	5,50	3,5
19	Рівне	5,49	4,8	5,03	4,7	4,88	4,6	4,00	4,3	3,74	3,7	3,37	3,4	3,24	3,3	3,40	3,1	3,81	3,7	4,20	4,2	4,67	5,1	5,30	4,9	5,49	4,8
27	Стрий	4,77	3,1	4,60	2,8	4,50	2,9	3,83	2,6	3,61	2,1	3,22	2,1	3,07	1,9	3,29	1,6	3,59	1,9	3,89	2,3	4,13	2,9	4,72	2,8	4,77	3,1
29	Тернопіль	4,94	4	4,72	4,1	4,59	4	3,87	3,6	3,61	3	3,27	2,8	3,09	2,7	3,28	2,5	3,64	2,9	3,94	3,3	4,21	4,1	4,90	4	4,94	4
30	Хмельницький	5,15	4,1	4,76	4,2	4,71	4,1	3,99	3,8	3,78	3,1	3,30	3	3,21	2,8	3,38	2,6	3,69	2,9	4,07	3,4	4,31	4,2	4,92	4,1	5,15	4,1
45	Ужгород	2,58	2,2	2,70	2,5	2,94	2,8	2,75	3,1	2,65	2,7	2,38	2,4	2,23	2,3	2,32	2,1	2,43	2,3	2,36	2,3	2,25	2,5	2,43	2,3	2,58	2,2
47	Коломия	3,68	2,3	3,47	2,4	3,36	2,5	2,88	2,6	2,63	2,3	2,62	2,1	2,35	2	2,54	1,8	2,67	1,8	2,70	1,9	2,99	2,3	3,98	2,1	3,68	2,3
49	Чернівці	2,85	4	2,93	4,2	3,21	4,1	2,85	4	2,72	3,6	2,56	3,4	2,41	3,3	2,55	3,1	2,75	3,1	2,91	3,4	2,92	3,8	3,11	3,7	2,85	4
	Середнє	4,37	3,50	4,17	3,55	4,15	3,58	3,57	3,40	3,36	2,90	3,06	2,71	2,90	2,59	3,06	2,38	3,34	2,63	3,56	2,96	3,80	3,56	4,36	3,41	4,37	3,50
Північна частина України (N.U.)																											
1	Семенівка	5,83	3,7	5,41	3,8	5,32	3,5	4,26	3,4	3,98	2,9	3,57	2,7	3,42	2,5	3,4	2,4	3,93	2,9	4,19	3,3	4,73	3,8	5,44	3,9	4,46	3,2
6	Глухів	5,82	3,6	5,54	3,7	5,41	3,5	4,26	3,3	4,05	2,9	3,58	2,6	3,45	2,4	3,41	2,4	3,86	2,7	4,07	3,1	4,72	3,6	5,51	3,8	4,47	3,1
11	Коростень	4,9	4	4,58	3,7	4,48	3,8	3,82	3,6	3,69	3	3,26	2,9	3,23	2,9	3,28	2,9	3,66	3,2	3,97	3,5	4,35	4,1	4,74	4	4	3,5
12	Ніжин	5,49	3,3	5,09	3,4	5,03	3,2	4,14	3	3,94	2,6	3,48	2,4	3,44	2,3	3,41	2,2	3,85	2,4	4,11	2,7	4,62	3,2	5,11	3,3	4,31	2,8
23	Фастів	5,29	2,6	4,83	2,6	4,81	2,5	3,96	2,5	3,81	2,1	3,32	1,8	3,38	1,7	3,39	1,7	3,75	1,8	4,10	2,1	4,47	2,4	5,05	2,4	4,18	2,2
	Середнє	5,47	3,44	5,09	3,44	5,01	3,30	4,09	3,16	3,90	2,70	3,44	2,48	3,38	2,36	3,38	2,32	3,81	2,60	4,09	2,94	4,58	3,42	5,17	3,48	4,28	2,96
Центральна частина України (C.U.)																											
34	Черкаси	5,37	4,5	5,10	4,6	4,98	4,4	4,16	4,3	4,00	3,8	3,45	3,2	3,52	3,1	3,46	3,2	3,91	3,3	4,15	3,6	4,63	4,1	5,20	4,3	4,33	3,9
35	Веселий Поділ	4,97	4,2	4,75	4,5	4,76	4,1	4,07	4	3,80	3,3	3,31	2,9	3,37	2,9	3,33	3	3,65	3,1	3,80	3,4	4,21	3,9	4,71	4	4,06	3,6
40	Вінниця	5,04	3,7	4,74	3,9	4,67	3,7	3,93	3,6	3,76	3	3,26	2,7	3,25	2,8	3,40	2,6	3,68	2,8	4,07	3,2	4,28	3,7	4,84	3,7	4,08	3,3
51	Кіровоград	4,73	4,5	4,59	4,8	4,54	4,6	4,06	4,4	3,73	3,9	3,29	3,5	3,43	3,4	3,34	3,5	3,59	3,6	3,77	3,8	4,18	4,2	4,52	4,4	3,98	4,1
80	Дніпропетровськ Кайдаки	4,52	5,4	4,58	5,7	4,64	5,2	4,06	5	3,78	4,4	3,32	3,8	3,45	3,7	3,44	3,8	3,61	4,1	3,64	4,6	4,09	4,9	4,46	5,2	3,96	4,7
	Середнє	4,93	4,46	4,75	4,70	4,72	4,40	4,06	4,26	3,81	3,68	3,32	3,22	3,41	3,18	3,39	3,22	3,69	3,38	3,88	3,72	4,28	4,16	4,74	4,32	4,08	3,92
Східна частина України (E.U.)																											
63	Красноармійськ	4,42	4,3	4,69	4,6	4,69	4,2	4,20	4,1	3,65	3,7	3,49	3,1	3,82	2,8	3,63	2,8	3,72	2,9	3,97	3,3	4,11	3,8	4,50	4	4,07	3,6
73	Харків	5,09	4,5	5,02	4,8	4,96	4,6	4,25	4,4	3,94	3,8	3,46	3,4	3,53	3,3	3,54	3,2	3,69	3,4	3,79	3,8	4,37	4,2	4,86	4,4	4,21	4
79	Біловодськ	4,91	3,4	4,93	3,6	4,88	3,4	4,31	3,1	3,88	2,8	3,61	2,2	3,76	2,2	3,60	2,2	3,78	2,4	3,82	2,7	4,39	3,1	4,91	3,4	4,23	2,9
	Середнє	4,81	4,07	4,88	4,33	4,84	4,07	4,25	3,87	3,83	3,43	3,52	2,90	3,70	2,77	3,59	2,73	3,73	2,90	3,86	3,27	4,29	3,70	4,76	3,93	4,17	3,50
Південна частина України (S.U.)																											
55	Вознесенськ	4,39	2,9	4,46	3	4,59	3,1	4,29	3	4,00	2,6	3,68	2,4	3,91	2,2	3,75	2,1	3,85	2,1	3,75	2,2	3,96	2,6	4,32	2,7	4,08	2,6
57	Пришиб	4,55	4	4,61	4,5	4,71	4	4,12	3,8	3,68	3,3	3,15	2,7	3,46	2,6	3,42	2,7	3,57	2,8	3,86	3,1	4,23	3,5	4,48	3,6	3,99	3,4
64	Одеса аеропорт	5,04	4,6	4,98	4,6	5,03	4,3	4,49	3,8	4,00	3,4	3,73	3,2	3,77	3,2	3,73	3,3	3,99	3,4	4,40	3,9	4,61	4,3	5,03	4,3	4,40	3,9
66	Нова Каховка	4,51	4,2	4,62	4,4	4,79	4	4,48	3,6	4,11	3,2	3,79	3	4,07	3	4,01	3,1	3,95	3	4,03	3,3	4,09	3,8	4,38	3,9	4,24	3,5
67	Ізмаїл	3,93	4	4,13	4,4	4,13	4,3	3,78	4,3	3,42	3,8	3,20	3,5	3,33	3,2	3,30	2,9	3,45	2,9	3,81	3	3,82	3,3	4,03	3,6	3,69	3,6
72	Клепиніне	3,96	3,7	4,10	4,1	4,07	3,9	3,77	3,5	3,17	3	3,15	2,6	3,32	2,6	3,36	2,6	3,30	2,5	3,62	2,6	3,73	3,2	3,93	3,3	3,62	3,1
	Середнє	4,40	3,90	4,48	4,17	4,55	3,93	4,15	3,67	3,73	3,22	3,45	2,90	3,64	2,80	3,59	2,78	3,68	2,78	3,91	3,02	4,07	3,45	4,36	3,57	4,00	3,35

Особливо це підвищення торкнеться північного регіону де зростання буде до 1,3 м/с. У таблиці 4.4 показані аналогічні різниці швидкостей вітру між швидкістю \bar{V}_M по сценарію RCP4.5 зі швидкістю вітру \bar{V}_{KH} за період 2031-2050 рр.

Прогнозовані швидкості приземного вітру для середини ХХІ століття показані в таблицях 4.5 і 4.6.

Таблиця 4.5 – Середньомісячні швидкості вітру за прогнозований період 2011-2030 рр., згідно зі сценарієм RCP4.5 для п'яти регіонів України

№ ст	Назва Станції	Місяці												
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Рік
Західна частина України (W.U.)														
7	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
19	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
27	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
29	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
30	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
45	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
47	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
49	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.)														
1	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
6	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
11	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
12	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
23	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.)														
34	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
35	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
40	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
51	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
80	Дніпропетровськ Кайдакі	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.)														
63	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
73	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
79	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

Продовження табл.4.5

№ ст	Назва Станції	Місяці												
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Рік
Південна частина України (S.U.)														
55	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
57	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
64	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
66	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
67	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
72	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 4.6 – Середньомісячні швидкості вітру за прогнозований період 2031-2050 рр., згідно зі сценарієм RCP4.5 для п'яти регіонів України

№ ст.	Назва станції	Місяці												
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Рік
Західна частина України (W.U.)														
7	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
19	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
27	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
29	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
30	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
45	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
47	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
49	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.)														
1	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
6	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
11	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
12	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
23	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.)														
34	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
35	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
40	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
51	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
80	Дніпропетровськ													
	Кайдаки	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.)														
63	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
73	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
79	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

Продовження табл.4.6

№ ст	Назва Станції	Місяці												
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Рік
Південна частина України (S.U.)														
55	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
57	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
64	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
66	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
67	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
72	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 більш 3,0 м/с, а в холодний більше 4,0 м. Отримані швидкості приземного вітру можуть бути основою для розрахунку висотного вітру, дані про яких вкрай необхідні для розвитку вітроенергетики України. Приклад розрахунку швидкості вітру на різних висотах до 300 м наведено в таблиці 4.7.

Таблиця 4.7 – Швидкості вітру на висотах 100, 200 і 300 м прогнозовані за сценарієм RCP4.5 для 5-ти регіонів України

№ ст.	Назва станції	2011-2030				2031-2050			
		C10	C100	C200	C300	C10	C100	C200	C300
Західна частина України (W.U.)									
7	Ковель	4,51	7,10	8,14	8,83	4,52	7,13	8,19	8,88
19	Рівне	4,28	6,73	7,72	8,37	4,26	6,71	7,70	8,35
27	Стрий	3,98	6,27	7,20	7,80	3,94	6,21	7,13	7,73
29	Тернопіль	4,05	6,37	7,31	7,93	4,01	6,31	7,25	7,86
30	Хмельницький	4,11	6,48	7,44	8,07	4,11	6,47	7,43	8,06
45	Ужгород	2,49	3,95	4,54	4,93	2,50	3,97	4,57	4,97
47	Коломия	3,02	4,76	5,46	5,92	2,99	4,71	5,41	5,87
49	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
Північна частина України (N.U.)									
1	Семенівка	4,43	6,97	8,00	8,67	4,46	7,02	8,06	8,74
6	Глухів	4,42	6,95	7,97	8,64	4,47	7,05	8,09	8,77
11	Коростень	4,01	6,32	7,25	7,86	4,00	6,30	7,24	7,85
12	Ніжин	4,27	6,73	7,72	8,37	4,31	6,79	7,80	8,45
23	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
Центральна частина України (C.U.)									
34	Черкаси	4,27	6,74	7,73	8,38	4,33	6,82	7,83	8,49
35	Веселий Поділ	4,03	6,36	7,30	7,92	4,06	6,41	7,37	7,99
40	Вінниця	4,09	6,44	7,40	8,02	4,08	6,43	7,38	8,00
51	Кіровоград	3,96	6,26	7,19	7,79	3,98	6,29	7,23	7,84
80	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

№ ст.	Назва станції	2011-2030				2031-2050			
		C10	C100	C200	C300	C10	C100	C200	C300
Східна частина України (E.U.)									
63	Красноармійськ	4,11	6,51	7,48	8,12	4,07	6,45	7,42	8,05
73	Харків	4,15	6,55	7,52	8,16	4,21	6,65	7,64	8,29
79	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
Південна частина України (S.U.)									
55	Вознесенськ	4,05	6,43	7,40	8,03	4,08	6,47	7,44	8,08
57	Пришиб	4,01	6,34	7,29	7,90	3,99	6,30	7,24	7,85
64	Одеса аеропорт	4,42	6,99	8,03	8,71	4,40	6,95	7,99	8,66
66	Нова Каховка	4,26	6,77	7,78	8,45	4,24	6,72	7,73	8,39
67	Ізмаїл	3,67	5,81	6,68	7,25	3,69	5,84	6,72	7,29
72	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 даними отриманих з урахуванням сценаріїв RCP4.5 і RCP8.5, можна констатувати збільшення швидкості вітру в усіх 5-ти регіонах України. Ці результати дзеркально відрізняються від зміни вітрового режиму України, які були отримані за сценаріями A1 і A2 і опубліковані в роботі [9].

Вкрай цікавими є результати порівняння швидкості вітру, які були осереднені 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 4.5 та 4.6.

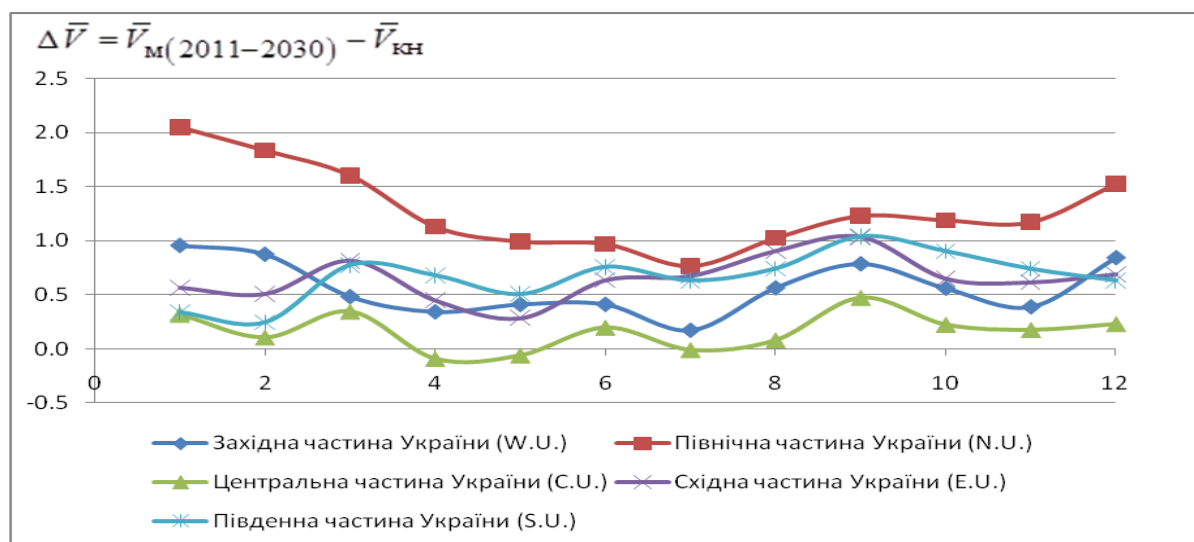


Рисунок 4.5 – Річний хід різниці між середньомісячними модельними значеннями швидкості V_M за період 2011-2030 рр. та швидкостями кліматичної норми V_{KH} , $\Delta \bar{V} = \bar{V}_M(2011-2030) - \bar{V}_{KH}$

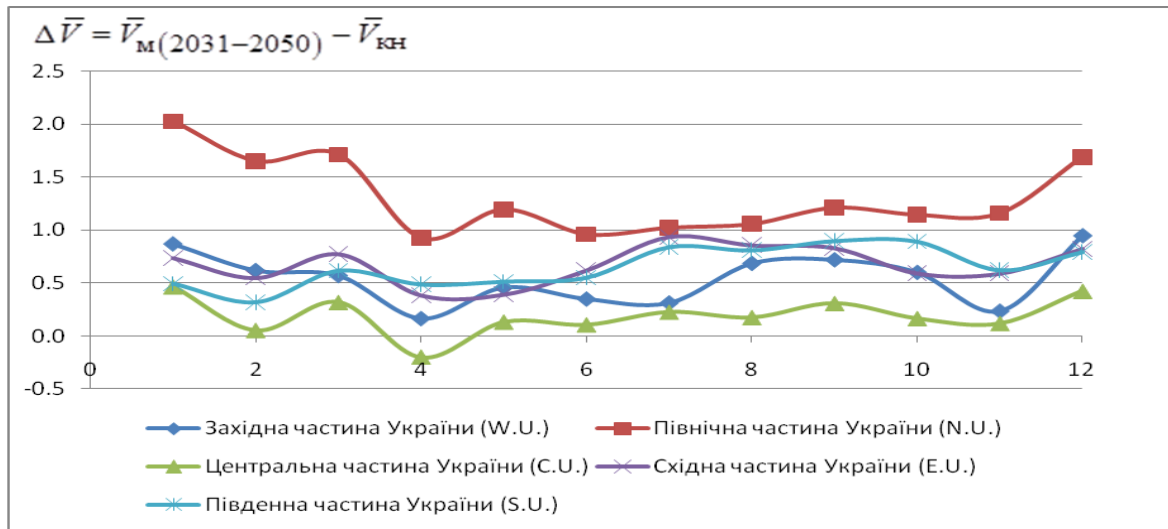


Рисунок 4.6 – Річний хід різниці між середньомісячними модельними значеннями швидкості V_M за період 2031-2050 рр. та швидкостями кліматичної норми V_{KH} , $\Delta \bar{V} = \bar{V}_M(2031-2050) - \bar{V}_{KH}$

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. 4.2). Відмінності проявляються лише в просторовому розподілі по території України в знаках різниць швидкостей вітру між двома сценаріями.

Сімейство ліній на рис. 4.7 показує збільшення в холодний період року прогнозованих швидкостей вітру, відносно кліматичної норми, та зменшення швидкостей в теплий період року для північного регіону, тоді як в інших регіонах модуль різниці практично зберігається протягом року.

Звертає на себе увагу періодичний характер річного ходу зміни різниць значень швидкості вітру між двома модельованими періодами $\Delta V = \bar{V}_M(2011-2030) - \bar{V}_M(2031-2050)$ (рис.4.7). Таку періодичність навряд чи можна пояснити наявністю будь-яких природних процесів. Тому з'являється сумнів в достовірності моделювання сценаріями змін клімату циркуляційних умов.



Рисунок 4.7 – Річний хід різниці між середньомісячними модельними значеннями швидкості V_M за періоди 2011-2030 рр. та 2031-2050 рр., $\Delta V = \bar{V}_M(2011-2030) - \bar{V}_M(2031-2050)$

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

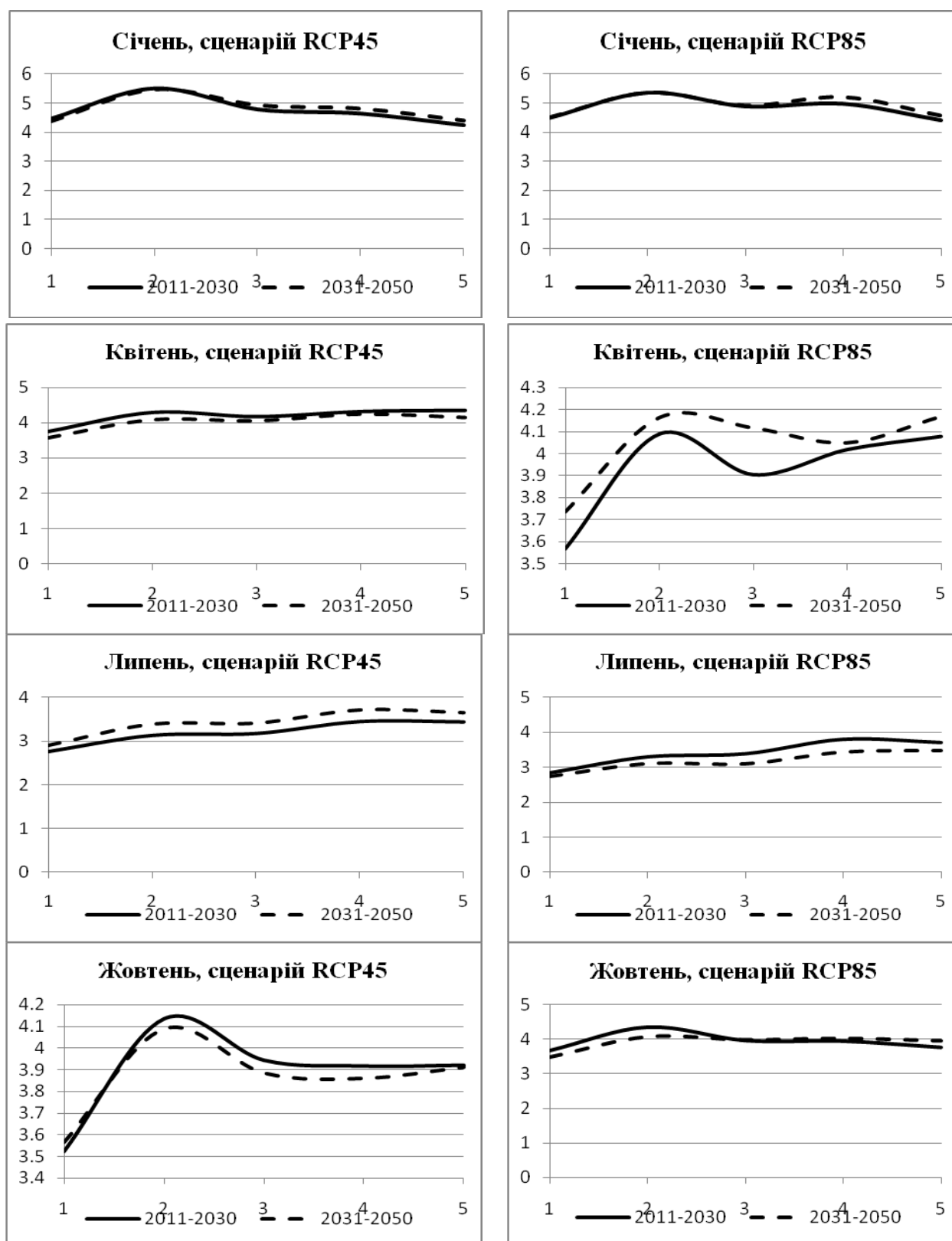
Сценарій RCP4.5 (рис.4.8).

Для всіх сезонів проявляються наступні 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 вище 5 м/с;
- 2) Фон швидкостей в липні знижується і у всіх регіонах встановлюється середня швидкість яка дорівнює 3-3,5 м/с
- 3) У жовтні розподіл середній 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.4.8).

- 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 дзеркальне відображення розподілу 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

Рисунок 4.8 – Середньомісячні швидкості вітру V_M за центральні місяці сезонів для періодів 2010-2030 та 2031-2050 рр. за сценаріями RCP4.5 і RCP8.5

Відмінностей, як було зазначено раніше, в значеннях середніх швидкостей вітру між двома сценаріями практично не існує, що слідує і з розподілу швидкостей вітру по регіонах України (рис 4.8).

Просторові зміни середньорічних швидкостей вітру

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

Розподіл середньомісячних швидкостей вітру для 2-х прогнозованих періодів, показано на рисунках 4.9-4.10. На рисунках показані поля вітру, які осереднені за кожен модельований період з 2011 р. по 2030 р. і період з 2031 р. по 2050 р. Ізолії рівних швидкостей вітру проведені з дискретністю 0,5 м/с, починаючи від ізолії 2,5 м/с до ізолії 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 от режиму вітру за базовий кліматичний період.

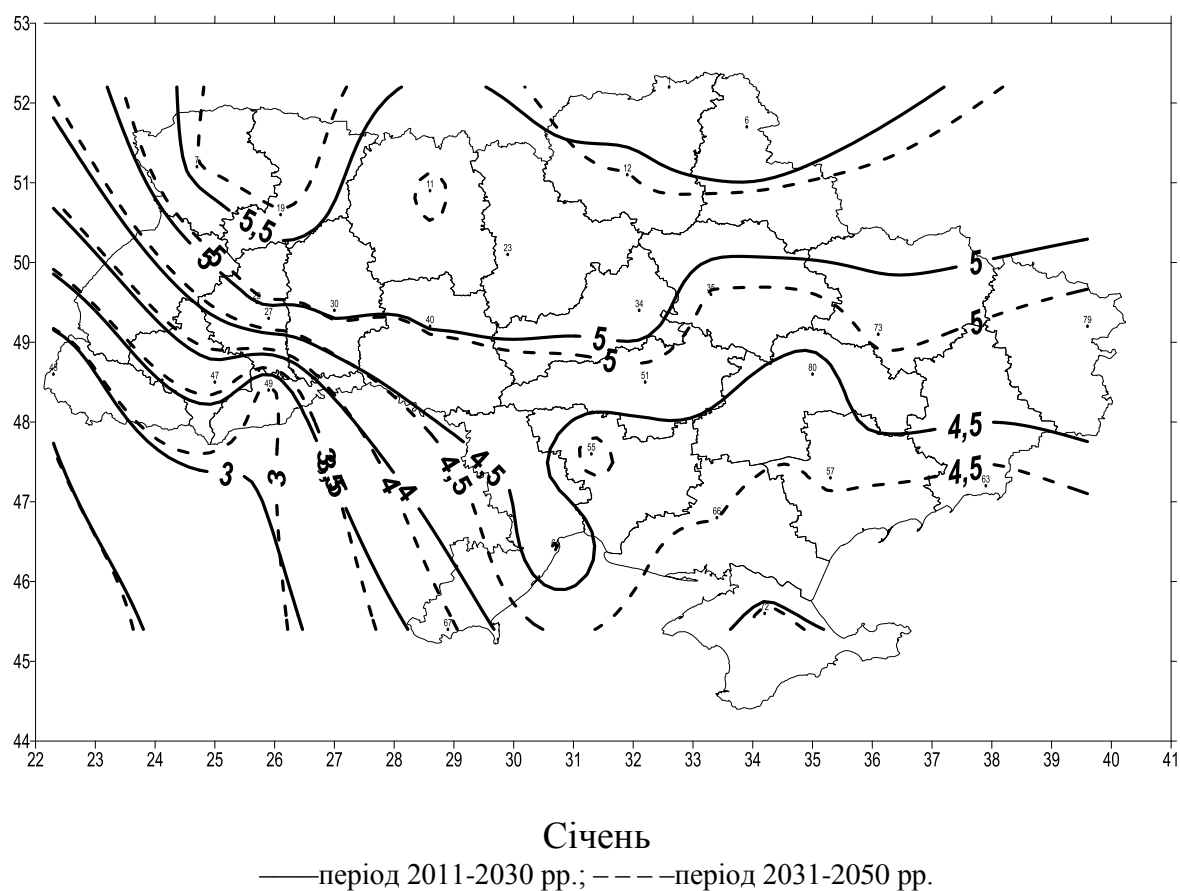


Рисунок 4.9 – Карти розподілу середньомісячної швидкостей вітру для сценарію RCP4.5, аркуш 1

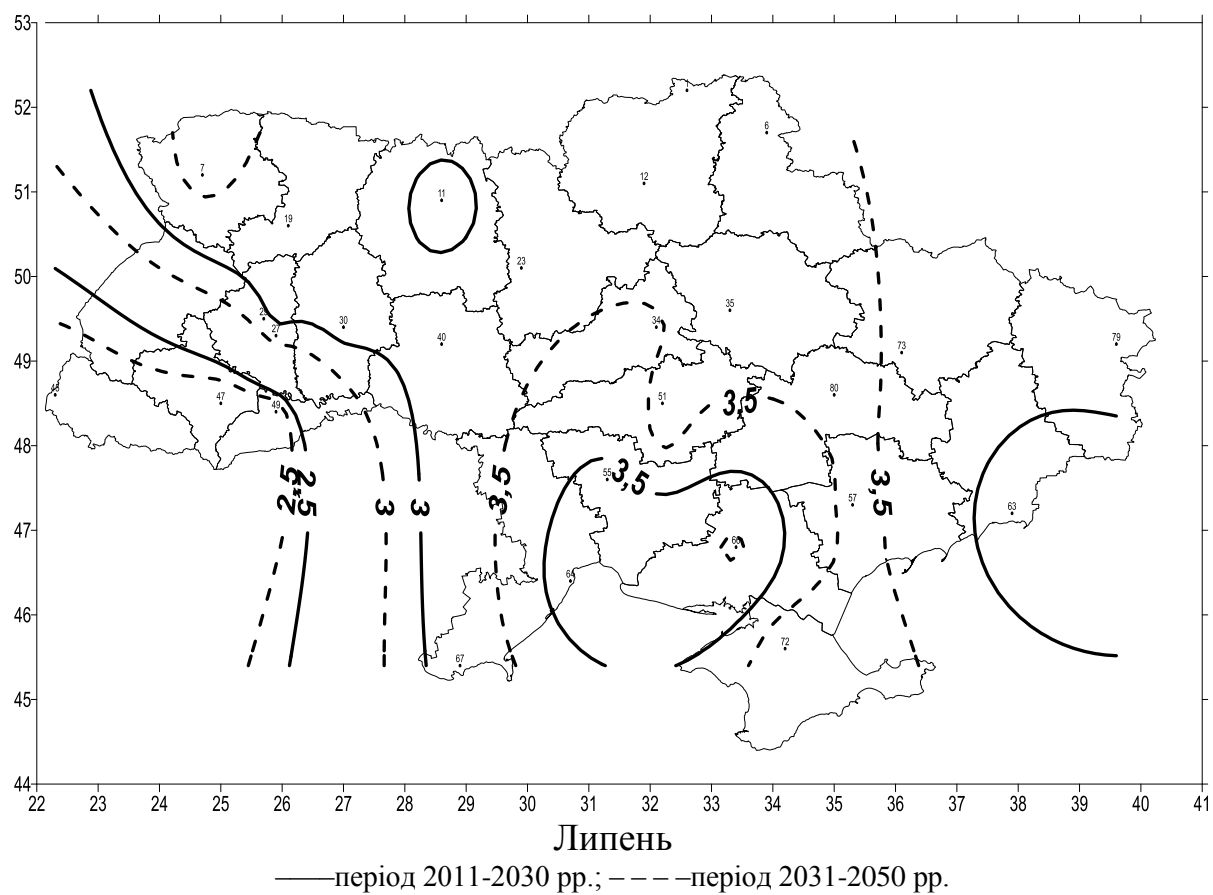
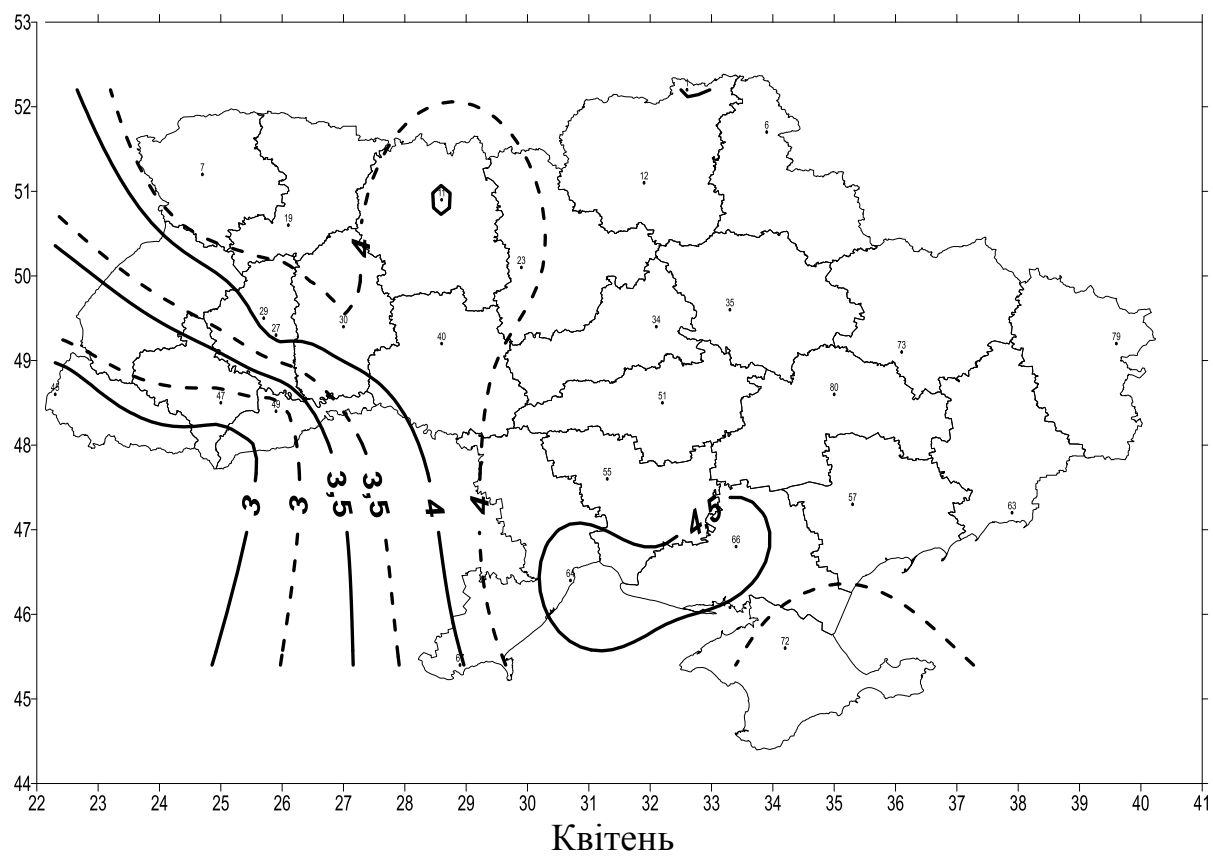


Рисунок 4.9, аркуш 2

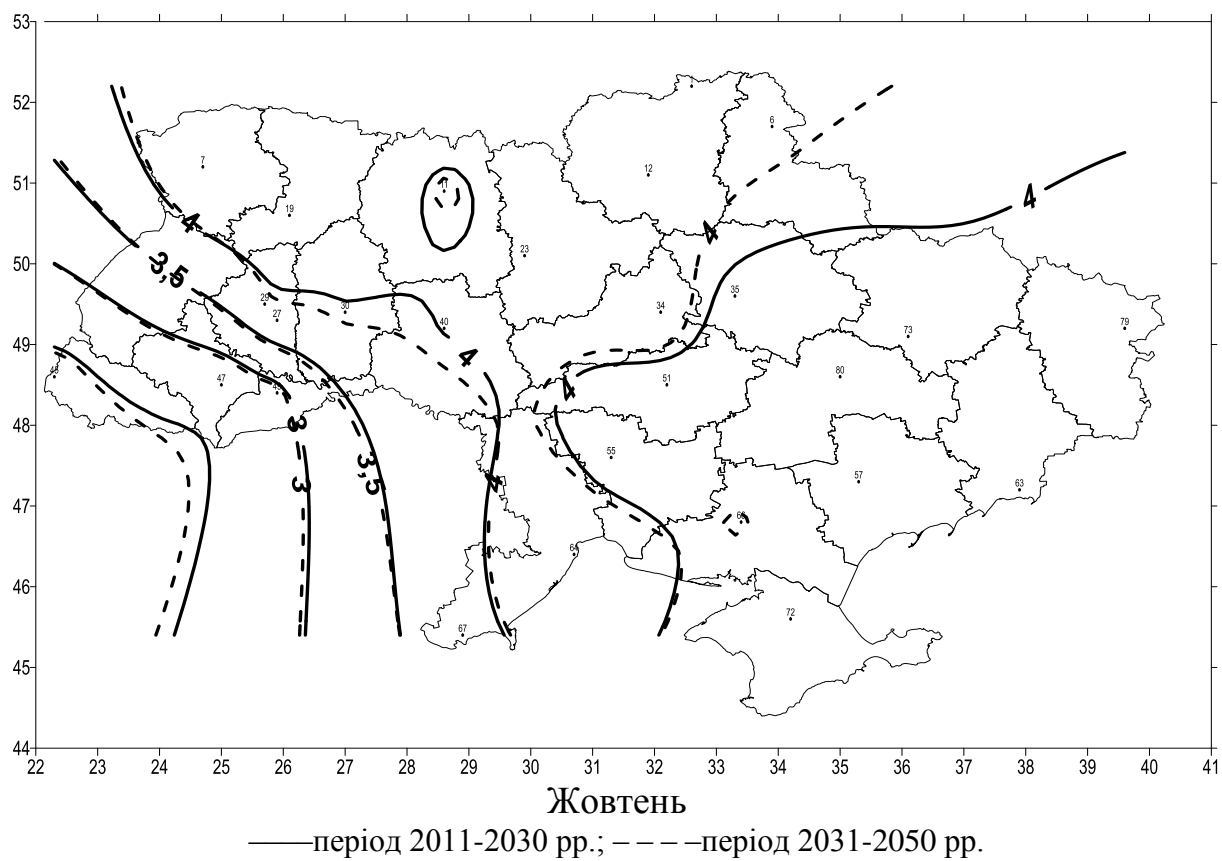


Рисунок 4.9, аркуш 3

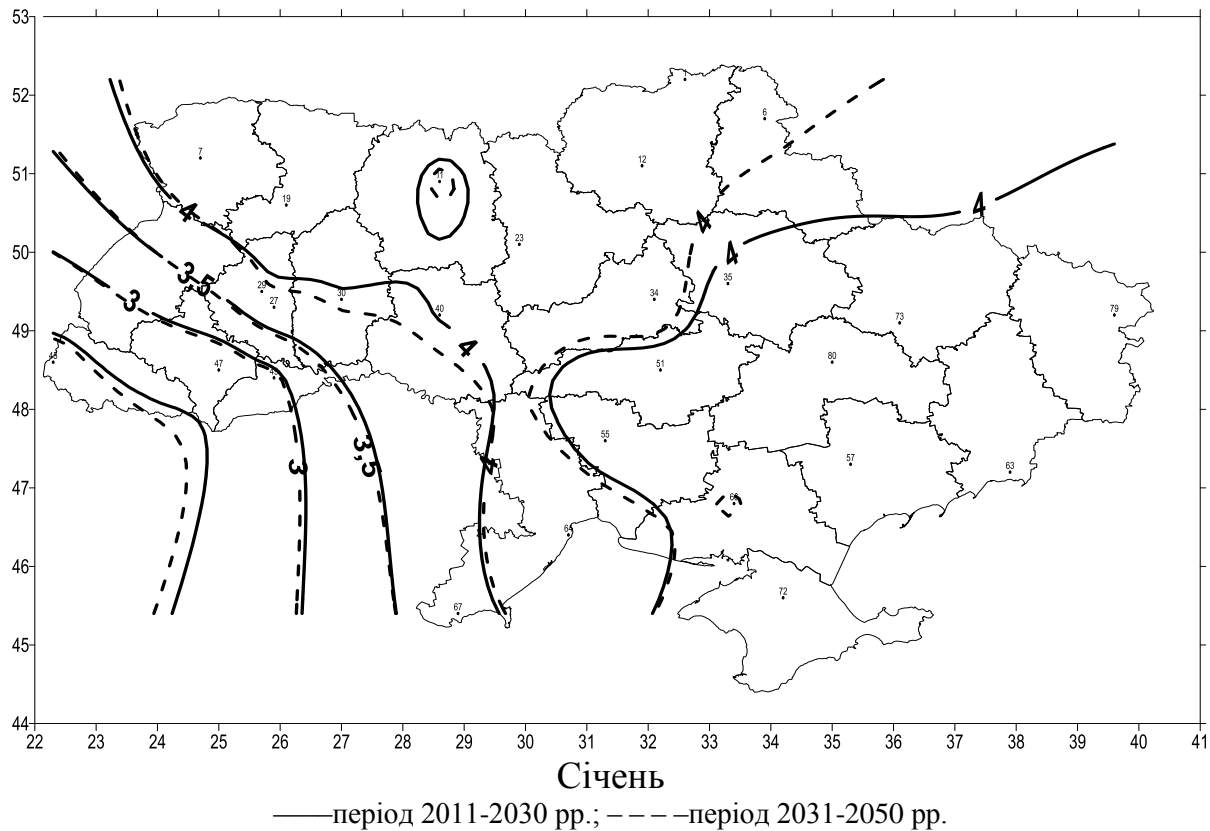
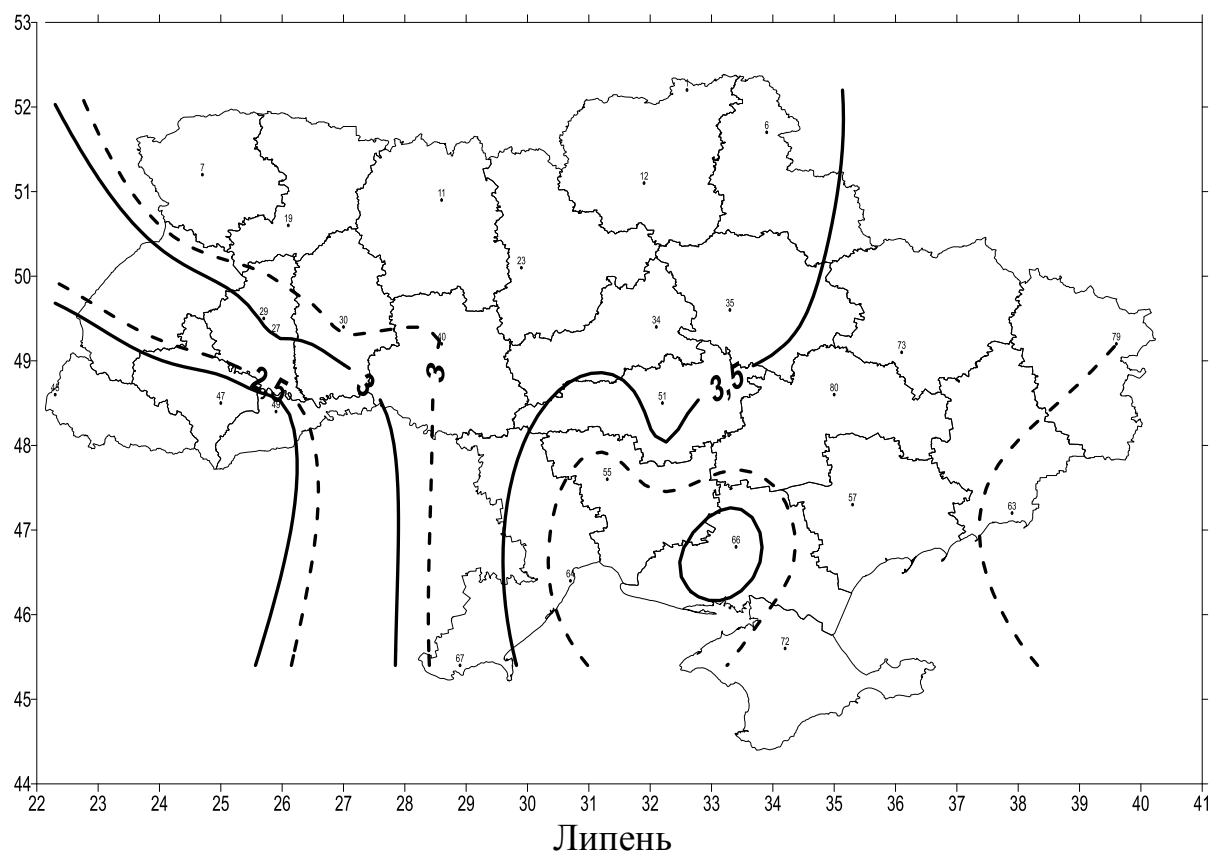
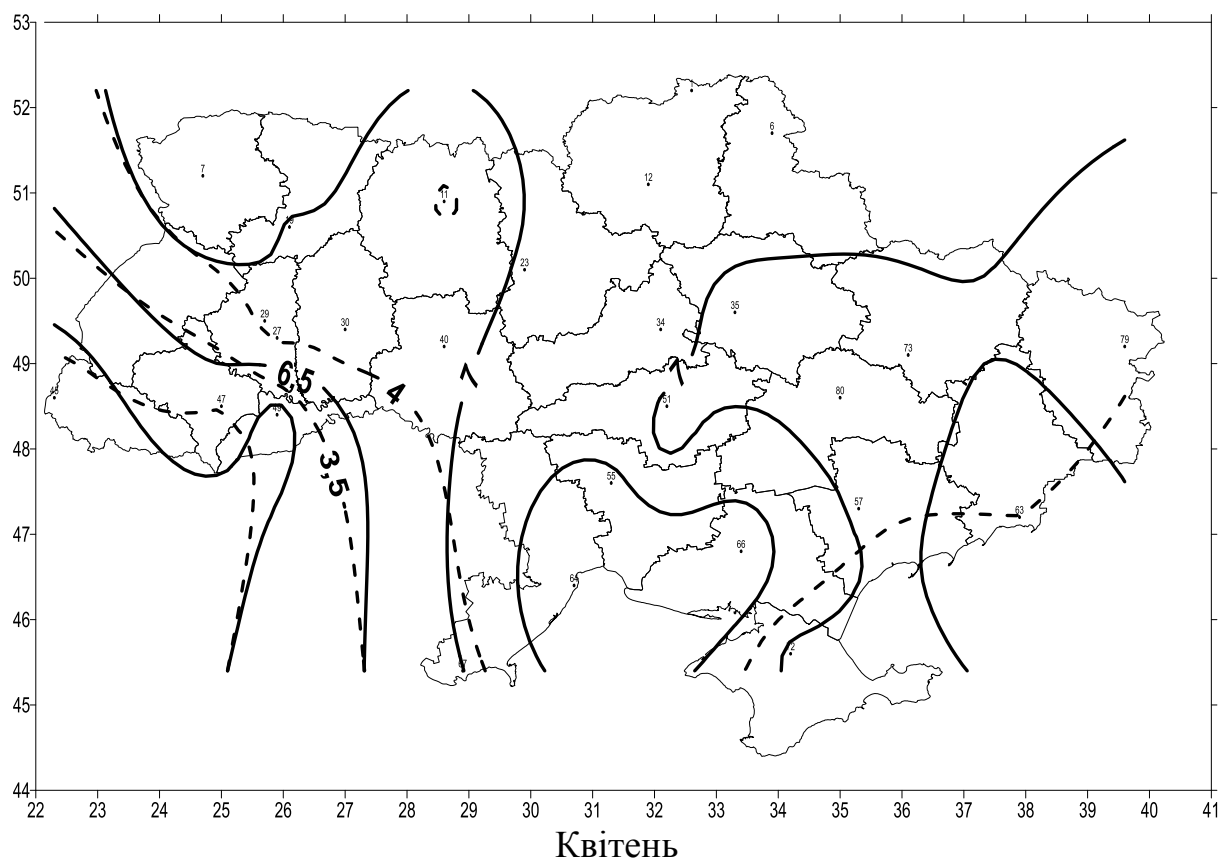


Рисунок 4.10 – Карти розподілу середньомісячної швидкостей вітру для сценарію RCP8.5, аркуш 1



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

Рисунок 4.10, аркуш 2

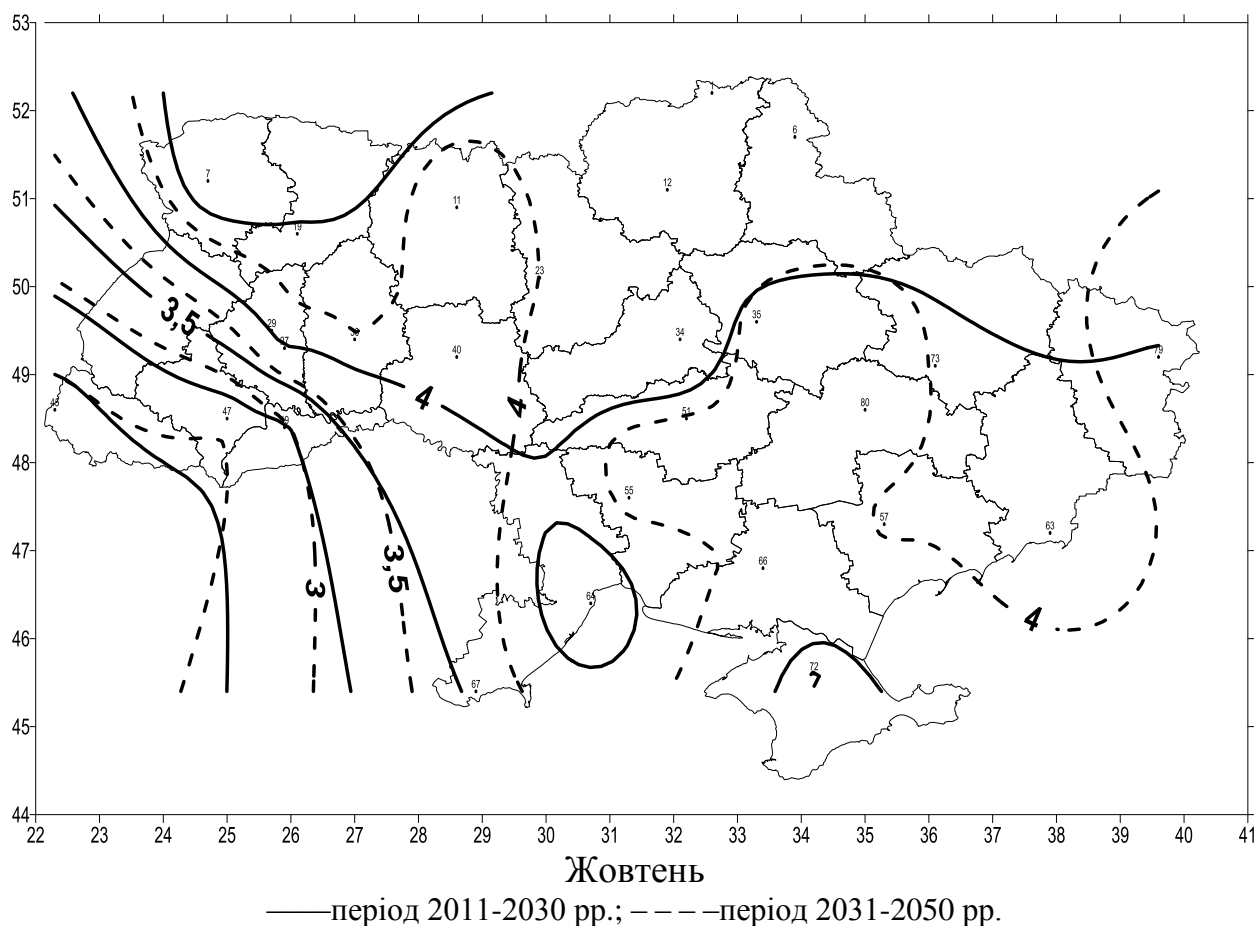


Рисунок 4.10, аркуш 3

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

Основні положення просторового розподілу швидкості вітру для двох сценаріїв можна визначити наступним чином.

Швидкість вітру збільшиться у всіх регіонах, крім західного. Найбільшого збільшення швидкості буде спостерігатися 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 в список населених пунктів, наприклад, в 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.).

Ділі розглянемо зміни поле вітру, отримані за сценарієм RCP4.5 за два послідовних періоди.

Січень. Швидкості вітру і його розподіл по території України практично не змінюється від періоду до періоду. Відхилення швидкостей між ними

незначне. Є тільки відмінність в південному регіоні, де зменшується область сильних вітрів які більш 4 м/с уздовж прибережної зони Чорного та Азовського моря. У північних областях України прогнозується досить великі середньомісячні швидкості, які досягають 5,5 м/с. У південному регіоні швидкості будуть в межах 4-4,5 м / с

Квітень. Основна відмінність в розподілі швидкості по території полягає в зростанні швидкості вітру (більше 4 м/с) в північному регіоні в другому прогнозованому періоді 2031-2050 рр. Східні і центральні регіони України мають середньомісячна швидкість близько 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 другого прогнозованого періоду.

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

Розглянемо тепер зміни поле вітру, які отримані за сценарієм RCP8.5.

Січень. Просторовий характер розподілу швидкості вітру зберігається як і в сценарії 45, 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 швидкості вітру в прибережних районах Приазов'я.

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

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

Структура поля вітру на території України буде відповідати наступним положенням:

- В січні місяці згідно з прогнозами кліматичних моделей за сценарієм RCP4.5 область великих середньомісячної швидкості вітру більш ніж 5 м/с охоплює всі північні області України від Луцької до Харківської області. Однак, за сценарієм RCP8.5 в цих областях прогнозується менша швидкість вітру на 1 м/с. У січні в південному регіоні за сценарієм RCP4.5 також будуть спостерігатися досить великі середньомісячні швидкості вітру 4-4,5 м/с, а за сценарієм RCP8.5 швидкості зменшаються 1 м/с.

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

4.3 Визначення ризиків небезпечних гідрометеорологічних явищ

Сучасні зміни клімату, що характеризуються збільшенням варіабельності кліматичних параметрів, супроводжуються зростанням повторюваності небезпечних гідрометеорологічних явищ (НЯ), що призводять до збільшення економічного та соціального збитків в різних регіонах України.

До небезпечних метеорологічних явищ відносяться явища погоди, які інтенсивністю, тривалістю та часом виникнення створюють загрозу безпеці людей, а також можуть завдати значної шкоди галузям економіки.

В останні роки за даними ряду авторів повторюваність НЯ в цілому по Україні зростає. При цьому помітно збільшився збиток від НЯ.

У сучасному суспільстві темі ризиків, зокрема гідрометеорологічних, приділяється значна увага. Ряд дослідників під гідрометеорологічними ризиками розуміють статистичні ймовірності настання тих чи інших аномальних або небезпечних явищ погоди [10]. Інші вчені в своїх роботах використовують поняття ризику як функції частоти та наслідків небажаної події [11, 12]. Найчастіше використовують непрямі методи для розрахунку соціально-економічних складових ризиків, так як існує проблема відсутності достовірної та доступної інформації економічних збитків від НЯ, за числом загиблих і потерпілих людей в результаті прояву окремих НЯ.

Економіка пред'являє собою все більш жорсткі вимоги до науки про клімат, що об'єктивно зумовлено ускладненням виробничих процесів, зростанням потенційних збитків від стихійних явищ та іншими причинами. Така ситуація вимагає нових і все більш складних типів кліматологічного обслуговування майже в кожному секторі економіки. Дослідження небезпечних метеорологічних явищ і кількісних оцінки ризиків, створених ними, є істотним внеском у розвиток прикладної кліматології.

До останнього часу проблеми вразливості економіки та ризиків внаслідок настання НЯ і стихійних лих оцінювалися за допомогою деяких індексів. Індeksi вразливості, маючи ряд позитивних сторін (можливість порівняння, картування уразливості та ін.) вони не дозволяли виконати секторальне економічне оцінювання вразливості й ризиків від того чи іншого конкретного НЯ, а також скласти кількісну оцінку наслідків НЯ і, отже, прийняти обґрунтовані адаптаційні заходи.

Тому створена система показників ризиків, що дозволяють судити про предмет оцінки ризику:

- індивідуальний ризик;
- потенційний ризик;
- колективний ризик;
- соціальний ризик;
- технічний (матеріальний) ризик;
- екологічний ризик.

Кожен з цих показників відіграє свою роль в кількісній характеристиці наслідків небезпек і загроз для реципієнтів техногенного ризику. Основні з перерахованих показників входять в число найбільш використовуваних при всебічній оцінці ризику НЯ. Розглянемо деякі з них детальніше.

Індивідуальний ризик, відповідно до назви та практики застосування характеризує ризик людини (індивідуума) як об'єкта уразливості певних небезпек і загроз. Пріоритетне положення цього показника ризику в існуючій системі цінностей обумовлено її вищим елементом – людським життям. Таким чином, індивідуальний ризик займає головне місце серед інших показників і є однією з найбільш часто використовуваних показників небезпек, що виражає частоту (або ймовірність) втрати здоров'я або смерті людини.

Потенційний ризик висловлює собою потенціал максимально можливої небезпеки в даній точці. Потенційний ризик не залежить від того, чи знаходиться об'єкт – джерело небезпеки в багатолюдному або пустельному місці, тобто розглядається безвідносно реципієнтів, їх властивостей і життєвих інтересів. Разом з тим, за допомогою потенційного ризику можна враховувати ступінь небезпеки для будь-яких об'єктів впливу (реципієнтів), наприклад, населення (в тому числі індивідуальний ризик), матеріальних або природних ресурсів. При цьому умовна ймовірність ураження (небажаних наслідків) буде залежати від уразливості реципієнта в результаті впливу досліджуваного вражаючого фактору.

Однак небезпечні явища можуть створювати вплив на групу людей й тоді наслідки визначаються кількістю потерпілих. Тому необхідно враховувати кількість людей, що знаходяться у можливих зонах враження. Дана величина може бути охарактеризована розподілом населення на території, що розглядається й для довільного моменту часу також є ймовірною величиною. Таким чином, показником *колективного ризику* на відміну від індивідуального, є інтегральна міра небезпечності, що відбиває масштаб очікуваних наслідків для людей в результаті НЯ.

Існуюча в області промислової безпеки та прийнята до розгляду система показників ризику (індивідуальний, колективний, соціальний, технічний, екологічний) враховує впливи, що виникає при реалізації небезпек на певні об'єкти. Таким об'єктом впливу, тобто сферою *соціального ризику*, є групи людей або їх інтереси (в цьому його схожість з колективним ризиком), а також спільноти людей або суспільства в цілому. У цьому полягає перша ознака соціального ризику – масштабність.

Другою ознакою соціального ризику є вид і ступінь тяжкості негативних наслідків. Цей показник ризику враховує не тільки загибель, травми й хвороби людей, які постраждали в результаті НЯ. Соціальний ризик може брати до уваги економічні та соціальні втрати (збитки) в разі порушення процесу нормальної життєдіяльності, а також внаслідок змін в навколишньому середовищі (соціального та природного) при реалізації небезпеки.

Соціальний збиток населенню та території полягає в негативному впливі на фізичний, матеріальний й моральний стан людей. Соціальні та інші наслідки можуть негативно позначатися на реалізації соціальних та економічних програм, тим самим знижуючи економічні можливості держави.

Визначення різних видів ризику від НЯ зустрічає цілий ряд труднощів при розрахунках, як першої, так і другої складової ризику. При визначенні-розподілі частоти небезпечного явища доводиться розрізняти явища, на такі, що спостерігаються тільки один раз в році та явища, що спостерігаються кілька разів. У першому випадку ймовірність явищ визначається як число явищ до числа років досліджуваного ряду (20 років). У другому випадку спочатку розраховуються не ймовірність числа явищ, а ймовірність років з явищем. Частота явищ в кожному році враховуються пізніше при остаточному розрахунку ризику.

Основною трудностю другого етапу розрахунку ризику є відсутність достовірної та доступної інформації про уразливість території, тобто збиток, створюваному НЯ. Тому другу складову ризику довелося визначати в основному непрямым способом.

Збиток та ризик створюваний НЯ залежить від трьох основних чинників:

- розмір площі охоплення небезпечним явищем;
- тривалість НЯ;
- ступінь агресивності НЯ або сила впливу на об'єкти економіки.

Всі ці три фактори враховувалися при оцінці частки ВВП, що припадає на одну людину, в розрахунках економічного ризику.

Слід мати на увазі, що уразливість залежить ще від ступеня розвитку території, що піддається впливу НЯ. Чим досконаліша економіка, тим більший збиток виникає при проходженні через неї НЯ, а також від географічних особливостей території.

В основі непрямого методу розрахунку економічного ризику лежать слідуєчи основні постулати:

- розвиток індустрії та сільського господарства тісно пов'язане з щільністю населення;
- економічним еквівалентом уразливості або ціною ризику є частка валового промислового продукту (ВВП) і основного фонду, що припадає на одного жителя України.

Ризиком, названа ймовірність небажаної події та розмір його наслідків:

$$P = p \cdot x, \quad (4.1)$$

де p – ймовірність події;

x – наслідки події або вразливість деякого об'єкта, що зазнає впливу НЯ.

Соціальний ризик $P_{соц}$, являє собою співвідношення між числом людей, які зазнали впливу джерела небезпеки, і ймовірністю такого події.

Величини, зазначені в формулах, можуть бути представлені у вигляді:

$$x = m \cdot \frac{s}{S} \cdot t \cdot k, \quad (4.2)$$

де m – число людей на даній території;

s – середня площа НЯ, км²;

S – площа території, км²;

t – середня тривалість НЯ, діб;

k – коефіцієнт агресивності НЯ.

Середня площа визначалася при розгляді окремих випадків виникнення НЯ. У тих випадках, коли таку площу, визначити було не можливо, тоді в якості радіусу даної площі приймався радіус кореляції даного явища.

У разі, коли НЯ спостерігалось тільки 1 раз на рік:

$$p = \frac{n}{N}, \quad (4.3)$$

де n – число НЯ на даній території за весь період спостережень;

N – кількість років спостережень.

Коли НЯ спостерігається декілька разів за рік, тоді ймовірність років з НЯ визначається за рівнянням:

$$p = \frac{N'}{N}, \quad (4.4)$$

де N' – число років з НЯ.

Враховуючи все вище згадане, ризик нанесення соціального збитку будемо визначати за рівнянням:

$$P_{соц} = p \cdot \frac{s}{S} \cdot m \cdot t \cdot k. \quad (4.5)$$

Основою економічного механізму управління ризиком є визначення економічного збитку (З), що створюється небезпечним явищем. Загальний збиток на даній території може бути названий економічним ризиком ($P_{ек}$):

$$P_{ек} = З = A P_{соц}, \quad (4.6)$$

де A – коефіцієнт, який визначає ціну ризику, дорівнює ВВП з загального фонду України, що приходить на одного громадянина України.

Для переходу до економічного ризику необхідно кількісно оцінити збиток, використовуючи ВВП. При цьому необхідно розрахувати частку збитку за період рівний тривалості явища.

На основі отриманих даних з повторюваності НЯ, використовуючи вказану методику, запропоновану в роботах [11, 13], було проведено

розрахунок соціальних і економічних ризиків для території України. У запропонованій методиці під соціальним ризиком розуміють ймовірність попадання населення даної території в зону з НЯ в середньому за рік.

Безпосередньо до НЯ по швидкості вітру будемо відносити «сильний вітер, в тому числі шквали або смерчі» середньодобова швидкість якого (включає пориви) більше ніж 20 м/с.

Критерій вибору НЯ «сильний вітер», який визначається за даними середньодобової швидкості, гарантує, що протягом доби, в окремі проміжки часу, будуть спостерігатися швидкості (включаючи пориви) більше 25 м/с. Також до небезпечного явища "сильний вітер" протягом доби, може бути вітер з меншою швидкістю, при якому завдано значна шкода.

4.3.1 Соціальний ризик

Відомо, що до небезпечних метеорологічних явищ (НЯ) відносяться явища погоди, які інтенсивністю, тривалістю і часом виникнення представляють загрозу безпеці людей, а також можуть завдати значної шкоди галузям економіки.

Використані нами дані майбутнього вітрового режиму України, які отримані за допомогою кліматичних моделей RCP4 5 і RCP8 5, представлені у вигляді середньодобових швидкостей та поривів вітру, що виключає застосування типового переліку характеристик і критеріїв для дуже значної швидкості вітру, які використовують гідрометеослужби для підтвердження наявності НЯ або його прогнозування.

Нагадаємо, що характеристики й критерії визначення дуже сильного вітру в переліку метеорологічних НЯ, формулюються наступним чином:

1) «вітер при досягненні швидкості та поривах не менше 25 м/с, або середньої швидкості не менше 20 м/с; на узбережжях морів і в гірських районах 35 м/с або середньої швидкості не менше 30 м/с » [14];

2) середні часові та просторові характеристики НЯ «дуже сильний вітер», згідно з дослідженнями кліматологів – тривалість явища 4,8 години, площа поширення явища 8500 км² [15].

Отже, застосувати визначення НЯ «дуже сильний вітер» до середньодобових значень швидкості вітру, як за першим, так і за другим критерієм, неможливо.

Тому, на наш погляд, слід розділити генезис утворення небезпечних явищ з сильними вітрами, ґрунтуючись на масштабах атмосферних процесів, які сприяють утворенню сильного вітру.

Великі швидкості вітру, що відповідають першому і другому критерію НЯ, відзначаються частіше в теплий період, і мають характер шквалів, що супроводжуються зливами та грозами. Тривалість явища і його просторове поширення відповідає мезомасштабним процесам, тобто їх тривалість не перевищує два-три терміни метеоспостережень, які проводяться через кожні 3 години. В цьому випадку повторюваність небезпечних швидкостей вітру

визначається, частіше за все, локальними умовами розташування пункту спостережень, наприклад, місцевими вітрами.

У перехідні сезони та взимку, випадки посилення вітру до критерію НЯ пов'язані з макромасштабними процесами, які формують зони з великими баричними градієнтами, існування яких, а, отже, і посилення вітру, може мати тривалість 24 години і більш. Наприклад, в період з 1981 по 2012 рр. на території України зафіксовано 35 випадків сильного вітру (≥ 25 м/с), не пов'язаних зі шквалами.

У більшості випадків, сприятливі умови для особливо сильних вітрів виникають при зближенні поглиблюючих циклонів з посилюючим антициклоном, що призводить до різкого зростання баричного градієнту. Ці умови виникають при наближенні південно-західних або західних циклонів до території України. Посилення вітру до критерію НЯ відбувається при збігу положення висотної фронтальної зони з областю максимального баричного градієнта. Значення баричного градієнта у землі в даному випадку доходить до 4-5 гПа/100 км, а середня швидкість приземного вітру до 20-25 м/с і до 30-40 м/с на висотах в граничному шарі атмосфери.

Прикладом, таких процесів може служити вихід південно-західного циклону на територію Одеської області 12. 10. 2016, коли сильні вітри зі швидкістю більше 18-20 м/с, з поривами до 25 м/с і більше, спостерігалися більше доби.

Таким чином, потрібно нове формулювання критеріїв НЯ вітру, коли сильні швидкості і небезпечні пориви вітру спостерігаються протягом тривалого періоду часу – доби і більше.

Практика спостережень показує, що якщо середньодобове значення поривів дорівнює або більш 20 м/с, то їх швидкість з ймовірністю не менше ніж в 30-35 % випадків, буде перевищувати 25 м/с, а середня швидкість вітра за добу буде в межах 18-20 м/с.

Особливо небезпечні явища, в цьому випадку, утворюються якщо при сильному вітру спостерігаються інтенсивні атмосферні опади.

Такі критерії та характеристики стосовно середньодобової швидкості можуть відповідати стихійним гідрометеорологічним явищам, так як сильний вітер і пориви будуть зберігатися тривалий час, що призведе до збільшення збитків, за рахунок тривалого впливу потоку на житлові та технічні споруди і природне середовище.

Ці критерії та характеристики середньодобового вітру взяті за основу при розрахунках соціальних. Всі розрахунки проведені за формулою (4.5), яка включає такі складові:

P – середнє річне число випадків з поривами які дорівнює або більш 20 м/с за 20 річний період;

m – число людей (тис. чол.) , що проживають в конкретній області;

s – середня площа небезпечного явища (км^2) приймалася рівною 1/3 площі області;

S – площа території (км^2) конкретної області для якої розраховується соціальний збиток;

t – середня тривалість небезпечного явища, одну добу;

k – коефіцієнт агресивності для сильного вітру $k = 1$.

Нижче, в таблиці 4.8, показані результати розрахунку соціального ризику оцінюється за кількістю населення, якому може бути завдано матеріальної чи фізичної шкоди.

Таблиця 4.8 – Соціальний ризик від НЯ (тис.чол.)

Області України	площа, км ²	населення, чол	2011-2030		2031-2050		Соціальний ризик	
			Пориви >20 м/с		Пориви >20 м/с		2011- 2030	2031- 2050
			кіл. вип.	<i>n</i> /20	кіл. вип.	<i>n</i> /20	тисячі чоловік	
			<i>n</i>	<i>p</i>	<i>n</i>	<i>p</i>		
Західна частина України (W.U.)								
Волинська	20144	1042700	2	0,10	0	0	34,4	0
Рівненська	20047	1161800	1	0,05	0	0	19,2	0
Львівська	21833	2534200	1	0,05	0	0	41,8	0
Тернопільська	13823	1065700	0	0	1	0,05	0,0	17,6
Хмельницька	20645	1294400	1	0,05	0	0	21,4	0
Закарпатська	12777	1259200	0	0	0	0	0,0	0
Івано-Франківська	13928	1382300	6	0,3	7	0,35	136,8	159,7
Чернівецька	8097	909900	0	0,0	0	0	0,0	0
Північна частина України (N.U.)								
Чернігівська	31865	1045000	2	0,10	1	0,05	34,5	17,2
Сумська	23834	1113300	5	0,25	2	0,10	91,8	36,7
Житомирська	29832	1247500	0	0	0	0	0,0	0
Київська	28970	4638800	1	0,05	0	0	76,5	0
Центральна частина України (C.U.)								
Черкаська	20900	1243000	6	0,30	1	0,05	123,1	20,5
Полтавська	28748	1438900	5	0,25	1	0,05	118,7	23,7
Вінницька	26513	1602200	1	0,05	0	0	26,4	0
Кіровоградська	24588	973100	2	0,10	0	0	32,1	0
Дніпропетровська	31974	3254900	0	0,00	0	0	0	0
Східна частина України (E.U.)								
Донецька	26517	4265100	2	0,10	1	0,05	140,7	70,4
Харківська	31415	2718600	1	0,05	0	0	44,9	0
Луганська	26684	2205400	0	0	0	0	0	0
Південна частина України (S.U.)								
Миколаївська	24598	1158200	4	0,20	1	0,05	76,4	19,1
Запорізька	27180	1753600	0	0	0	0	0,0	0,0
Одеська	33310	2390300	3	0,15	3	0,15	118,3	118,3
Херсонська	28461	1062400	2	0,10	0	0	35,1	0
АРКрым	26945	1957801	1	0,05	0	0	32,3	0

Примітка. Колонці p показано середньорічне число випадків з поривами ≥ 20 м/с

Найбільші значення соціального збитку можливо в Івано-Франківській, Черкаській, Полтавській, Сумській та Одеській області, в яких прогнозується найбільша кількість випадків з сильними вітрами, які тривають одну і більше добу. У Донецькій області високий соціальний збиток визначається великою щільністю населення.

Особливо виділяється Івано-Франківська область, в якій згідно з прогнозами кліматичних сценаріїв, буде спостерігатися найбільша кількість днів (13 випадків за 40 років) з дуже сильними вітрами.

Отримані величини соціального збитку для областей України збігаються по порядку величин з збитком, що наноситься сильним вітром в деяких областях РФ, фізико-географічні умови яких близькі з територією України (табл. 4.9).

Таблиця 4.9 – Соціальний ризик від НЯ (тис.чол.)
в деяких областях РФ [16]

Адміністративний район	Вітер	Дощ	Сніг
Саратовська обл.	99.3	0.9	714.0
Рязанська обл.	64.6	1.3	414.9
Ульяновська обл.	45.3	1.2	196.8
Самарська обл.	25.2	1.7	656.4

4.3.2 Економічний ризик

Одним з нормативних документів, який регулює правовідносини в питаннях відшкодування матеріального збитку є Цивільний кодекс України. Згідно ст.22, гл.3 ЦКУ «Захист цивільних прав та інтересів»

Для оцінки економічного збитку від стихійних лих, як правило, використовується частка номінального ВВП на одного жителя України. На Україні номінальний ВВП на душу населення в 2015 р. становив 46210,2 грн. [17, 18].

Оцінка ціни економічного ризику, тобто коефіцієнта А, виконується наступним чином

$$A = \frac{ВВП_{\text{одн.жит.}}}{\text{кількість днів в році}} \times \text{кількість днів з НЯ за 20 років}$$

Нижче, в таблиці 4.10, показані результати розрахунку економічного ризику, котрий оцінюється як сума виплат жителям, яким було завдано збиток, тобто населенню яке були підвладні соціальному ризику.

Згідно з прогнозами кліматичних моделей RCP4.5 и RCP8.5, найбільший економічний, так і соціальний збиток, протягом наступних 35 років

можливий в Івано-Франківській, Черкаській, Полтавській, Сумській, Миколаївській, Одеській та Донецькій області.

Таблиця 4.10 – Економічний ризик від НЯ (млн.грн.)

Області України	площа, км²	населення, чол	Економічний ризик	
			2011-2030	2031-2050
			млн.грн.	млн.грн.
Західна частина України (W.U.)				
Волинська	20144	1042700	8,7	0,0
Рівненська	20047	1161800	2,4	0,0
Львівська	21833	2534200	5,3	0,0
Тернопільська	13823	1065700	0,0	2,2
Хмельницька	20645	1294400	2,7	0,0
Закарпатська	12777	1259200	0,0	0,0
Івано- Франківська	13928	1382300	104,0	141,5
Чернівецька	8097	909900	0,0	0,0
Північна частина України (N.U.)				
Чернігівська	31865	1045000	8,7	2,2
Сумська	23834	1113300	58,1	9,3
Житомирська	29832	1247500	0,0	0,0
Київська	28970	4638800	9,7	0,0
Центральна частина України (C.U.)				
Черкаська	20900	1243000	93,5	2,6
Полтавська	28748	1438900	75,1	3,0
Вінницька	26513	1602200	3,3	0,0
Кіровоградська	24588	973100	8,1	0,0
Дніпропетровська	31974	3254900	0,0	0,0
Східна частина України (E.U.)				
Донецька	26517	4265100	35,6	8,9
Харківська	31415	2718600	5,7	0,0
Луганська	26684	2205400	0,0	0,0
Південна частина України (S.U.)				
Миколаївська	24598	1158200	38,7	2,4
Запорізька	27180	1753600	0,0	0,0
Одеська	33310	2390300	44,9	44,9
Херсонська	28461	1062400	8,9	0,0
АР Крим	26945	1957801	4,1	0,0
Загальний збиток			517,7	271,1

Як видно з таблиці збиток від дуже сильних тривалих вітрів, які як правило, супроводжуються інтенсивними опадами, може досягати в межах конкретної області десятки мільйонів гривень.

Особливо, як і у соціальному ризику, виділяється Івано-Франківська область, в якій згідно з прогнозами кліматичних сценаріїв, буде спостерігатися найбільша кількість НЯ, 6-ть випадків в 2011-2030 рр. та 7 випадків в 2031-2050 рр. Це дуже багато, але так прогнозують кліматичні моделі.

Можлива сума грошових виплат, прогнозована кліматичними моделями, не погано узгоджується з реальним грошовими виплатами Національної акціонерної страхової компанії (НАСК) "Оранта", яка провела відшкодування збитків нанесенню стихійним лихом. Наприклад, в Івано-Франківській області він склав 5 млн.грн., у Львівській – 833,5 тис.грн, Вінницькій – 400 тис.грн, у Чернівецькій – 1,8 млн.грн., в Закарпатській – 400 тис.грн., в Тернопільській – 180 тис.грн. і в Одеській області – 1 млн.грн. [19]. Загальна сума збитку становила приблизно 10 млн.грн.

Слід зазначити, що всі виплати проводилися тільки після заяви жителів, які зазнали збитків. Очевидно, сума виплат була б більшою якби були враховані всі збитки завдані житловому фонду, господарським будівлям, лініям електропередач, природному середовищу тощо.

Таким чином, згідно з прогнозами кліматичних моделей RCP4.5 и RCP8.5, найбільший економічний, так і соціальний збиток, протягом наступних 35 років можливий в Івано-Франківській, Черкаській, Полтавській, Сумській, Одеській та Донецькій областях. Як видно з таблиці збиток від дуже сильних тривалих вітрів, які, як правило, супроводжуються інтенсивними опадами, може досягати в межах конкретної області десятки мільйонів гривень.

Висновки

1. Виконано обробку і підготовку вихідних даних для введення в обчислювальні програми.
2. Виконано розрахунки статистичних показників швидкостей і напрямку вітру для 27-ти станцій України, для двох періодів (2011-2030 рр. і 2031-2050 рр.) та двома сценаріями RCP4.5 і RCP8.5.
3. Проведено порівняльний аналіз отриманих результатів з кліматичною нормою. Середньомісячна швидкість вітру, розрахована за сценаріями RCP4.5 і RCP8.5 перевищує кліматичну норму в середньому на 20-30.%, причому середні швидкості вітру та пориви, які розраховані за сценарієм RCP4.5 в цілому по Україні дещо вищий за показники сценарію RCP8.5.
4. Розроблено алгоритм розрахунку небезпечних швидкостей вітру, необхідний для оцінки екологічних ризиків.
5. У ході виконання роботи отримані середньорічні ймовірності виникнення сильного вітру для різних районів України.
6. Проведено оцінку 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.

5 ВПЛИВ ОЧІКУВАНИХ ЕКСТРЕМАЛЬНИХ УМОВ КЛІМАТУ НА БІОКЛІМАТИЧНИЙ РЕЖИМ ТА РЕКРЕАЦІЙНО-ТУРИСТИЧНУ ДІЯЛЬНІСТЬ УКРАЇНИ

5.1 Вплив змін клімату на рекреаційно-туристичну діяльність в регіонах України

Для сучасного етапу суспільного розвитку характерне зростання ролі рекреації в процесі відновлення сил людини. Термін «рекреація» є сукупністю етимологічних значень: *recreatio* (лат.) – відновлення; *recreation* (франц.) – розвага, відпочинок, зміна дій, яка виключає трудову діяльність і характеризує простір, пов'язаний з цими діями. Отже, поняття «рекреація» характеризує не тільки процес і заходи щодо відновлення сил людини, але і той простір, в якому це відбувається. Поняття «рекреація» ширше, ніж термін «туризм», тому припустимо використання словосполучення «рекреаційно-туристична діяльність» (РТД), але незалежно від використання цих термінів всі вони орієнтовані на поліпшення здоров'я людини. У зв'язку з цим, питання змін клімату насамперед необхідно розглядати з позицій впливу на здоров'я людини і РТД в цілому. Міжнародне співтовариство робить узгоджені дії по боротьбі зі зміною клімату на підставі отримала всебічне схвалення рамкової програми під керівництвом ООН. Рамкова програма ООН орієнтована на створення довгострокової пост-Кіотської дорожньої карти, призначеної для швидкого введення в дію і поетапної цільової реалізації. Важливе місце в цій програмі відведено рекреаційно-туристичному сектору, зважаючи на його глобальне соціально-економічне значення, його ролі у сталому розвитку і тісному зв'язку з кліматом. Для підтримки цих дій Всесвітня туристська організація спільно з Програмою ООН з навколишнього середовища та Всесвітньою метеорологічною організацією та за підтримки Всесвітнього економічного форуму і уряду Швейцарії скликала Другу міжнародну конференцію зі зміни клімату та туризму (Давос, 1 - 3 жовтня 2007). Конференція висловила згоду з тим, що:

1) клімат є ключовим ресурсом для РТД, а рекреаційно-туристичний сектор має підвищену чутливість до наслідків зміни клімату та глобального потепління, багато з яких вже відчутні; частка РТД у глобальних викидах CO₂ оцінюється в 5 %;

2) РТД і надалі буде виступати в якості найважливішого компонента світової економіки, одного з провідних учасників реалізації цілей розвитку тисячоліття, невід'ємною і позитивною складовою частини людського суспільства;

3) значущість РТД в аспекті глобальних викликів зміни клімату і зниження бідності визначає необхідність термінового прийняття ряду стратегій, спрямованих на підтримку дійсно сталої РТД, що включає в себе

заходи реагування «за чотирма напрямками»: кліматичному, екологічному, соціальному та економічному;

4) для забезпечення власного сталого розвитку РТД необхідно швидко прийняти заходи у відповідь на зміну клімату в рамках створюваної рамкової програми ООН і поступово скоротити свою частку у викидах в атмосферу парникових газів, особливо від транспорту, а також адаптувати РТД до зміни кліматичних умов; о застосовувати існуючі і нові технології для підвищення ефективності використання енергії.

Останнім часом зміни клімату розглядаються як один з негативних глобальних факторів, які впливають на здоров'я населення, наряду з такими провідними факторами ризику, як забруднення атмосферного повітря, та питної води, паління, використання наркотичних засобів тощо. Вплив змін клімату на здоров'я людини різний. Прямий вплив пов'язаний в основному з посиленням екстремальності клімату - збільшенням кількості днів з екстремально високими або (та) низькими температурами, частотою та інтенсивністю повеней, штормів, тайфунів і т. д. Непрямий вплив пов'язаний в основному зі зменшенням об'ємів доступної високоякісної води для пиття, збільшенням частоти високих рівнів забруднення повітря при несприятливих метеорологічних умовах та зміною ареалів кліматозалежних хвороб людини та ін.

Температура повітря, один із основних метеорологічних параметрів, визначає погодно-кліматичні умови, впливає на різнобічну життєдіяльності людини. Погодно-кліматичні умови (зокрема, температури повітря) є одним з важливих факторів впливу на природно-рекреаційні ресурси, які, в свою чергу, зумовлюють рекреаційно-туристичну діяльність (РТД). У зв'язку з цим, оцінка можливого впливу змін середньорічних, середньосезонних літніх та зимових температур повітря на розвиток РТД в регіонах України є актуальною проблемою.

Метою даної частини звіту є оцінка можливого впливу на РТД змін температурного режиму протягом 2021–2050 рр. в регіонах України. Для досягнення поставленої мети вирішені наступні задачі: були проаналізовані існуючі дослідження щодо оцінки впливу кліматичних змін на РТД та комфортність існування рекреантів; побудувати прогностичні схеми розподілу значень середньорічних, середньосезонних літніх та зимових температур повітря в разі сценарію помірної зміни клімату (RCP4.5); дати оцінку можливого впливу змін термічного режиму на РТД в різних регіонах України.

Відомо, що рекреаційно-туристична привабливість територій залежить від наявності природних, історико-культурних та соціально-економічних факторів. До природних факторів належать усі природні об'єкти, явища та процеси, що здатні створювати сприятливий лікувальний, оздоровчий і емоційний вплив на рекреантів (туристів). Саме вони, за умови збереження їх якісного екологічного стану, визначають можливість і доцільність організації на певній території ефективної РТД [1].

Лікувально-оздоровчий вид РТД належить до найбільш залежних від погоди та клімату; при цьому, погодно-кліматичні умови є одним із визначальних чинників, перш за все, для їх виникнення та розвитку в певному регіоні. Крім того, розглядаючи вплив клімату і погоди на РТД, варто брати до уваги метеотропні реакції організму людини та метеотропні захворювання, що можуть спостерігатися як у місті постійного проживання, так і у місцях відпочинку [2]. Аналіз усіх впливів довкілля на людину показує, що найбільш істотними для здоров'я, самопочуття людини та її життєдіяльності (працездатності, продуктивності праці) є фактори, які визначають її тепловий стан. У разі особливо несприятливих поєднань цих факторів виникає загроза переохолодження чи навіть обмороження, або ж перегріву організму (теплового, сонячного удару).

Вплив погодно-кліматичних умов на РТД можна охарактеризувати таким чином: погода та клімат є водночас обмежуючими та стимулюючими чинниками для розвитку РТД; різкі зміни погоди або навіть незначні відхилення від кліматичної норми для даного регіону можуть спричинити істотні фінансові витрати на рекреаційно-туристичну галузь (наприклад, у разі дощового літа або менш сніжної зими); погода і клімат є домінуючими факторами, що впливають на формування не лише пропозиції, а й попиту в рекреаційно-туристичній сфері; врахування інформації про клімат і погоду відіграє особливу роль для захисту здоров'я рекреантів (туристів), особливо груп ризику (літні люди, хворі та діти); характеристики окремих параметрів (температура повітря, швидкість та переважаючі напрямки вітру, тривалість сонячного сяйва та характеристики радіаційних потоків, кількість опадів) відіграють важливу роль для РТД [3].

Найбільш суттєво погодно-кліматичні умови спроможні впливати на людину через реакцію її організму на комплекс метеорологічних і геофізичних параметрів (температура та вологість повітря, атмосферний тиск, опади, швидкість вітру, хмарність, кількість сонячних днів, сумарна сонячна й ультрафіолетова радіація, тривалість дня і ночі тощо). Звичайно, що ступінь сприятливості погодно-кліматичних умов кліматичних характеристик території є неоднаковим для оцінки різних видів РТД. Наприклад, найбільш сприятливими для літніх видів відпочинку є температура від +20 до +26 °C та швидкість вітру до 5 м/с, а для зимових – від 0 до –25 °C, швидкість вітру також не вища за 5 м/с [4].

Комфортні для людини характеристики клімату є доведеними факторами відновлення працездатності та нормалізації стану організму людини, оскільки створюють умови, за яких ці процеси протікають найбільш ефективно. Особливо привабливими для туристів є ті території, на яких не спостерігаються стихійні гідрометеорологічні явища (урагани, смерчі, довготривалі зливові дощі та періоди спекотної погоди), а комфортність клімату поєднується з іншими екологічними факторами (чистим повітрям, насиченим молекулами морської солі, фітонцидами або ароматами цілющих гірських трав тощо) [5].

Суть рекреаційно-туристичної оцінки клімату зводиться до вивчення залежності фізіологічного стану людини від впливу метеорологічних чинників. Для розвитку зимових видів рекреації сприятливими є тривалість періоду із середньодобовими температурами повітря нижче -5°C (при швидкості вітру $< 5 \text{ м/с}$ та наявності оптимальної товщини снігового покриву від 10 до 30 - 40 см). Наприклад, в Українських Карпатах привабливими є території, де кількість днів із сприятливою середньодобовою температурою перевищує 60 %, повторюваність випадків із сильними вітрами ($> 10 \text{ м/с}$) - менше 10 %, а кількість днів з несприятливими природними явищами становить не більше 10 % [6].

На сьогоднішній день у світі існує близько 200 різноманітних кліматично-туристичних (біокліматичних) індексів. Детальна характеристика біокліматичних індексів наведена в підрозділу 5.5 проміжного звіту «Оцінка вразливості основних галузей народного господарства України від екстремальних умов клімату» (2015 р.). Більшість біокліматичних індексів ґрунтується на використанні значень найпоширеніших метеорологічних величин – температури, відносної вологості, характеристик вітру, сонячної радіації, хмарності [7]. Як правило, ці індекси визначають діапазон значень метеорологічних факторів, за яких людина почуватиметься комфортно або дискомфортно (індекси холодового стресу і теплового удару), тобто це показники суб'єктивного сприйняття комфорту або дискомфорту. Найбільш широкоживаним є кліматично-туристичний індекс (TCI - Tourism Climate Index):

$$TCI = 8Cld + 2Cla + 4R + 4S + 2W, \quad (5.1)$$

де *Cld* – це індекс комфорту в денний час, що складається з середньої максимальної температури повітря ($^{\circ}\text{C}$) та середньої мінімальної відносної вологості (%);

Cla – добовий індекс комфорту, що складається з середньої температури повітря ($^{\circ}\text{C}$) та середньої відносної вологості (%);

R – кількість опадів (мм);

S – тривалість сонячного сяйва (год); *W* – швидкість вітру (м/с) [8].

Оскільки клімат суттєво впливає на РТД, то імовірна зміна клімату може спричинити зменшення кількості рекреантів в окремих регіонах. Вплив змін клімату на рекреаційно-туристичну галузь певного регіону залежатиме від погодно-кліматичних умов, які були на даній території до змін, та від абсолютних величин змінень окремих метеорологічних параметрів. Наприклад, для регіонів, яким властиві високі температури, значна кількість сонячної радіації, висока відносна вологість та слабкі вітри, підвищення температури повітря на 1°C не призведе до істотних змін кількості рекреантів. З іншого боку, регіони, де рекреаційно-туристичний сезон і так обмежений, можуть бути дуже чутливими до найменших кліматичних змінень: нетривалий кліматичний сезон іще скоротиться, зменшиться кількість рекреантів, а це призведе до нерентабельності рекреаційної

діяльності на певних територіях. Найістотнішим є ризик для гірських та прибережних регіонів [9].

Стан здоров'я і тривалість життя населення України, а також умови для РТД визначаються багатьма факторами, серед яких особливе місце посідає вплив кліматичних факторів; на фоні підвищення температури і зниження кількості опадів зростає кількість хвороб системи кровообігу (ХСК) та органів дихання; температура і вологість повітря в деяких випадках сприяють розмноженню збудників і переносників інфекційно-паразитарних захворювань, збільшуючи їх чисельність і ареал, що призводить до слабкої захищеності населення [10].

Зміна гідрологічного режиму може сприяти зменшенню водності і підвищенню температури поверхневих вод, а це збільшує рівень їх холеро-небезпечності. Досить імовірно, що у зв'язку з очікуваним глобальним потеплінням, особливо екстремальним влітку в південних регіонах України з жарким кліматом, смертність серед дорослого населення і дітей, пов'язана з тепловим стресом, може збільшитися [11].

Наслідком глобальних змін клімату можуть бути суттєві зміни у функціонуванні й розподілі екосистем та їх складників. Негативні результати зміни клімату вже відчутні в Україні і завдають їй значних збитків (повені, пожежі тощо). Україна розташована в різних зонах, які характеризуються великим різноманіттям екосистем. Глобальні зміни можуть по-різному проявитися на регіональному (локальному) рівні, бо клімат опосередковано впливає на ряд факторів екосистеми, що пов'язані між собою. Зміни клімату вже сьогодні реально проявляються, а їхні наслідки завдають відчутних збитків в Українських Карпатах, коли екосистеми виявилися неспроможними протидіяти впливу катастрофічних повеней, які виникли через надмірну кількість опадів, порушення стану лісових екосистем, незадовільне функціонування водотоків [12].

У процесі змінення клімату в бік потеплення на території України, ймовірно, буде відбуватися трансформація природно-ландшафтних комплексів, їх видового складу, продуктивності та стабільності, що неминуче відіб'ється на існуючих формах РТД. Що ж стосується прибережної зони, то вже у теперішній час підйом рівня Чорного моря є доведеним фактом і становить приблизно 1,5 мм на рік. Процеси підвищення рівня Світового океану адекватно проявляються і в Чорному морі, що дає підставу прогнозувати основні сценарії підвищення рівня моря до 2100 р. В умовах активного підвищення рівня моря найбільш негативних наслідків можна очікувати в межах прибережної зони. Природні екосистеми, рекреаційно-туристичні, санаторно-курортні та інші об'єкти прибережної зони можуть зазнавати до найбільшого негативного впливу від процесів, викликаних сучасним потеплінням клімату і, як наслідок, відповідним підвищенням рівня моря [13, 14]. Таким чином, критичний аналіз останніх досліджень і публікацій показує, що зміна погодно-кліматичних умов (зокрема, температури повітря) можуть суттєво впливати на сталий розвиток РТД в Україні та її окремі регіони: зміщення меж природно-кліматичних зон;

зміну структури РТД; перерозподіл рекреаційно-туристичних потоків; зміну стану об'єктів РТД та тривалості їх використання; зміну біокліматичних умов і комфортність для рекреантів. Однак, при цьому, не завжди, беруться до уваги конкретні просторово-часові кліматичні зміни в залежності від сценаріїв викиду парникових газів, можливі зміни температурного режиму.

В роботі як вихідні дані використовувались результати досліджень зміни клімату за експериментом CORDEX (Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment), що створений Всесвітньою програмою досліджень клімату для формування ансамблю прогностичних регіональних кліматичних моделей на всіх континентах у глобальному масштабі. Моделювання клімату в межах CORDEX базується на сучасному наборі глобальних кліматичних моделей CMIP5 та зосереджується на експериментах з використанням сценаріїв викидів – RCP4.5 і RCP8.5 (RCP - Representative Concentration Pathways / Репрезентативні траєкторії концентрацій), які належать до сценаріїв середнього та високого рівнів викидів парникових газів [15]. Проаналізовані лише дані щодо середньорічних, а також середньосезонних літніх та зимових температур повітря (сценарій середнього рівня викидів парникових газів – RCP4.5) по 85 пунктам спостережень, розташованих у різних регіонах України. Спираючись на моделі розподілу середньорічних, середньосезонних літніх та зимових значень температур повітря у 2021 р. і 2050 р. з використанням ГІС-паketу MapInfo Professional побудовані відповідні схеми (рис. 5.1 – 5.6).

Аналізуючи отримані результати для *середньорічної температури повітря*, можна відзначити, що протягом 2021–2050 рр. на більшій частині території України очікується зростання температури повітря. За моделями, лише в центрі та на сході країни прогнозується підвищення температурних показників, в той час, на заході можливе падіння середньорічної температури повітря в межах періоду дослідження. Так, можна відзначити, що протягом 2021 – 2050 рр. в західних областях України для RCP4.5 спостерігається тренд на зменшення середньорічних температур повітря на 0,4 - 0,6 °С.

Найінтенсивніше зростання температурних величин очікується в південних та східних регіонах. За даними RCP4.5 середньорічна температура повітря зростає на 0,5 - 0,7 °С за тридцятиріччя. Максимальні значення додатного тренду температури можливі в АР Крим. 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 найвищі показники (понад 10 °С) очікуються в АР Крим. Для Півдня України характерні температури на рівні 8 - 9 °С. Більша частина території, зокрема Лісостеп і Полісся, перебуватимуть під впливом середньорічних температур повітря на рівні 7 °С. Мінімальні ж значення вказаної характеристики (6 °С) очікуються на північному сході країни, в межах Сумської та Чернігівської областей, а також в Закарпатті. Порівняльна характеристика схем розподілу середньорічної температури повітря у 2021 р. наведена на рис. 5.1, а у 2050 р. - на рис. 5.2.

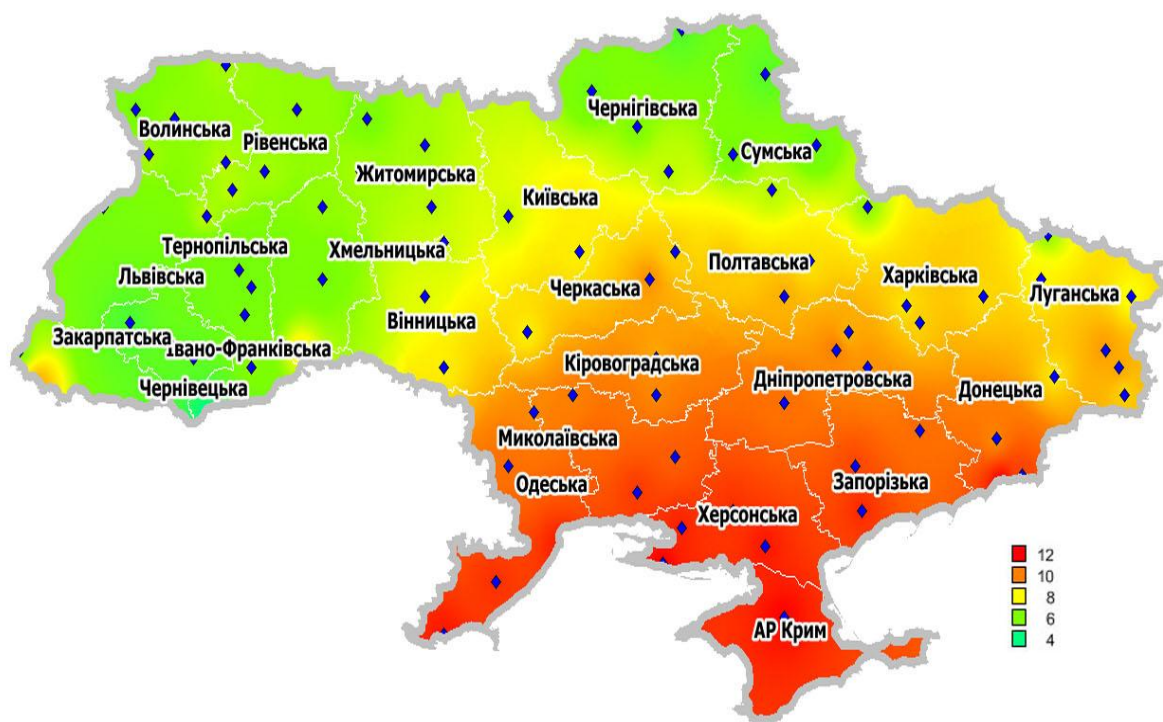


Рисунок 5.1 – Розподіл середньорічних температур повітря у 2021 р.
(для сценарію помірної зміни клімату)

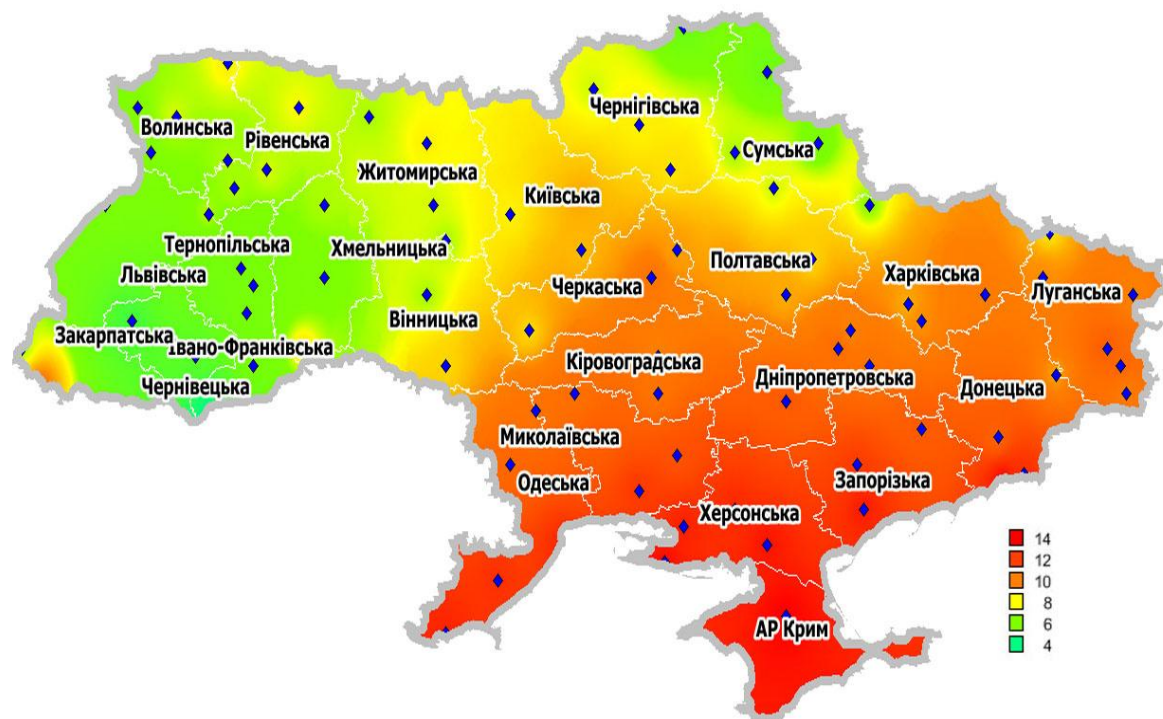


Рисунок 5.2 – Розподіл середньорічних температур повітря у 2050 р.
(для сценарію помірної зміни клімату)

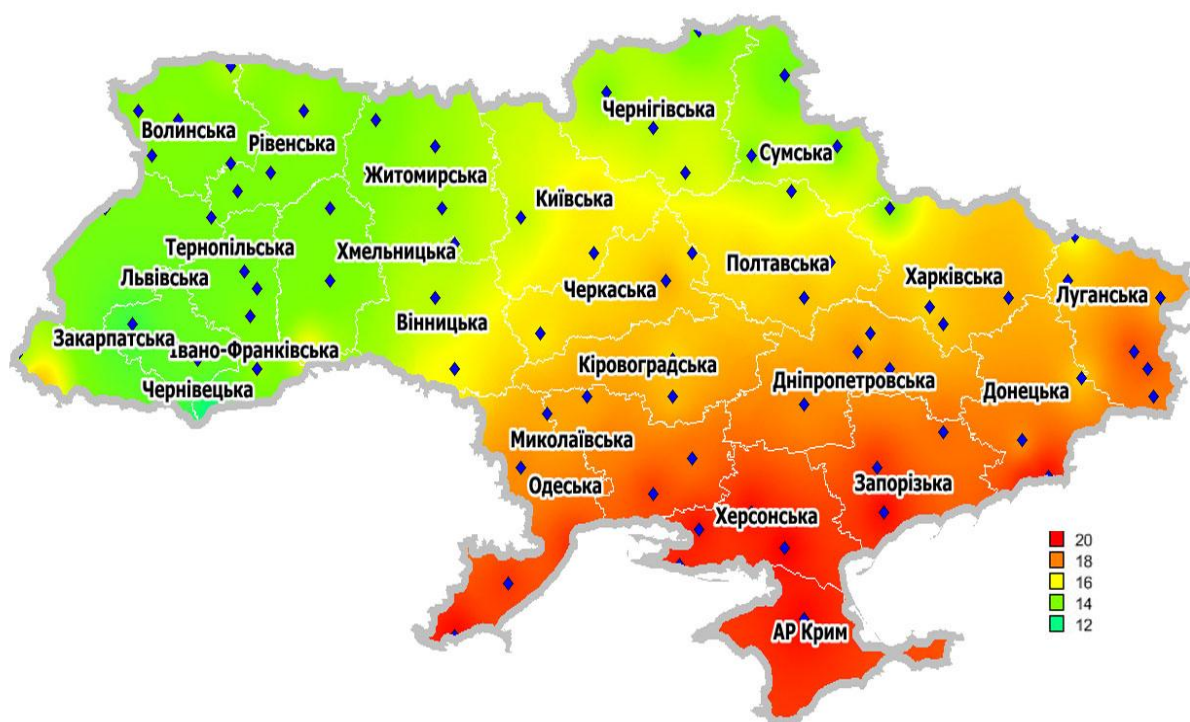


Рисунок 5.3 – Розподіл середньосезонних літніх температур повітря у 2021 р. (для сценарію помірної зміни клімату)

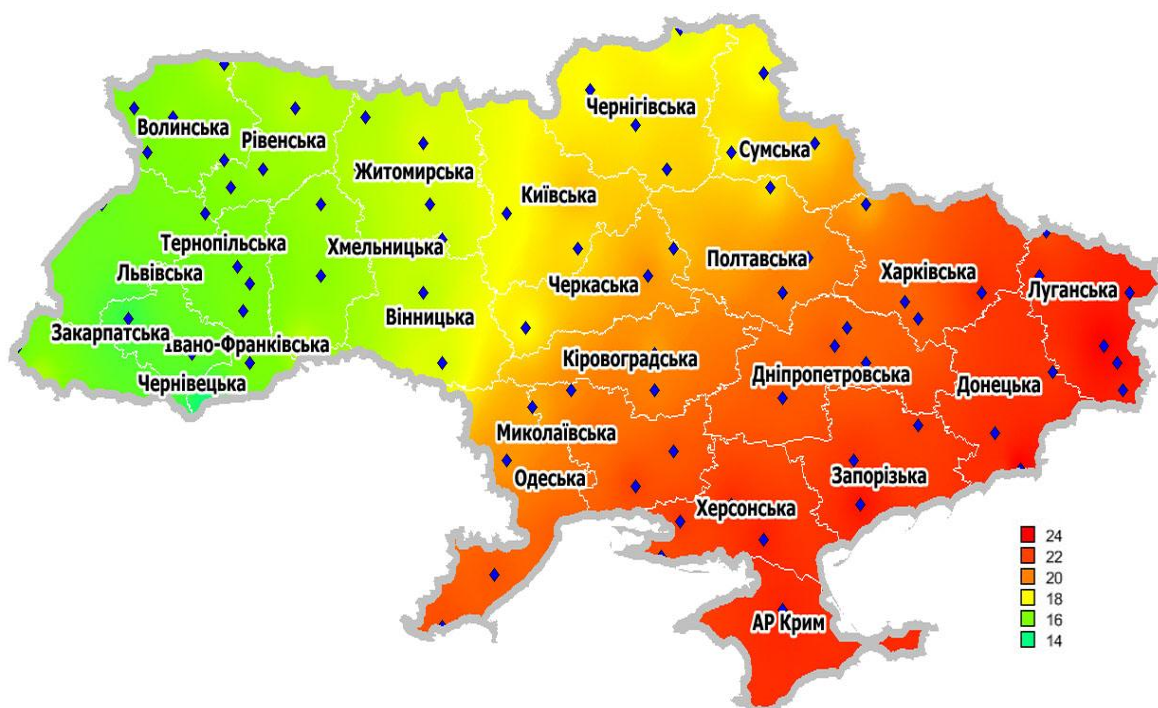


Рисунок 5.4 – Розподіл середньосезонних літніх температур повітря у 2050 р. (для сценарію помірної зміни клімату)

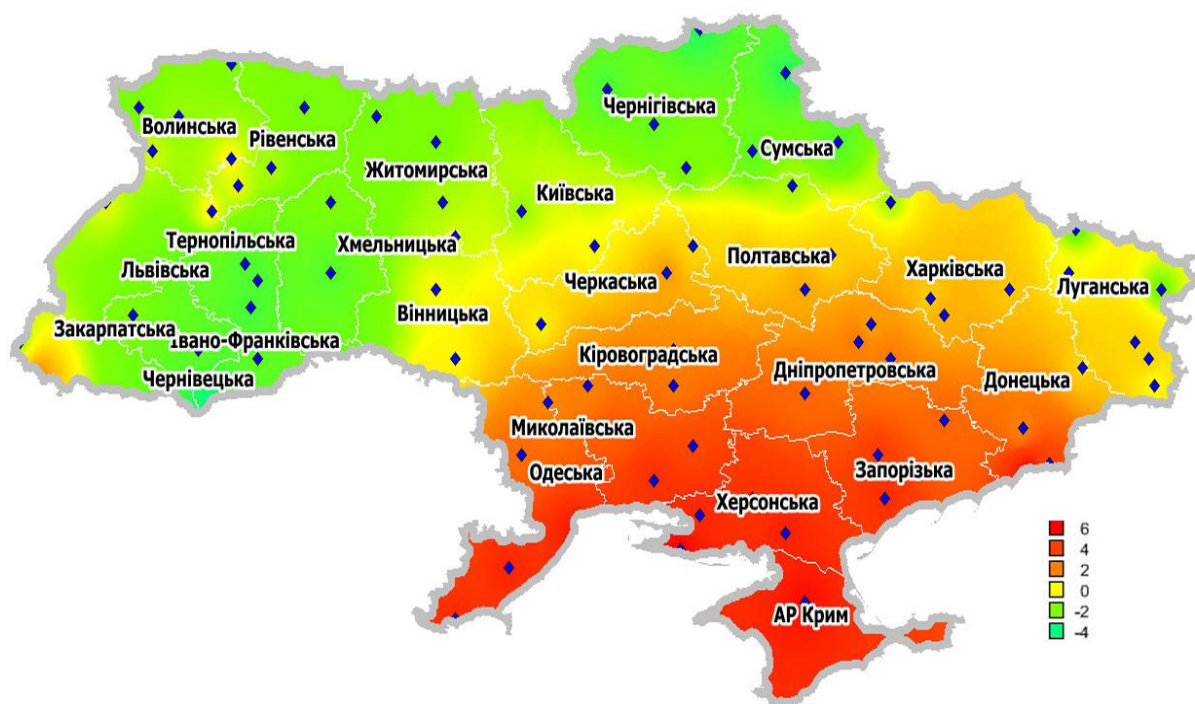


Рисунок 5.5 – Розподіл середньосезонних зимових температур повітря у 2021 р. (для сценарію помірної зміни клімату)

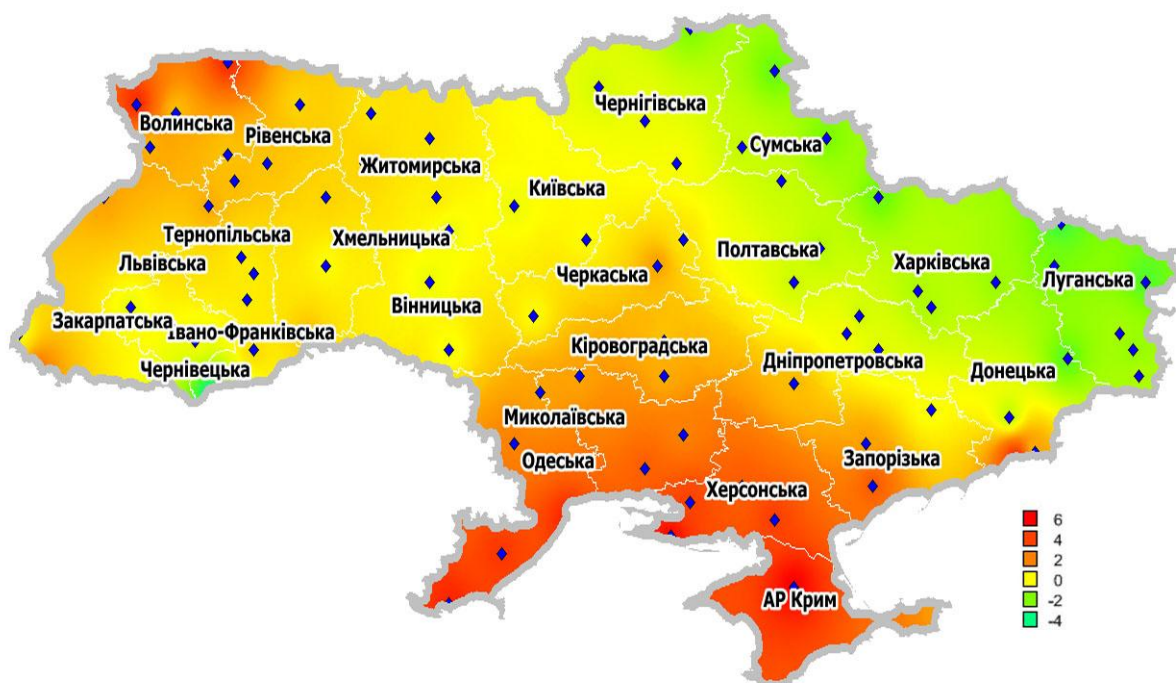


Рисунок 5.6 – Розподіл середньосезонних зимових температур повітря у 2050 р. (для сценарію помірної зміни клімату)

Оскільки окремі форми РТД носять сезонний характер, то доцільно проаналізувати можливі зміни температурного режиму повітря у літний і зимовий періоди.

Для *літних температур повітря*, практично, як і для середньорічних, відзначається їх поступове зростання. Від’ємний тренд температури фіксується лише в Чернівецькій та Івано-Франківській областях, а також на півдні Одещини. Для інших областей заходу та центру України очікується зростання температури повітря, в середньому, за 30 років на 0,2 - 0,6 °С.

Найбільш інтенсивне підвищення літньої температури прогнозується на півдні, сході та, навіть, північному-сході країни. При цьому, цікавим є той факт, що на північному сході це найвагоміше збільшення середньої температури за літо. Структура термічного поля вказує на поступове зменшення значень температури з південного сходу на північний захід України. Порівняльна характеристика схем розподілу середніх значень літніх температур повітря у 2021 р. (рис. 5.3) і 2050 р. (рис. 5.4) показує, що максимальні температури слід очікувати на південному сході країни, а мінімальні – в районі Закарпаття.

Надзвичайно важливі та вкрай цікаві результати отримані для *зимових температур повітря*. На відміну від середньорічних та літніх, де не відзначалось дуже різких відмінностей між сценаріями, для зимового температурного режиму ці зміни є істотними. Практично по всій території України протягом 2021 – 2050 рр. прогнозується інтенсивне зменшення температури, в середньому на понад 2 °С за тридцятиріччя. Це може свідчити про можливе збільшення екстремальності зимових температур та повторюваності холодних днів. Найбільші значення від’ємного тренду температури очікуються на заході країни. В східних регіонах різких змін мінливості цієї гідрометеорологічної характеристики, в межах періоду дослідження, не очікується. 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 °С до 0 °С, Лісостеповій та Поліссі – біля –3 °С. Зміни температурного режиму на території країни матимуть нерівномірний характер. За даними сценарію RCP4.5 прогнозується спад сезонних зимових температур повітря (рис. 5.5, 5.6).

Протягом 2021 – 2050 рр. різких змін у розподілі опадів по території України очікувати не слід. Найбільша кількість опадів, в середньому, за рік та по сезонам прогнозується для західних областей країни, найменша – для південних. В той же час сума опадів за літні сезони дещо перевищуватиме зимові опади. При цьому, для більшості регіонів тренд на збільшення кількості опадів найбільш можливий у випадку розвитку сценарію викидів RCP4.5.

Зміни температури повітря є важливим, але не єдиним фактором, що зумовлює комфортність кліматичних умов, а тому застосовані різні біокліматичні показники. Очікується, що з 2025 р. еквівалентно-ефективна температура (ЕЕТ) по всій території України суттєво зростатиме у зимовий і літний сезони. Взимку буде домінувати тепловідчуття «холодно» ($EET = -11,9 \div 0 \text{ }^{\circ}\text{C}$), але у Закарпатті (лише у грудні) та Південному Степу (у грудні і січні) можуть спостерігатися умови, які надають організму людини тепловідчуття «дуже прохолодно» ($EET = 0,1 \div 6,0 \text{ }^{\circ}\text{C}$). Влітку у Передкарпатті, в Закарпатті, Поліссі та Лісостепу буде переважати тепловідчуття «комфортно помірно тепло» ($EET = 12,1 \div 18,0 \text{ }^{\circ}\text{C}$), а у степовій зоні буде домінувати тепловідчуття «комфортно тепло» (за винятком липня) [16]. Ця тенденція, може статися, буде продовжуватися до 2050 р.

Зміна кліматичних умов і, зокрема, температурного режиму може вплинути на можливості РТД в регіонах України. На сьогодні існує кілька схем рекреаційної регіоналізації території України, запропонованих О. Бейдиком, П. Масляком, О. Шаблієм, А. Мокляком, М. Крачилом, І. Родичкіним та іншими дослідниками. За О.О. Бейдиком [17] в межах території України можна виділити такі ресурсно-рекреаційні райони:

- 1) *Причорноморський* (дуже високий рейтинг) об'єднує АР Крим, Одеську, Миколаївську, Херсонську області;
 - 2) *Карпатсько-Подільський* (високий рейтинг) охоплює Закарпатську, Львівську, Івано-Франківську, Чернівецьку, Тернопільську, Хмельницьку, Вінницьку області;
 - 3) *Полісько-Столичний* (середній рейтинг), до складу якого входять Волинська, Рівненська, Житомирська, Київська, Чернігівська, Полтавська, Черкаська області;
 - 4) *Придніпровсько-Донецький* (дуже низький рейтинг) включає Дніпропетровську, Запорізьку, Кіровоградську, Донецьку, Луганську області;
 - 5) *Харківський* (низький рейтинг) включає Харківську, Сумську області.
- Фізико-географічні особливості цих районів сприятливі практично до цілорічної РТД (рис. 5.7).

Згідно з Законом України «Про туризм» (1995), залежно від категорій осіб, які здійснюють туристичні подорожі (поїздки, відвідування), їх цілей, об'єктів, що використовуються або відвідуються, чи інших ознак існують такі види туризму (РТД): дитячий; молодіжний; сімейний; для осіб похилого віку; для інвалідів; культурно-пізнавальний; лікувально-оздоровчий; спортивний; релігійний; екологічний (зелений); сільський; підводний; гірський; пригодницький; мисливський; автомобільний; самодіяльний тощо. Однак така диференціація РТД має дуже умовний характер (наприклад, екологічний туризм може поєднуватися з культурно-пізнавальним, лікувально-оздоровчим, підводним, гірським тощо). У багатьох випадках важко провести межі між санаторно-курортною і рекреаційно-туристичною діяльністю, оскільки під час лікування можливо здійснювати піші походи,

кінні та велосипедні прогулянки, відвідувати об'єкти історико-культурної спадщини тощо.



Рисунок 5.7 – Схема ресурсно-рекреаційного районування України [17]

Основними факторами формування найвищого природно-рекреаційного потенціалу Причорноморського ресурсно-рекреаційного району (Одеська, Миколаївська та Херсонська області, АР Крим) кліматичні умови, водні об'єкти (насамперед, морський басейн і лимани), мінеральні води, пелоїди, території та об'єкти природно-заповідного фонду, мальовничі природні ландшафти тощо. Унікальне поєднання фізико-географічних особливостей, привабливість прибережної зони цього рекреаційного району і різноманітність рекреаційних ресурсів є найважливішими передумовами розвитку різних форм РТД. Як було зазначено вище, лікувально-оздоровчий вид РТД належить до числа найбільш залежних від погодно-кліматичних умов. Дуже інтенсивне зростання температурних величин у 2050 р. передбачається саме на території Причорноморського рекреаційного району. Але незначне збільшення літніх температур повітря, практично, як і для середньорічних, а також зміни природно-ландшафтних комплексів прибережної зони, навряд чи суттєво відобразиться на вже сформованих

формах РТД влітку (кліматотерапію, таласотерапію, гідротерапію тощо). Зростання температури повітря, в середньому, за 30 років на 0,2-0,6 °C у західних і центральних областях України істотно не вплине на можливості літніх форм РТД. Збільшення кількості опадів переважно у всіх регіонах може незначно вплинути на біокліматичні особливості та РТД на території Карпатсько-Подільського та Полісько-Столичного ресурсно-рекреаційних районів.

Основні гірськолижні центри Українських Карпат (Буковель, Драгобрат, Пилипець, Плай, Славське, Яблуниця тощо) розташовані на території гірських хребтів Східних Бескидів, Горган, Покутсько-Буковинських Карпат, масиву Свидовець, а також Полонинського і Вододільного хребтів. На жаль, немає даних безпосередньо за цими пунктами, але тенденція зменшення сезонних зимових температур повітря, що спостерігається в передгір'ї (рис. 5.6), проявлятиметься більш чітко в високогірних районах, що є позитивним фактором для збереження і розвитку зимових форм РТД в Українських Карпатах до 2050 р. Навряд чи, навіть при розвитку сценарію RCP8.5, підвищення температури повітря у зимові періоди в Українських Карпатах буде істотно впливати на прогнозне погіршення умов зимових форм РТД, хоча, по аналогії з альпійськими країнами, може неістотно зростати питома вага площі штучного снігового покриву. Крім того, прогнозується, що найбільша кількість опадів, в середньому, за рік та по сезонам прогнозується для західних областей країни, що є також позитивним фактором.

Таким чином, в результаті проведених досліджень можна зробити такі висновки: зміни середньорічних, середньосезонних літніх та зимових температур повітря для сценарію помірної зміни клімату, в середньому, за 30 років (2021-2050 рр.) істотно не вплинуть на можливості літніх форм рекреаційно-туристичної діяльності та їх стійкий розвиток в регіонах України, а також на рівень теплового навантаження на рекреантів (туристів). При розвитку цього сценарію кліматичних змін не прогнозується також істотне погіршення умов зимових форм рекреаційно-туристичної діяльності, насамперед, в Українських Карпатах.

5.2 Вплив очікуваних екстремальних умов клімату на біокліматичний режим України

Проблема зміни клімату сьогодні є надзвичайно актуальною. Клімат на нашій планеті змінюється і змінюється достатньо швидко – цього вже не заперечує ні один вчений. Міжурядова група експертів по зміні клімату у своїй черговій Оціночній доповіді підтвердила наявність невинного потепління клімату практично у всьому світі [18]. За останні 100 років температура у світі підвищилась приблизно на 0,75°C. За останні 25 років темпи глобального потепління прискорились, більше ніж на 0,18°C за

десятиріччя [19]. Підвищується рівень моря, тають льодовики і змінюється характер атмосферних опадів. Екстремальні метеорологічні явища стають більш інтенсивними і частими.

Одним з наслідків потепління клімату є зростання кількості днів з аномально високою температурою. Вплив змін клімату на здоров'я людини різноманітне. Проте, одним з найбільших прямих впливів на здоров'я в результаті потепління клімату, як очікується, буде зростання серцево-судинних захворювань і захворювань дихальної системи та підвищення смертності від них [20].

Грамотно розроблені стратегії запобігання наслідкам впливу на здоров'я людей високих температур, знання і вжиття заходів ефективної профілактики, надання першої медичної допомоги могли б знизити потенціальну шкоду життю.

5.2.1 Чутливість людини до високих температур повітря

Основне біокліматичне значення температури повітря полягає у її впливі на тепловий обмін організму з навколишнім середовищем. Висока температура утруднює віддачу тепла, низька – навпаки прискорює її. За підвищеної температури у людини знижується рівень та інтенсивність теплопродукції і збільшується діаметр периферичних судин шкіри, підвищується температура шкіри, зменшується приплив крові до глибоких тканин і внутрішніх органів. Організм людини намагається пристосуватись до умов зовнішнього середовища завдяки складним терморегуляторним механізмам.

Відомо, що в основі фізичної терморегуляції теплового балансу організму лежать різні механізми тепловіддачі. Основними з них є: випромінювання тепла з поверхні тіла людини; конвекція – рух і перемішування нагрітого тілом повітря, що є можливим лише тоді, коли температура шкіри вища за температуру повітря (при цьому прилеглий до шкіри шар повітря товщиною 1-2 мм нагрівається майже до температури шкіри, піднімається і заміщується більш холодним і щільним повітрям); теплопровідність – передача тепла від живого організму на речі, з якими він взаємодіє (вона можлива лише тоді, коли температура шкіри вища за температуру об'єктів, з якими контактує організм); випаровування вологи зі шкіри і слизових оболонок дихальних шляхів. У випадку, коли температура повітря вища ніж температура тіла, тепловіддача шляхом випромінювання, конвекції і теплопровідності стає неможливою і залишається лише один спосіб – випаровування рідини з поверхні тіла, ефективність якого багато в чому залежить від інтенсивності потовиділення (воно регулюється системою терморегуляції) і від вологості повітря [21].

Можливості механізмів терморегуляції далеко небезмежні. Під час тривалого знаходження у несприятливих умовах (висока температура) може відбутись зрив адаптації механізмів терморегуляції, який супроводжується

порушенням теплової рівноваги між організмом і середовищем. У свою чергу це може призвести до функціональних (перегрів, тепловий удар) або глибоких патологічних порушень.

Вже за температури повітря 24 °С працездатність людини знижується на 15 % порівняно з її рівнем у комфортних умовах, а за температури 28 °С – вже на 30 %.

Підвищення температури повітря до 30-31 °С сприяє віддачі організмом тепла шляхом конвекції, теплопровідністю і випромінюванням.

При зовнішній температурі 32-33 °С і вище припиняється віддача тепла конвекцією і випромінюванням та вмикаються механізми підвищення тепловіддачі шляхом потовиділення і випаровування вологи з поверхні тіла і механізм почастишання дихання. Спостерігається зростання частоти серцевих скорочень і хвилинний викид крові, можливе підвищення артеріального тиску. Зменшується об'єм альвеолярної вентиляції, споживання кисню і виділення вуглекислого газу. Вплив на функціональний стан центральної нервової системи призводить до зниження фізичної активності, млявості і апатії, порушенню сну, головних болей, змінам настрою, коли пригніченість змінюється підвищеним роздратуванням.

При температурі повітря 38-39 °С температура тіла перевищує норму на 1,5-2 °С. Самопочуття людей, що страждають від перегріву погіршується, вони скаржаться на відчуття жари, запаморочення, шум у вухах, мигтіння мушок і потемніння в очах, слабкість наростає, з'являються серцебиття, пульсуючий головний біль, відчуття спраги, нерідко спостерігаються нудота і блювота. Відмічається виражена гіперемія шкіри і слизових оболонок, подальше зростання об'ємів ударного і хвилинного викиду крові, підвищення систолічного тиску при зниженому діастолічному через зменшення тону артерій, підвищення об'єму легеневої вентиляції. Відбувається надлишкова втрата позаклітинної рідини, збільшення в'язкості крові, що сприяє підвищенню ризику розвитку інсульту та інфаркту міокарда [22, 23], втрата іонів натрію, калію і хлору. Через гіпервентиляцію легенів зростає вживання кисню і виведення вуглекислого газу, пригнічуються метаболічні процеси. Наростаюча гіпоксія центральної нервової системи супроводжується психічним збудженням, руховим занепокоєнням, в окремих випадках судорожним сипанням.

Якщо температура тіла підвищується до 41°C, спостерігається зменшення потовиділення, сильне почервоніння шкіри, яка спочатку вкрита липким потом, а потім стає сухою і гарячою. Інтенсивність і міра декомпенсації теплорегуляції у значній мірі залежить від швидкості і величини підвищення температури навколишнього середовища. При швидкому настанні жари патологічні зміни нарастають більш нестримно і у багатьох випадках безповоротно. За несприятливого перебігу гіпертермії і відсутності своєчасної кваліфікованої допомоги летальний кінець виникає внаслідок наростаючої серцево-судинної і дихальної недостатності. Критична температура тіла, яка призводить до загибелі організму, при вимірюванні у прямій кишці досягає 42-44°C. Смерть може наступити і за більш низької

температури, особливо на фоні супутньої патології через обезводнення, вторинних метаболічних порушень [21].

Якщо людина знаходиться в умовах високої температура повітря тривалий час, то це сприяє появі специфічної групи захворювань – тепловим ураженням. До них згідно з міжнародною класифікацією, належать: тепловий і сонячний удар, теплова непритомність, теплові судоми, теплове виснаження через обезводнення, зменшення вмісту солей в організмі, теплове виснаження неуточнене, теплова втома, яка переходить в тепловий набряк.

Тривалі високі температури повітря у поєднанні з підвищеною вологістю і несприятливі мікрокліматичні умови у приміщеннях викликають не лише передчасний розвиток перевтоми, але й підвищують загальну захворюваність населення. Підвищена температура є чинником, який провокує нервово-психічні захворювання.

Під час жару зростає і кількість суїцидів. Вперше цей факт описано у 1995 році у Чикаго. Зростання температури вище 18 °С на кожен 1 °С призводило до збільшення кількості випадків суїцидів на 4 % [24]. Схожа ситуація виявлена і в Твері, де під час жаркого літа 1999 року кількість самогубств була на 17 випадків більшою, ніж «прохолодним» літом 2002 р. [25].

Підвищення температури повітря може призвести до підвищення травматизму через появу втоми і зниження уваги. Так, при дослідженні здоров'я членів екіпажів кораблів у тропіках виявлено тенденцію до підвищення кількості травм по мірі зростання температури повітря в середньому в два рази.

Дослідниками встановлено залежність між підвищенням температури повітря і кількістю первинних звертань за медичною допомогою в лікувально-профілактичні заклади [26]. Залежність між ризиком захворюваності і температурою зовнішнього повітря може бути виражена рівнянням:

$$Z=1+1/3 (\Delta t)^2 / \rho , \quad (5.2)$$

де Z – кратність зростання захворюваності порівняно з умовами, які відповідають гігієнічним нормам;

Δt – підвищення (або зниження) середньої температури повітря порівняно з лінією комфорту (19 °С).

ρ – емпіричний коефіцієнт, значення якого наведено в табл. 5.1.

Лінія комфорту – це метеорологічні умови, які забезпечують оптимальний рівень фізіологічних функцій, в тому числі і терморегуляторних при суб'єктивному відчутті комфорту [27]). Вона коливається в межах 18,1-19,9 °С. При роботі середньої важкості зона комфорту по шкалі ефективної температури знижується приблизно на 1 °С, при важкій – на 2,5 °С.

Таблиця 5.1 – Емпіричний коефіцієнт в залежності від величини відхилення температури зовнішнього повітря від лінії комфорту

Направленість зміни температури повітря	Відхилення температури зовнішнього повітря від +19 °C, %					
	< 19	20-39	40-59	60-79	80-100	>100
Підвищення	20	30	40	50	60	70
Зменшення	200	300	400	500	600	700

До груп великого ризику належать літні люди, діти молодшого віку, особи, професійна діяльність яких пов'язана з перебуванням на відкритому повітрі, і особи з низьким рівнем доходів. У великих містах групою ризику є також люди, що мешкають або працюють в «островах тепла», тобто у мікрорайонах міської забудови, які нагріваються сильніше, ніж оточуюча їх місцевість, і тримують накопичене за день тепло всю ніч [28]. Інші фактори ризику – це відсутність доступу до середовища з кондиціонованим повітрям, проживання у домах з великою теплоємністю і поганою вентиляцією, проживання на верхніх поверхах висотних будівель [29].

5.2.2 Сучасні зміни клімату і здоров'я населення

Всесвітня організація охорони здоров'я протягом низки років підкреслювала, що ризики для здоров'я, які зумовлені кліматичними змінами, є значними, поширеними у всьому світі та важко оборотними. Фактори ризику і хвороби, пов'язані з кліматом, наразі знаходяться серед найважливіших факторів, які сприяють зростанню глобального тягара хвороб.

Вплив змін клімату на здоров'я людини здійснюється різними шляхами. Прямий вплив пов'язаний в основному з посиленням екстремальності клімату – збільшенням кількості днів з дуже високими і низькими температурами, частоти та інтенсивності повеней, штормів, тайфунів тощо. Непрямий, опосередкований, вплив відбувається через дію екологічних і соціально-економічних факторів. Він пов'язаний в основному зі зменшенням об'ємів доступної доброякісної питної води, зростанням площ посушливих земель, збільшенням частоти рівнів забруднення повітря за несприятливих метеорологічних умов, появою «нових» хвороб і зміною ареалів кліматозалежних хвороб людини тощо. Наприклад, потепління клімату суттєво підвищує ризик виникнення пожеж, одним з головних наслідків яких є значне зростання концентрації забруднюючих речовин в атмосферному повітрі. Забруднення повітря продуктами горіння, посилюючи вплив промислових і транспортних викидів забруднюючих речовин, призводить до загострення хронічних захворювань органів дихання (зокрема, захворювань

верхніх дихальних шляхів, астми, пневмонії і хронічних захворювань). До непрямих факторів можна віднести і енергетичну бідність

Потепління клімату призводить до змін умов поширення інфекційних хвороб людини, у тому числі і трансмісивних. При цьому змінюються умови існування популяцій переносників трансмісивних хвороб і умови розвитку збудників у переноснику, що спричиняє зміну можливостей передачі багатьох хвороб людини. Підвищення температури прискорює розвиток збудника в організмі переносника, а сама ситуація передачі робить більш ефективним, поширює його нозоареал, полегшує передачу захворювання [30]. Якщо у холодному кліматі збудники інфекцій, попадаючи з організму зараженої людини у зовнішнє середовище, не можуть у ньому існувати, то в теплих умовах ситуація кардинально змінюється. Так у місті Бишкек за даними 1999–2001 рр. встановлено пряму кореляційну залежність між рівнем гострих кишкових інфекцій *ГКІ* та зовнішньою температурою: следующей формулой:

$$\tilde{AE}^2 = 13,3 + 1,78 \cdot t. \quad (5.3)$$

При зростанні температури в середньому на 3 °С захворюваність гострими кишковими інфекціями збільшується на 8 % [31].

На рис. 5.8 схематично надано можливий вплив (прямий і непрямий) змін клімату на здоров'я населення, який відбувається на фоні дії інших факторів не кліматичної природи [32].

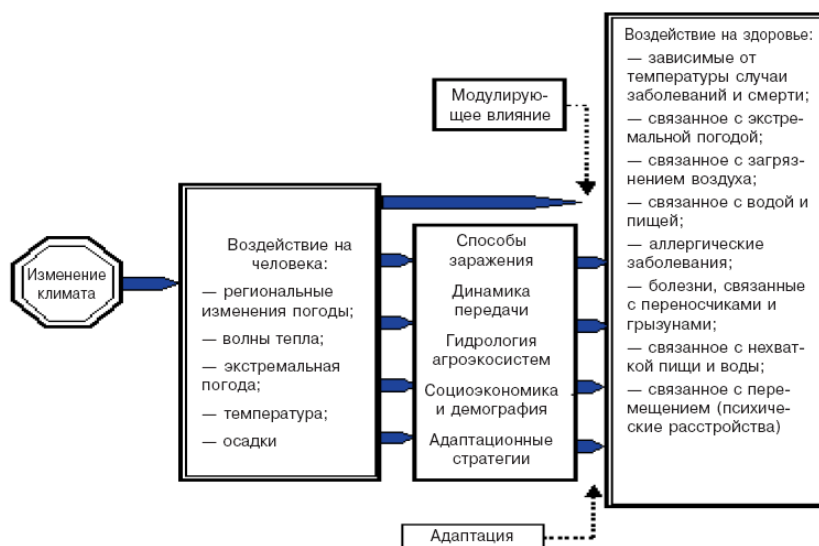


Рисунок 5.8 – Шляхи впливу змін клімату на здоров'я людини (Patz et al., 2000; Хайнес и др., 2004 г)

Глобальні зміни клімату проявляється і в тому, що діапазон добових температур зменшується у багатьох точках земної кулі. У середньому мінімальна температура зростає приблизно в два рази швидше, ніж

максимальна (0,2 проти 0,1 °C за десятиріччя). Підвищується і кількість жарких днів, а от кількість холодних днів зменшується.

Очікується, що вплив діяльності людини через викиди парникових газів в атмосферу буде продовжуватись і надалі, вже у XXI сторіччі. Завдяки цьому змінюватиметься склад атмосфери та клімат.

У рамках сценаріїв, наданих МГЕЗК, глобальна середня температура зросте. Так, у період з 1990р. по 2100 р. підвищиться на 1,4-5,8 °C і це може стати катастрофою для людей, які мешкають на планеті Земля.

Результати останніх робіт з глобальною моделлю показують, що потепління найпомітніше буде проявлятися у північних районах Америки і у північній частині Центральної Азії, де згідно з прогнозами, підвищення температури буде перевищувати глобальне середнє її значення на більше, ніж 40 %.

У рамках сценаріїв, наданих МГЕЗК, глобальна середня температура зросте. Так, у період з 1990р. по 2100 р. підвищиться на 1,4-5,8 °C і це може стати катастрофою для людей, які мешкають на планеті Земля.

Результати останніх робіт з глобальною моделлю показують, що потепління найпомітніше буде проявлятися у північних районах Америки і у північній частині Центральної Азії, де згідно з прогнозами, підвищення температури буде перевищувати глобальне середнє її значення на більше, ніж 40%.

Зміни клімату будуть мати різні наслідки на екосистеми, економіку і здоров'я населення, як позитивні, так і негативні. При цьому основна увага, природно, має приділятися оцінці та вивченню несприятливих наслідків змін клімату.

Через потепління, як вже згадувалось, підвищиться ризик поширення інфекційних паразитарних хвороб, у тому числі малярії, зросте смертність, зумовлена тепловим стресом і забрудненням міського повітря. Так вже тепер, за оцінками Всесвітньої організації охорони здоров'я у Європі щорічно кліматичні зміни є причиною від 1 до 10% смертей серед старших вікових груп, а у світі – більше 150 тис. Додаткових смертей і 5,5 млн років непрацездатності у рік. Це становить 0,3% загальної кількості смертельних випадків і 0,4% загальної кількості років непрацездатності [33].

До 2050 року очікується подальше збільшення кількості смертельних випадків, зумовлених потеплінням клімату, ще приблизно на 1-1,5 %.

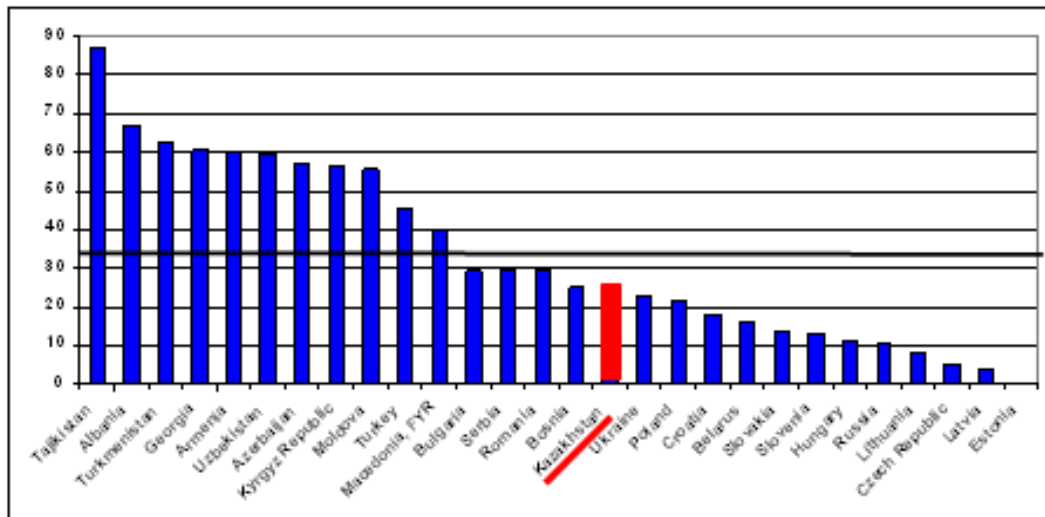
Економічні збитки від додаткової смертності через кліматичні зміни у світі коливаються у великому інтервалі: від 6 до 88 млрд доларів за рік.

Потепління відбувається нерівномірно по земній кулі, тому й уразливість до змін клімату в різних регіонах світу неоднакова (рис. 5.9).

Одним з наслідків потепління клімату є зростання кількості днів з аномально високою температурою, а через це – підвищення смертності населення. У періоди літньої жари, як показали дані більше ніж п'ятидесяти європейських досліджень, найбільш високі показники смертності були серед людей похилого віку, які страждають на хронічні захворювання серцево-

судинної системи, органів дихання, діабетом, госпіталізованих осіб, а також людей, що мешкають у містах (порівняно з передмістями).

**Оценка уязвимости к изменению климата стран
Восточной Европы и Средней Азии (Всемирный
Банк, 2008)**



27

Рисунок 5.9 – Оцінка вразливості до змін клімату країн Східної Європи і Середньої Азії (Всесвітній Банк, 2008)

В Європі літо 2003 року визнано найжаркішим літом за останні 500 років. Аномально високі температури спостерігались у липні-серпні: у Великобританії – до 38,1 °С, Баварії – до 40,4 °С, на півночі Італії – до 40 °С, у горах Австрії – до 52 °С, у Франції – до 35 °С протягом 11 днів. За останні роки у деяких містах різко збільшилась амплітуда коливань літніх температур (у Парижі, наприклад, коливання середніх місячних температур раніш знаходились у межах 8 °С, а під час жару 2003 року зросли до 12 °С). Так у Франції з 1 по 20 серпня 2003 року, коли максимальна температура повітря була вище 35 °С, кількість додаткових випадків смерті на 60 % перевищила даний показник у цей же період часу 1999-2002 років [34]. У 70% випадків вмирали люди старше 75 років.

У жаркі дні також загострювались різні серцево-судинні захворювання, наприклад, стенокардія, з появою болю у грудній клітці, головного болю, запаморочення, нудоти, відчуття втоми тощо. Після цієї події Міністерство охорони здоров'я Франції розробило спеціальний План дій з оцінки і профілактики гострого впливу погодних явищ на здоров'я людини [35].

Жаркий серпень 2003 року став причиною до 6 тисяч додаткових смертей в Іспанії та 1,3 тис. у Лісабоні [36].

Високі температури у столицях низки європейських країн влітку 2003 року призвели приблизно до 23 тисяч додаткових смертельних випадків.

Абсолютним рекордсменом за весь період регулярних метеорологічних спостережень у Росії стало літо 2010 року: перманентна хвиля жари з середньою добовою температурою вище 25 °C тривала 40 днів, що призвело до підвищення смертності у країні порівняно з липнем-серпнем 2009 року на 54 тис. випадків (за офіційними даними Росстата). Лише у липні-серпні 2010 року перевищення рівня смертності у Москві порівняно з аналогічним періодом 2009 року становило 11 тис. випадків або 55 % [37]. Найбільш різке збільшення відбулось у серпні від захворювань органів дихання через пожежі. У липні-серпні 2010 року значне зростання смертності (порівняно з липнем-серпнем 2009 року) спричинили інфекційні і паразитарні захворювання (на 61,5 %), новоутворення (на 70,2 %). У липні 2010 року її зростання зумовили також і зовнішні причини, тобто втома, вбивства, самогубства, травми, дорожньо-транспортні події тощо (на 52,9 % порівняно з липнем попереднього року). Із зовнішніх причин найбільше зросла смертність від самогубств – у липні на 63 випадки або 101,6 %, і серпні на 38 випадків або 52,1 % [38]. Про те, що під час жари підвищується кількість випадків суїцидів повідомляють і інші автори.

Під час цієї жари у мільйонів людей знизився імунітет і підвищилась уразливість відносно простудних та інфекційних захворювань, що спричинило зростання ризику епідемій в осінньо-зимовий сезон 2010-2011 рр. У майбутньому при збільшенні кількості днів з аномально високою температурою кількість додаткових випадків летального результату може зростати [39].

Таким чином, у Москві та інших регіонах Росії фактично був перерваний тренд зниження смертності населення, і значне скорочення кількості осіб непрацездатного віку представляє істотну загрозу демографічній ситуації.

Кількість теплових хвиль значно зросла за останні 100 років і вони стали з'являтися у 2-4 рази частіше. За прогнозами, протягом наступних 40 років, їх стане у 100 разів більше.

Аналіз залежності смертності населення у п'ятидесяти містах США за 1998-2000 рр. (більше 7,5 млн випадків смертей) від максимальної і мінімальної температури, кількості днів з високою і дуже низькою температурою виявив тісні зв'язки між екстремальними значеннями температури і смертністю від діабету. Смертність від серцево-судинних захворювань у цій країні більше залежала від екстремально низьких, ніж екстремально високих температур [40].

Надзвичайно жарка погода, особливо в областях з помірним кліматом, призводить до зростання захворюваності і летальних наслідків, оскільки населення таких регіонів часто дезадаптивоване до різких змін метеорологічних умов. Наприклад, у Торонто протягом 50 років по днях вивчалась залежність смертності від погоди. Найвищу смертність зафіксовано у липні-серпні, коли спостерігалась найбільша кількість дуже жарких днів, до того ж ризик смерті тим вищий, чим тривалішими були

епізоди жару. Встановлено, що фізіологічні реакції організму людини в умовах гіпертермії суттєво залежать від вологості повітря.

Слід зазначити, що наслідки потепління клімату для населення можуть бути різними у північних і південних регіонах, через те що мешканці півдня краще адаптовані до жару. Підтвердженням цього може служити співставлення показників смертності у двох містах США і Канади: у Монреалі смертність населення починала зростати за температури 29 °С, а у Даласі – при перевищенні 39 °С. Автори цієї роботи вважають температуру 29 °С пороговою для жителів північних територій [41]. Навіть короточасне перевищення температури може стати причиною підвищення смертності населення. У Чикаго в результаті п'ятиденної жару, коли температура досягнула 40 °С, кількість смертей зросла на 85%, а кількість госпіталізацій – на 11 % порівняно з аналогічним періодом у попередні роки. Сильна жара призвела не лише до 514 випадків додаткових смертей, але й до 3300 додаткових випадків невідкладної госпіталізації. Основними причинами смертельних наслідків у ці жаркі дні були ішемічна хвороба серця, діабет, захворювання органів дихання, нещасні випадки, самогубства та вбивства, а причинами госпіталізації – захворювання серцево-судинної системи, органів дихання, нирок, нервової систем, епілепсія [42]. Це цілком зрозуміло, бо жара не тільки спричиняє порушення діяльності серцево-судинної системи, але й впливає на психологічний стан людини.

За даними експертів ВООЗ, щорічно в Україні кількість смертей, пов'язаних з впливом навколишнього середовища і екологічних факторів, яким можна запобігти, становить 155 тис. або 19 % від показника загальної смертності [43].

У майбутньому населення України також може зіткнутися з такими явищами, як періоди екстремальної жару (холоду), повені, погіршення якості і безпеки харчових продуктів і води, поширення інфекційних захворювань, хвороб органів дихання, нирок, серцево-судинної та нервової систем, психічних розладів тощо.

Виконані ВООЗ дослідження по визначенню порога температурної комфортності, перевищення якого призводить до підвищення смертності жителів міст світу показали аналогічні результати: в різних регіонах різкий підйом кривої смертності починається за різної температури повітря (наприклад, у середземноморських містах у середньому вище 28 °С, у Хельсинки – 23,6 °С). Обговорювалась необхідність використання і інших метеорологічних показників – максимальної та мінімальної добової температури, перепадів температури протягом дня.

Дані по Росії підтверджують цю закономірність. Було виявлено зв'язок між кількістю звернень за екстреною медичною допомогою, загальною смертністю і смертністю від низки причин (травми, утоплення і самогубства), з одного боку, і температурою повітря у літній період, з другого. При підвищенні максимальної добової температури на 10 °С кількість звернень і смертність від окремих причин зростали вдвічі, показник загальної смертності – на 8 %. Епідеміологічні дослідження у Москві дозволили

встановити, що пороговою для збільшення смертності є середня добова температура 25 °C [44].

Кількість досліджень по вивченню зв'язків між метеорологічними факторами і смертністю населення міст, розташованих у різних кліматичних зонах, є достатньо великою. В результаті таких досліджень будувались температурні криві смертності, які відображають залежність щоденної смертності від середньої добової температури повітря і ґрунтуються на статистичній обробці часових рядів добової смертності за багаторічні періоди. Такі криві побудовано для багатьох міст Європи, США, Канади, Японії. Було показано, що залежність між температурою і смертністю нелінійна по всьому температурному діапазону, а для деяких причин смерті (наприклад, для смертності від всіх природних причин і серцево-судинних захворювань) вона має вигляд V- або U-образної кривої, з мінімумом у певній точці, область навколо якої і можна вважати областю температурного комфорт. Для населених пунктів, розташованих у різних кліматичних умовах існують різні значення температурного комфорту. В якості прикладу наведемо розподіл добової середньої смертності від всіх причин у Мадриді як функції добової максимальної температури повітря за 1986-1997 рр. [45]. Між названими показниками існує звичайна V-образна залежність, а мінімум спостерігається при 30,8 °C (комфортна температура). Права гілка кривої має набагато більшу крутизну нахилу, ніж ліва. Це дозволяє зробити висновок про те, що жара впливає на смертність сильніше, ніж холод [46]. Добова максимальна температура, за якої нахил кривої залежності між смертністю і температурою стає крутішою, дорівнює 36,5 °C [44].

У Мадриді вплив надзвичайно жарких днів на смертність найбільший серед жінок старше 75 років (зростання на 28,4 % на кожний градус вище 36,5 °C). Зростання смертності від серцево-судинних захворювань більше, ніж зростання смертності від респіраторних захворювань. У чоловіків зростання смертності більше у віковій групі від 65 до 75 років (підвищення на 14,7 % на кожен градус вище 36,5 °C), але при більшому внеску смертності від респіраторних захворювань [47].

Якщо температура у майбутньому залишиться навіть такою ж як сучасна, то у тих країнах і регіонах, де спостерігається старіння населення, кількість захворювань, спричинених хвилями тепла, буде зростати через високий рівень чутливості осіб похилого віку до дії термічного фактора. Так у Росії частка осіб старше 59 років (одної з груп ризику) до 2025 року досягне 27,6 %, а до 2050 року – 36,1 %, тобто буде у 2 рази більшою, ніж у 1989 році (18,5 %) [48]. У Європі відмічається ще більше зростання очікуваної тривалості життя і старіння населення. Найвищим індексом старіння (відношення чисельності населення старше 65 років до чисельності населення у віці 0-14 років) характеризуються Німеччина, Італія та Іспанія [49].

У періоди надзвичайної жари на здоров'я людини впливає не лише жара сама по собі, але й ультрафіолетове випромінювання, приземний озон та інші

речовини, які забруднюють повітря, і прямо або непрямо пов'язані з погодними умовами. Слід зазначити, що МГЕЗК прогнозує підвищення середньої температури поверхні Землі у ХХІ столітті на 1,4-5,8 °С. Як наслідок цього, прогнозується антропогенне потепління в середньому на 0,1-0,5 °С кожні десять років протягом поточного століття. Після ХХІ століття можна очікувати ще більших змін.

Вплив екстремальної літньої жари на здоров'я людини може посилюватися підвищенням вологості повітря. Періоди сильної жари зазвичай настають у синоптичних ситуаціях, які характеризуються чітко вираженим уповільненим розвитком і рухом повітряних мас, що веде до інтенсивного і затяжного теплового стресу. Проте навіть короточасні або помірні епізоди жари негативно впливають на здоров'я людини.

За оцінками Всесвітньої організації охорони здоров'я річний показник додаткової смертності у літній період, яка може бути віднесена на рахунок змін клімату, до 2050 року зросте у декілька разів. Тому експерти ВООЗ наполегливо рекомендують системі охорони здоров'я відігравати більш активну роль у боротьбі з сучасними і очікуваними наслідками впливу змін клімату.

В Україні зміни клімату можуть негативно вплинути на такі групи захворювань, як серцево-судинні, респіраторні, інфекційні, онкологічного профілю, захворювання опорно-м'язової системи, травми різної етіології.

Виходячи зі сказаного, країнам і містам вже тепер треба думати про створення систем попереджень про настання сильної жари.

Зазначимо, що за підсумками Четвертої доповіді МГЕЗК, Україна не входить у перелік найбільш уразливих до глобального потепління регіонів нашої планети, але потепління відчутне вже й на її території.

5.2.3 Очікуваний просторово-часовий розподіл жарких днів по території України

Для прогнозування наслідків змін клімату в якості базових періодів фахівці по змінах клімату часто вибирають періоди від теперішнього часу до 2050 року і до 2100 року.

Нами досліджено часову зміну кількості жарких днів в окремі місяці (квітень-жовтень), суми таких днів за всі вказані місяці і за літній сезон за період з 2011 по 2050 роки на чотирьох станціях у різних регіонах України на основі даних двох сценаріїв (RCP 4.5 і сценарій RCP 8.5).

Характеристикою термічних умов місцевості у літній час є так звані жаркі дні. У біокліматології існують методи оцінки жаркої погоди. Як вже згадувалось, така погода викликає негативні реакції в організмі людини, пов'язані з порушенням терморегуляції. Жарким вважається день, коли максимальна температура повітря > 25 °С.

В Україні влітку і навіть у перехідні сезони часто формуються умови для підвищення температури до таких значень. Висока температура може

встановитись під час надходження сухого континентального повітря помірних широт або тропічного повітря з Нижнього Поволжжя і Середньої Азії. Істотне підвищення температури може відбутись і у малорухомих термічних депресіях, які виникають внаслідок інтенсивного нагрівання повітря, а також у відрогах і часткових антициклонах Азорського максимуму, які поширюються на територію нашої країни із заходу [50].

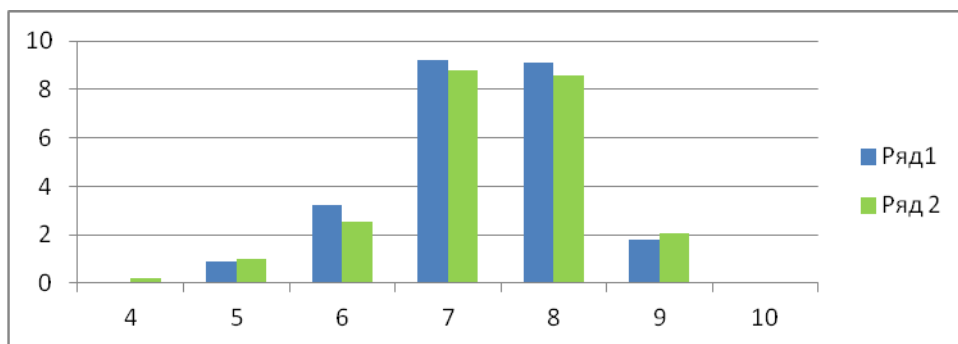
Жаркі дні на півночі, заході і сході країни за обома сценаріями очікуються щорічно з травня по вересень, але в окремі роки вони можуть спостерігатись у квітні та жовтні; на півдні – щорічно з квітня по жовтень (табл. 5.2 і 5.3). Результати розрахунків за обома сценаріями не дуже різняться (рис. 5.10).

Таблиця 5.2 – Кількість жарких днів. 2011-2050 pp. (сценарій RCP 4.5)

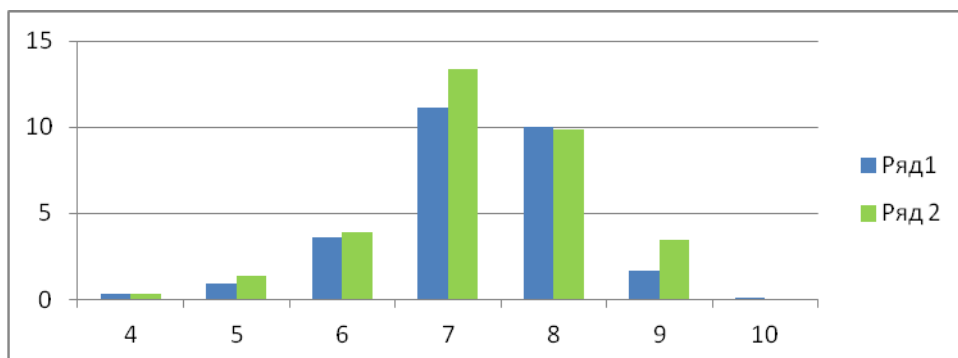
Кількість днів	Місяць							Сума, рік	Сума, літо
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X		
Семенівка									
Сума	-	36	128	369	363	72	-	968	860
Середнє	-	0,9	3,2	9,2	9,1	1,8	-	24,2	21,5
Ужгород									
Сума	11	35	145	442	100	69	1	1103	987
Середнє	0,3	0,9	3,6	11,1	10,0	1,7	0,03	27,6	24,7
Ізмаїл									
Сума	49	178	581	1097	1041	412	43	3401	2719
Середнє	1,2	4,5	14,5	27,4	26,0	10,3	1,1	85,0	68,0
Біловодськ									
Сума	8	124	408	877	836	204	9	2466	2121
Середнє	0,2	3,1	10,2	21,9	20,9	5,1	0,2	61,5	53,0

Таблиця 5.3 – Кількість жарких днів. 2011-2050 pp. (сценарій RCP 8.5)

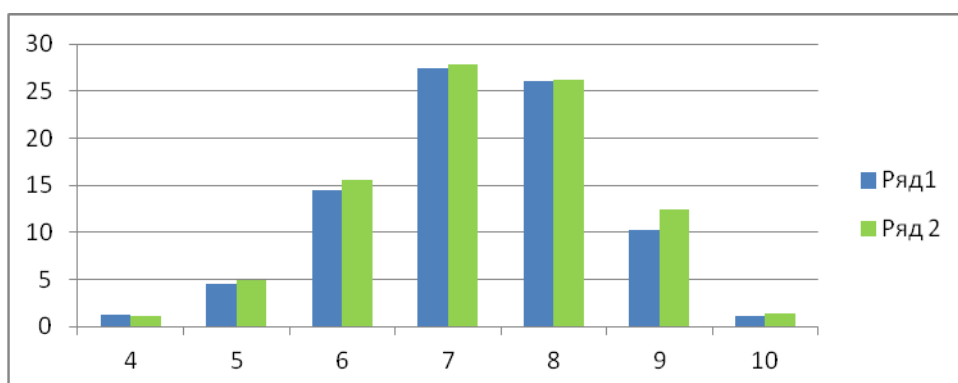
Кількість днів	Місяць							Сума, рік	Сума, літо
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X		
Семенівка									
Сума	8	41	101	352	344	82	-	928	797
Середнє	0,2	1,0	2,5	8,8	8,6	2,1	-	24,6	19,9
Ужгород									
Сума	14	54	157	534	396	138	-	1293	1087
Середнє	0,4	1,4	3,9	13,4	9,9	3,5	-	32,3	27,2
Ізмаїл									
Сума	45	195	620	1110	1049	496	54	3569	2779
Середнє	1,1	4,9	15,5	27,8	26,2	12,4	1,4	89,2	69,5
Біловодськ									
Сума	28	123	382	843	827	229	5	2437	2052
Середнє	0,7	3,1	9,6	21,1	20,7	5,7	0,1	60,9	51,3



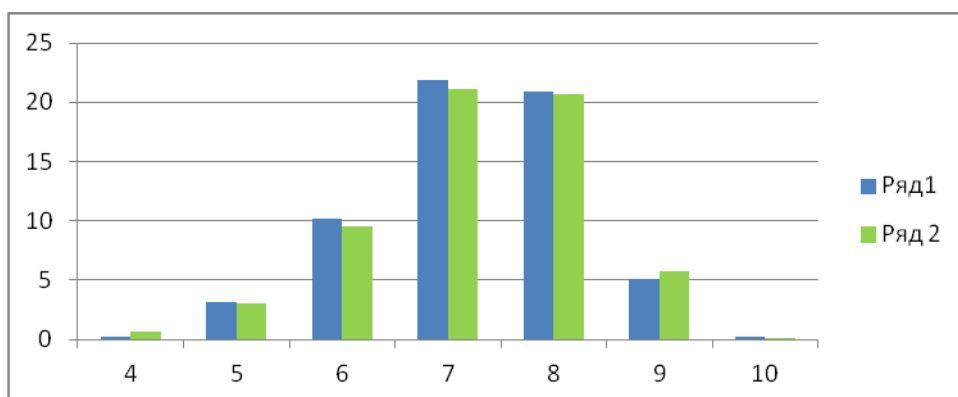
Семенівка



Ужгород



Ізмаїл



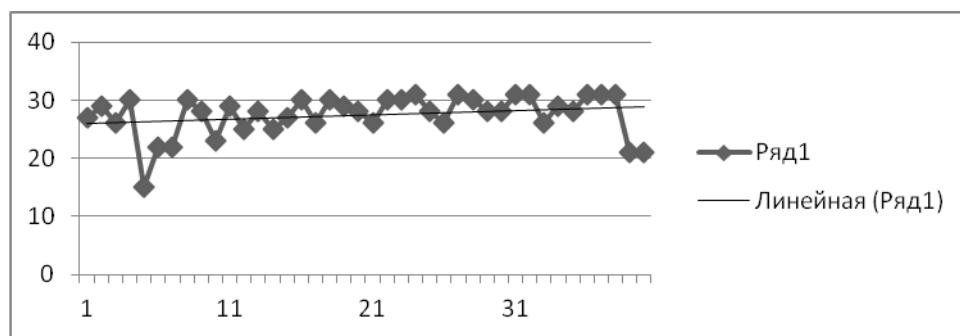
Біловодськ

по осі x – номери місяців; по осі y – кількість днів
 Ряд 1 – за сценарієм RCP 4.5; Ряд 2 – за сценарієм RCP 8.5

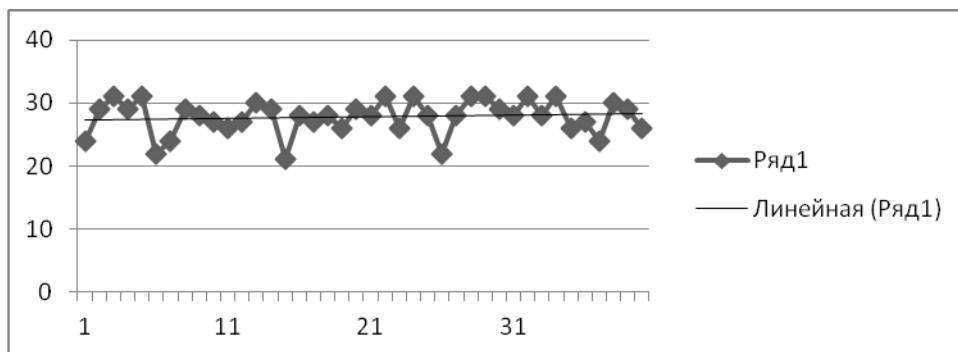
Рисунок 5.10 – Середня кількість жарких днів, визначених за двома сценаріями.

Найбільша повторюваність їх припадає на липень-серпень: у Семенівці – 9 жарких днів, Ужгороді – 10-13, Біловодську – 21-22, Ізмаїлі – 26-28 днів в середньому на місяць. Мінливість (середній квадратичний відхил) кількості жарких днів за окремі місяці становить 2-7 днів.

Слід зазначити, що в окремі роки в Ізмаїлі та Біловодську кількість днів з максимальною температурою вище 25 °С у липні і серпні може спостерігатись навіть впродовж всього місяця, у Семенівці і Ужгороді – 25-27 днів. На рис. 5.11 наведено часову зміну кількості таких днів у липні протягом досліджуваного періоду. Повторюваність жарких днів у цьому місяці становить 17 % (сценарій RCP 4.5) і 20 % (сценарій RCP 4.5). Визначений лінійний тренд в окремі місяці 40-річного періоду, який характеризує динаміку кількості жарких днів, найчастіше показує їх зростання.



а

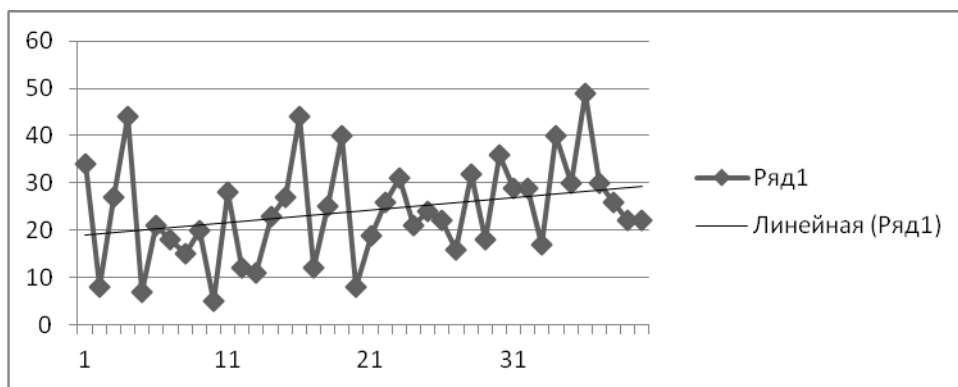


б

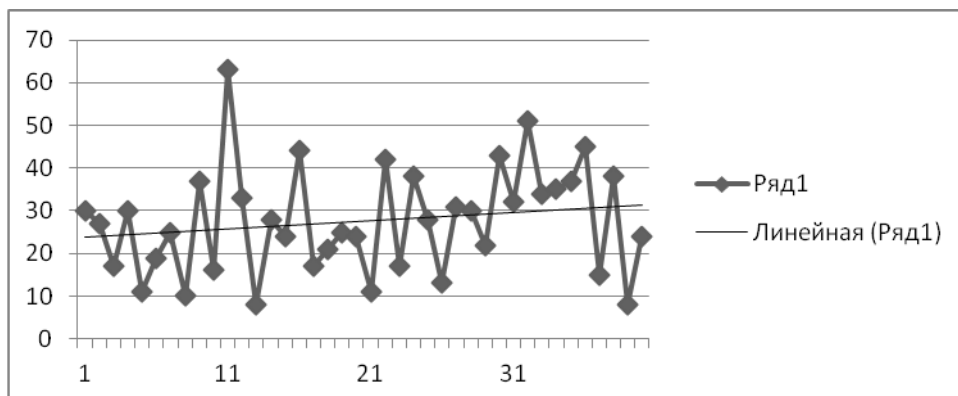
по осі x – роки з 2011 по 2050; по осі y – кількість днів

Рисунок 5.11 – Динаміка кількості жарких днів за сценаріями RCP 4.5 (а) і RCP 8.5 (б). Липень. Ізмаїл

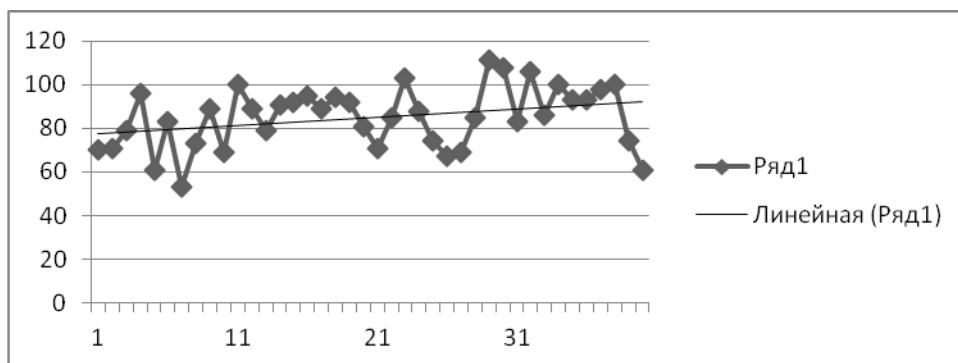
Середній квадратичний відхил жарких днів за рік коливається в межах 11-15 днів за сценарієм RCP4.5 і 14-15 днів за сценарієм RCP8.5. Кількість жарких днів протягом 40 років на всіх досліджуваних станціях коливається у широкому діапазоні: 5-49 днів (за другим сценарієм 2-70 днів) у Семенівці, 8-63 (10-63) – Ужгороді, 53-111 (61-121) – Ізмаїлі, 24-92 (28-97) днів – Біловодську. Такі коливання кількості жарких днів з року в рік дозволяють простежити їх часову динаміку (рис. 5.12 і 5.13). Визначений лінійний тренд річної кількості жарких днів свідчить про їх зростання.



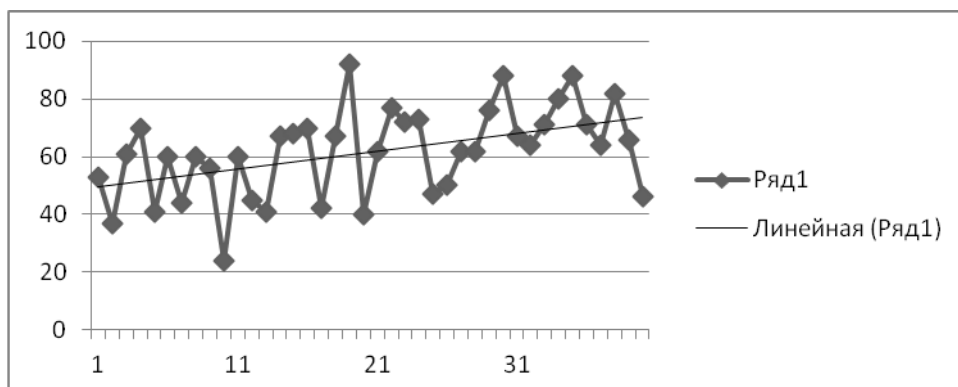
Семенівка



Ужгород



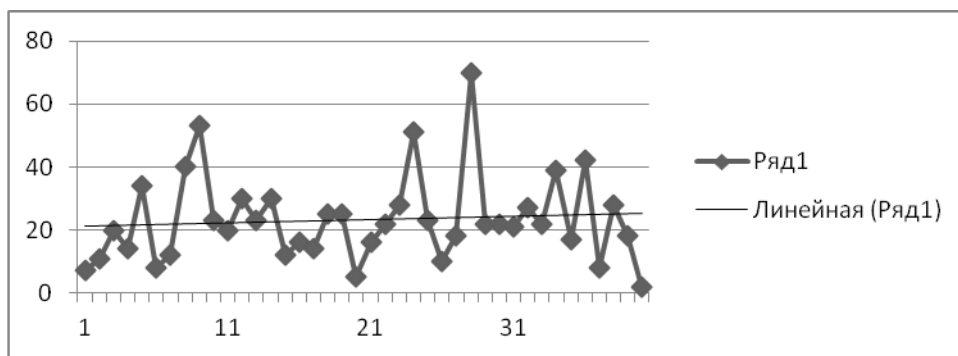
Ізмаїл



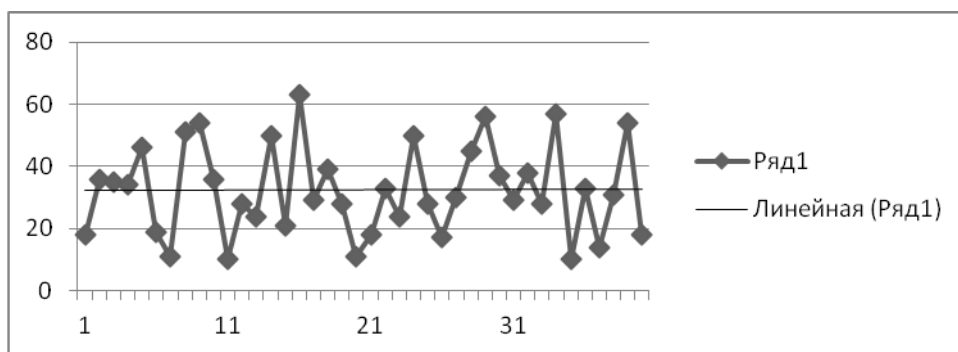
Біловодськ

по осі x – роки з 2011 по 2050; по осі y – кількість днів

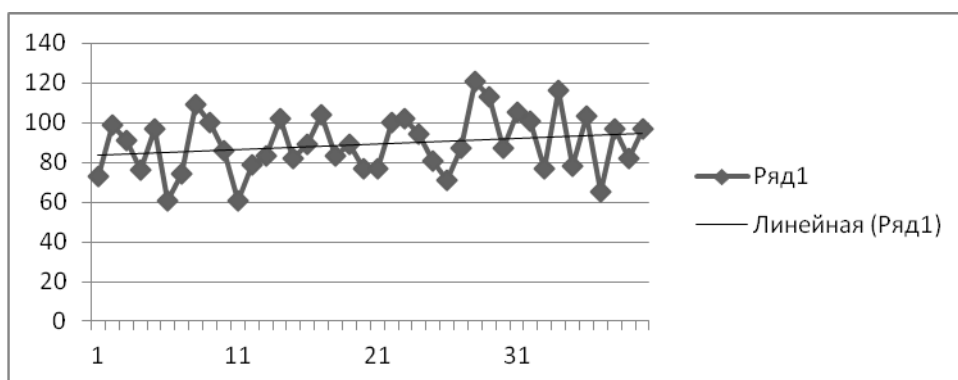
Рисунок 5.12 –Динаміка річної кількості жарких днів (сценарій RCP4.5)



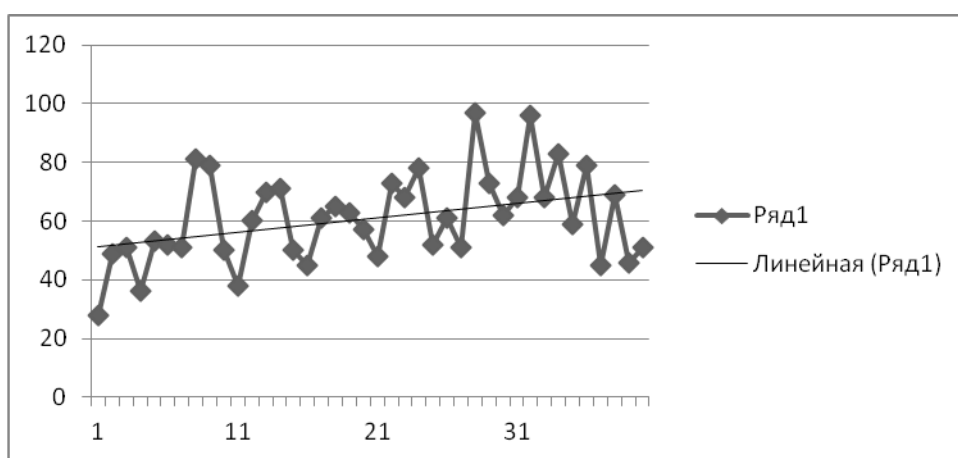
Семенівка



Ужгород



Ізмаїл



Біловодськ

по осі x – роки з 2011 по 2050; по осі y – кількість днів

Рисунок 5.13 – Динаміка річної кількості жарких днів. (сценарій RCP8.5)

Слід звернути увагу на те, що результати розрахунків за обома сценаріями відрізняються зовсім несуттєво. Тому у подальшому можна обмежитись розрахунками лише за одним сценарієм.

Далі нами досліджувався просторовий розподіл кількості жарких днів по території України з квітня по жовтень за період з 2011 по 2050 рр. на основі модельних рядів за сценарієм RCP4.5 по двадцяти семи станціях країни.

У табл. 5.4 і 5.5 наведено суму кількості днів з максимальною добовою температурою вище 25 °С по місяцях, за літній сезон і в цілому за рік. Аналіз табл. 5.4 показує, що жаркі дні майже на території країни будуть спостерігатись з квітня по жовтень за винятком північних регіонів. Найбільша кількість їх зазвичай у липні та серпні. Абсолютний максимум сумарної тривалості періодів з максимальною температурою вище 25 °С очікується у липні на ст. Клепінине і становитиме 1113 днів, за літній сезон – також на цій станції (2769 днів), а за весь рік – на ст. Ізмаїл (3401 день); абсолютний мінімум і за сезон, і за рік – у Передкарпатті (ст. Коломия, відповідно 683 і 785 днів).

Таблиця 5.4 – Кількість жарких днів. 2011-2050 рр. (сценарій RCP4.5)

Назва станції	Місяць							Сума, рік	Сума, літо
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X		
Семенівка	-	36	128	369	363	72	-	968	860
Глухів	4	31	116	402	397	74	-	1024	915
Ковель	12	46	137	318	315	67	1	896	770
Коростень	5	31	152	406	387	83	2	1066	945
Нежин	5	45	179	502	481	101	2	1315	1162
Рівне	10	45	131	359	351	77	3	976	841
Фастів	5	40	150	492	461	101	2	1251	1103
Стрий	10	32	106	358	352	69	2	929	816
Тернопіль	11	29	99	320	326	60	2	847	745
Хмельницький	6	28	120	376	364	67	1	962	860
Черкаси	11	82	265	705	633	156	9	1861	1603
Веселий Поділ	10	77	270	730	646	144	6	1883	1646
Вінниця	5	28	133	456	445	92	2	1161	1034
Ужгород	11	35	145	442	100	69	1	1103	987
Коломия	10	30	97	303	283	58	4	785	683
Чернівці	19	53	161	446	403	98	6	1186	1010
Бобринець	9	75	338	815	756	188	11	2192	1909
Вознесенськ	12	96	373	931	854	247	13	2526	2158
Пришиб	13	138	458	1004	944	281	20	2858	2406
Красноармійськ	9	132	492	1038	1022	289	7	2989	2552
Одеса	8	61	377	981	906	215	7	2555	2264
Нова Каховка	16	161	519	1048	976	304	18	3042	2543
Ізмаїл	49	178	581	1097	1041	412	43	3401	2719
Клепінине	26	118	590	1113	1066	376	40	3329	2769
Харків	12	82	294	799	748	169	5	2109	1841
Біловодськ	8	124	408	877	836	204	9	2466	2121
Кайдаки	22	141	410	916	842	230	16	2577	2168

Таблиця 5.5 – Повторюваність (%) жарких днів. 2011 – 2050 рр.
(сценарій RCP4.5)

№ п/ п	Назва станції	Місяць				
		Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень
1	Семенівка	2,9	10,7	29,8	29,3	6,0
6	Глухів	2,5	9,7	32,4	32,0	6,2
7	Ковель	3,7	11,4	25,6	25,4	5,6
11	Коростень	2,5	12,7	32,7	31,2	6,9
12	Нежин	3,6	14,9	40,5	38,8	8,4
19	Рівне	3,6	10,9	29,0	28,3	6,4
23	Фастів	3,2	12,5	39,7	37,2	8,4
27	Стрий	2,6	8,8	28,9	28,4	5,8
29	Тернопіль	2,3	8,3	25,8	26,3	5,0
30	Хмельницький	2,3	10,0	30,3	29,4	5,6
34	Черкаси	6,6	22,1	56,9	51,0	13,0
35	Веселий Поділ	6,2	22,5	58,9	52,1	12,0
40	Вінниця	2,3	10,7	36,8	35,9	7,7
45	Ужгород	2,8	12,1	35,6	8,1	5,8
47	Коломия	2,4	8,1	24,4	22,8	4,8
49	Чернівці	4,3	13,4	36,0	32,5	8,2
52	Бобринець	6,0	28,2	65,7	61,0	15,7
55	Вознесенськ	7,7	31,1	75,1	68,9	20,6
57	Пришиб	11,1	38,2	81,0	76,1	23,4
63	Красноармійськ	10,6	41,0	83,7	82,4	24,1
64	Одеса	4,9	31,4	79,1	73,1	17,9
66	Нова Каховка	13,0	43,3	84,5	78,7	25,3
67	Ізмаїл	14,4	48,4	88,5	84,0	34,3
72	Клепінине	9,5	49,2	89,8	86,0	31,3
73	Харків	6,6	23,7	64,4	60,3	14,1
79	Біловодськ	10,0	34,0	70,7	67,4	17,0
80	Кайдаки	11,4	34,2	73,9	67,9	19,2

Найчастіше жаркі дні можливі на станціях Клепінине та Ізмаїл (майже 90 % днів від загальної тривалості місяця); на станція Пришиб, Красноармійськ, Нова Каховка – більше 80 % (табл. 5.5). В окремі роки, зрозуміло, повторюваність може досягати і 100 %, як на цих станціях, так і на інших. Зовсім рідко (з повторюваністю приблизно 8 %) таке явище очікується у серпні у Закарпатті (ст. Ужгород).

На рис. 5.14 і 5.15 представлено просторовий розподіл кількості жарких днів середньої за літній сезон і рік. Особливістю розподілу цього параметра є збільшення його у напрямі з північного заходу на південь і південний схід влітку та з заходу, північного заходу, півночі на південь і південний схід в цілому за рік. Це зумовлено факторами, які впливають на формування такої температури – складовими теплового балансу, синоптичних процесів, підстильної поверхні тощо.

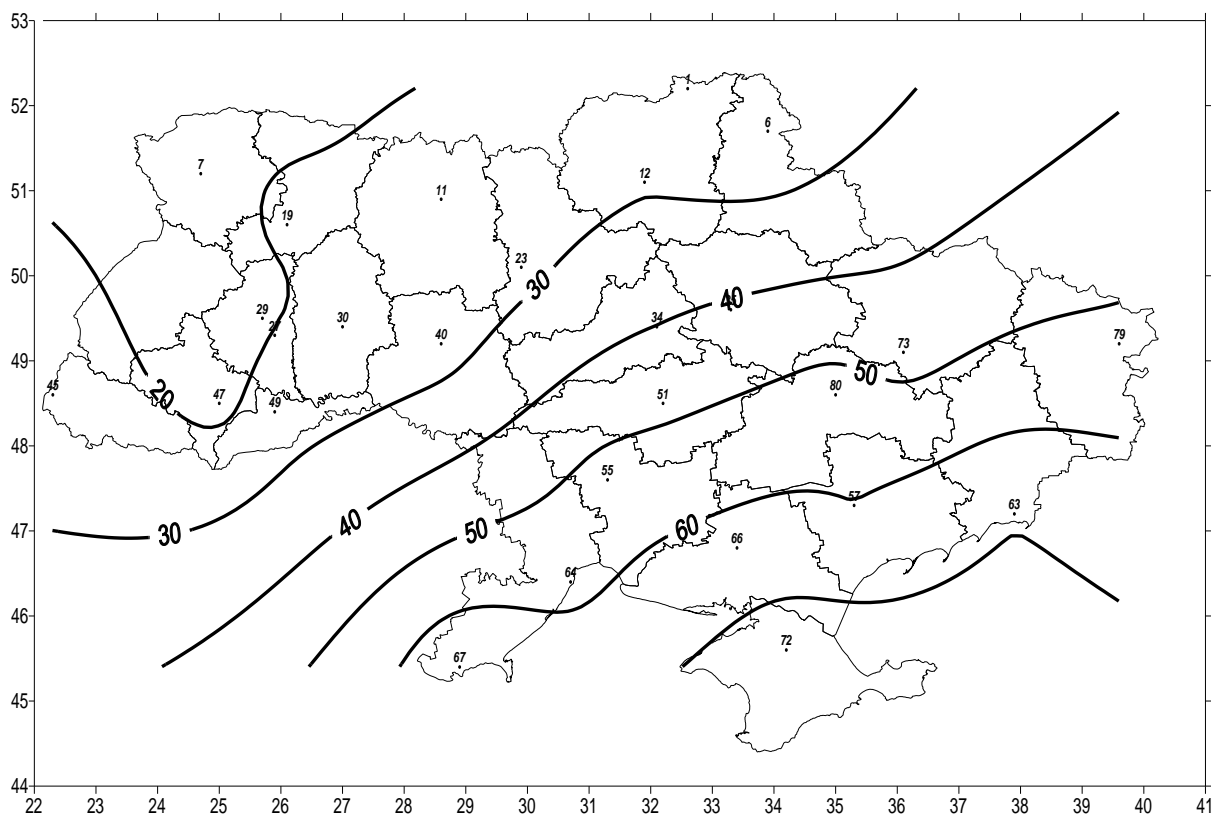


Рисунок 5.14 – Просторовий розподіл середньої за літо кількості жарких днів

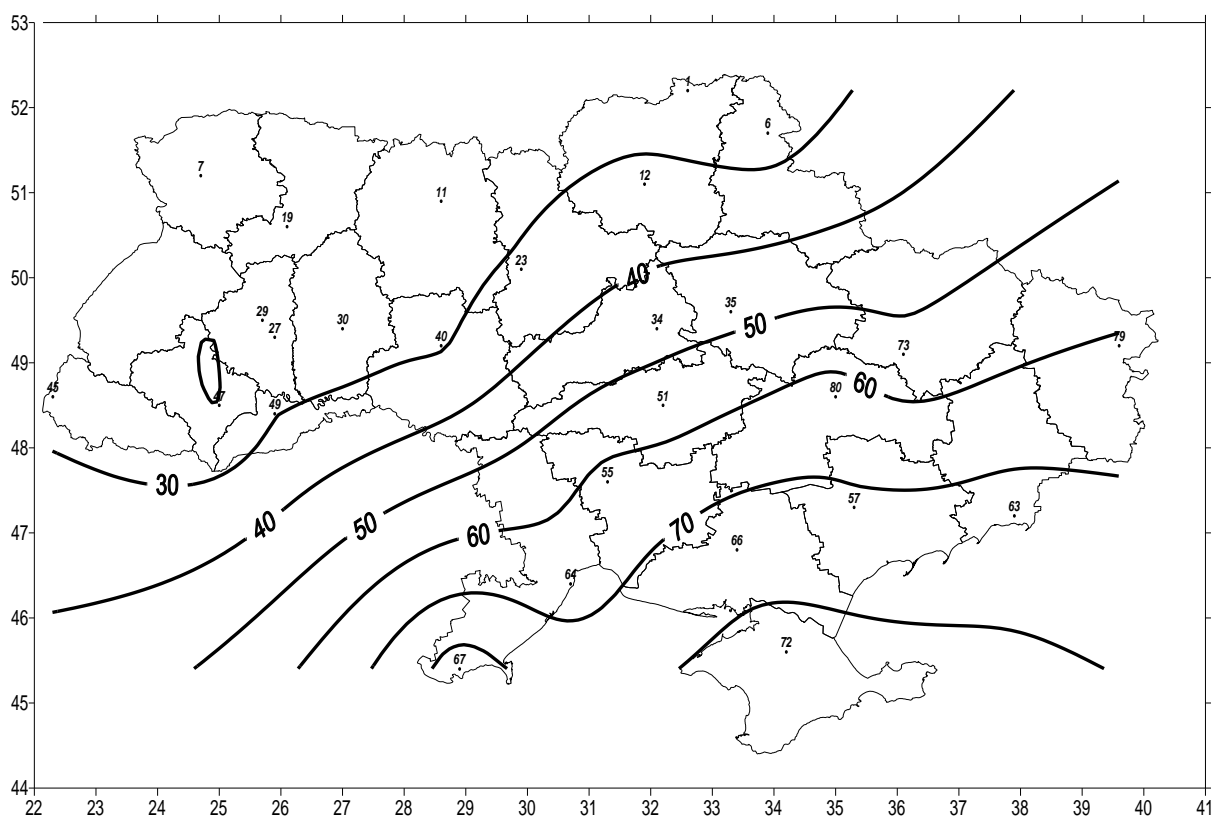


Рисунок 5.15 – Просторовий розподіл середньої за рік кількості жарких днів

На півдні та степовій частині Криму кількість днів з максимальною добовою температурою вище 25 °С за рік становить відповідно 85,0 (Ізмаїл) і 83,2 (Клепінине). На захід, північний захід і північ їх кількість зменшується до 19,6 у Передкарпатті (ст. Коломия).

Абсолютний максимум кількості таких днів за літо становить 75,5 дні (Клепінине), абсолютний мінімум – 17,1 днів (Коломия).

Просторово-часовий розподіл кількості жарких днів зумовлюється радіаційними умовами, циркуляцією атмосфери і характером підстильної поверхні, які визначаються широтою місцевості, ступенем континентальності і макрорельєфом, а також місцевими фізико-географічними умовами.

5.2.4 Часові зміни і просторовий розподіл кількості днів з середньою добовою температурою вище 25 °С

Багато дослідників вважають, що саме середня добова температура є мірою температурного стресу і розглядають її як фактор ризику для здоров'я людини. Виходячи з того, що середню добову температуру повітря 25 °С можна вважати пороговою для збільшення смертності у помірних широтах [36, 37-39, 40, 41], нами досліджено деякі статистичні показники розподілу кількості днів з середньою добовою температурою > 25°С та динаміку їх у різних районах країни (табл. 5.6 і 5.7).

Таблиця 5.6 – Кліматичні показники кількості днів з середньою добовою температурою вище 25 °С (сценарій RCP 45)

Місяць	Показник				
	\bar{x}	σ	A	E	%
Семенівка					
червень	0,1	-	-	-	0,2
липень	0,3	0,8	3,68	14,65	0,8
серпень	0,4	1,1	3,13	10,11	1,4
Ужгород					
червень	-	-	-	-	-
липень	0,6	1,3	3,40	13,69	1,8
серпень	0,3	1,0	3,66	13,38	1,0
Ізмаїл					
червень	0,9	1,6	1,82	2,17	3,1
липень	7,5	5,7	0,34	-0,85	24,1
серпень	6,3	5,5	0,82	-0,23	20,4
Біловодськ					
червень	0,7	1,4	2,05	3,11	2,4
липень	5,4	5,3	1,35	1,14	17,3
серпень	4,5	4,6	1,28	1,17	14,4

Таблиця 5.7 – Кліматичні показники кількості днів з середньою добовою температурою вище 25 °С (сценарій RCP8.5)

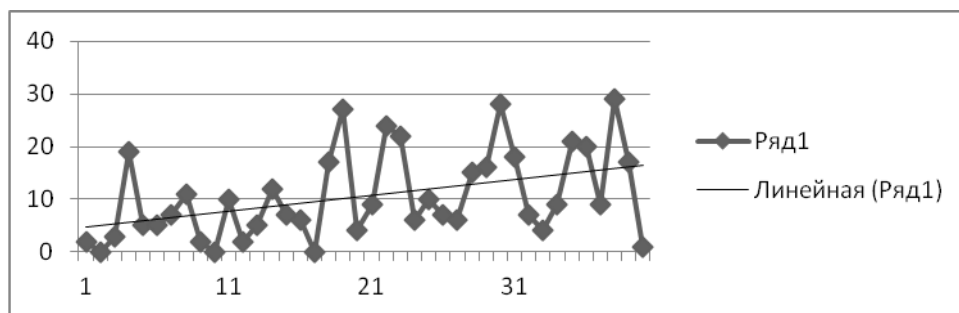
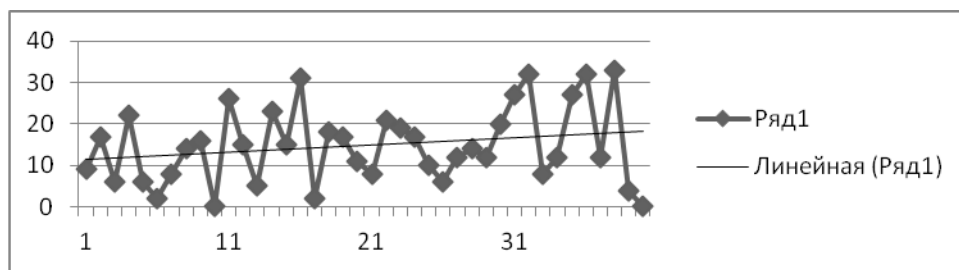
Місяць	Показник				
	\bar{x}	σ	A	E	%
Семенівка					
червень	-	-	-	-	-
липень	0,7	1,7	3,02	9,22	2,3
серпень	0,9	1,9	2,89	8,86	2,8
Ужгород					
червень	0,03	-	-	-	0,1
липень	1,2	2,3	2,31	4,47	3,7
серпень	0,6	1,6	4,38	22,5	1,8
Ізмаїл					
червень	1,1	1,8	2,08	4,75	3,7
липень	8,3	6,6	0,86	-0,12	26,7
серпень	6,9	4,6	0,60	0,28	22,1
Біловодськ					
червень	0,8	1,7	2,60	6,39	2,5
липень	5,2	4,6	1,07	0,85	16,7
серпень	4,7	4,4	1,27	1,16	15,2

Дні, коли середня добова температура перевищує 25 °С, очікуються на території країни в літні місяці, в основному у липні та серпні. Причому, на півночі і заході у перший місяць літа вони взагалі відсутні або можливі 1-2 рази за сорок років. Навіть у липні і серпні такі температури не будуть фіксуватись щорічно. Середній квадратичний відхил кількості днів з середньою добовою температурою вище 25 °С перебільшує середнє значення їх у 2-3 рази. Асиметрія і ексцес, які характеризують міру скошеності та гостровершинності кривої розподілу відповідно, дуже великі по своїй величині.

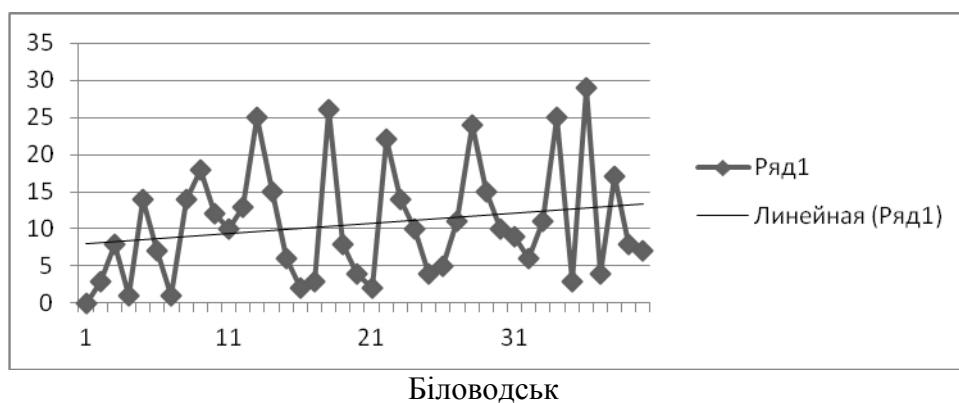
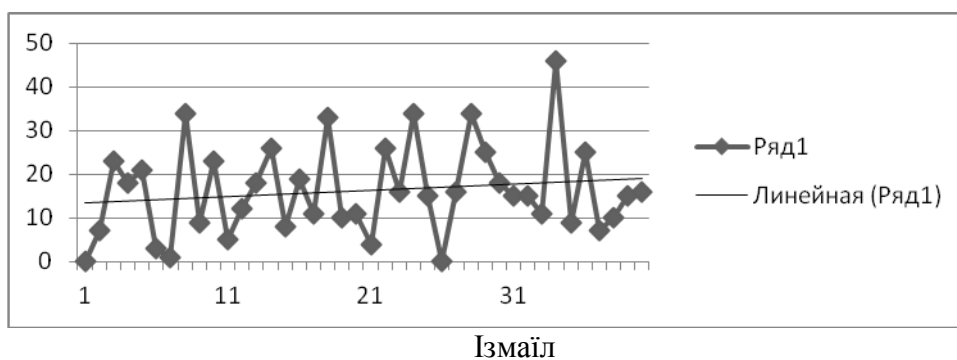
Найбільша повторюваність днів з середньою добовою температурою вище 25 °С в Ізмаїлі (у липні 24,1 і 26,7 % відповідно сценаріям RCP4.5 і RCP 8.5), трішки менша у Біловодську (17,3 і 16,7 %). Асиметрія є великою ($> 0,50$) і додатною (крива розподілу їх має правосторонній скос). Ексцес в Ізмаїлі має від'ємні значення (тобто крива розподілу є менш гостровершинною порівняно з кривою нормального розподілу) менші 1, а в Біловодську – додатні значення (крива розподілу є більш гостровершинною порівняно з кривою нормального розподілу) більші 1.

Тому є сенс дослідити динаміку вказаного показника лише двох станцій, розташованих на півдні та сході країни.

На рис. 5.16 і 5.17 наведено часовий хід кількості днів з середньою добовою температурою вище 25 °С в Ізмаїлі і Біловодську, визначених за двома сценаріями.



по осі x – роки з 2011 по 2050; по осі y – кількість днів
 Рисунок 5.16 – Динаміка кількості днів з середньою добовою температурою вище 25 °С. Літо. (сценарій RCP4.5)



по осі x – роки з 2011 по 2050; по осі y – кількість днів
 Рисунок 5.17 – Динаміка кількості днів з середньою добовою температурою вище 25 °С. Літо. (сценарій RCP8.5)

Побудований лінійний тренд кількості днів з середньою добовою температурою вище 25 °С свідчить про їх зростання за досліджуваний період.

В Ізмаїлі повторюваність днів з температурою, вищою за порогову, тобто небезпечною для здоров'я людей, влітку становить 16,0 % (за сценарієм RCP4.5) і 17,6 % (за сценарієм RCP8.5), у Білововську – відповідно 11,5 і 11,6 %.

Далі досліджувався просторовий розподіл кількості днів з середньою добовою температурою вище 25 °С по території України за період з 2011 по 2050 рр. на основі модельних рядів за сценарієм RCP4.5 по двадцяти семи станціях країни.

Дні з середньою добовою температурою повітря вище 25 °С будуть спостерігатись з травня по вересень. У табл. 5.8 наведено деякі характеристики повторюваності лише для літніх місяців. Найчастіше ця температура перевищуватиме зазначену позначку у липні і серпні. Так на ст. Красноармійськ це відбуватиметься максимально часто (31,5 % від всіх днів липня) і зовсім рідко на заході, північному заході і півночі країни (0,1-0,3 %).

Таблиця 5.8 – Повторюваність днів з середньою добовою температурою >25 °С

№ ст	Назва станції	Червень			Липень			Серпень		
		к.в. (сума)	к.в. (середнє)	%	к.в. (сума)	к.в. (середнє)	%	к.в. (сума)	к.в. (середнє)	%
1	Семенівка	2	0,1	0,2	10	0,3	0,8	17	0,4	1,4
6	Глухів	1	0,0	0,1	18	0,5	1,5	23	0,6	1,9
7	Ковель	3	0,1	0,3	12	0,3	1,0	13	0,3	1,0
11	Коростень	1	0,0	0,1	8	0,2	0,6	14	0,4	1,1
12	Нежин	1	0,0	0,1	30	0,8	2,4	35	0,9	2,8
19	Рівне	1	0,0	0,1	9	0,2	0,7	11	0,3	0,9
23	Фастів	1	0,0	0,1	14	0,4	1,1	29	0,7	2,3
27	Стрий	0	0,0	0,0	5	0,1	0,4	8	0,2	0,6
29	Тернопіль	0	0,0	0,0	4	0,1	0,3	6	0,2	0,5
30	Хмельницький	0	0,0	0,0	8	0,2	0,6	7	0,2	0,6
34	Черкаси	10	0,3	0,8	117	2,9	9,4	106	2,7	8,5
35	Веселий Поділ	12	0,3	1,0	121	3,0	9,8	92	2,3	7,4
40	Вінниця	0	0,0	0,0	13	0,3	1,0	15	0,4	1,2
45	Ужгород	0	0,0	0,0	1	0,0	0,1	13	0,3	1,0
47	Коломия	0	0,0	0,0	3	0,1	0,2	2	0,1	0,2
49	Чернівці	0	0,0	0,0	8	0,2	0,6	7	0,2	0,6
52	Бобринець	12	0,3	1,0	126	3,2	10,2	99	2,5	8,0
55	Вознесенськ	23	0,6	1,9	215	5,4	17,3	173	4,3	14,0
57	Пришиб	37	0,9	3,1	292	7,3	23,5	258	6,5	20,8
63	Красноармійськ	59	1,5	4,9	391	9,8	31,5	325	8,1	26,2
64	Одеса	26	0,7	2,2	255	6,4	20,6	214	5,4	17,3
66	Нова Каховка	52	1,3	4,3	359	9,0	29,0	292	7,3	23,5
67	Ізмаїл	38	1,0	3,2	297	7,4	24,0	249	6,2	20,1
72	Клепінине	36	0,9	3,0	322	8,1	26,0	259	6,5	20,9
73	Харків	10	0,3	0,8	143	3,6	11,5	112	2,8	9,0
79	Біловодськ	31	0,8	2,6	210	5,3	16,9	176	4,4	14,2
80	Кайдаки	32	0,8	2,7	201	5,0	16,2	169	4,2	13,6

Примітка. Повторюваність надано кількістю випадків (к.в.) і у відсотках (%)

Загальна кількість таких днів за досліджуваний період коливатиметься у широких межах: від 5-15 днів (ст. Коломия, Ужгород, Чернівці) до 787 і 717 днів (ст. Красноармійськ і Нова Каховка відповідно).

На рис. 5.18 і 5.19 представлено просторовий розподіл повторюваності (%) кількості днів з середньою добовою температурою вище 25°C у місяці, коли вона найбільша, а також сумарної за літо кількості таких днів. Особливості розподілу характеристик кількості днів з середньою добовою температурою вище 25°C зберігаються і в окремі місяці, і в цілому за літо. Вони дуже повільно зростають із заходу, північного заходу і півночі до відповідної ізолінії, що проходить через Вінницьку, Київську, Чернігівську і Сумську області, а потім на південь і південний схід їх зростання прискорюється.

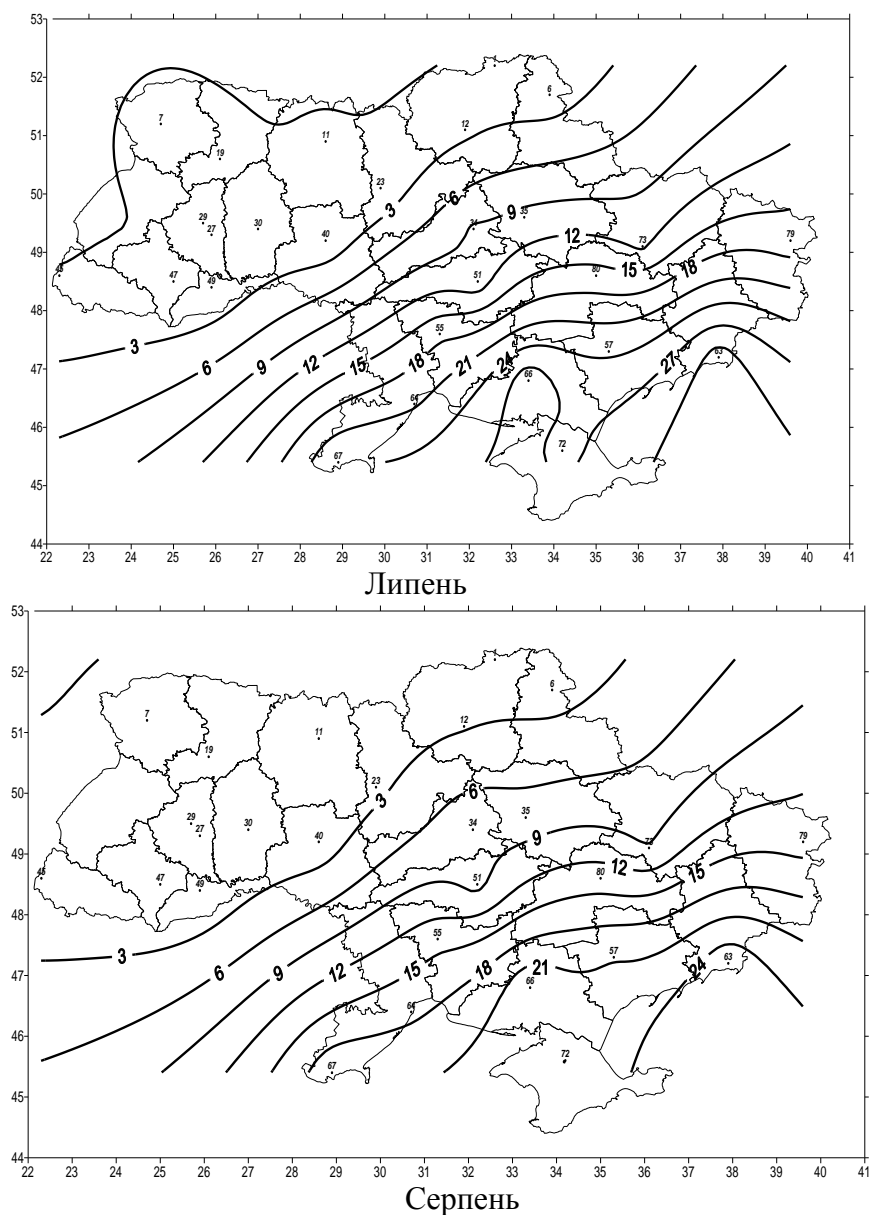


Рисунок 5.18 – Просторовий розподіл повторюваності (%) кількості днів з середньою добовою температурою вище 25°C

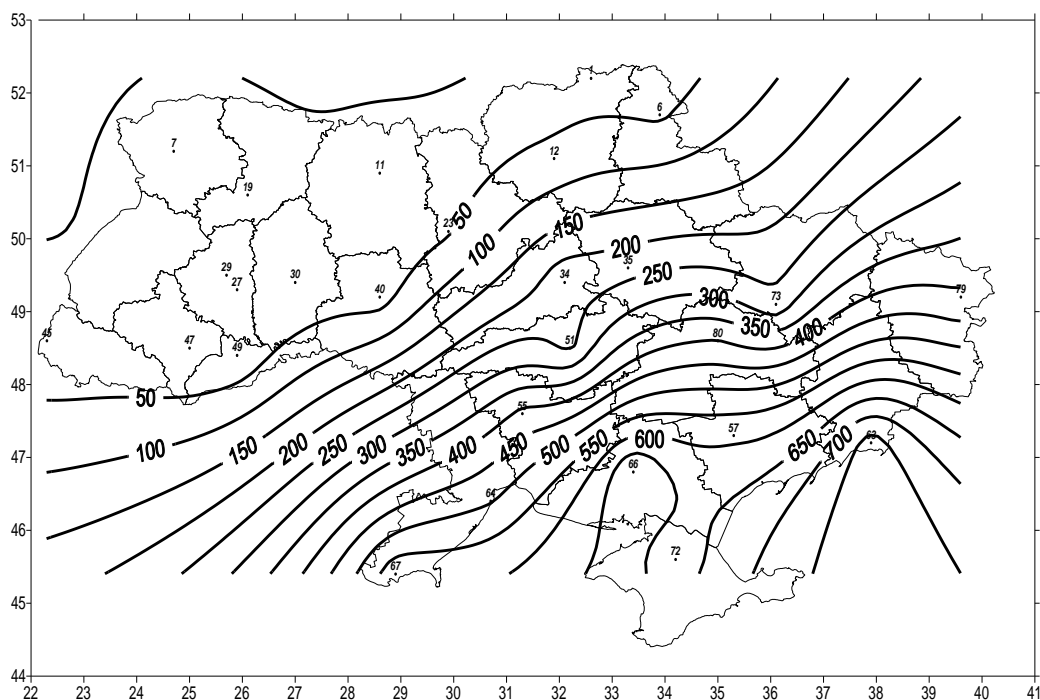


Рисунок 5.19 – Просторовий розподіл сумарної за літо кількості днів з середньою добовою температурою вище 25 °С

За досліджуваний період найвища середня добова температура повітря 34,2 і 34,1 °С очікується у липні 2041 року на ст. Нова Каховка і Красноармійськ відповідно.

Зазначимо, що група кліматологів під керівництвом А.Занобетті з Гарвардської школи суспільного здоров'я у Бостоні оцінила як змінювалась смертність серед літніх мешканців США під час відносно жарких сезонів, проаналізувавши статистику, зібрану державною службою медичного страхування Medicare за 1985-2005 рр.. Виявилось, що смертність американців зростала достатньо сильно з підвищенням відхилення середньої температури літнього дня від норми того регіону, де мешкав учасник дослідження. Так, збільшення цього відхилення на 1 °С супроводжувалось зростанням смертності на 2 % серед людей із захворюваннями серцево-судинної системи і на 4 % для діабетиків. Вони вважають, що у середньому, загальна смертність серед всіх категорій населення повинна зрости приблизно на 5 % з кожним додатковим градусом відхилення температури.

У майбутньому у всьому світі смертність через літню жару буде зростати. За сучасними розрахунками медиків з Британського міністерства охорони здоров'я і дослідницьких інститутів, до 2020 року смертність підвищиться на 66 %, а до 2050 року – на 257 %.

Глобальне потепління клімату дає помітний негативний внесок у зміни здоров'я населення, хоча поки оцінка потенційного впливу змін клімату на здоров'я містить в собі велику ступінь невизначеності [51].

5.2.5 Оцінка соціально-економічних наслідків кліматичного температурного ризику

Сучасне потепління клімату, яке характеризується зміною кліматичних параметрів, супроводжується зростанням повторюваності небезпечних гідрометеорологічних явищ (НЯ), а це призводить до соціального і економічного збитків в різних регіонах країни. Небезпечні явища часто, окрім прямих збитків, можуть посилювати інші негативні фактори середовища і різного роду лиха. Так, підвищення тривалості періодів з високими або низькими температурами впливає як безпосередньо на стан здоров'я людей, так і опосередковано через якість води, продуктів харчування, стану забруднення повітря. Крім того, екстремальні значення температури впливають на стійкість і міцність будівельних конструкцій, робочі характеристики техніки, багато в чому визначають екологічну ситуацію території (пожежонебезпечність, рівень забруднення), стан інфраструктури житлово-комунального господарства, інших галузей економіки. Таким чином, удосконалення управління кліматичною інформацією, системний аналіз характеристик НЯ вкрай актуальні і є основою соціально орієнтованих систем попередження [52] в рамках організації робіт по зниженню передбачуваних або таких, що відбулися, збитків, пов'язаних з кліматичними ризиками.

Як вже згадувалось, у сучасному суспільстві темі ризиків, зокрема гідрометеорологічних, приділяється значна увага. Низка дослідників під гідрометеорологічними ризиками розуміють статистичні імовірності настання тих або інших аномальних або небезпечних явищ погоди [53, 54]. Найчастіше використовують непрямі методи для розрахунку соціально-економічних складових ризиків, тому що існує проблема відсутності достовірної і доступної інформації по економічних збитках від НЯ, по кількості загиблих і постраждалих людей в результаті прояви окремих небезпечних явищ.

Авторами [53, 55] запропоновано співвідносити економічні втрати з чисельністю населення, що дозволяє оцінити уразливість на основі даних про ВВП на одного мешканця. При цьому вважається, що збитки, створені відповідним НЯ, компенсуються за рахунок ВВП у переліку на населення, яке потрапило в зону дії НЯ. Валовий внутрішній продукт (ВВП), англ. *Gross Domestic Product* (GDP) – макроекономічний показник, який відбиває ринкову вартість всіх кінцевих товарів та послуг, зроблених за рік у всіх галузях економіки на території держави для споживання, експорту і накопичення, незалежно від національної приналежності використаних факторів виробництва.

Безпосередньо до небезпечних явищ відносять сильну жару і сильний мороз, періоди з аномально холодною/жаркою погодою, тоді як низькі/високі температури належать до НЯ лише у сполученні з іншими несприятливими факторами (сильний вітер тощо). Низкою дослідників запропоновано характеристики критеріїв НЯ. Так високими вважаються максимальні за добу

температури повітря зі значеннями ≥ 30 °C будь-якої тривалості. Аномально жарка погода характеризується максимальною температурою ≥ 30 °C протягом 5 діб і більше. Сильна жара має ознаки: значення максимальної температури досягають 35 °C і вище протягом 3 діб і більше.

Нами визначено соціальні і економічні збитки, зумовлені екстремальними проявами температурного режиму (високою температурою і середньої добовою температурою вище 25 °C) в різних регіонах України на основі даних траєкторії RCP4.5 з 2011 по 2050 рр..

Абсолютний максимум в модельних рядах максимальної температури очікується у липні 2041 року (41,9 °C, ст. Нова Каховка); у цей же час ще на низці станцій сходу і півдня України максимальна за добу температура може перебільшувати сорока градусну позначку. Абсолютний максимум середньої добової температури очікується також у 2041 році (34,2 °C, ст. Нова Каховка).

Максимальні за добу температури повітря ≥ 30 °C будуть спостерігатись з травня по вересень (у травні лише на 30% від всіх станцій загальна тривалість їх від 2 до 15 днів за 40 років). Найбільша кількість періодів з високою температурою (144) на території країни за досліджуваний інтервал очікується на ст. Клепініне (табл. 5.9), що у сумі складе 530 днів. Максимальна безперервна тривалість таких періодів на різних станціях становитиме від 2 (Коломия) до 26 (Клепініне) днів у липні і 5 (Ковель) - 20 (Нова Каховка) днів у серпні. Цікаво, що загальна тривалість таких періодів у липні вища, ніж у серпні у Передкарпатті, Закарпатті, на східних і південних районах країни, на решті території навпаки.

Суми загальної тривалості періодів з високою температурою за рік суттєво зростають з південного заходу і заходу (42 дні, Тернопіль) на південний схід (1175 днів, Красноармійськ) і південь (1180 днів, Клепініне) (рис. 5.20).

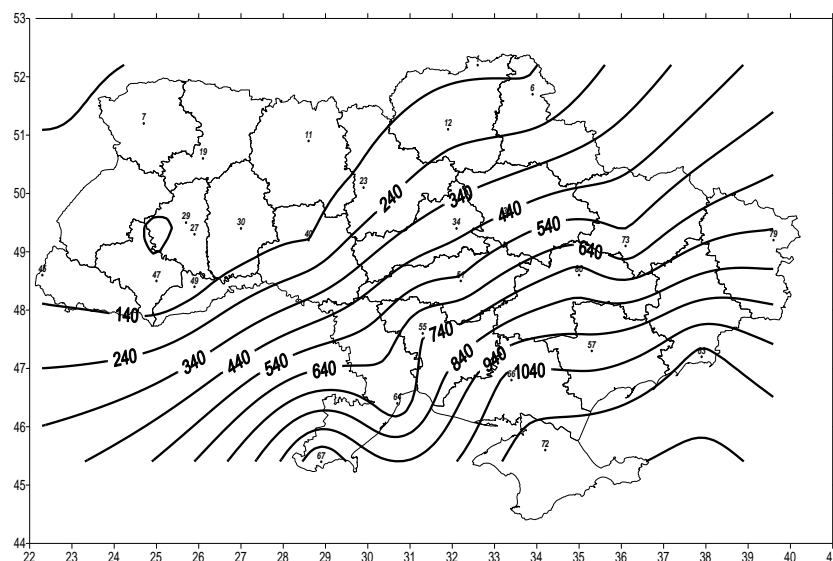


Рисунок 5.20 – Просторовий розподіл суми загальної тривалості періодів з високою температурою за рік. 2011-2050 рр.

Таблиця 5.9 – Характеристики температурних ризиків (періоди високих температур)
на станціях. 2011-2050 рр.

№ п/ п	Назва станції	Червень				Липень				Серпень				Вересень			
		<i>s</i>	<i>n</i>	τ	<i>p</i>	<i>s</i>	<i>n</i>	τ	<i>p</i>	<i>s</i>	<i>n</i>	τ	<i>p</i>	<i>s</i>	<i>n</i>	τ	<i>p</i>
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	Семенівка	8	3	5	7,5	39	28	3	45,0	70	32	9	57,5	6	2	5	5,0
6	Глухів	7	5	2	10,0	56	32	4	52,5	85	38	7	60,0	6	2	5	5,0
7	Ковель	8	4	5	10,0	29	18	3	32,5	39	23	5	35,0	1	1	1	2,5
11	Коростень	7	5	2	10,0	35	23	4	37,5	55	27	9	50,0	3	2	2	5,0
12	Нежин	16	8	6	12,5	79	39	6	62,5	104	46	9	67,5	10	6	3	12,5
19	Рівне	6	3	3	7,5	30	21	3	37,5	41	24	5	47,5	2	2	1	5,0
23	Фастів	9	5	3	12,5	66	43	4	60,0	83	42	12	60,0	7	4	3	10,0
27	Стрий	1	1	1	2,5	25	16	3	30,0	30	20	5	42,5	1	1	1	2,5
29	Тернопіль	1	1	1	2,5	20	15	3	27,5	20	13	5	27,5	1	1	1	2,5
30	Хмельницький	5	5	1	12,5	24	15	3	30,0	38	19	11	45,0	1	1	1	2,5
34	Черкаси	32	18	4	25,0	171	74	11	92,5	187	74	13	75,0	22	12	3	27,5
35	Веселий Поділ	34	16	6	30,0	187	73	12	90,0	203	69	15	77,5	26	12	5	25,0
40	Вінниця	7	5	2	12,5	51	35	3	52,5	77	39	11	57,5	3	3	1	7,5
45	Ужгород	0	1	1	2,5	58	36	5	45,0	44	25	6	42,5	1	1	1	2,5
47	Коломия	3	3	1	5,0	26	18	2	30,0	18	12	5	22,5	1	1	1	2,5
49	Чернівці	14	10	3	17,5	51	33	4	47,5	45	25	5	42,5	2	2	1	5,0

Продовження табл. 5.9																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
52	Бобринець	39	20	5	30,0	231	85	13	90,0	255	94	15	87,5	26	16	3	30,0
55	Вознесенськ	9	28	5	45	321	106	12	90,0	324	100	18	87,5	39	18	3	35,0
57	Пришиб	80	36	5	52,5	429	125	18	100	410	118	18	95,0	58	26	6	47,5
63	Красноармійськ	100	42	9	60,0	520	133	25	100	481	138	17	100	68	34	5	5,0
64	Одеса	45	20	7	37,5	305	99	14	92,5	297	91	17	90,0	20	12	3	27,5
66	Нова Каховка	99	39	8	60,0	476	131	18	100	442	119	20	97,5	60	27	5	47,5
67	Ізмаїл	96	47	6	65,0	497	151	16	100	456	125	20	95,0	66	36	6	62,5
72	Клепінине	107	51	8	65,0	530	144	26	100	481	128	19	100	60	34	5	55,0
73	Харків	37	22	6	35,0	236	89	14	92,5	261	92	9	95,0	32	18	5	30,0
79	Біловодськ	68	35	7	57,5	331	101	21	92,5	326	109	12	97,5	42	23	3	35,0
80	Кайдаки	71	31	1	50,0	326	108	14	97,5	331	105	18	95,0	50	23	6	40,0

Примітка до таблиці. s – загальна кількість днів, n – кількість періодів, τ – максимальна безперервна тривалість періодів,
 p – повторюваність періодів, %

Повторюваність днів з високою температурою по території України за 40-річний досліджуваний період у липні-серпні буде коливатись від 1,6 (Тернопіль) до 42,7% (Клепінине), у перехідні сезони від 0,0 до 8,9% (Клепінине).

Максимум кількості днів з середньою добовою температурою вище 25 °С на території країни буде на ст. Красноармійськ (Донецька область), де до 2050 року очікується 787 таких днів (рис. 5.21). У цьому ж місці передбачається і найбільша кількість їх серій – 249. Максимальна безперервна тривалість цих серій становитиме 25 днів (табл. 5.10). Найрідше дні з середньою добовою температурою вище 25 °С будуть спостерігатись у Передкарпатті (Коломия, 5 днів за 40 років). Максимальна безперервна тривалість їх – 2 дні.

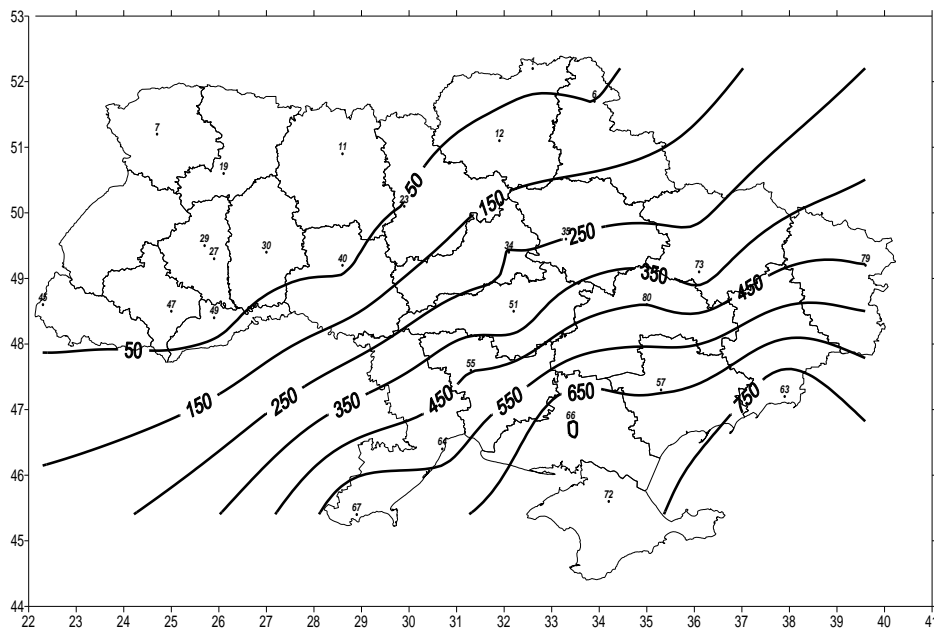


Рисунок 5.21 – Просторовий розподіл суми загальної тривалості періодів з середньою добовою температурою вище 25 °С за рік. 2011-2050 рр.

Повторюваність днів з середньою добовою температурою вище 25 °С за досліджуваний період у липні-серпні очікується від 0,2 (Коломия, Семенівка) до 31,0 % (Красноармійськ). На 56 % станцій сумарна кількість днів вища у липні, а на 41 % – у серпні і лише у Коломії в обидва місяці їх кількість однакова (2 дні).

На основі здобутих даних по повторюваності аномальних явищ, використовуючи методику, запропоновану в роботах [53, 55], проведено розрахунки можливих соціальних і економічних ризиків для території країни стосовно згаданих двох критеріїв.

У запропонованій методиці під соціальним ризиком розуміють імовірність попадання населення певної території в зону з небезпечним або аномальним явищем в середньому за рік.

Таблиця 5.10 – Характеристики температурних ризиків (періоди з середньою добовою температурою вище 25 °С) на станціях. 2011-2050 рр.

№ п/ п	Назва станції	Червень				Липень				Серпень				Вересень			
		<i>s</i>	<i>n</i>	τ	<i>p</i>	<i>s</i>	<i>n</i>	τ	<i>p</i>	<i>s</i>	<i>n</i>	τ	<i>p</i>	<i>s</i>	<i>n</i>	τ	<i>p</i>
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	Семенівка	2	2	1	2,5	10	7	2	12,5	17	9	5	20,0	4	1	4	2,5
6	Глухів	1	1	1	2,5	18	10	4	17,5	23	11	6	25,0	2	1	2	2,5
7	Ковель	3	2	2	2,5	12	10	2	20,0	13	8	4	20,0	-	-	-	-
11	Коростень	1	1	1	2,5	8	8	4	7,5	14	8	5	20,0	-	-	-	-
12	Нежин	1	1	1	2,5	30	16	3	32,5	35	17	7	32,5	3	1	3	2,5
19	Рівне	1	1	1	2,5	9	9	3	12,5	11	7	3	15,0	-	-	-	-
23	Фастів	1	1	1	2,5	14	11	2	20,0	29	16	3	32,5	-	-	-	-
27	Стрий	-	-	-	-	5	5	1	12,5	8	5	3	7,5	-	-	-	-
29	Тернопіль	-	-	-	-	4	4	1	10,0	6	3	3	7,5	-	-	-	-
30	Хмельницький	-	-	-	-	8	6	2	12,5	7	3	4	7,5	-	-	-	-
34	Черкаси	10	10	3	12,5	117	52	10	70,0	106	46	8	70,0	3	2	2	2,5
35	Веселий Поділ	12	8	3	12,5	121	49	13	70,0	92	42	7	55,0	6	2	5	5,0
40	Вінниця	-	-	-	-	13	9	3	20,0	15	10	5	20,0	-	-	-	-
45	Ужгород	-	-	-	-	1	1	1	2,5	14	7	5	12,5	-	-	-	-
47	Коломия	-	-	-	-	3	2	2	5,0	2	2	1	5,0	-	-	-	-
49	Чернівці	-	-	-	-	8	6	2	15,0	7	5	3	10,0	-	-	-	-

Продовження табл. 5.10																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
52	Бобринець	12	8	3	17,5	126	51	11	77,5	99	43	9	65,0	2	2	1	2,5
55	Вознесенськ	23	10	6	22,5	215	73	11	85,0	173	67	16	77,5	5	3	2	5,0
57	Пришиб	37	18	4	35,0	292	78	13	90,0	258	81	16	85,0	10	5	5	12,5
63	Красноармійськ	59	24	5	40,0	391	108	25	95,0	325	110	10	97,5	12	7	5	17,5
64	Одеса	26	14	4	25,0	255	78	14	87,5	214	69	16	80,0	5	3	3	7,5
66	Нова Каховка	52	22	7	40,0	359	101	16	92,5	292	77	19	85,0	14	8	3	15,0
67	Ізмаїл	38	19	5	40,0	297	92	13	87,5	249	73	19	85,0	6	4	3	7,5
72	Клепінине	36	16	8	37,5	322	101	6	90,0	259	89	16	85,0	8	3	6	7,5
73	Харків	10	8	3	15,0	143	52	8	75,0	112	51	7	70,0	4	1	4	2,5
79	Біловодськ	31	17	4	27,5	210	65	17	82,5	176	65	8	80,0	4	1	4	2,5
80	Кайдаки	32	17	6	35,0	201	63	12	82,5	169	62	9	75,0	8	4	5	10,0

Примітка до таблиці. s – загальна кількість днів, n – кількість періодів, τ – максимальна безперервна тривалість періодів,
 p – повторюваність періодів, %

Розрахунки виконувались за формулою

$$R_{\text{нїв}} = (n_i / N) \cdot (s_i / S) \cdot t_{\text{cp}} \cdot m \cdot k, \quad (5.4)$$

де n_i – кількість випадків з i -им небезпечним явищем на досліджуваній території за весь період спостереження;

N – загальна кількість спостережень (кількість років);

s_i – середня площа, яка охоплюється i -им небезпечним явищем (км²);

S – площа всієї території (км²);

t_{cp} – середня тривалість НЯ (дні);

k – коефіцієнт агресивності НЯ;

m – кількість мешканців на досліджуваній території [55].

Відношення (n_i / N) – повторюваність років з явищем, тобто емпірична частота відповідного НЯ, яка показує частку років з НЯ з розглянутого інтервалу часу (у нашому випадку 40 років), коли відмічались відповідні температурні умови, які сприятимуть формуванню ризиків. Так, наприклад, на станціях Пришиб, Красноармійськ, Нова Каховка, Ізмаїл і Клепінине періоди з високими температурами очікуються щорічно, утворюючи ризики для соціальної активності і діяльності населення країни, на решті станцій періоди високих температур будуть спостерігатись менше 100 %. Періоди з середньою добовою температурою вище 25 °С будуть формуватись не кожного року: від 98 % (ст. Красноармійськ) до 5 % (ст. Коломия).

Розрахунки соціальних ризиків показали, що найбільший ризик для країни являють собою періоди високих температур (табл. 5.11) головним чином у у Донецькій і Дніпропетровській областях (відповідно 62,9 тис. і 48,6 тис. чоловік), що зумовлено, окрім географічного положення їх, у більшій мірі чисельністю населення. Для тих же областей очікуються максимальні соціальні ризики від середніх добових температур вище 25 °С.

Далі проведено розрахунок можливого економічного ризику, який утворюється відповідним аномальним явищем. Як вже згадувалось, доцільно співвідносити цей тип ризиків з даними про частку ВВП на одного мешканця регіону, який потрапить у зону НЯ за час (кількість днів), що дорівнює тривалості НЯ [53, 55]. Дана методика також передбачає врахування розбіжностей у силі дії різних НЯ на об'єкт, що виражається у введенні коефіцієнта агресивності відповідного НЯ, який для температурних ризиків від високих температур вважався таким, що дорівнює 0,1 [56], а для середньої добової температури вище 25 °С – 0,2. У [53, 55] економічним ризиком пропонують називати сукупні збитки від НЯ на даній території та визначати його як

$$R_{\text{ек}} = A \cdot R_{\text{соц}}, \quad (5.5)$$

де A – сума часток ВВП, які припадають на одного мешканця країни, за період, який дорівнює середній тривалості НЯ.

Для розрахунку економічних ризиків (табл. 5.11) нами використані відомості прес-служби Державної служби статистики за даними «Інтерфакс-Україна». Згідно з її даними в розрахунку на душу населення номінальний ВВП за січень-березень 2016 року дорівнював 10,605 тис. грн. Номінальний або абсолютний ВВП виражається у поточних (фактичних) цінах даного року.

Таблиця 5.11 – Соціальні та економічні ризики, можливі при формуванні відповідних екстремальних температурних періодів у різних областях України

Область	Населення, тис. чол.	Соціальний ризик, тис. чол.		Економічний ризик, млн. грн.	
		максимальна на добова температура $\geq 30^{\circ}\text{C}$	середня добова температура $> 25^{\circ}\text{C}$	максимальна добова температура $\geq 30^{\circ}\text{C}$	середня добова температура $> 25^{\circ}\text{C}$
Чернігівська	1045,0	7,0	5,5	0,80	0,63
Сумська	1113,3	5,3	4,2	0,61	0,48
Волинська	1042,7	2,0	1,9	0,23	0,22
Житомирська	1247,5	5,4	3,3	0,62	0,38
Рівненська	1161,8	2,9	1,1	0,33	0,12
Київська	4638,8	23,4	22,7	2,70	2,62
Львівська	2534,2	5,8	3,0	0,67	0,34
Тернопільська	1065,7	0,9	0,7	0,11	0,08
Хмельницька	1294,4	3,4	1,8	0,39	0,21
Черкаська	1259,2	9,2	9,5	1,06	1,10
Полтавська	1438,9	16,3	17,2	1,88	1,99
Вінницька	1602,2	6,8	4,1	0,78	0,48
Закарпатська	1259,2	2,0	1,2	0,23	0,14
Івано-Франківська	1382,3	1,3	0,4	0,15	0,05
Чернівецька	909,9	0,9	0,5	0,11	0,06
Кіровоградська	973,1	9,1	14,1	1,05	1,63
Миколаївська	1158,2	12,4	21,8	1,43	2,51
Запорізька	1753,6	25,2	46,7	2,90	5,38
Донецька	4265,1	62,9	115,5	7,25	13,31
Одеська	2390,3	38,6	71,4	4,40	8,23
Херсонська	1062,4	17,0	31,9	1,96	3,68
АР Крим	1957,8	28,8	47,0	3,32	5,43
Харківська	2718,6	34,2	51,0	3,95	5,88
Луганська	2205,4	27,1	45,8	3,13	5,27
Дніпропетровська	3254,9	48,6	79,9	5,61	9,21

Аналіз розрахунків показав, що всі області країни в тій або іншій мірі будуть економічно уразливими при формуванні періодів високих температур. Максимальних економічних збитків можуть зазнати Донецька і Дніпропетровська області від максимальних температур вище 30 °С відповідно 7,25 і 5,61 млн. грн., від середніх добових температур вище 25 °С – 13,31 і 9,21 млн. грн..

Результати непрямої оцінки економічних ризиків показали, що їх максимальні значення при формуванні додатних екстремальних температурних періодів очікуються у Донецькій і Дніпропетровській областях, що зумовлено максимальною щільністю населення на фоні решти областей України.

Слід зазначити, що різний рівень економічного розвитку тої або іншої області суттєво впливає на ступінь уразливості території. Необхідна розробка кількісного критерію, який дозволив би враховувати дані властивості регіону.

Використаний у даній роботі підхід відносно простий і дозволяє здобути прийнятні результати для врахування їх при плануванні адаптаційних заходів в різних секторах економіки, медицині зокрема.

Висновки

1. Кількість жарких днів і днів з середньою добовою температурою вище 25 °С за умови реалізації сценарію RCP 4.5 і сценарію RCP 8.5 відрізняються несуттєво по всій території України.

2. Жаркі дні майже на всій території країни будуть спостерігатись з квітня по жовтень за винятком північних регіонів. Найбільша кількість їх зазвичай у липні та серпні. Абсолютний максимум сумарної тривалості періодів з максимальною температурою вище 25 °С очікується у липні на ст. Клепініне і становитиме 1113 днів, за літній сезон – також на цій станції (2769 днів), а за весь рік – на ст. Ізмаїл (3401 день); абсолютний мінімум і за сезон, і за рік – у Передкарпатті (ст. Коломия, відповідно 683 і 785 днів).

Найчастіше жаркі дні можливі на станціях Клепініне та Ізмаїл (майже 90% днів від загальної тривалості місяця); на станціях Пришиб, Красноармійськ, Нова Каховка – більше 80%. В окремі роки, зрозуміло, повторюваність може досягати і 100%, як на цих станціях, так і на інших. Зовсім рідко (з повторюваністю приблизно 8%) таке явище очікується у серпні у Закарпатті (ст. Ужгород).

Очікуваний просторовий розподіл кількості жарких днів середньої за літній сезон і рік характеризується збільшенням у напрямі з північного заходу на південь і південний схід влітку та з заходу, північного заходу, півночі на південь і південний схід в цілому за рік. Це зумовлено факторами, які впливають на формування такої температури – складовими теплового балансу, синоптичних процесів, підстильної поверхні тощо.

3. Дні, коли середня добова температура перевищує 25 °С, очікуються на території країни в літні місяці, в основному у липні та серпні. Так на ст.

Красноармійськ це відбуватиметься максимально часто (31,5% від всіх днів липня) і зовсім рідко на заході, північному заході і півночі країни (0,1-0,3%).

Загальна кількість таких днів за досліджуваний період коливатиметься у широких межах: від 5-15 днів (ст. Коломия, Ужгород, Чернівці) до 787 і 717 днів (ст. Красноармійськ і Нова Каховка відповідно).

Особливості розподілу характеристик кількості днів з середньою добовою температурою вище 25 °С зберігаються і в окремі місяці, і в цілому за літо. Вони дуже повільно зростають із заходу, північного заходу і півночі до відповідної ізолінії, що проходить через Вінницьку, Київську, Чернігівську і Сумську області, а потім на південь і південний схід їх зростання прискорюється.

4. Динаміка кількості жарких днів в окремі місяці, суми за рік і за літо, а також кількості днів з середньою добовою температурою вище 25 °С свідчить про їх зростання за досліджуваний період.

5. Максимальні за добу температури повітря ≥ 30 °С будуть спостерігатись з травня по вересень. Найбільша кількість періодів з високою температурою (144) на території країни очікується на ст. Клепінине, що у сумі складе 530 днів. Максимальна безперервна тривалість таких періодів на різних станціях становитиме від 2 (Коломия) до 26 (Клепінине) днів у липні і 5 (Ковель) - 20 днів (Нова Каховка) у серпні.

Суми загальної тривалості періодів з високою температурою за рік суттєво зростають з південного заходу і заходу (42 дні, Тернопіль) на південний схід (1175 днів, Красноармійськ) і південь (1180 днів, Клепінине).

6. На станціях Пришиб, Красноармійськ, Нова Каховка, Ізмаїл і Клепінине періоди з високими температурами очікуються щорічно, на решті станцій періоди високих температур будуть спостерігатись менше 100 %; періоди з середньою добовою температурою вище 25 °С будуть формуватись не кожного року: від 98 % (ст. Красноармійськ) до 5 % (ст. Коломия), утворюючи ризики для соціальної активності і діяльності населення країни.

7. Розрахунки соціальних ризиків показали, що найбільший ризик для країни являють собою періоди з максимальною добовою температурою вище 30 °С головним чином у Донецькій і Дніпропетровській областях (відповідно 62,2 тис. і 48,6 тис. чоловік), що зумовлено, окрім географічного положення їх, у більшій мірі чисельністю населення. Для тих же областей очікуються максимальні соціальні ризики від середніх добових температур вище 25 °С.

8. Всі області країни в тій або іншій мірі будуть економічно уразливими при формуванні періодів високих температур. Максимальних економічних збитків можуть зазнати Донецька і Дніпропетровська області від високих температур відповідно 7,25 і 5,61 млн. грн., від середніх добових температур вище 25 °С – 13,31 і 9,21 млн. грн..

Під час жару зростає кількість смертельних випадків переважно серед осіб похилого віку, що страждають на хронічні захворювання серцево-судинної системи, системи органів дихання, нервової системи та дітей. У

майбутньому у всьому світі смертність через літню жару зростатиме (за сучасними розрахунками медиків з Британського міністерства охорони здоров'я і дослідницьких інститутів, до 2020 року на 66 %, а до 2050 року – на 257 %).

Для умов України, з її низькими показниками тривалості життя, прогностична оцінка кількості днів з «пороговими» температурами може бути дуже корисною при розробці профілактичних заходів, спрямованих на мінімізацію впливів факторів ризику смертності населення.

6 ВПЛИВ ЗМІН КЛІМАТУ НА АГРОКЛІМАТИЧНІ РЕСУРСИ УКРАЇНИ

6.1 Характеристика радіаційних ресурсів

За своїм географічним положенням, структурою народного господарства, станом довкілля Україна є однією з країн, для яких соціально-економічні наслідки зміни клімату можуть бути незворотними. Тому важливою ланкою проблеми зміни глобального клімату є вирішення агрометеорологічної задачі – оцінки зміни агрокліматичних умов вирощування сільськогосподарських культур та впливу цих змін на їхню продуктивність. Сільське господарство є найбільш вразливою галуззю економіки України до коливань та змін клімату. Враховуючи інерційний характер сільського господарства та залежність його ефективності від погодних умов, уже зараз необхідне прийняття своєчасних та адекватних рішень щодо складних проблем, обумовлених змінами клімату.

В зв'язку з очікуваним підвищенням температури повітря у Північній півкулі продовольча безпека України в значній мірі буде залежати від того, наскільки ефективно адаптується сільське господарство до майбутніх змін клімату. Це передбачає завчасну оцінку впливу очікуваних змін клімату на агрокліматичні умови вирощування сільськогосподарських культур [1].

Всі фактори, які впливають на ріст та розвиток рослин можна розділити на три групи: кліматичні (сонячна радіація, тепло, волога, газовий склад повітря та ін.) едофізичні (структура ґрунтів та їх хімічний склад), і біотичні (різні мікроорганізми, а також різні рослинні і тваринні організми як корисні, так і шкідливі). Рослини впродовж вегетаційного періоду потребують забезпечення вимог до факторів навколишнього середовища і тільки гармонійне сполучення усіх необхідних факторів забезпечують оптимальний розвиток рослин та формування високого врожаю.

Серед основних факторів життєдіяльності найважливішою є сонячна радіація як первинне джерело енергії всіх біологічних та фізичних процесів, які відбуваються в рослинних організмах. При цьому важливим є як інтенсивність і тривалість опромінювання рослин сонячним світлом, так і спектральний склад радіації, який визначає фотоморфогенетичний, фотосинтетичний та тепловий ефект впливу на рослини [1- 4].

Режим сонячної радіації та радіаційні властивості посівів є найважливішим фактором сільськогосподарського виробництва. Рослинний покрив перетворює сонячну радіацію в інші види – хімічну енергію, теплову а також обмінюється власним довгохвильовим випромінюванням з атмосферою та ґрунтом і є важливим фактором формування термічного режиму посівів та інших елементів фітоклімату.

Сонячна радіація є головним джерелом енергії для формування врожаїв сільськогосподарських культур. Енергетична потреба рослин виражається через потребу рослин у теплі (суми температур) та надходженням фотосинтетично активної радіації (ФАР), яка визначається сумами ФАР, що надходить до земної поверхні за період активної вегетації сільськогосподарських культур.

Фотосинтетична діяльність рослин залежить від багатьох факторів, серед яких одним із головних є сонячна радіація як первинне джерело усіх біологічних і фізичних процесів, які відбуваються в рослинах. За даними Тоомінга Х.Г роль сонячної радіації в житті рослин багатостороння і визначається вона не тільки закономірностями зміни елементів фотосинтетичної діяльності рослин в залежності один від одного, але і під впливом змін агротехнічних заходів, густини рослин, норм і термінів зрошення та норм і термінів живлення [1-3].

Фотосинтетична діяльність рослин у посівах характеризується величинами: площею листя, фотосинтетичним потенціалом, чистою продуктивністю фотосинтезу, коефіцієнтом господарської ефективності та коефіцієнтом енергетичної ефективності формування урожаю.

За біологічною дією на рослини діапазон короткохвильової радіації поділяється на ультрафіолетову, *фотосинтетично* активну (ФАР) та ближню інфрачервону (БІЧР). Для фізіологічних процесів, які визначають життєдіяльність рослин, найбільше значення має короткохвильова радіація з довжиною хвиль меншою за 4,0 мкм.

Вплив радіації на рослини визначається у *трьох напрямках*:

1) *тепловий ефект* сонячної радіації. Із поглиненої рослинами сонячної енергії близько 70% перетворюється в тепло і використовується для транспірації, для підтримки температури рослин та ін;

2) *фотосинтетичний ефект* сонячної радіації. Із поглиненої в інтервалі спектра 0,38-0,71 мкм радіації (область ФАР) до 28% використовується в процесі фотосинтезу для створення органічних речовин;

3) *фотоморфогенетичний* (регулюючий) *ефект* сонячної радіації в процесі росту і розвитку рослин. Активна частина радіації, що впливає на ці процеси, починається з ультрафіолетової частини, охоплює діапазон ФАР і закінчується на порозі близько 0,76 мкм, тобто в початковому діапазоні близької інфра – червоної радіації (БІЧР).

Ці ефекти впливу сонячної радіації поряд з іншими факторами довкілля значною мірою визначають закономірності розвитку рослинного покриву. Ось чому дані щодо радіаційного режиму як на верхній межі посіву, так і в середині його, є підставою для чинних методів агрометеорологічних розрахунків і прогнозів.

У процесі фотосинтезу використовується частина короткохвильової радіації, яка знаходиться в інтервалі $\lambda = 0,38 \dots 0,71$ мкм і називається *фотосинтетично активною радіацією* (ФАР). Процес трансформації

поглиненої рослиною енергії світла в хімічну енергію органічних (і неорганічних) сполук називається **фотосинтезом**.

Це складний цикл біохімічних і біофізичних процесів, в ході яких рослини, поглинаючи сонячну енергію у формі ФАР, створюють за допомогою зеленого пігменту – хлорофілу із вуглекислого газу (CO_2) та води (H_2O) високоенергетичні вуглеводи (крохмаль, цукор, глюкозу, клітчатку і ін.), вивільнюючи при цьому кисень (O_2). Первинні продукти фотосинтезу в результаті асиміляції перетворюються на органічні речовини (асиміляти), які використовуються рослиною впродовж росту і розвитку для створення вегетативної та генеративної маси.

ФАР – найважливіший фактор продуктивності рослин. Інтенсивність ФАР вимірюється інструментально або розраховується за даними про надходження прямої, розсіяної чи сумарної радіації (Q) (Тоомінг Х.Г., Гуляєв Б.І., Єфимова Н.А.)

$$\sum Q_{\text{фар}} = 0,43 \sum S' + 0,57 \sum D, \quad (6.1)$$

де $\sum Q_{\text{фар}}$ – сумарна фотосинтетично активна радіація (Дж/м^2);

$\sum S'$ – сума прямої сонячної радіації на горизонтальну поверхню, (Дж/м^2);

$\sum D$ – сума розсіяної сонячної радіації (Дж/м^2).

Для приблизного розрахунку ФАР використовується також формула

$$Q_{\text{фар}} = 0,52 \sum Q. \quad (6.2)$$

Сумарна радіація (Q) – сума прямої (S') і розсіяної радіації (D), що падає на горизонтальну поверхню, у даному випадку – на поверхню рослин.

$$Q = S' + D. \quad (6.3)$$

Найбільш точні дані добових величин сумарної радіації одержують за допомогою стандартних метеорологічних спостережень (актинометричних). Однак мережа станцій, які ведуть відповідні спостереження, не задовольняє вимоги оперативного агрометеорологічного обслуговування різних територій. У такому випадку визначення Q виконується за допомогою розрахунків з використанням інших метеорологічних характеристик [3,4].

Тривалість сонячного саява, визначена за допомогою геліографа, дозволяє з високою мірою точності розраховувати величини сумарної радіації. З цією метою використовується формула С.І.Сівкова, яка складається з параметрів, що не входять до інших емпіричних формул:

$$Q = 12,66(SS^j)^{1,31} + 315(\sin h_o^j)^{2,1}, \quad (6.4) \text{ Ї}$$

де SS – тривалість сонячного сяйва за добу, кал / · см · д ;

h_o – полуденна висота Сонця, град.

Ефективність використання сонячної радіації рослинами характеризується *коефіцієнтом корисної дії (ККД)*, який визначається відношенням кількості енергії, запасеної в продуктах фотосинтезу, або тієї, що утворилась у фітомасі врожаю, до кількості поглиненої радіації [5].

$$\eta = \frac{qY \cdot 100\%}{\sum Q_{\phi}} \quad , \quad (6.5)$$

де η – ККД;

q – калорійність рослин, кДж/г;

Y – біологічний врожай загальної сухої фітомаси, г/м²;

$\sum Q_{\phi}$ – сума фотосинтетично активної радіації (ФАР) за вегетаційний період, МДж/м².

ККД рослин можна визначити як відносно падаючої , так і відносно поглиненої радіації. У такому випадку

$$\eta_{nad} = a_n q_{ногл} \quad , \quad (6.6)$$

де η_{nad} – ККД, визначений відносно падаючої радіації, а

$\eta_{ногл}$ – ККД, визначений відносно поглиненої радіації;

a_n – функція поглинання.

Сонячна радіація також впливає на хімічний склад сільськогосподарської продукції. Наприклад, на вміст цукру у фруктах та ягодах, вміст білка у зерні зернових культур, кількості масла у насінні соняшнику і ін. Деякі хвороби сільськогосподарських рослин найбільш активно розвиваються за недостатньої освітленості.

Встановлено, що для початку цвітіння в променистому потоці повинен бути головним цілком визначений спектральний склад. Рослини короткого дня швидше розвиваються, якщо максимум випромінювання припадає на синьо – фіолетове проміння, а рослини довгого дня – на червоне проміння.

Зв'язок між тривалістю дня і фотоперіодичною реакцією рослин досліджується при використанні географічних посівів культур і в дослідях з різними термінами сівби.

Світлові асиміляційні криві (або криві насичення), що характеризують інтенсивність фотосинтезу в залежності від інтенсивності сонячної радіації, неоднакові у всіх культурних рослин. Зі збільшенням ФАР за звичайного вмісту в повітрі CO₂ продуктивність фотосинтезу спочатку збільшується, потім починає знижуватись.

Інтенсивність фотосинтезу відповідає кількості вуглекислого газу, що засвоюється одиницею листової поверхні за одиницю часу. Вона коливається від 5 до 25 мг CO₂/(м²/год). Добову продуктивність фотосинтезу

визначають за співвідношенням добового приросту маси рослини до площі її листків.

Продуктивність фотосинтезу істотно залежить від площі листа, яка може регулюватись шляхом створення оптимальної оптико – біологічної структури посіву польових культур та температури повітря.

Асиміляційна поверхня повинна повністю покривати поверхню ґрунту протягом вегетаційного періоду рослин.

Важливим показником, який визначає поглинання і пропускання ФАР є *листовий індекс* – відношення сумарної площі листової поверхні посіву до площі поля. Поглинання ФАР збільшується зі збільшенням площі листа. За даними А.А. Ничипоровича найбільше поглинання ФАР спостерігається при значенні листового індексу 4, та площі листа 40 000 м²/га. Характеристикою продуктивності фотосинтезу є *чиста продуктивність фотосинтезу (ЧПФ)*, тобто кількість органічної речовини, що формується на 1 м² за добу. Її величина залежить від густоти посівів. В загущених посівах вона зменшується, зазвичай вона становить для більшості культур 4 – 6 г органічної речовини за добу [3,5].

Фотосинтетичний потенціал посіву (ФПП) – сумарна листкова поверхня, яка брала участь у фотосинтезі від початку вегетації до закінчення фотосинтезу. Сума показників робочої асимілюючої поверхні по міжфазних періодах розвитку рослин становить загальну площу листкової поверхні, тобто *сумарний фотосинтетичний потенціал (СФПП)*.

Для утворення репродуктивних органів і господарської цінної частки врожаю необхідно, щоб площа листа була оптимальною. Оптимальною вважається така площа листа, яка забезпечує максимальний газообмін посіву. Більшість дослідників дійшли згоди, що площа листа 2-7 м²/м² або 40-50 тис. м²/га¹ є оптимальною [5-8]. Оптимальна площа листа також залежить від структури рослинного покриву, виду і сорту рослин, морфології рослин, віку листа.

Х.Г.Тоомінг запропонував формулу для визначення оптимальної площі листа [2]

$$L_{opt} = \frac{\sin \bar{h}_o}{G_L(\bar{h}_o)} \ln \frac{\bar{Q} G_L(\bar{h}_o) [\tau_o - 24c]}{24(1 - \sqrt{c}) \sqrt{c} \bar{\Pi} \sin h_o}, \quad (6.7)$$

де $G_L(\bar{h}_o)$ – функція геометричної структури РП при висоті Сонця \bar{h}_o , що відповідає стану $Q = \bar{Q}$;

τ_o – тривалість дня;

Q – насичена інтенсивність ФАР;

c – коефіцієнт витрат на дихання;

$\bar{\Pi}$ – інтенсивність радіації пристосування листка.

Високі врожаї одержують у тому випадку, коли площа листа буває оптимальною і фотосинтезує якомога триваліший час.

Для характеристики тривалості фотосинтетичної роботи посіву за весь вегетаційний період або його відрізок запропоновано вираз [1,2]:

$$\Phi_n = \int_{t_1}^{t_2} L_o(t) dt, \quad (6.8)$$

де L_o – відносна площа листя, $\text{м}^2 \cdot \text{м}^{-2}$;

t – час роботи площі в днях;

Φ_n – має розмірність $\text{м}^2 \cdot \text{день} \cdot \text{га}^{-1}$.

Фотосинтетичний потенціал посіву знаходиться в тісному зв'язку з урожаєм.

Сумарний фотосинтетичний потенціал залежить від виду та сорту культури, густоти посіву, умов живлення і зволоження, освітлення, температури повітря, ґрунту та ін. Пізньостиглі рослини польових культур розвивають більшу поверхню листя, довше ростуть і створюють більший врожай [2 – 6].

Фотосинтетична діяльність посівів є домінуючою в перший період формування врожаю. З переходом рослин до активного росту репродуктивних органів роль фотосинтезу постійно зменшується і домінуючими стають процеси, пов'язані з формуванням репродуктивних органів і перерозподілом пластичних речовин між окремими органами рослин.

Одночасно з утворенням органічної речовини в процесі фотосинтезу виділяється кисень. Високопродуктивні фотосинтезуючі системи використовують багато вуглекислоти (CO_2) і тим самим створюють високі врожаї. Одним із показників високопродуктивної системи є густота посівів.

Велику роль відіграє також регулювання фотосинтетичної діяльності рослин. На формування фотосинтетичної діяльності посіву впливають і біотичні (строки сівби, норма і глибина висіву, ґрунти тощо) і абіотичні фактори (сонячне світло, опади, температура і вологість повітря і ґрунту).

Велике значення для фотосинтетичної діяльності має і густота рослин, яка забезпечується способом сівби та нормою висіву. Доцільна архітектура посівів, яка надає рослинам оптимальну площу ґрунтового і повітряно – світлового живлення, забезпечує швидке нарощування і тривале функціонування асимілюючої поверхні.

Дослідження впливу сумарної радіації на урожайність пов'язано із застосуванням методів її розрахунку, які були розглянуті вище. Загалом вплив сумарної радіації на урожай визначається за особливостями динаміки характеристик урожайності та ознак сумарної радіації [5,6].

Режим сонячної радіації та радіаційні властивості посівів є найважливішим фактором сільськогосподарського виробництва. Рослинний покрив перетворює сонячну радіацію в інші види – хімічну енергію, теплову а також обмінюється власним довгохвильовим випромінюванням з

атмосферою та ґрунтом і є важливим фактором формування термічного режиму посівів та інших елементів фітоклімату.

Сонячна радіація є головним джерелом енергії для формування врожаїв сільськогосподарських культур. Енергетична потреба рослин виражається через потребу рослин у теплі (суми температур) та надходженням фотосинтетично активної радіації (ФАР), яка також визначається у вигляді сум ФАР, яка надходить до земної поверхні за період активної вегетації сільськогосподарських культур.

Для характеристики середніх багаторічних значень енергетичних і теплових ресурсів за період 1986 -2005 рр (базовий період) по агрокліматичних зонах України та їх зміни за 2015 – 2050 рр. були проведені розрахунки середніх багаторічних величин першої групи факторів навколишнього середовища: тривалості світлої пори доби, сумарної сонячної радіації за добу, інтенсивності фотосинтетично активної радіації (ФАР), суми ФАР за вегетаційний період, радіаційного балансу рослинного покриву. Для характеристики значень енергетичних ресурсів за період 1986 -2005 рр (базовий період) по агрокліматичних зонах України та їх зміни до 2050 року використовувались середні багаторічні дані агрокліматичних довідників по областях України та розрахунки очікуваних показників сонячної радіації за період з 2015 по 2050 рр за сценаріями rsp 45 та rsp 85 (опис сценаріїв зміни клімату наводиться в першому розділі). Розрахунки показників сонячної радіації наводяться в табл. 6.1.

Характеристика показників радіаційних ресурсів виконувалась по одній із областей природно – кліматичних зон України. В Поліссі – Житомир, в Лісостеповій зоні – Вінниця, в Північному Степу – Дніпропетровськ, в Південному Степу – Херсон. Динаміка надходження сонячної радіації як за даними середніх багаторічних значень, так і за розрахунками за двома сценаріями rsp 45 та rsp 85 досить ідентична для всіх вказаних пунктів, відрізняючись числовими показниками за декадами.

За середніми багаторічними даними в районі Житомира впродовж періоду з температурою повітря вище 5 °С надходження сумарної радіації в базовий період було нижчим впродовж всього періоду вегетації і в перші чотири декади коливалось від 181,5 до 235 кал/см².д. Починаючи з п'ятої декади надходження сумарної сонячної радіації зростає і досягає значень 320 – 360 кал/см². д. Очікувані значення сумарної радіації за обома сценаріями дуже близькі за значеннями, вищі, ніж в базовий період і становитимуть на початку періоду 220 – 340 кал/см².д., наприкінці періоду – 380 - 470 (табл. 6.1 та рис. 6.1). В період від 7 до 13 декади очікувані значення сонячної радіації за сценаріями однакові з середніми багаторічними. Починаючи з 13 декади, сонячна радіація очікувана за сценаріями знову буде перевищувати середні багаторічні значення.

Таблиця 6.1 – Середні багаторічні значення сонячної радіації впродовж періоду вегетації озимої пшениці

Декади вегетації	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ст. Житомир												
Тривалість дня, (таунд)	12,37	12,85	13,48	14,09	14,65	15,16	15,61	15,94	16,12	16,15	16,03	15,69
Середня за декаду сумарна сонячна радіація, (ВТ/м ²)·1986 – 2005 рр.	206,9	250,7	268,4	211,2	340,3	402,4	369,7	396,9	421,4	410,3	412,5	407,7
Сценарій RCP 45 (ВТ/м ²)·до 2050 р	219,3	273,6	339,0	383,9	348,1	421,4	386,7	429,3	458,1	491,1	456,9	474,4
сценарій RCP 85 (ВТ/м ²)·до 2050р	222,2	278,1	340,6	407,0	387,5	426,5	399,7	424,0	458,1	472,4	454,4	474,5
Інтенсивність ФАР (кал/см ² ·хв) 1986 – 2005рр.	0,127	0,148	0,151	0,175	0,177	0,202	0,180	0,189	0,199	0,193	0,195	0,198
сценарій RCP 45 (кал/см ² ·хв) до 2050 р.	0,156	0,184	0,218	0,236	0,206	0,241	0,215	0,233	0,246	0,263	0,247	0,261
Сценарій RCP 85 (кал/см ² ·хв) до 2050р.	0,158	0,188	0,219	0,250	0,229	0,244	0,222	0,230	0,246	0,253	0,246	0,261
Сума ФАР наростаючим підсумком (ккал/см ² ·хв) 1986-2005 рр	0,472	1,61	2,84	4,32	5,87	7,71	9,56	11,37	13,29	15,16	17,04	19,65
Сценарій RCP 45·(кал/см ² ·хв) до 2050 р.	3,14	5,56	7,32	9,32	11,13	13,32	15,53	17,77	20,15	22,70	25,08	27,54
Сценарій RCP 85 (кал/см ² ·хв) до 2050 р.	3,14	5,59	7,36	9,47	11,49	13,71	15,99	18,20	20,58	23,04	25,40	27,86
Радіаційний баланс рослинного покриву (кал/см ² ·доба) 1986-2005рр.	113,8	137,5	140,8	143,5	105,1	83,20	54,70	57,50	64,80	68,20	82,00	224,2
Сценарій RCP 45 (кал/см ² ·доба) до 2050 р·	140,6	176,8	219,1	240,3	192,5	169,8	101,9	89,06	100,0	114,0	126,7	257,3
Сценарій RCP 85 (кал/см ² ·доба)·до 2050 р	142,4	179,8	220,1	248,8	193,2	148,1	93,29	88,63	102,4	113,0	137,3	325,1

Продовження табл. 6.1												
Декади вегетації	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ст. Вінниця												
Тривалість дня, (таунд) 1986 – 2005 рр,	12,42	12,82	13,43	14,02	14,57	15,06	15,49	15,81	15,98	16,00	15,89	15,70
Сумарна сонячна радіація за добу, (Вт/м ²) 1986-2005 рр,	211,5	265,5	296,6	336,2	366,3	366,3	383,1	339,2	423,9	446,6	417,2	396,6
Сценарій RCP 45 (Вт/м ²) до 2050 р,	222,1	279,0	345,6	388,6	345,9	418,3	463,7	386,1	453,8	489,1	460,4	446,7
Сценарій RCP 85 (Вт/м ²) до 2050 р,	226,3	278,9	340,9	408,2	380,1	423,2	393,7	417,4	456,3	467,7	452,6	436,3
Інтенсивність ФАР (кал/см ² ·хв) 1986-2005	0,113	0,133	0,150	0,161	0,175	0,185	0,214	0,186	0,202	0,211	0,200	0,198
Сценарій RCP 45 (кал/см ² ·доба)	0,158	0,189	0,223	0,240	0,206	0,241	0,216	0,230	0,246	0,265	0,251	0,245
Сценарій RCP 85 (кал/см ² ·доба)	0,161	0,189	0,220	0,252	0,226	0,244	0,220	0,229	0,248	0,253	0,247	0,236
Сума ФАР наростаючим підсумком (кал/м ² ·період) 1986 – 2005 рр,	0,254	1,31	2,50	3,80	5,40	7,10	9,30	11,00	12,90	15,50	16,70	18,90
Сценарій RCP 45 (кал/см ² ·період) до 2050р,	3,70	5,12	7,44	9,45	11,02	12,49	15,15	17,38	20,19	22,24	25,12	27,43
Сценарій RCP 85 (кал/см ² ·період) до 2050 р,	3,72	5,16	7,46	9,58	11,00	13,25	15,51	17,68	20,00	22,18	24,83	26,38
Радіаційний баланс рослинного покриву (кал/см ² ·доба) 1986 – 2005 рр,	102,9	125,1	138,7	127,9	100,2	69,40	62,50	59,50	70,40	94,60	229,4	102,5
Сцеарій RCP 45 (кал/см ² ·доба) до 2050 рр,	142,7	180,7	223,2	240,5	186,9	163,1	99,20	87,80	100,7	115,8	133,5	112,6
Сценарій RCP 85 (кал/см ² ·доба) до 2050 рр,	145,4	180,6	220,4	248,4	188,9	146,1	91,50	86,60	101,3	111,0	136,4	118,4

Продовження табл. 6.1												
Декади вегетації	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ст. Дніпропетровськ												
Тривалість дня, (таунд) 1986 – 2005pp	12,23	12,86	13,44	14,01	14,53	15,00	15,40	15,69	15,84	15,86	15,78	15,65
Сумарна сонячна радіація за добу, (Вт/м ² ·доба) 1986-2005pp,	199,6	239,8	266,9	330,8	364,1	442,8	398,4	449,0	470,1	401,1	391,2	338,6
Сценарій RCP 45 (Вт/м ² ·доба) до 2050 pp	233,4	286,6	358,9	406,9	385,9	461,6	432,5	469,8	514,2	557,2	529,8	508,6
Сценарій RCP 85 (Вт/м ² ·доба) до 2050 p,	253,4	292,4	347,1	429,5	419,2	471,3	447,5	474,9	527,7	544,5	522,7	497,6
Інтенсивність ФАР (кал/см ² ·хв) 1986-2005 pp,	0,124	0,142	0,151	0,180	0,191	0,224	0,197	0,218	0,226	0,192	0,189	0,176
Сценарій RCP 45 (кал/см ² ·хв) до 2050 p,	0,166	0,200	0,232	0,252	0,231	0,267	0,243	0,259	0,281	0,304	0,291	0,286
Сценарій RCP 85 (кал/см ² ·хв) до 2050 p,	0,180	0,198	0,224	0,266	0,249	0,271	0,250	0,261	0,286	0,295	0,285	0,289
Сума ФАР наростаючим підсумком (кал/см ² ·хв) 1986 – 2005 pp,	1,00	2,10	3,31	4,82	6,48	8,50	10,50	12,55	14,69	16,52	17,41	19,22
Сценарій RCP 45 (кал/см ² ·хв) до 2050 p,	3,33	4,87	7,73	9,85	11,85	14,25	16,73	19,17	21,84	24,74	27,50	29,60
Сценарій RCP 85 (кал/см ² ·хв) до 2050 p,	3,42	4,94	7,74	9,97	12,15	14,60	17,20	19,60	22,40	25,20	27,93	29,50
Радіаційний баланс рослинного покриву (кал/см ² ·доба) 1986 – 2005 pp,	111,5	133,3	136,4	132,7	97,80	78,20	62,90	75,90	89,20	121,4	214,9	165,7
Сценарій RCP 45 (кал/см ² ·доба) до 2050 p,	150,1	191,1	229,5	239,1	177,9	137,5	92,60	106,0	125,9	178,5	369,9	296,7
Сценарій RCP 85 (кал/см ² ·доба) до 2050 p,	162,8	189,2	223,5	249,9	179,3	128,8	93,60	107,7	131,9	188,6	364,9	287,8

Продовження табл. 6,1												
Декади вегетації	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ст, Херсон												
Тривалість дня, (таунд) 1986 – 2005 рр,	12,75	13,30	13,84	14,33	14,77	15,16	15,44	15,59	15,62	15,52	15,29	14,94
Сумарна сонячна радіація за добу, (Вт/м ²) 1986 2005рр,	203,3	222,5	182,1	225,5	256,6	283,9	327,5	333,1	371,6	358,3	372,8	369,3
Сценарій RCP 45 (Вт/м ²) до 2050 рр	322,1	378,1	423,9	398,1	469,9	448,2	482,1	520,4	575,6	552,3	575,7	571,6
Сценарій RCP 85 (Вт/м ² ·доба) до 2050 р,	319,1	367,2	438,5	424,59	470,0	445,7	477,0	535,9	554,9	544,9	582,9	565,8
Інтенсивність ФАР (кал/см ² ·хв) 1986-2005рр	0,152	0,181	0,167	0,186	0,184	0,164	0,196	0,285	0,276	0,264	0,278	0,283
Сценарій RCP 45 (кал/см ² ·хв) до 2050 р,	0,219	0,246	0,266	0,241	0,276	0,256	0,271	0,289	0,319	0,309	0,326	0,331
Сценарій RCP 85(кал/см ² ·хв) до 2050 р,	0,217	0,239	0,275	0,257	0,276	0,255	0,268	0,298	0,308	0,304	0,330	0,328
Сума ФАР наростаючим підсумком (кал/см ² ·період)	1,83	3,33	4,72	6,33	7,96	9,60	11,43	13,88	15,88	16,48	16,56	16,97
Сценарій RCP 45 (кал/см ² ·період) до 2050 р,	9,65	11,60	13,81	15,89	18,32	20,89	23,39	26,10	29,09	31,96	34,96	38,23
Сценарій RCP 85 (кал/см ² ·період) до 2050 р,	9,69	11,60	13,88	16,09	18,53	21,08	23,56	26,35	29,24	32,07	35,10	38,34
Радіаційний баланс рослинного покриву (кал/см ² ·доба) 1986-2005рр,	101,6	122,3	127,9	111,2	86,50	61,30	59,40	86,10	89,20	150,6	285,4	266,1
Сценарій RCP 45 (кал/см ² ·доба) до 2050 р	208,3	233,2	220,3	148,6	117,1	100,9	117,9	147,0	294,40	385,7	402,0	380,8
Сценарій RCP 85 (кал/см ² ·доба) до 2050 р,	205,6	226,7	220,8	144,4	109,8	99,88	115,5	155,0	308,0	380,5	407,1	376,5

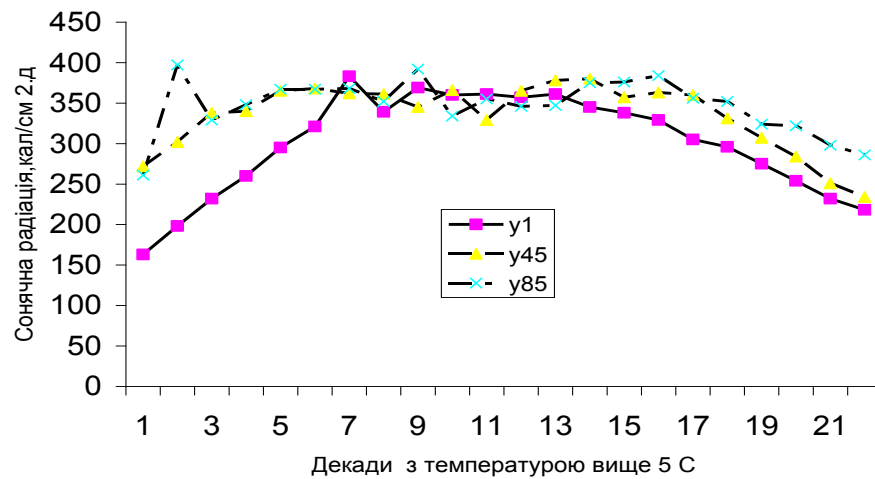


Рисунок 6.1 – Динаміка сонячної радіації за період з температурами повітря вище 5 °С (ст. Житомир)

Як видно із табл. 6.1 та рис. 6.2 в районі Вінниці динаміка сонячної радіації трохи вища за значеннями, ніж в Житомирі.

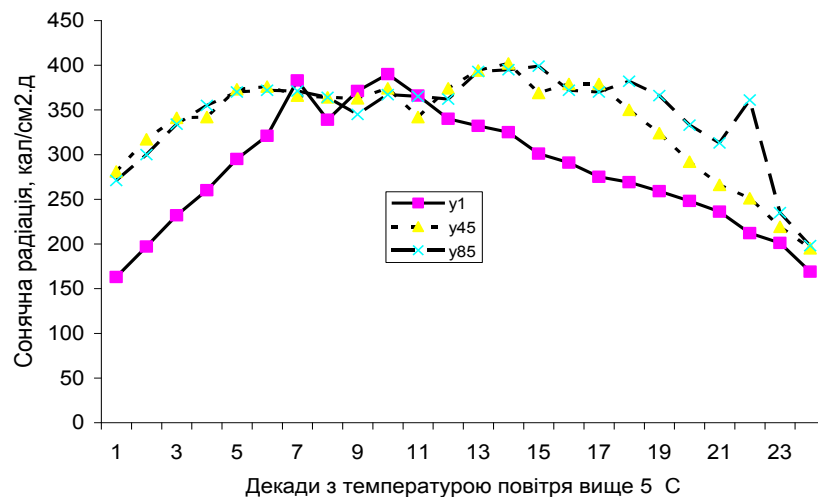


Рисунок 6.2 – Динаміка сонячної радіації за період з температурами повітря вище 5 °С (ст. Вінниця)

З 7 по 11 декади надходження сонячної радіації в базовий період співпадає з розрахунками за сценаріями. Починаючи з 12 декади надходження сонячної радіації за сценаріями перевищуватиме базовий період на 140 кал/см² д. До 17 декади, тобто другої декади вересня очікуване

надходження сумарної радіації за сценарієм rsp 85 буде більшим, ніж за сценарієм rsp 45 на 50 - 60 кал/см² .д.

В районі ст. Дніпропетровськ (рис. 6.3, табл. 6.1) динаміка надходження сонячної радіації за середніми багаторічними даними подібна динаміці у Вінниці і Житомирі, але починалась з позначки 200 кал/см² .д на початку періоду, збільшувалась до 400 кал/см² .д до початку липня (11 декада вегетації), потім до кінця періоду поступово зменшувалась.

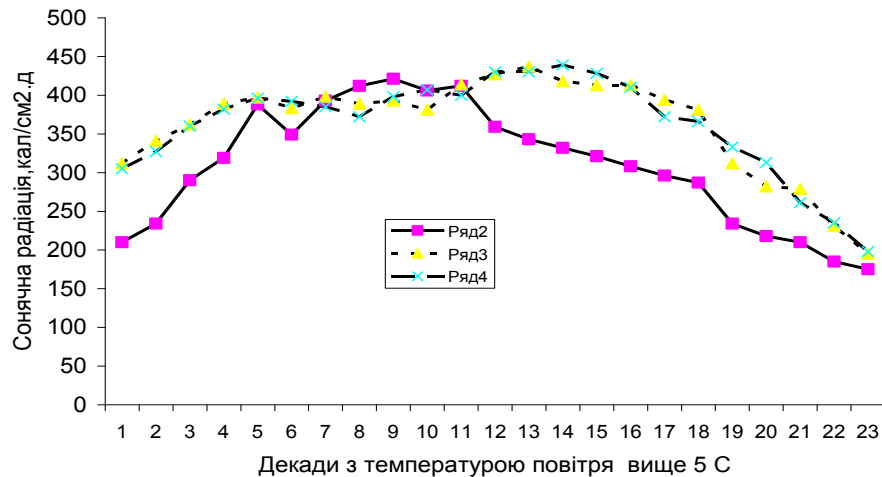


Рисунок 6.3 – Динаміка сонячної радіації за період з температурами повітря вище 5 °C (ст. Дніпропетровськ)

Розраховані за сценаріями показники сонячної радіації в районі Дніпропетровська були майже однаковими впродовж всього періоду вегетації і коливались від 310 кал/см² .д на початку періоду до 435 кал/см² .д в 11 декаду вегетації, коли досягає максимальних значень. Потім знову поступово знижується і наприкінці періоду становить 213 кал/см² .д.

Слід відзначити, що в період з початку червня до першої декади серпня надходження сумарної радіації за сценаріями співпадатиме із середніми значеннями за базовий період.

В районі ст. Херсон відзначаються деякі відмінності в динаміці надходження сумарної сонячної радіації від інших районів. До 11 декади вегетації за середніми багаторічними даними надходження сумарної радіації було значно нижчим, ніж розраховане за сценаріями. Різниця становить 150 кал/см² .д. (табл.6.1, рис. 6.4). Після 11 декади до кінця періоду розраховані за сценаріями значення сумарної радіації співпадають з середніми за базовий період.

Аналіз динаміки *інтенсивності фотосинтетично активної радіації* (ФАР) по окремих станціях представлено на (рис. 6.5 – 6.8) та в табл. 6.1. Аналіз таблиці і рисунків показав, що в усіх регіонах інтенсивність ФАР за

середніми багаторічними даними була нижче, ніж розраховані значення її за сценаріями rsp 45 та rsp 85.

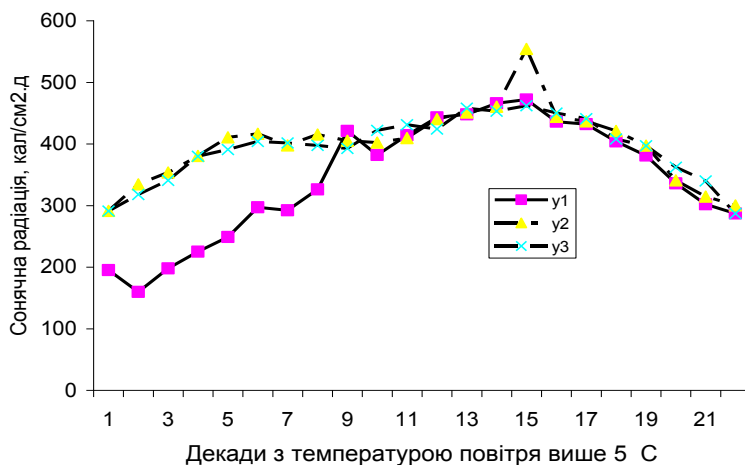


Рисунок 6.4 – Динаміка сонячної радіації за період з температурами повітря вище 5 °C (ст. Херсон)

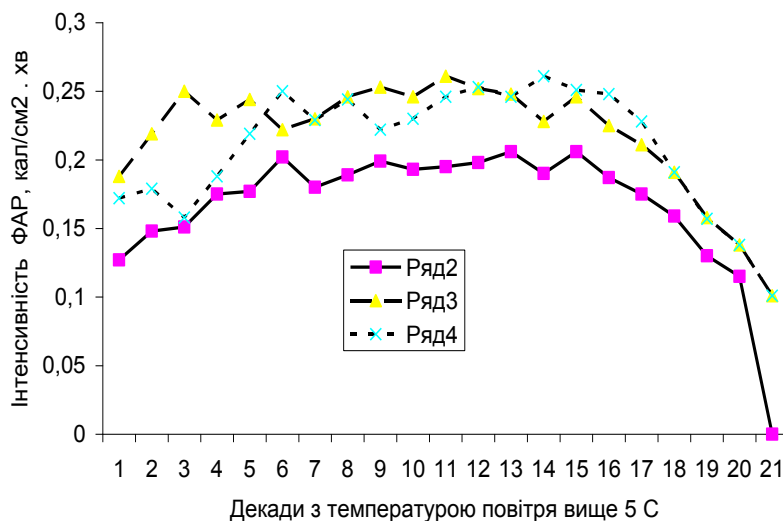


Рисунок 6.5 – Динаміка інтенсивності ФАР впродовж періоду з температурами повітря вище 5 °C. (Житомир):
1 – середня багаторічна, 2 –RCP 85; 3 – RCP 45.

Інтенсивність сонячної радіації в районі ст. Житомир за базовий період змінювалась від 0,13 кал/см².хв на початку періоду, досягала максимальних

значень сьомої до п'ятнадцятої декади періоду з температурами вище 5°C – $0,20 \text{ кал/см}^2\cdot\text{хв}$, потім починала знижуватись до кінця періоду.

Очікувана інтенсивність ФАР за сценарними даними починалась з позначки $0,175 \text{ кал/см}^2\cdot\text{хв}$, зростатиме до 3 декади до $0,25 \text{ кал/см}^2\cdot\text{хв}$ і потім, незначно коливаючись не буде змінюватись до 16 декади вегетації, тобто до середини вересня.

В районі ст. Вінниця різниця між середніми значеннями інтенсивності ФАР в базовий період і розрахованими за сценаріями буде меншою і становитиме $0,06 \text{ кал/см}^2\cdot\text{хв}$. Найвищі значення інтенсивності ФАР і за середніми багаторічними і за розрахованими даними відзначаються в період з шостої до 18 декади періоду і становлять відповідно $0,20$ – $0,23$ та $0,24$ та $0,25 \text{ кал/см}^2\cdot\text{хв}$. З 18 декади інтенсивність ФАР зменшується (рис. 6.6).

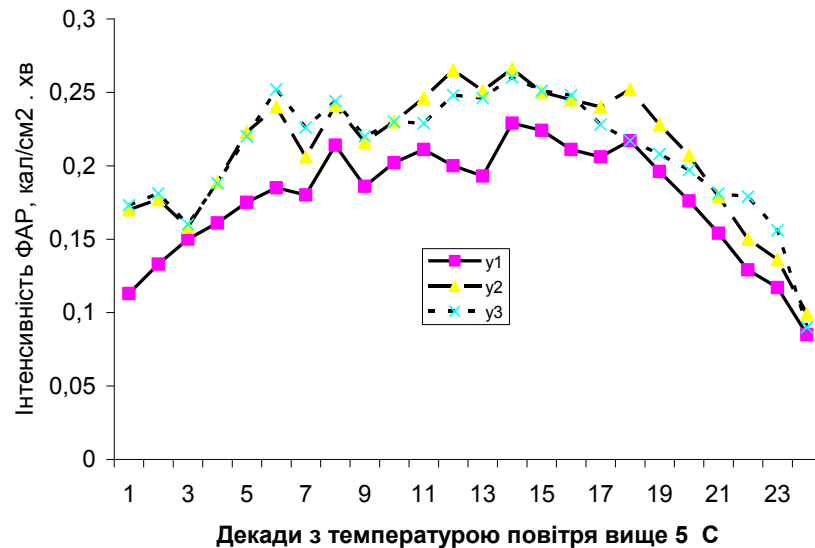


Рисунок 6.6 – Динаміка інтенсивності ФАР впродовж періоду з температурами повітря вище 5°C . (Вінниця):

1 – середня багаторічна, 2 – RCP 45; 3 – RCP 85.

В районі Дніпропетровська коливання інтенсивності ФАР впродовж періоду з температурами повітря вище 5°C відзначається більш різкими коливаннями в базовий період, особливо в травні, червні та липні місяцях. Розраховані величини інтенсивності ФАР за сценаріями rsp 45 та rsp 85 відзначатимуться меншими коливаннями та будуть мати майже однакові значення за виключенням 14 декади, коли спостерігатиметься зменшення впродовж однієї декади інтенсивності ФАР з $0,32 \text{ кал/см}^2\cdot\text{хв}$ до $0,13 \text{ кал/см}^2\cdot\text{хв}$ за сценарієм rsp 45. Крім того, за сценарієм rsp 85 різко зросте інтенсивність ФАР у 18 декаду періоду до $0,42 \text{ кал/см}^2\cdot\text{хв}$ (Рис. 6.7, табл. 6.1).

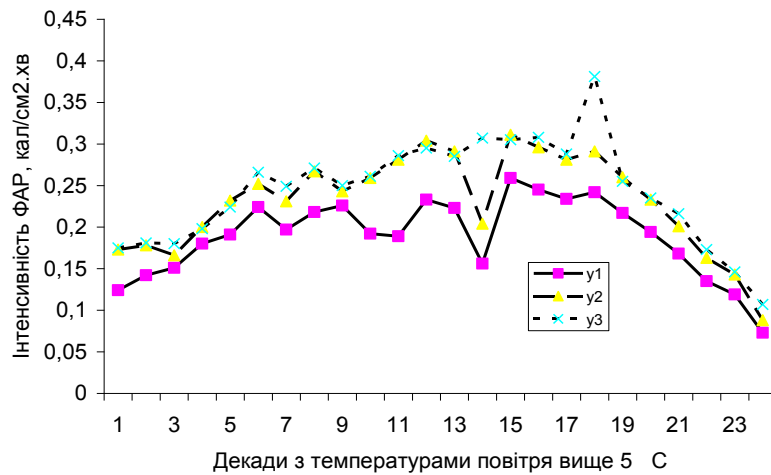


Рисунок 6.7 – Динаміка інтенсивності ФАР за період з температурами повітря вище 5 °C (ст. Дніпропетровськ):
1 – середня багаторічна, 2 –RCP4.5; 3 – RCP8.5.

Аналіз динаміки інтенсивності ФАР впродовж періоду з температурами повітря вище 5 °C в районі Херсону дозволив встановити, що в базовий період значення її поступово зростали від 0,08 кал/см².хв на початку періоду до 0,27 кал/см².хв в десятую декаду, тобто до початку червня. Далі впродовж 7 декад коливання не спостерігались, а з сімнадцятої декади до кінця періоду почалось поступове зменшення інтенсивності ФАР (рис. 6.8).

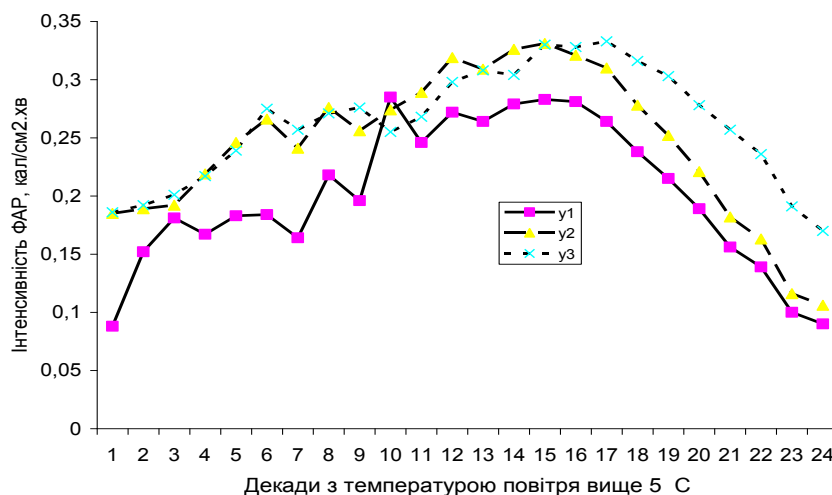


Рисунок 6.8 – Динаміка інтенсивності ФАР за період з температурами повітря вище 5 °C (ст.Херсон):
1 – середня багаторічна, 2 –RCP4.5; 3 – RCP8.5

Сумарне надходження ФАР за базовий період зростає з півдня на північ і становить 15 кал/см² період в Херсоні, 15,2 кал/см². період в Дніпропетровську, стільки ж у Вінниці і 19 кал/см². період у Житомирі (рис. 6.9, табл. 6.1). Розраховані суми ФАР за обома сценаріями до 2050 року майже не відрізняються в усіх регіонах. Найвищими очікуються суми ФАР в Херсоні – до 40 кал/см². період, В Житомирі і Дніпропетровську вони будуть однакові і становитимуть 26,5 кал/см². період та 25,3 кал/см². період у Вінниці.

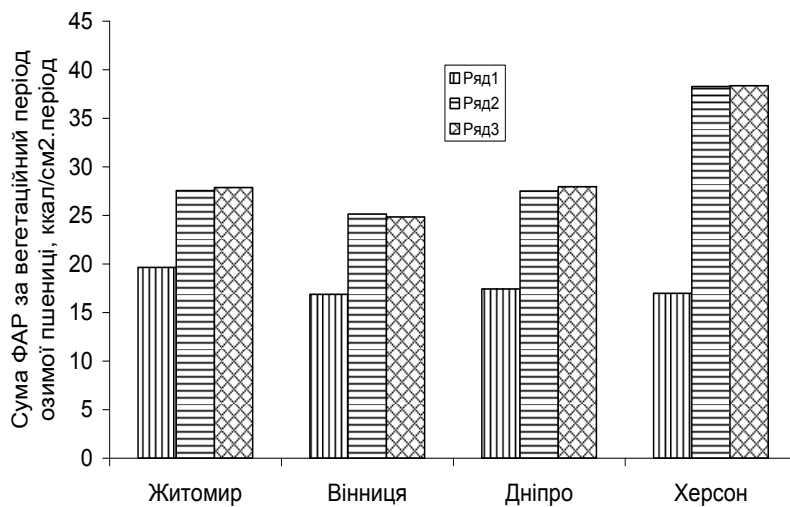


Рисунок 6.9 – Порівняльна характеристика надходження ФАР за вегетаційний період зернових культур:
1 – середні багаторічні; 2 – RCP4.5; 3 – RCP8.5

Характеристики динаміки радіаційного балансу рослинного покриву впродовж періоду з температурою повітря вище 5 °С в базовий період в районі Житомира і Вінниці абсолютно ідентичні, відзначаються динамікою зменшення його значень з 146 кал/см² д в четвертій до 55 кал/см² д. в сьомій декаді. С сьомої декади починається поступове підвищення впродовж чотирьох декад а з одинадцятої декади спостерігається різке зростання до 250 кал/см² д в тринадцяту декаду, тобто в першу декаду липня. З одинадцятої до дванадцятої декади значення радіаційного балансу рослинного покриву перевищують його значення за сценарними даними (рис. 6.10, 6.11, табл. 6.1).

Розрахунки величин радіаційного балансу за сценарними даними показують, що в перші три декади періоду їх значення співпадають з середніми багаторічними значеннями. Починаючи з четвертої декади розрахункові величини радіаційного балансу за двома сценаріями майже

однакові і досягають значень $250 \text{ кал см}^2 \text{ д}$ в шосту декаду періоду, потім різко зменшується до $98 \text{ кал см}^2 \text{ д}$ в дев'яту декаду.

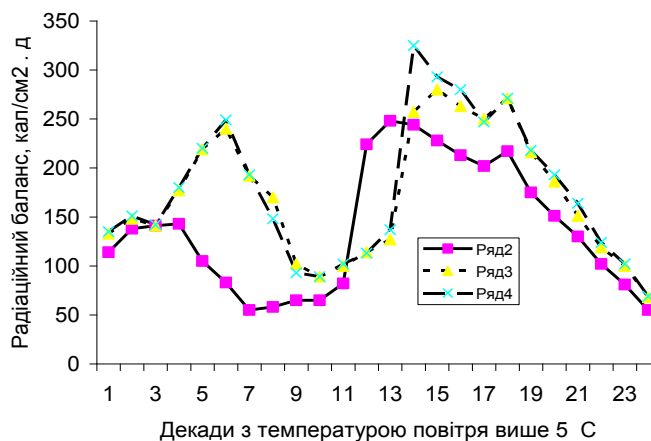


Рисунок 6.10 – Динаміка радіаційного балансу за період з температурами повітря вище 5°C (ст. Житомир)

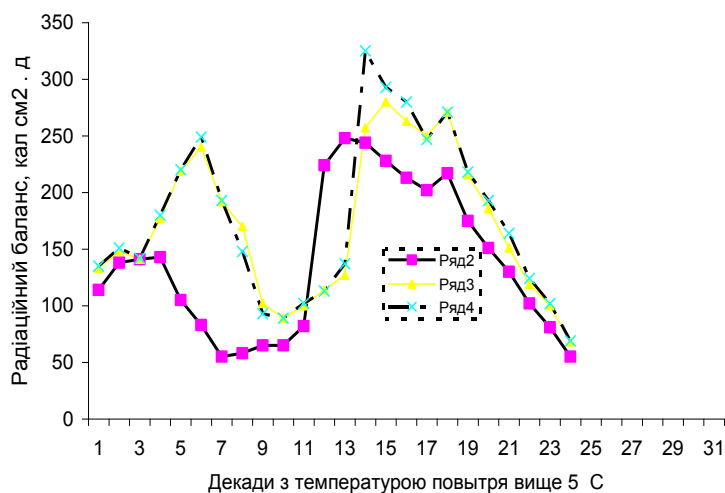


Рисунок. 6.11 – Динаміка радіаційного балансу за період з температурами повітря вище 5°C (ст. Вінниця)

З десятої декади радіаційний баланс зростатиме і досягне максимальних значень в тринадцяту декаду - $345 \text{ кал см}^2 \text{ д}$. В цю ж декаду значення радіаційного балансу за сценарними розрахунками будуть перевищувати середні багаторічні на $50 - 75 \text{ кал см}^2 \text{ д}$. Починаючи з дев'ятнадцятої декади

радіаційний баланс за сценарними розрахунками буде лише незначно вищий за середні значення його в базовий період (рис. 6.10, 6.11)..

Аналіз динаміки радіаційного балансу в районі Дніпропетровська показав, що в базовий період значення радіаційного балансу рослинного покриву починається з позначки $75 \text{ кал см}^2 \text{ д}$ піднімається в третю декаду періоду до $175 \text{ кал см}^2 \text{ д}$. З четвертої по сьому декади радіаційний баланс рослинного покриву зменшується до $50 \text{ кал см}^2 \text{ д}$. Починаючи з восьмої декади він спочатку поступово зростає, а з дев'ятої декади різко зростає до $395 \text{ кал см}^2 \text{ д}$, далі поволі підвищується до тринадцятої декади і починає зменшуватись і наприкінці періоду становить $53 \text{ кал см}^2 \text{ д}$ (рис. 6.12).

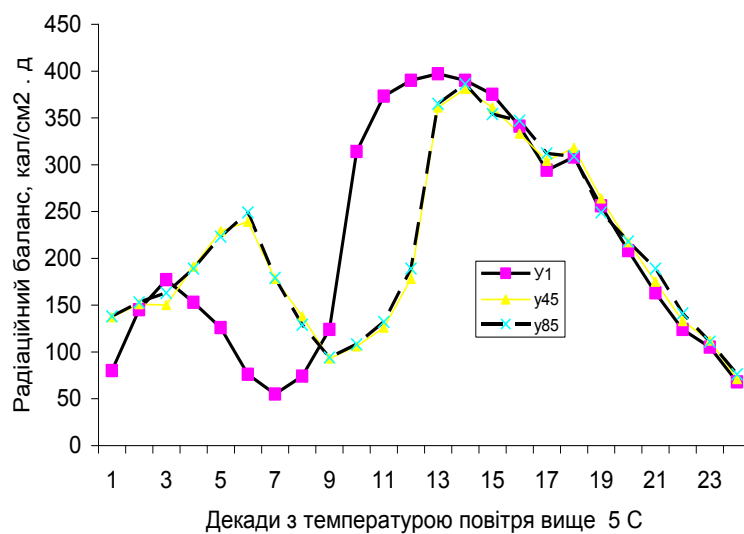


Рисунок 6.12 – Динаміка радіаційного балансу за період з температурами повітря вище 5°C (ст. Дніпропетровськ)

Слід відзначити, що з дев'ятої до п'ятнадцятої декади в районі Дніпропетровська середнє багаторічне значення радіаційного балансу перевищує сценарні його значення, на $250 \text{ кал см}^2 \text{ д}$, а з п'ятнадцятої декади вони майже однакові до кінця періоду.

Як видно із рис. 6.13 дещо інша динаміка радіаційного балансу в районі Херсону. Середні багаторічні значення радіаційного балансу менші, ніж розраховані за сценаріями до 2050 року. С початку періоду до десятої декади різниця між його значеннями коливалась від $50 \text{ кал см}^2 \text{ д}$ до $128 \text{ кал см}^2 \text{ д}$. Починаючи з одинадцятої декади значення радіаційного балансу за сценаріями співпадають із середніми за базовий період. Максимальних значень радіаційний баланс рослинного покриву досягає в чотирнадцяту декаду періоду і становить $399 - 400 \text{ кал см}^2 \text{ д}$. Починаючи з 18 декади за

сценарієм RCP85 радіаційний баланс до кінця періоду вище значень базового періоду на $18 \text{ кал см}^2 \text{ д}$, вище значень за сценарієм rcp 45 на $8 - 10 \text{ кал см}^2 \text{ д}$.

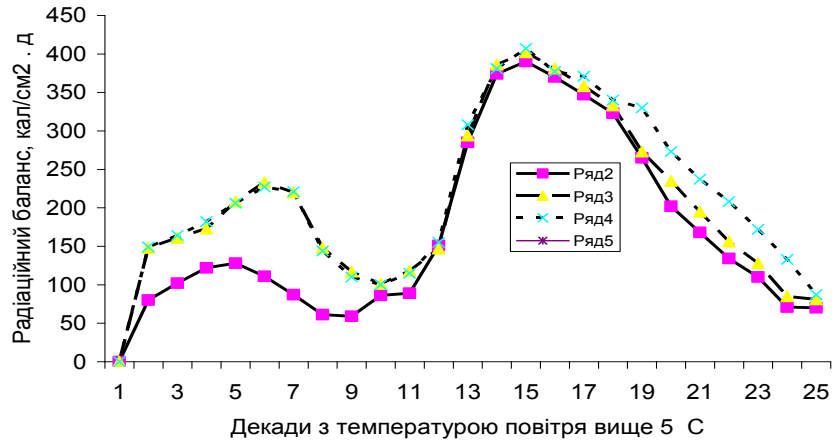


Рисунок 6.13 – Динаміка радіаційного балансу за період з температурами повітря вище 5°C (ст. Херсон)

Підвищення радіаційного балансу впродовж всього періоду з температурами повітря вище 5°C спричинить підвищення витрат тепла на випаровування та надходження тепла в ґрунт.

6.2 Вплив змін клімату на температурний режим

Кліматичний режим кожного регіону формується як синтез особливостей температури, вологості, опадів, вітру, які базуються на закономірностях розподілу радіаційного, теплового та водного балансів і впливу атмосферної циркуляції. Різноманітність і величезна кількість кліматоутворювальних факторів зумовлює стан клімату з дуже ускладненим спектром коливань, в яких детермінований характер мають гармоніки річного та добового ходу. Наприкінці минулого і початку поточного століття науковцями відзначаються значні зміни кліматичних умов на всій Земній кулі через потепління. За своїм географічним положенням, структурою народного господарства, станом довкілля Україна є однією з країн, для яких соціально-економічні наслідки зміни клімату можуть бути незворотними. Під впливом зміни клімату змінюються агрокліматичні умови вирощування сільськогосподарських культур, що вимагає прийняття своєчасних та адекватних рішень для адаптації сільського господарства до майбутніх змін.

Дослідженнями особливостей різних процесів в атмосфері, за яких відбувається зміна волого-температурного режиму підстильної поверхні, займається широке коло дослідників, серед яких слід відзначити роботи Ю.А. Ізраеля, В.Ф. Логінова, А.М. Тарко, В.М. Волощука та ін. Було встановлено, що особливо велику роль в зміні клімату під час потепління відіграє зміна великомасштабної атмосферної циркуляції через те, що вона охоплює всі складові погодних умов. Світовими вченими визнано той факт, що зміна клімату наприкінці минулого та в поточному столітті активізувалась. Це спричинило часові зрушення розвитку природних процесів, істотне підвищення температури повітря, збільшення частоти екстремальних природних явищ тощо.

Зміна клімату внаслідок глобального потепління є однією із проблем ХХІ століття. Вона характеризується різними проявами, серед яких провідними є зміна частоти та інтенсивності кліматичних аномалій та екстремальних (небезпечних) погодних явищ. За прогнозами провідних вчених та спеціалістів в найближчі десятиріччя зміни клімату за своїми розмірами та інтенсивністю будуть переважати ті тенденції, які спостерігались в останнє десятиріччя. Сучасне потепління викликає значну зміну агрокліматичних умов росту, розвитку та формування продуктивності сільськогосподарських культур. Воно супроводжується істотним підвищенням температури повітря у зимові місяці, збільшенням кількості тривалих відлиг, часового зрушення розвитку природних процесів, змінами тривалості сезонів року, подовженням беззаморозкового періоду та тривалості вегетаційного періоду сільськогосподарських культур, збільшенням теплозабезпеченості вегетаційного періоду. Можливе зростання частоти екстремальних погодних явищ, загальне зниження вологості ґрунтів та зменшення їхньої родючості, виснаження ресурсів прісної води у південних регіонах країни, деградація ґрунтів. Разом з тим, основною особливістю потепління стала нерівномірність випадіння опадів за окремі періоди року, що призвело до збільшення посушливих явищ. Посухи нерідко співпадають з суховіями, спричиняючи пошкодження рослин у різних фазах розвитку та зменшують їхню продуктивність [1, 2, 3, 4, 5]. У зв'язку з очікуваним підвищенням температури повітря у Північній півкулі продовольча безпека України в значній мірі буде залежати від того, наскільки ефективно адаптується сільське господарство до майбутніх змін клімату.

Рослини впродовж вегетаційного періоду потребують забезпечення вимог до факторів навколишнього середовища і тільки гармонійне сполучення усіх необхідних факторів забезпечує оптимальний розвиток рослин та формування високого врожаю. Кліматичні зміни на майбутнє розраховуються з використанням кліматичних моделей. Глобальні кліматичні моделі є основними інструментами, що використовуються для проектування тривалості та інтенсивності змін клімату в майбутньому. Ці моделі розраховують майбутні кліматичні режими на основі низки сценаріїв зміни антропогенних факторів. Для нових кліматичних розрахунків

використовується 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 [1, 2].

Сценарії RCP визначаються приблизною сумарною величиною радіаційного впливу до 2100 року порівняно з 1750 р.: $2,6 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2}$ для RCP2.6; $4,5 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2}$ для RCP4.5; $6,0 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2}$ для RCP6.0 і $8,5 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2}$ 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) [1, 2].

Для комплексної оцінки впливу змін клімату на сільське господарство найчастіше використовувались агрокліматичні показники – характеристики радіаційного, теплового та режиму вологозабезпеченості в цілому, і, в особливості, вегетаційного періоду. Виходячи з вищевказаного, аналіз змін температурного режиму по території України виконувався за періоди: 1986-2005рр. (прийнятий як базовий період) за матеріалами, наведеними в [1], та за період 2021-2050р.р. за кліматичними сценаріями зміни клімату RCP4.5 та RCP8.5. Виконана робота є продовженням досліджень з оцінки впливу кліматичних змін на галузі економіки України, результати яких узагальнені в роботах [2, 3].

Методів оцінки термічних умов існує багато: Лівінгстона, Ацці, Г.Т. Селянинова, Ф.Ф. Давітая, М.І. Будико, П.І. Колоскова, С.О. Сапожнікової, Д.І. Шашко та ін.[9]. В своїх дослідженнях зупинимось на методі біологічних сум температур, запропонованому С.О. Сапожніковою та Д.І. Шашко.

За основні кліматичні та агрокліматичні характеристики температурного режиму були використані:

- дати стійкого переходу температури повітря через 0, 5, 10, 15 °С навесні та восени;
- тривалість періоду з температурами повітря вище 0, 5, 10, 15 °С;
- суми позитивних температур повітря за період з температурами вище 0, 5, 10, 15 °С;
- середня температура повітря січня, липня та їхня амплітуда.

Розглянемо як в різних зонах України будуть змінюватись показники термічного режиму в різні періоди, розраховані за сценарієм стабілізації викидів RCP4.5 та за сценарієм з високим рівнем викидів парникових газів RCP8.5. За початок весни, зазвичай, приймається дата стійкого переходу температури повітря через 0 °С в сторону підвищення температури повітря, а за початок зими - дата стійкого переходу температури повітря через 0 °С в сторону від'ємних температур [9].

В табл.6.2 представлена порівняльна характеристика середніх багаторічних дат переходу температури повітря через 0 °С навесні і восени, тривалості періоду з температурою повітря вище 0 °С, сум температур вище 0 °С, середніх температур січня та липня, амплітуд температур з такими ж

показниками, розрахованими за кліматичними сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 по природно – кліматичних зонах України.

Таблиця 6.2 – Порівняльні характеристики температурного режиму за період з температурою повітря вище 0 °С в різних природно-кліматичних зонах України

Періоди	Дати переходу температури повітря через 0 °С		Тривалість періоду , дні	Сума температур, °С	Середня температура січня, °С	Середня температура липня, °С	Амплітуда температур, °С
	Весна	Осінь					
Полісся							
1986-2005рр.	26.03	26.11	244	3077	-3,0	19,4	22,4
Сценарій RCP 4,5							
2021-2050рр.	26.03	20.11	241	2900	-2,7	18,6	21,3
Різниця	-	-6	-3	-177	-0,3	-0,8	-1,1
Сценарій RCP8.5							
2021-2050рр.	18.03	20.11	246	2966	-4,1	18,8	22,9
Різниця	-8	-6	2	81	-1.1	-0,6	0,5
Лісостеп							
1986 – 2005 рр.	3.03	2.11	265	3227	-3,4	20,4	23,7
Сценарій RCP4.5							
2021-2050 рр.2	13.03	20.11	248	2955	-3,2	19,1	22,3
Різниця	10	18	15	-268	0,2	1,3	0,6
Сценарій RCP8,5							
2021- 2050рр.	11.03	21.11	253	3031	-4,2	19,1	23,3
Різниця	8	5	11	196	-1,0	-	1
Північний Степ							
1986 – 2005 рр.	16.03	21.11	260	3409	-3,0	22,1	26,1
Сценарій RCP 4.5							
2021 – 2050 рр.	19,03	21.11	257	3400	-2,8	22,2	26,0
Різниця	-3	-	19	9	-1,2	0,1	0,1
Сценарій RCP8.5							
2021 – 2050 рр.	11.03	25.11	258	3492	-4,1	22,0	26,1
Різниця	-5	-4	2	82	0,1	0,1	-
Південний Степ							
1986 – 2005 рр.	19.02	3.12	287	3819	-1,9	23,7	25,6
Сценарій RCP 4.5							
2021 – 2050 рр.	11.01	20.12	318	3892	-0,3	23,6	23,9
Різниця	36	17	31	73	1,6	0,1	1,7
Сценарій RCP 8.5							
2021 – 2050рр.	16.02	20.12	338	3988	-0,9	23,5	24,4
Різниця	3	17	51	169	-1,02	0,2	1,2

Як видно із табл. 6.2 в Поліссі в разі реалізації сценарію RCP4.5 будуть відбуватись незначні зміни в температурних показниках. Так дата переходу температури повітря через 0 °С навесні співпадатиме із середньою за базовий період, а восени буде спостерігатись на тиждень раніше. Тривалість періоду

зменшиться на три дні. Середня температура повітря в січні незначно підвищиться, а в липні знизиться до 18,6 °С. Це спричинить зменшення амплітуди повітря до 21,3 °С, а також зменшення суми температур за період до 2900 °С, що нижче суми базового періоду на 180 °С.

В разі реалізації сценарію з високим рівнем викидів (RCP8.5) в цей же період зміни в показниках температури повітря матимуть дещо іншу динаміку. Так перехід температури повітря через 0 °С навесні та восени буде спостерігатись відповідно на 8 та 6 днів раніше, ніж в базовий період. Середня температура повітря в січні становитиме -4,1 °С, в липні – 18,8 °С результати чого сума температур за період буде нижче середньої за базовий період на 80 – 90 °С.

В зоні Лісостепу в умовах стабілізації викидів парникових газів в атмосферу дати стійкого переходу температури повітря через 0 °С навесні наставатимуть на 10 днів раніше, восени – на 6 днів. Тривалість періоду збільшиться незначно на 2- 3 дні. В січні та липні середні температури становитимуть відповідно – 3,2 °С та 19,1 °С що нижче середніх базового періоду на 0,3 °С. Через зниження температур повітря влітку суми температур зменшаться майже на 300 °С в порівнянні з базовим періодом.

При реалізації сценарію RCP8.5 тривалість періоду з температурою повітря вище 0 °С становитиме 253 дні, що на 12 днів коротше базового періоду. Сума температур вище 0 °С становитиме 3034 °С, що менше середньої багаторічної суми на 196 °С. Слід зазначити, що в Лісостеповій зоні, як і в Поліссі, спостерігатиметься зниження середньої температури повітря за січень майже на 1 °С і за липень – на 1,3 °С в результаті чого значення амплітуди температури зросте до 25,3 °С.

В Північному Степу в разі реалізації сценарію RCP4.5 дати переходу температури повітря через 0 °С навесні і восени будуть наставати в терміни, близькі до середніх багаторічних значень, то ж і тривалість періоду буде майже близькою до тривалості в базовий період. Середня температура січня зросте на 1,2 °С, в липні буде на рівні середнього багаторічного значення. Отже і сума температур за період буде рівною базовому періоду і становитиме 3400 °С.

Розрахунки за сценарієм RCP8.5 показують, що дати переходу температури повітря за цим сценарієм і навесні і восени наставатимуть на 4 – 5 днів раніше, ніж в базовий період. Сума температур становитиме біля 3490 °С. Середня температура повітря січня і липня очікується на рівні базових значень.

Найбільші відмінності розрахованих показників термічного режиму за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 в порівнянні з показниками базового періоду відзначатимуться в Південному Степу. Причому, значення показників за сценарієм RCP8.5 будуть вищими, ніж за сценарієм RCP4.5. Так навесні дати переходу температури повітря будуть наставати раніше відповідно на 36 та 23 дні, восени – на 17 днів пізніше. Тривалість періоду зросте до 318 – 338 днів. Суми температур за обома сценаріями очікуються 3890 – 3980 °С. Температура в січні зросте до 0,3 – 0,9 °С, що на 1,6 °С вище, ніж в базовий

період. Температура в липні очікується на рівні середніх значень базового періоду.

Для сільськогосподарського виробництва важливу роль відіграють періоди з температурами повітря вище 5 та 10 °С. Розглянемо, як зміняться терміни настання дат переходу температури повітря через 5 °С навесні і восени, розраховані за сценаріями RCP4,5 та RCP8,5 в порівнянні із середніми багаторічними термінами.

Як видно із табл.6.3 навесні середні багаторічні терміни переходу температури повітря через 5 °С в базовий період коливаються в межах від 21 березня в Південному Степу до 6 квітня в Поліссі. Восени - від 29 жовтня у Поліссі та Лісостеповій зоні до 11 листопада у Південному Степу.

Таблиця 6.3 – Дати стійкого переходу середньої добової температури повітря через 5, 10 ,15 °С та тривалість періодів з цими температурами

Період	Дати переходу температури повітря через межі						Кількість днів з температурою повітря рівною або вище		
	Навесні			Восени					
	5 °C	10 °C	15 °C	15 °C	10 °C	5 °C	5°C	10 °C	15 °C
Полісся									
1986 – 2005pp	6.IV	22.IV	21.V	6.IX	1.X	29.X	202	162	107
RCP4.5	10.IV	1.V	1.VI	30.VIII	30.IX	25.X	197	153	92
RCP8.5	13.IV	1.V	1.VI	10.IX	30.IX	25.X	194	153	102
Лісостеп.									
1986 – 2005pp	30.III	19.IV	17.V	9.IX	3.X	27.X	212	168	115
RCP4.5	12.IV	29.IV	31.V	8.IX	1.X	27.X	204	150	104
RCP8.5	12.IV	21.IV	1.VI	10.IX	1.X	1.XI	204	161	102
Північний Степ									
1986 – 2005pp	1.IV	17.IV	15.V	15.IX	7.X	30.X	213	173	123
RCP4.5	3.IV	21.IV	15.V	19.IX	10.X	29.X	210	172	136
RCP8.5	1.IV	21.IV	12.V	15.IX	5.X	27.X	210	172	135
Південний Степ									
1986 – 2005pp	21.III	15.IV	12.V	25.IX	19.X	11.XI	236	186	136
RCP4.5	3.IV	11.IV	12.V	20.IX	20.X	10.XI	215	181	131
RCP8.5	22.III	21.IV	11.V	28.IX	20.X	10.XI	234	182	134

Середня багаторічна тривалість дня з температурами повітря вище 5 °С становила відповідно 206, 212 ,213 та 236 днів. Розрахунки за обома сценаріями показали, що навесні перехід температури повітря через 5 °С наставатиме пізніше в Поліссі на 4 – 7 днів, у Лісостепу – на 12 днів. В Степовій зоні ці терміни співпадатимуть з датами базового періоду. Слід відзначити, що у Південному Степу навесні за сценарієм RCP4.5 терміни переходу температури повітря через 5 °С наставатимуть пізніше на 13 днів. Восени терміни переходу температури повітря через 5 °С будуть співпадати з середніми багаторічними в усіх регіонах за виключенням Полісся, де вони будуть наставати на 4 – 5 днів раніше. Тривалість періоду з температурами

вище 5 °С зменшиться в Поліссі до 195 днів, Лісостепу - до 204 днів, в Північному Степу - до 210 днів. В Південному Степу за сценарієм RCP4,5 тривалість періоду зменшиться до 15 днів, за сценарієм RCP8.5 залишиться на рівні середнього багаторічного і становитиме 234 дні.

У зв'язку зі зміною тривалості періоду з температурами повітря вище 5 °С зміняться і суми температур в разі реалізації обох сценаріїв.

Як видно табл. 6.4 в разі реалізації будь-якого сценарію в районі Полісся і Північного Степу суми температур вище 5 °С залишаться майже на рівні середніх багаторічних і становитимуть відповідно 2800 та 3010 °С .

Таблиця 6.4 – Характеристики температурного режиму за різними сценаріями

Період	Сума активних температур вище					Температура повітря, °С		
	0 °С	5 °С	10 °С	15 °С	-0°С	січень	липень	амплітуда
Полісся								
1986–2005	3077	2861	2582	1902	-	-3,0	19,4	22,4
RCP 4.5	2908	2795	2409	1616		-2.7	19.1	21.8
Різниця	169	66	173	284		-0.3	0.3	0.6
RCP 8,5	3007	2873	2563	1772		-4,1	19,1	23,2
Різниця	70	-12	19	130		-1,1	03	-0,8
Лісостеп								
1986–2005	3227	3136	2817	2113		-3,4	20,4	23,7
RCP 4,5	2962	2847	2415	1800		-3.2	19.5	22.7
Різниця	265	289	402	313		0,2	0,9	1,0
RCP 8,5	3044	2901	2584	1789		-4.2	19,4	23,6
Різниця	183	235	233	324		-0,8	1,0	0,1
Північний Степ								
1986–2005	3409	3356	3010	2372	-	-4,0	22,1	26,1
RCP 4,5	3410	3325	3041	2570		-3.0	22,3	25,3
Різниця	-1	31	-31	-198		1	-0,2	0,8
RCP 8,5	3510	3380	3090	2571		-4,4	22,5	26,9
Різниця	-101	-24	-80	-199		-0,4	-0,4	-0,8
Південний Степ								
1986–2005	3819	3690	3322	2707	-	-1,9	23,7	25,6
RCP 4,5	3900	3683	3464	2732		0.1	23.9	23.8
Різниця	-81	7	-142	-25		1,8	-0,2	1,8
RCP 8,5	3999	3798	3413	2894		-0,9	24,2	25,1
Різниця	-180	-108	-91	-187		1	-0,5	0,5

В районі Лісостепоної зони вони будуть нижчими від середніх багаторічних на 230 – 280 °С і становитимуть 2400 – 2500 °С. В Південному Степу середні багаторічні суми становили 3690 °С. За сценарієм RCP4.5 вони

очікуються на рівні середніх багаторічних, за сценарієм RCP8.5 вищими на 100 °C.

Період з температурами повітря вище 10 °C важливий для сільськогосподарського виробництва для вирощування більшості теплолюбних культур.

Аналіз таблиці 6.3 показав, що в середньому багаторічному дати переходу температури через 10 °C навесні наставали в Поліссі на початку третьої декади квітня, Лісостепу і Північному Степу 17 – 19 квітня, в Південному Степу – всередині другої декади квітня. Восени ці дати відзначалась: в Поліссі – 1 жовтня, Лісостепу – 3 жовтня, Північному Степу - 7 жовтня, в Південному Степу – 19 жовтня. Тривалість періоду з температурами повітря вище 10 °C зростала від 162 днів у Поліссі до 186 днів у Південному Степу. Розрахунки дат настання переходу температури повітря через 10 °C за сценаріями RCP4.5; та RCP8,5 навесні показують, що вони будуть наставати пізніше в Поліссі – на 8 днів , у Північному Степу – на 4 дні, у Лісостепу за сценарієм RCP4.5 на 10 днів, за сценарієм RCP8.5 будуть однаковими із середніми багаторічними, у Південному Степу за першим сценарієм вони наставатимуть раніше на 4 дні, за другим сценарієм пізніше на 6 днів. Восени дати переходу температури повітря через 10 °C у Поліссі, Лісостепу та Південному Степу будуть співпадати із середніми багаторічними за обома сценаріями і лише в Північному Степу ці дати будуть незначно відхилятися від середньої багаторічної за першим сценарієм вони наставатимуть пізніше на 3 дні, за другим сценарієм – на два дні раніше середніх багаторічних. Тривалість періоду з температурами повітря вище 10 °C в Поліссі буде коротшою на 10 днів ніж тривалість в базовий період, у Лісостепу – на 7 – 18 днів.

За обома сценаріями у Степовій зоні тривалість періоду буде однаковою, або нижчою ніж в базовий період.

Суми температур за обома сценаріями в Поліссі та Лісостепу будуть трохи нижчими від сум температур за базовий період і становитимуть 2450-2550 °C, нижче від середніх багаторічних майже на 200- 250 °C. В Північному Степу очікувані суми будуть майже однакові з середніми багаторічними і становитимуть 3040 – 3090 °C. І тільки в Південному Степу очікувані суми температур вище 10 °C будуть вищими за обома сценаріями і становитимуть відповідно 3460 – 3410 °C (табл.6.4).

Дати переходу температури повітря через 15 °C навесні в базовий період характеризуються зменшенням із півночі на південь і спостерігались в Поліссі – 21 травня, Лісостепу – 17 травня, Північному Степу – 15 травня і Південному Степу – 12 травня. Восени навпаки, вони наставали пізніше і були відповідно 6 вересня, 9 вересня, 15 вересня та 25 вересня. Тривалість періоду з температурами повітря вище 15 °C коливалась від 107 днів в Поліссі до 136 днів в Південному Степу. (табл.6.3).

Суми температур вище 15 °C теж зростали з півночі на південь і становили в Поліссі – 1902 °C, Лісостепу – 2113 °C, Північному Степу – 2372 °C, Південному Степу – 2707 °C (табл.6.4).

В разі реалізації сценарію RCP4.5 на період до 2050 року очікуються зменшення сум температур за вказаний період у Поліссі до 1616 °С, Лісостепу – до 1800 °С. В Північному Степу за цим сценарієм очікується зростання сум температур до 2570 °С, в Південному Степу суми температур залишаться на рівні середніх багаторічних.

В разі реалізації сценарію RCP8.5 у Поліссі і Лісостепу суми температур очікуються теж меншими ніж в базовий період, але різниця трохи менша, ніж за першим сценарієм і очікувані суми становитимуть 1772 та 1789 °С відповідно. В Північному Степу очікується така ж сума, як і за першим сценарієм, тобто 2570 °С. В Південному Степу за другим сценарієм сума зросте значно більше, ніж за першим сценарієм і становитиме 2890 °С.

Внаслідок збільшення надходження сум сонячної в Південному Степу зростуть і суми температур за різні проміжки часу. Але зростання буде незначним і не перевищуватиме 200 °С. В інших природно-кліматичних зонах відзначатиметься зниження сум температур за періоди з різними значеннями середньої температури (Полісся, Лісостеп) або вони очікуватимуться на рівні сум температур базового періоду.

6.3 Вплив змін клімату на режим зволоження

Волога є одним із основних факторів життя рослин. Важливими функціями води є її участь у фотосинтезі рослин, переносі елементів живлення, забезпеченні терморегуляції тощо.

На разі в агрометеорологічній практиці для характеристики вологозабезпеченості території використовується кількість опадів, що випадають за певний проміжок часу (рік, сезон, вегетаційний період, між фазний період і ін.), відношення фактичного водоспоживання (сумарного випаровування) до вологопотреби рослин (випаровуваності) [9] та різних індексів, які найчастіше спираються на критерії, що пов'язані з оцінкою аномальності кількості опадів впродовж будь-якого часу: гідротермічний коефіцієнт Г.Т. Селянинова, показник Д.І. Шашко, індекс Педя, індекс забезпечення рослин вологою, показник посушливості Б.В. Бова і ін. [9].

Опади є основним джерелом зволоження земної поверхні і з цієї точки зору вони визначають стан багатьох природних ресурсів. Тому поняття просторово-часової мінливості структури поля опадів сучасності та їхні майбутні зміни відіграють важливу роль в прогнозах кліматично-зумовлених природних ресурсів. Особливу увагу слід звернути при цьому на річний хід розподілу опадів.

Але оцінка вологозабезпеченості території тільки за сумою опадів буде не зовсім повною через те, що опади це лише одна із характеристик прибуткової частини водного балансу. Тому для більш надійної характеристики вологозабезпеченості потрібно також використовувати показники вологопотреби рослин та фактичного водоспоживання.

Співвідношення цих двох величин може бути надійним показником вологозабезпеченості території [9].

Для характеристики умов зволоження аналізувались такі ж періоди як і для теплозабезпеченості: базовий 1986 – 2005 рр. та розрахункові за кліматичними сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 за період 2021 – 2050 рр.

При цьому розглядались такі показники:

- сума опадів за періоди: зима, весна, літо, осінь, зима, рік;
- сума опадів за періоди з температурами повітря вище 0, 5, 10, 15 °С;
- сума опадів за період з жовтня по березень включно та з квітня по вересень включно.

- сумарне випаровування, випаровуваність, дефіцит випаровування;
- коефіцієнт зволоження – гідротермічний коефіцієнт Г.Т. Селянинова (ГТК) за період з температурами повітря вище 10 °С.

В цілому за рік на території України як у базовий період так і в розрахунковий прогностичний період 2021 – 2050 рр. за різними сценаріями зміни клімату очікується зменшення кількості опадів у напрямку з північного заходу на південний схід (табл. 6.5).

Таблиця 6.5 – Порівняльна характеристика річних сум опадів по території України

Природно-кліматична зона	Базовий період	За сценаріями зміни клімату в період 2021–2050 рр.			
	1986–2005 рр.	RCP4.5		RCP8.5	
	Сума опадів, мм	Сума опадів, мм	% від базового періоду	Сума опадів, мм	% від базового періоду
Полісся	651	595	91	591	91
Лісостеп	600	543	91	556	91
Північний Степ	545	497	87	464	85
Південний Степ	464	374	81	406	88

Як видно із табл. 6.5 за обома сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 в усіх природно – кліматичних зонах України на період з 2021 по 2030 рр. очікується зменшення річних сум опадів. Причому зменшення очікується однакове за обома сценаріями у Поліссі і Лісостеповій зонах, до 91 % від опадів базового періоду. У Північному Степу за обома сценаріями змін клімату зменшення річних сум опадів буде більш відчутним і становитиме тільки 87 – 85 % опадів базового періоду.

У Південному Степу за сценарієм RCP4.5 сума опадів очікуватиметься на рівні 370 – 380 мм, що становитиме 81% від суми опадів базового періоду. В разі реалізації сценарію RCP8.5 очікувана сума опадів за рік становитиме

близько 420 мм, тобто 88 % від середньої багаторічної величини базового періоду.

Згідно проведених нами розрахунків, у кожній природно-кліматичній зоні, як і на всій території України в цілому, по сезонах року спостерігатимуться значні коливання очікуваної кількості опадів (табл. 6.6).

Таблиця 6.6 – Порівняльна характеристика режиму зволоження на території України по сезонах року

За сценаріями зміни клімату в період 2021–2030 рр.								
Сезон	І-й період (1986 -2005рр.)		RCP4.5			RCP8.5		
	Сума опадів мм	ГТК	Сума опадів мм	% від базового періоду	ГТК	Сума опадів мм	% від базового періоду	ГТК
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Полісся								
Зима	104		112	108		116	107	
Весна	145		192	132		190	131	
Літо	249	1,5	154	62	1,5	156	62	1,56
Осінь	153		133	86		128	84	
Рік	623		595	91		590	91	
Лісостеп								
Зима	101		100	99		117	116	
Весна	135		185	137		174	129	
Літо	222	1,3	142	64	1,4	146	66	1,54
Осінь	142		116	82		119	84	
Рік	611		543	91		556	93	
Північний Степ								
Зима	95		124	130		130	137	
Весна	118		134	114		138	117	
Літо	195	1,0	86	44	0,81	75	38	0,85
Осінь	137		131	96		121	88	
Рік	521		475	87		454	85	
Південний Степ								
Зима	91		95	104		114	125	
Весна	102		108	105		122	120	
Літо	155	0,9	59	45	0,68	60	39	0,70
Осінь	116		103	89		110	95	
Рік	443		374	81		406	88	

На території Полісся взимку та навесні очікується збільшення сум опадів за обома сценаріями змін клімату. Причому, взимку це збільшення буде незначним і становитиме 107 – 108 % в порівнянні з базовим періодом. Навесні збільшення сум опадів буде відчутнішим і становитиме 131– 132 % середньої багаторічної суми за цей період. Влітку за обома сценаріями змін клімату очікуватиметься однакове різке зменшення сум опадів до 156 мм, що становитиме 62 % від суми опадів базового періоду. Те ж саме можна

сказати і про осінній період, коли суми опадів за обома сценаріями становитиме біля 130 мм, що складатиме 82 % від базової суми.

В Лісостеповій зоні динаміка опадів взимку очікувана за двома сценаріями буде різна. Так, за сценарієм зміни клімату RCP4.5 сума опадів очікуватиметься майже на рівні середньої величини базового періоду і становитиме біля 100 мм. За сценарієм RCP8.5 очікуватиметься збільшення суми опадів до 116 % від суми опадів базового періоду.

Навесні за обома сценаріями зміни клімату в Лісостеповій зоні очікується суттєве збільшення суми опадів, при чому за сценарієм RCP4.5 ця сума опадів становитиме 185 мм, тобто 137 % від суми опадів базового періоду, в той же час за сценарієм RCP8.5 сума опадів за весняний період становитиме 174 мм, що становитиме лише 129 % базової суми. Як в Поліссі, так і в Лісостепу за обома сценаріями сума опадів влітку однаково різко зменшиться до 142 – 146 мм, що становитиме лише 64 – 66 % від суми опадів базового періоду. В осінній період тенденція зменшення суми опадів за обома сценаріями в зоні Лісостепу буде теж спостерігатись, але менш інтенсивно. Очікувані суми опадів становитимуть близько 83% від базової суми, тобто 116 – 119 мм.

Розрахунки за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 очікуваних сум опадів в Північному Степу в зимові місяці дозволяють стверджувати, що суми опадів в цей період зростуть до 124 та 130 мм відповідно і становитимуть 130 та 137 % базової суми. В цей же період у Південному Степу опади за сценарієм RCP4.5 очікуватимуться майже на рівні середніх багаторічних значень, а за сценарієм RCP8.5 становитимуть 125 % базової норми.

У весняні місяці теж очікується збільшення сум опадів до 2050 рр. за обома сценаріями майже однаково до 134 – 138 мм, що становитиме 114 та 117 % від сум опадів за базовий період. В зоні Південного Степу за сценарієм RCP4.5 сума опадів становитиме 105 % базової суми, а за сценарієм RCP8.5 – 120 % від суми опадів за базовий період.

В літній період в усій Степовій зоні за обома сценаріями очікуватиметься різке зменшення суми опадів більше ніж на 50 % за сценарієм RCP4.5 та більше як на 60 % за сценарієм RCP8.5.

Восени суми опадів за розрахунками за сценарієм RCP4.5 у Північному Степу очікувана сума опадів становитиме 96 %, за сценарієм RCP8.5 – 88 % від суми опадів за базовий період. В Південному Степу опади очікуються 89 та 95 % від базової суми відповідно.

Для сільськогосподарського виробництва важлива характеристика умов вологозабезпечення сільськогосподарських культур в період їх вегетації. Оскільки періоди вегетації сільськогосподарських культур починаються з дати переходу температури повітря через 5 °C навесні (для холодостійких культур) та через 10 °C (для теплолюбних культур) то є сенс розглянути умови вологозабезпеченості періодів з температурами вище вказаних меж.

Як видно із табл. 6.7 в розрахунковий період до 2050 року сума опадів за період з температурою повітря вище 5 °C зменшиться майже на 10 % за сценарієм RCP4.5 та на 13 % за сценарієм RCP8.5. Зміна в режимі опадів

спричинить зміну випаровування та випаровуваності в зоні Полісся. Сумарне випаровування за обома сценаріями зміни клімату зменшиться відповідно на 70 та 90 мм і становитиме 436 та 409 мм.

Таблиця 6.7 – Режим зволоження в Поліссі за різними сценаріями зміни клімату за періоди температурою повітря вище 5 °C

Сценарії	Сума опадів за періоди, мм за періоди з температурою повітря вище		Сумарне випаровування, мм	Випаровуваність, мм	Дефіцит випаровування, мм
	вище 5 °C	% від базового періоду			
1986-2005 р.	421		506	1310	805
Період 2021 – 2050 рр.					
RCP 4.5	374	89	436	872	436
Різниця	47	-	70	438	364
RCP 8.5	366	87	409	835	426
Різниця	52	-	97	475	379

Розрахунки за обома сценаріями показали, що в період з 2021 по 2050 рр. буде спостерігатись особливо різке зменшення випаровуваності та дефіциту випаровування. Дещо менша різниця між випаровуваністю базового періоду та очікуваною очікується за розрахунками за сценарієм RCP4.5 і становитиме 438 мм. За сценарієм RCP8.5 вона зростає до 475 мм.

Дефіцит випаровування зменшиться відповідно до 364 мм та 379 мм. Як і в період з температурами повітря вище 5 °C сума опадів в період з температурами повітря вище 10 °C за обома сценаріями очікуватиметься нижчою і становитиме 83 – 85 % від такої ж суми за базовий період (табл. 6.8).

Таблиця 6.8 – Режим зволоження в Поліссі за різними сценаріями зміни клімату за період з температурою повітря вище 10 °C

Сценарії	Сума опадів за періоди, мм за періоди з температурою повітря вище		Сумарне випаровування, мм	Випаровуваність, мм	Дефіцит випаровування, мм	ГТК
	вище 10 °C	% від базового періоду				
1986-2005 р.	368		506	1310	805	1,4
Період 2021 – 2050 рр.						
RCP4.5	306	83	436	872	436	1.34
Різниця	62	-	70	438	369	-0.6
RCP8.5	312	85	357	727	370	1.26
Різниця	56	-	149	583	435	-0.16

Також значно зменшиться сумарне випаровування, випаровуваність та дефіцит випаровування. В разі реалізації сценарію RCP4.5 сумарне випаровування за період з температурами повітря вище 10 °С зменшиться майже на 70 мм в порівнянні з базовим періодом і становитиме 436 мм.

Випаровуваність зменшиться майже на 440 мм і становитиме 872 мм. Зміна випаровуваності та сумарного випаровування спричинить зменшення дефіциту випаровування на 360 мм.

Такі зміни в режимі випаровування спричинені зменшенням очікуваних сум температур і очікуваних сум опадів на період до 2050 року. Зміни у волого температурному режимі призведуть до зниження показника зволоження – гідротермічного коефіцієнта, який зменшиться до 1,34 відн. од.

Якщо ж до 2050 року будуть спостерігатись зміни клімату за сценарієм RCP8.5, то розрахунки показали (табл. 6.8, рис. 6.14) що теж відзначатимуться зменшення всіх показників вологозабезпечення. Сума опадів становитиме 85 % норми, сумарне випаровування зменшиться на 149 мм, випаровуваність – на 583 мм, ГТК – становитиме 1,26 відн. од.

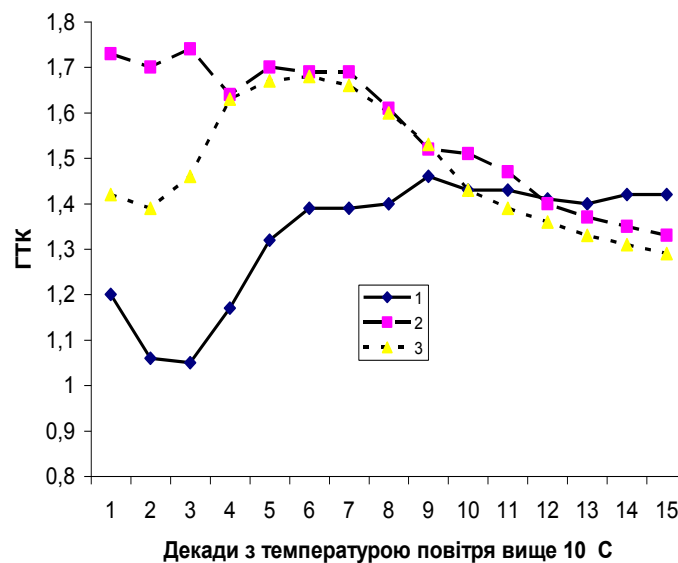


Рисунок 6.14 – Динаміка середніх значень ГТК в зоні Полісся (Житомир) за період з температурами вище 10 °С.
1 – середні багаторічні ГТК за період 1986 – 2005 рр.;
2 – за сценарієм RCP 4.5; 3 – за сценарієм RCP 8.5.

Як видно із рис. 6.14 розраховані за сценаріями очікувані значення коефіцієнта зволоження ГТК в перші декади після переходу температури повітря через 10 °С будуть вищими середніх багаторічних значень, але вже починаючи з восьмої декади вони мають значення нижче ніж середні багаторічні базового періоду.

Лісостепова зона. Режим зволоження в Лісостеповій зоні за період з температурами вище 5 °С та вище 10 °С має досить схожий характер з динамікою зволоження в зоні Полісся (табл. 6.9, 6.10) як за середніми багаторічними даними, так і за даними, які отримані за розрахунками за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 на період до 2050 р. За обома сценаріями зміни клімату очікуватиметься зменшення всіх показників зволоження.

Сума опадів за сценарієм RCP4.5 до 2050 року очікується всього 4 % від середньої багаторічної величини базового періоду, за сценарієм RCP8.5 сума опадів очікується на рівні 94 % від базового періоду.

Таблиця 6.9 – Режим зволоження Лісостепу за різними сценаріями зміни клімату за період з температурою повітря вище 5 °С

Сценарії	Сума опадів за періоди, мм	Сумарне випаровування, мм	Випаровуваність, мм	Дефіцит випаровування, мм
	З температурою повітря вище			
	5 °С			
1986 – 2005р.	391	493	1305	812
Період 2021 - 2050 рр.				
RCP4.5	331-84 %	381	825	444
Різниця	61	112	480	368
RCP8.5	366 – 94 %	409	835	426
Різниця	25	84	470	386

Слід відзначити, що і за період з температурами вище 5 °С і за період з температурами повітря вище 10 °С за сценарієм RCP8,5 зміни будуть менш відчутні, ніж за сценарієм RCP4,5. Особливо це помітно при розрахунках ГТК (табл. 6.10, рис. 6.15).

Таблиця 6.10 – Режим зволоження Лісостепу за різними сценаріями зміни клімату за період з температурою повітря вище 10 °С.

Сценарії	Сума опадів за періоди, мм за періоди з температурою повітря вище 10 °С	Сумарне випаровування, мм	Випаровуваність, мм	Дефіцит випаровування, Мм	ГТК
1986-2005 р.	327	493	1305	872	1,39
Період 2021 – 2050 рр.					
RCP4.5	272 – 83 %	291	703	382	1.16
Різниця	55	192	603	490	0,23
RCP8.5	312 – 95 %	357	727	370	1.25
Різниця	15	136	578	502	0,14

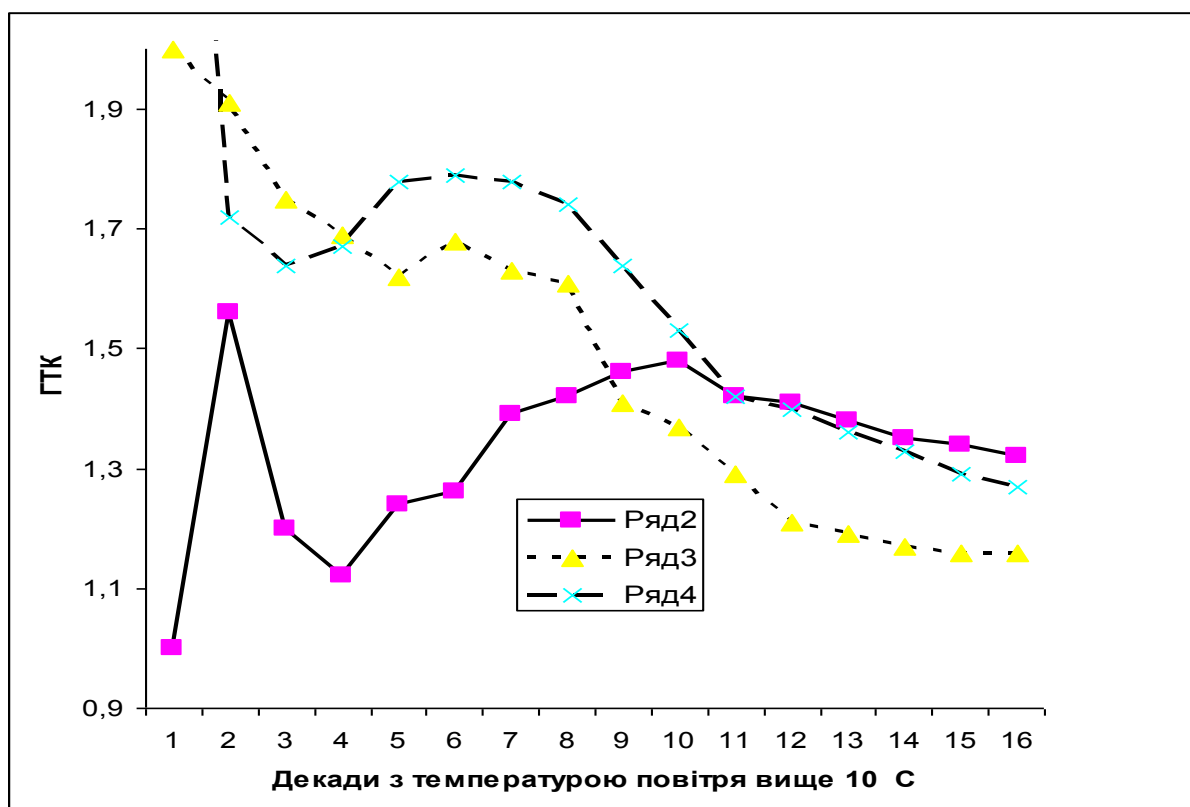


Рисунок 6.15 – Динаміка середніх значень ГТК за період з температурою повітря вище 10 °C в Лісостеповій зоні України (Вінниця).

2 – середні значення ГТК за період 1986 – 2005 рр.;

3 - ГТК за сценарієм RCP4.5; 4 – ГТК за сценарієм RCP8.5.

Після дати переходу температури повітря через 10 °C значення ГТК за обома сценаріями будуть вищими ніж в базовий період до 9 декади періоду. Надалі ГТК буде зменшуватись до кінця періоду, причому більш різке зменшення очікуватиметься за сценарієм RCP4.5. За базовий період середня багаторічна сума опадів становила за період з температурами вище 5 °C в Північному Степу 387 мм , в Південному Степу – 327 мм. (табл. 6.11).

Таблиця 6.11 – Режим зволоження Північного Степу за різними сценаріями зміни клімату за період з температурою вище 5 °C

Сценарії	Сума опадів за періоди з температурою повітря вище 5 °C, мм	Сумарне випаровування, мм	Випаровуваність, мм	Дефіцит випаровування, мм
1986 – 2005р.	387	432	1334	902
RCP4.5	247-63%	347	976	629
Різниця	140	85	358	273
RCP8.5	303- 78%	348	990	642
Різниця	84	84	344	260

Як відзначалось вище за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 в Степовій зоні України сума опадів за рік різко зменшиться, що в свою чергу спричинить зменшення опадів за періоди з температурами вище 5 та вище 10 °С. За обома сценаріями суми опадів очікуються за період з температурами вище 5 °С відповідно 247 та 303 мм, що становитиме тільки 63 % базової суми за сценарієм RCP4.5 та 78 % за сценарієм RCP8.5.

З табл. 6.12 видно, що в період з температурами вище 10 °С динаміка зменшення суми опадів за обома сценаріями збережеться і очікувані суми опадів становитимуть відповідно 62 та 58 % базової суми, тобто 201 та 190 мм відповідно.

Таблиця 6.12 – Режим зволоження Північного Степу за різними сценаріями зміни клімату за період з температурою повітря вище 10 °С

Сценарії	Сума опадів за періоди з температурою повітря вище 10 °С, мм	Сумарне випаровування, мм	Випаровуваність, мм	Дефіцит випаровування, мм	ГТК
1986-2005 р.	325	493	1334	902	1,1
Період 2021 – 2050 рр.					
RCP4.5	201- 62%	397	861	560	0,87
Різниця	124	96	473	342	0,23
RCP8,5	190- 58%	348	875	527	0,85
Різниця	135	84	459	375	0,25

Зменшення сум опадів спричинить зменшення як сумарного випаровування, так і випаровуваності а також дефіциту випаровування та ГТК. Сумарне випаровування буде меншим від базового відповідно на 96 та 84 мм, випаровуваність зменшиться на 450 – 470 мм, а дефіцит випаровування зменшиться відповідно на 342 та 375 мм. Значення ГТК зменшиться за обома сценаріями на 0,23 – 0,25 відн. од.(рис.6.16). Динаміка ходу значень ГТК впродовж періоду має подібний характер до зони Лісостепу, але значення ГТК нижчі. Причому, падіння ГТК з першої до 7 декади періоду за сценаріями відбувається більш інтенсивно, ніж середні багаторічні величини і вже з сьомої декади періоду очікувані значення ГТК за сценаріями будуть нижчими ніж в базовий період, особливо наприкінці періоду з температурами повітря вище 10 °С.

В Південному Степу тенденція зменшення суми опадів за періоди з температурами вище 5 та вище 10 °С за обома сценаріями буде така ж як і в Північному Степу.(табл. 6.13, табл. 6.14).

Особливо помітне зменшення суми опадів буде спостерігатись в Південному Степу в період з температурами вище 10 °С (табл. 6.14) за сценарієм RCP8.5.

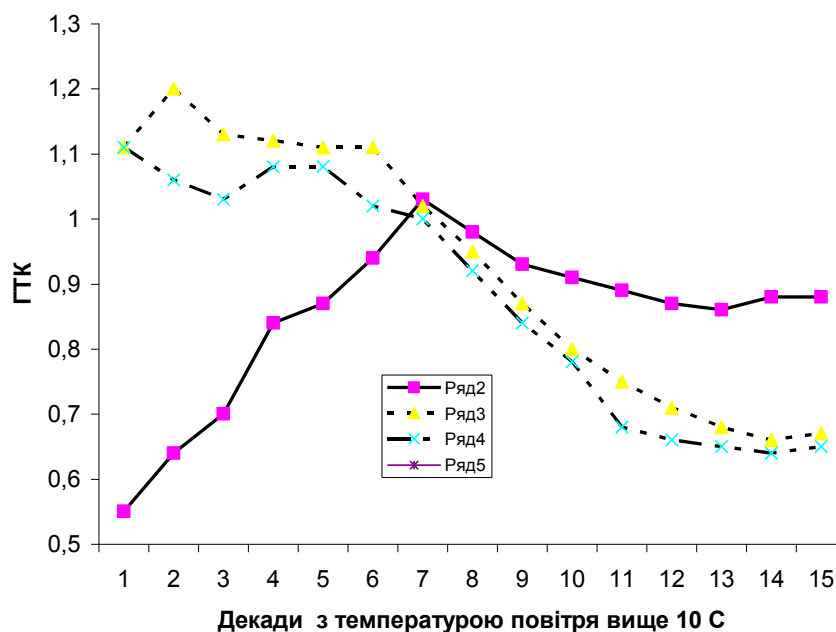


Рисунок 6.16 – Динаміка середніх значень ГТК за період з температурою повітря вище 10 °C в Північному Степу.

2 – середні значення ГТК за період 1986 – 2005 рр.;

3 - ГТК за сценарієм RCP4,5; 4 – ГТК за сценарієм RCP8.5.

Таблиця 6.13 – Режим зволоження Південного Степу за різними сценаріями зміни клімату в період з температурами вище 5 °C

Сценарії	Сума опадів за періоди, мм з температурою повітря вище 5 °C, мм	Сумарне випаровування, мм	Випаровуваність, мм	Дефіцит випаровування, мм
1986 - 2005р.	340	394	1327	1033
2021 – 2050 рр.				
RCP 4.5	202- 59%	297	1010	713
Різниця	138	97	317	320
RCP 8.5	243- 71%	348	1091	743
Різниця	97	46	236	290

Зменшення сум опадів, яке буде очікуватись до 2050 року спричинить зменшення сумарного випаровування, випаровуваності, дефіциту випаровування та коефіцієнту зволоження ГТК (рис. 6.17).

За обома сценаріями зміни клімату очікуватиметься однакове зменшення ГТК до 0,68 – 0,70 відн. од. Тобто посушливість клімату в Південному Степу зростає.

Таблиця 6.14 – Режим зволоження Південного Степу за різними сценаріями зміни клімату в період з температурами вище 10 °С

Сценарії	Сума опадів за періоди з температурою повітря вище 10 °С, мм	Сумарне випаровування, мм	Випаровуваність, мм	Дефіцит випаровування, мм	ГТК
1986 - 2005р.	284	394	1396	1023	0,8
2021 – 2050 pp.					
RCP4.5	186-65%	294	1010	734	0,68
Різниця	98	100	366	299	0.12
RCP8.5	172 – 61 %	286	940	654	0,7
Різниця	112	108	487	379	0.10

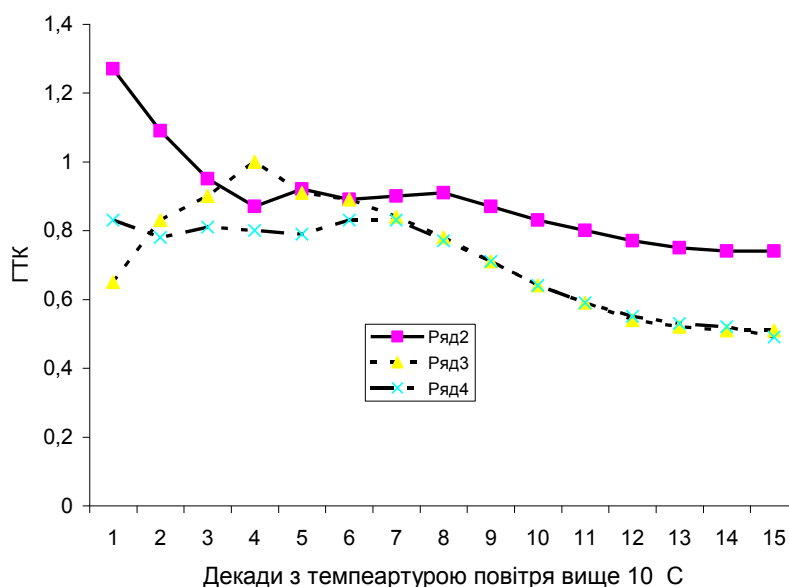


Рисунок. 6.17 – Динаміка середніх значень ГТК за період з температурою повітря вище 10 °С в Південному Степу (Херсон).

2 – середні значення ГТК за період 1986 – 2005 pp.;

3 – ГТК за сценарієм RCP4.5; 4 – ГТК за сценарієм RCP8.5.

Для динаміки формування запасів продуктивної вологи на полях із сільськогосподарськими культурами значну роль відіграють суми опадів за холодний (X – III) та теплий (1У – 1Х) періоди року, тому що опади є основним постачальником запасів продуктивної вологи.

Аналіз табл. 6.15 дозволяє дійти висновку, що з жовтня по березень включно сума опадів в середньому багаторічному за базовий період по території України коливалась від 226 мм в Поліссі до 185 мм в Південному Степу.

Таблиця 6.15 – Режим зволоження в теплий та холодний період року

Періоди, сценарії	Сума опадів за період з жовтня по березень включно		Сума опадів з квітня по вересень включно		Сума опадів за рік	
	мм	% від базової суми	мм	% від базової суми	мм	% від базової суми
Полісся (Житомир)						
1986-2005 рр.	226	-	397	-	623	-
Період 2021 – 2050 рр.						
RCP4.5	245	108	364	93	609	98
RCP8.5	240	106	345	87	585	94
Лісостепова зона (Вінниця)						
1986-2005 рр.	201	-	410	-	611	-
Період 2021 – 2050 рр.						
RCP4.5	216	107	325	79	541	88
RCP8.5	236	117	350	85	587	96
Північний Степ (Дніпропетровськ)						
1986-2005 рр.	224	-	297	-	521	-
Період 2021 – 2050 рр.						
RCP4.5	253	113	213	72	476	91
RCP8.5	251	112	213	72	464	89
Південний Степ (Херсон)						
1986-2005 рр.	185	-	256	-	443	-
Період 2021 – 2050 рр.						
RCP4.5	207	112	176	69	383	86
RCP8.5	225	127	182	71	406	91

Розраховані величини очікуваних сум опадів на період до 2050 року показують, що за обома сценаріями змін клімату в холодний період року очікується збільшення сум опадів. Це збільшення становитиме 106 - 108 % від базової суми в Поліссі і Лісостеповій зоні, та 112 – 113 % в зоні Північного Степу. Різниця між очікуваною сумою опадів за сценаріями спостерігатиметься в Лісостеповій та Степовій зонах. За сценарієм RCP8,5 збільшення суми опадів становитиме 117 – 127 % від базової суми.

В теплий період року за обома сценаріями на період до 2050 року очікується зменшення сум опадів по всій території України. Але слід відзначити що в Поліссі і Лісостеповій зонах зменшення сум опадів буде спостерігатись з меншою інтенсивністю і очікувані суми становитимуть

відповідно 80 – 90 % від суми опадів за базовий період. В Степовій зоні суми опадів становитимуть 69 – 70 % в Південному Степу та 72 % в Північному Степу від базової суми опадів.

Дослідження показали, що розраховані за двома сценаріями показники радіаційного, теплового та водного режиму в період з 2021 по 2050 р будуть значно відрізнятись від середніх багаторічних величин базового періоду.

Слід чекати незначне підвищення складових радіаційного режиму в усіх агрокліматичних зонах України, яке спричинить підвищення сум температур на 200 °С тільки в зоні Південного Степу України.

Річна сума опадів очікуватиметься менше ніж в базовий період в усіх агрокліматичних зонах. Зменшиться і сума опадів і в теплий період року, що спричинить зменшення ГТК і збільшення частоти посушливих явищ.

6.4 Вплив зміни клімату на продуктивність озимого жита

Озиме жито, незважаючи на певні негативні явища, було і є однією з найцінніших продовольчих та фуражних культур в Україні. На відміну від пшениці озимої, жито є менш вибагливим до ґрунтових умов, може рости за підвищеної кислотності ґрунту. Кореневі волоски жита здатні засвоювати з ґрунту важкорозчинні мінеральні сполуки. Також, жито має вищу стійкість до морозів та бур'янів, хвороб і шкідників, високу екологічну пластичність, може вирощуватися після гірших попередників. Усе це ставить озиме жито в ряд особливо цінних сільськогосподарських культур сьогодення [11].

Озиме жито є також цінною кормовою культурою. У тваринництві у вигляді концентрованого корму використовують житні висівки та кормове борошно, які містять 11 – 12 % білків і добре засвоюються тваринами. Сіють озиме жито на зелений корм, яким забезпечують велику рогату худобу в ранньовесняний період. За вмістом білка в зеленій масі (13,9 %) жито переважає озиму пшеницю і кукурудзу у фазі викидання волотей. Нерідко озиме жито вирощують і на сіно [12, 13].

6.4.1 Агрокліматичні умови вирощування озимого жита при реалізації сценарію RCP4.5

Аналіз тенденції зміни клімату за сценарієм RCP4.5 виконано шляхом порівняння даних за кліматичним сценарієм та середніх багаторічних характеристик кліматичних та агрокліматичних показників за два періоди: 1986 – 2005 рр. (базовий період), 2021 – 2050 рр. (сценарний період).

За даними 1986-2005 рр. (базовими), відновлення вегетації озимого жита майже співпадають з датами переходу температури повітря через 5 °С, і спостерігаються в третій декаді березня – в Поліссі 30 березня, а в Лісостепу

27 березня (табл. 6.16). За умов реалізації сценарію зміни клімату RCP4.5 в Поліссі дата відновлення вегетації зміститься на більш пізні строки – 5 квітня. На території Лісостепу дата відновлення вегетації озимого жита припадає на 11 квітня, що на 15 днів пізніше, ніж за базових умов (табл. 6.16).

Таблиця 6.16 – Фази розвитку озимого жита за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценарієм зміни клімату RCP4.5 (2021-2050 рр.)

Період	Відновлення вегетації	Поява нижнього вузла соломини	Колосіння	Воскова стиглість	Тривалість періоду, дні
Полісся					
1986-2005	30.03	7.05	23.05	13.07	105
2021-2050	5.04	13.05	30.05	22.07	108
Різниця	+6	+6	+7	+9	+3
Лісостеп					
1986-2005	27.03	4.05	27.05	16.07	111
2021-2050	11.04	12.05	4.06	28.07	108
Різниця	+15	+8	+8	+12	-3

Поява нижнього вузла соломини, як показали наші розрахунки, спостерігається при накопиченні суми активних температур порядку 300°C (табл. 6.17). Найраніше фаза появи нижнього вузла соломини спостерігається в Лісостепу (4 травня), трохи пізніше в Поліссі (7 травня). За умов реалізації сценарію зміни клімату RCP4.5, дата появи нижнього вузла соломини спостерігається також при накопиченні суми активних температур порядку 300°C, як і за середньо багаторічними даними (табл. 6.17). На території Полісся дата появи нижнього вузла соломини спостерігається 13 травня, що на шість днів пізніше, ніж за базових умов (табл. 6.16). На території Лісостепу дата появи нижнього вузла соломини озимого жита припадає на 12 травня, що на 8 днів пізніше, ніж за базових умов (табл. 6.16).

Колосіння озимого жита за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) раніше спостерігається в Поліссі - 25 травня, в Лісостепу на чотири дні пізніше – 27 травня (табл. 6.17). За умов реалізації сценарію зміни клімату RCP4.5, на території Полісся дата колосіння спостерігається 30 травня, що на сім днів пізніше, ніж за базових умов (табл. 6.17). На території Лісостепу дата колосіння озимого жита припадає на 4 червня, що на 8 днів пізніше, ніж за базових умов (табл. 6.17).

Воскова стиглість озимого жита за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) спостерігається в другій декаді липня – 13 липня в Поліссі та 16 липня в Лісостепу (табл. 6.17). За умов реалізації сценарію зміни клімату RCP4.5, на території Полісся дата воскової стиглості буде спостерігатися 22 липня, що на дев'ять днів пізніше, ніж за базових умов (табл. 6.17). На

території Лісостепу дата воскової стиглості озимого жита припадає на 28 липня, що на дванадцять днів пізніше, ніж за базових умов (табл. 6.17).

Таблиця 6.17 - Агрокліматичні умови вирощування озимого жита за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценарієм зміни клімату RCP4.5 (2021-2050 рр.)

Період	Відновлення вегетації - поява нижнього вузла соломини			Поява нижнього вузла соломини - колосіння			Колосіння – воскова стиглість			Весь вегетаційний період		
	t	T	R	t	T	R	t	T	R	t	T	R
Полісся												
1986-2005	9,1	343	100	14,6	233	100	17,0	869	100	13,8	1445	100
2021-2050	8,9	321	123	14,1	240	152	16,9	917	85	13,9	1479	102
Різниця	-0,2	-12	+23	-0,5	+7	+52	-0,1	+48	-15	+0,1	+34	+2
Лісостеп												
1986-2005	7,9	300	100	14,3	328	100	18,2	911	100	13,5	1539	100
2021-2050	9,3	298	83	14,0	323	154	17,6	935	89	13,6	1556	100
Різниця	+1,4	-2	-17	-0,3	-5	+54	-0,6	+24	-11	+0,1	+17	0

Примітка: *t* - середня температура повітря за період, °C; *T* - сума активних температур за період, °C; *R* – сума опадів за період, %.

Температурні умови грають важливу роль в житті рослин. Вони можуть прискорити або сповільнити їх розвиток в певні періоди. Максимальна продуктивність рослин проявляється тільки при оптимальному температурному режимі, властивому кожному виду, сорту і змінюваному по фазах їх розвитку.

Сума температур за період відновлення вегетації - поява нижнього вузла соломини в умовах зміни клімату RCP4.5 менш лише на 2-12 °C ніж за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.). Середня температура повітря на території Полісся за період відновлення вегетації - поява нижнього вузла соломини в умовах зміни клімату RCP4.5 складає 8,9 °C, що на 0,2 °C менш, ніж за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.), а на території Лісостепу, навпаки, середня температура за період буде більше на 1,4 °C середньо багаторічних значень та становить 9,3 °C (табл. 6.17).

Незначно зниженим буде і температурний режим в період поява нижнього вузла соломини - колосіння в умовах зміни клімату RCP4.5. Середня температура повітря на території Полісся за період умовах зміни клімату RCP4.5 буде на 0,5 °C менш (14,1 °C), ніж за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.), а на території Лісостепу менше на 0,3 °C (14,0 °C) за середньо багаторічні значення (табл. 6.17).

Температурний режим періоду колосіння – воскова стиглість також буде проходити на фоні зменшених температур, але не набагато – в Поліссі на 0,1 °C (16,9 °C), а в Лісостепу на 0,6 °C (17,6 °C) менш у порівнянні з середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) (табл. 6.17).

Порівняння сум температур за вегетаційний період озимого жита в умовах зміни клімату за сценарієм RCP4.5 з таким же показником в базовий період показує, що ці суми зростуть не значно, не дивлячись на зміщення початку вегетації на більш пізні терміни, температурний фон у цьому випадку буде дещо нижчим, і за вегетаційний період озимого жита (умовно він складає 110 днів після відновлення вегетації) будуть накопичуватись більші суми температур. Причому, збільшення сум активних температур в умовах зміни клімату RCP4.5 у Поліссі буде більш суттєвим (+34 °C), ніж у Лісостепу (+17 °C).

В цілому можна сказати, що за реалізації сценарію RCP4.5 температурні умови вегетаційного періоду озимого жита на території областей України, що вирощують цю культуру, залишаться вельми сприятливими.

Роль вологи в житті рослин величезна. За допомогою води відбувається транспорт елементів мінерального живлення з коренів в надземні частини, а асимілятів з листя - до інших органів рослин, а також підтримується необхідний при цьому температурний режим.

Формуючи велику масу зерна, соломи і коренів, озиме жито витрачає багато води (до 100 мм на 1 т зерна). Однак, використовуючи ґрунтові запаси і вологу осінньої, весняних та літніх опадів, а також розвиваючись, переважно при невисоких температурах і зниженому випаровуванні, ця культура зазвичай не відчуває дефіциту вологи. Транспіраційний коефіцієнт у жита 340 – 420 [14].

Для оцінки вологозабезпеченості вегетаційного періоду озимого жита аналізувались такі ж періоди як і для теплозабезпеченості: базовий 1986 – 2005 рр. та розрахунковий за кліматичним сценарієм RCP4.5. При цьому розглядались такі показники: сума опадів за період, сумарне випаровування, випаровуваність та вологозабезпеченість. Результати розрахунків представлені у таблиці 6.17 та 6.18.

Так, кількість опадів у період відновлення вегетації - поява нижнього вузла соломини в умовах зміни клімату RCP4.5 в Поліссі збільшиться та становитиме 123 % від середньо багаторічних значень (1986-2005 рр.), а на території Лісостепу, навпаки, кількість опадів зменшиться та становитиме 83 % від середньо багаторічних значень (1986-2005 рр.) (табл. 6.17).

Сумарне випаровування за період відновлення вегетації - поява нижнього вузла соломини в умовах зміни клімату RCP4.5 зменшиться в Поліссі на 25 мм, в Лісостепу на 16 мм, значення випаровуваності зменшиться на 24 та 16 мм відповідно. Такі умови призвели до зниження оцінки вологозабезпеченості в середньому на 10 % (табл. 6.18).

Кількість опадів у період поява нижнього вузла соломини – колосіння в умовах зміни клімату RCP4.5 в Поліссі та Лісостепу збільшиться та

становитиме 152-154 % від середньо багаторічних значень (1986-2005 рр.) (табл. 6.17). За таких умов значення сумарного випаровування за період поява нижнього вузла соломини – колосіння в умовах зміни клімату RCP4.5 зменшиться в Поліссі та Лісостепу на 10 та 32 мм відповідно, значення випаровуваності зменшиться відповідно на 13 та 38 мм. Оцінка вологозабезпеченості в умовах зміни клімату RCP4.5 на території Полісся збільшиться на 13 % , на території Лісостепу збільшиться на 34 % (табл. 6.18) у порівнянні з середньо багаторічними даними.

Таблиця 6.18 – Порівняння показників режиму вологозабезпеченості озимого жита за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценарієм зміни клімату RCP4.5 (2021-2050 рр.)

Період	Відновлення вегетації - поява нижнього вузла соломини			Поява нижнього вузла соломини - колосіння			Колосіння – воскова стиглість			Весь вегетаційний період	
	E	E ₀	V	E	E ₀	V	E	E ₀	V	V	ГТК
Полісся											
1986-2005	66	63	1,06	51	53	0,97	163	173	0,93	0,99	1,5
2021-2050	41	39	0,92	41	40	1,10	165	163	1,15	1,08	1,5
Різниця	-25	-24	-0,09	-10	-13	+0,13	+2	-10	+0,22	+0,09	0
Лісостеп											
1986-2005	61	66	0,90	88	101	0,85	131	165	0,78	0,84	1,3
2021-2050	45	50	0,82	56	63	1,19	125	143	1,05	1,02	1,2
Різниця	-16	-16	-0,08	-32	-38	+0,34	-6	-22	+0,27	+0,18	-0,1

Примітка: E - сумарне випаровування, мм; E₀ - випаровуваність, мм; V - вологозабезпеченість, від.од.; ГТК – гідротермічний коефіцієнт.

Кількість опадів у період поява нижнього вузла соломини – колосіння в умовах зміни клімату RCP4.5 в Поліссі та Лісостепу збільшиться та становитиме 152-154 % від середньо багаторічних значень (1986-2005 рр.) (табл. 6.17). За таких умов значення сумарного випаровування за період поява нижнього вузла соломини – колосіння в умовах зміни клімату RCP4.5 зменшиться в Поліссі та Лісостепу на 10 та 32 мм відповідно, значення випаровуваності зменшиться відповідно на 13 та 38 мм. Оцінка вологозабезпеченості в умовах зміни клімату RCP4.5 на території Полісся збільшиться на 13 % , на території Лісостепу збільшиться на 34 % (табл. 6.18) у порівнянні з середньо багаторічними даними.

Кількість опадів у період колосіння – воскова стиглість в умовах зміни клімату RCP4.5 в Поліссі та Лісостепу зменшиться та становитиме 85 та 89 % відповідно від середньо багаторічних значень (1986-2005 рр.) (табл. 6.17). За

таких умов значення сумарного випаровування за період колосіння – воскова стиглість в умовах зміни клімату RCP4.5 збільшиться в Поліссі на 2 мм, а в Лісостепу зменшиться на 6 мм, значення випаровуваності також зменшиться на 10 та 22 мм відповідно. Оцінка вологозабезпеченості в умовах зміни клімату RCP4.5 на території Полісся збільшиться на 22 % , на території Лісостепу збільшиться на 27 % (табл. 6.18) у порівнянні з середньо багаторічними даними.

В цілому за період вегетації сума опадів становить норму, але за рахунок знижених температур оцінка вологозабезпеченості в умовах зміни клімату RCP4.5 на території Полісся збільшиться на 9 %, на території Лісостепу збільшиться на 18 % (табл. 6.18) у порівнянні з середньо багаторічними даними.

Значення гідротермічного коефіцієнту в Поліссі не зміниться, та становитиме 1,5, а на території Лісостепу зі значення в 1,3 зменшиться до 1,2.

Таким чином, можна зробити висновок, що за умов реалізації сценарію зміни клімату RCP4.5 умови вегетації озимого жита в районах України, що вирощують цю культуру, суттєво не зміняться, але вегетація проходитиме на фоні дещо знижених температур повітря та незначного зменшення кількості опадів.

6.4.2 Агрокліматичні умови вирощування озимого жита при реалізації сценарію RCP8.5

Аналіз тенденції зміни клімату за сценарієм RCP8.5 виконано шляхом порівняння даних за кліматичним сценарієм та середніх багаторічних характеристик кліматичних та агрокліматичних показників за два періоди: 1986 – 2005 рр. (базовий період), 2021 – 2050 рр. (сценарний період).

За даними 1986-2005 рр. (базовими), відновлення вегетації озимого жита майже співпадають з датами переходу температури повітря через 5 °С, і спостерігаються в третій декаді березня – в Поліссі 30 березня, а в Лісостепу 27 березня (табл. 6.19). За умов реалізації сценарію зміни клімату RCP8.5 в Поліссі дата відновлення вегетації зміститься на більш пізні строки – 8 квітня. На території Лісостепу дата відновлення вегетації озимого жита припадає на 14 квітня, що на 19 днів пізніше, ніж за базових умов (табл. 6.20).

Поява нижнього вузла соломини, як показали наші розрахунки, спостерігається при накопиченні суми активних температур порядку 300-340 °С (табл. 6.20). Найраніше фаза поява нижнього вузла соломини спостерігається в Лісостепу (4 травня), трохи пізніше в Поліссі (7 травня). За умов реалізації сценарію зміни клімату RCP8.5, дата появи нижнього вузла соломини спостерігається також при накопиченні суми активних температур порядку 300°С, як і за середньо багаторічними даними (табл. 6.20).

Таблиця 6.19 – Фази розвитку озимого жита за середньо багаторічними даними (1986-2005 pp.) та за сценарієм зміни клімату RCP8.5 (2021-2050 pp.)

Період	Відновлення вегетації	Поява нижнього вузла соломини	Колосіння	Воскова стиглість	Тривалість періоду, дні
Полісся					
1986-2005	30.03	7.05	23.05	13.07	105
2021-2050	8.04	10.05	27.05	23.07	106
Різниця	+9	+3	+4	+10	+1
Лісостеп					
1986-2005	27.03	4.05	27.05	16.07	111
2021-2050	14.04	14.05	8.06	28.07	115
Різниця	+19	+10	+12	+8	+4

Таблиця 6.20 – Агрокліматичні умови вирощування озимого жита за середньо багаторічними даними (1986-2005 pp.) та за сценарієм зміни клімату RCP8.5 (2021-2050 pp.)

Період	Відновлення вегетації - поява нижнього вузла соломини			Поява нижнього вузла соломини - колосіння			Колосіння – воскова стиглість			Весь вегетаційний період		
	t	T	R	t	T	R	t	T	R	t	T	R
Полісся												
1986-2005	9,1	343	100	14,6	233	100	17,0	869	100	13,8	1445	100
2021-2050	9,9	316	88	14,4	245	148	16,3	928	97	14,2	1489	105
Різниця	+0,8	-27	-12	-0,2	+12	+48	-0,7	+59	-3	+0,4	+44	+5
Лісостеп												
1986-2005	7,9	300	100	14,3	328	100	18,2	911	100	13,5	1539	100
2021-2050	10,1	302	87	13,7	342	164	17,9	894	81	13,1	1512	98
Різниця	+2,2	+2	-13	-0,6	+14	+64	-0,3	-15	-19	-0,4	-27	-2

Примітка: *t* - середня температура повітря за період, °C; *T* - сума активних температур за період, °C; *R* – сума опадів за період в % від норми..

На території Полісся дата появи нижнього вузла соломини спостерігається 10 травня, що на три дні пізніше, ніж за базових умов (табл. 6.20). На території Лісостепу дата появи нижнього вузла соломини озимого жита припадає на 14 травня, що на 10 днів пізніше, ніж за базових умов (табл. 6.19).

Колосіння озимого жита за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) раніше спостерігається в Поліссі - 25 травня, в Лісостепу на чотири дні пізніше – 27 травня (табл. 6.19). За умов реалізації сценарію зміни клімату RCP8.5, на території Полісся дата колосіння спостерігається 27 травня, що на чотири дні пізніше, ніж за базових умов (табл. 6.19). На території Лісостепу дата колосіння озимого жита припадає на 8 червня, що на 12 днів пізніше, ніж за базових умов (табл. 6.19).

Воскова стиглість озимого жита за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) спостерігається в другій декаді липня – 13 липня в Поліссі та 16 липня в Лісостепу (табл. 6.19). За умов реалізації сценарію зміни клімату RCP8.5, на території Полісся дата воскової стиглості буде спостерігатися 23 липня, що на десять днів пізніше, ніж за базових умов (табл. 6.19). На території Лісостепу дата воскової стиглості озимого жита припадає на 28 липня, що на 8 днів пізніше, ніж за базових умов (табл. 6.19).

Сума температур за період відновлення вегетації - поява нижнього вузла соломини в умовах зміни клімату RCP8.5 в Поліссі менше на 27 °C ніж за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.). Середня температура повітря на території Полісся за період відновлення вегетації - поява нижнього вузла соломини в умовах зміни клімату RCP8.5 складає 9,9 °C, що на 0,8 °C більш, ніж за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.), а на території Лісостепу, середня температура за період буде більше на 2,2 °C середньо багаторічних значень та становить 10,1 °C (табл. 6.20).

Незначно зниженим буде і температурний режим в період поява нижнього вузла соломини - колосіння в умовах зміни клімату RCP8.5. Середня температура повітря на території Полісся за період умовах зміни клімату RCP8.5 буде на 0,2 °C менш (14,4 °C), ніж за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.), а на території Лісостепу менше на 0,6 °C (13,7 °C) за середньо багаторічні значення (табл. 6.20).

Температурний режим періоду колосіння – воскова стиглість також буде проходити на фоні знижених температур, але не набагато – в Поліссі на 0,7 °C (16,3 °C), а в Лісостепу на 0,3 °C (17,9 °C) менш у порівнянні з середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) (табл. 6.20).

Порівняння сум температур за вегетаційний період озимого жита в умовах зміни клімату за сценарієм RCP8.5 з таким же показником в базовий період показує, що ці суми зростуть не значно, не дивлячись на зміщення початку вегетації на більш пізні терміни, температурний фон у цьому випадку буде дещо нижчим, і за вегетаційний період озимого жита (умовно він складає 100 днів після відновлення вегетації) будуть накопичуватись більші суми температур. Причому, збільшення сум активних температур в умовах зміни клімату RCP8.5 у Поліссі буде більш суттєвим (+44 °C), а в Лісостепу, навпаки, спостерігається зменшення (-27 °C).

В цілому можна сказати, що за реалізації сценарію RCP8.5 температурні умови вегетаційного періоду озимого жита на території областей України, що вирощують цю культуру, залишаться вельми сприятливими.

Для оцінки вологозабезпеченості вегетаційного періоду озимого жита аналізувались такі ж періоди як і для теплозабезпеченості: базовий 1986 – 2005 рр. та розрахунковий за кліматичним сценарієм RCP8.5. При цьому розглядались такі показники: сума опадів за період, сумарне випаровування, випаровуваність та вологозабезпеченість. Результати розрахунків представлені у таблиці 6.21.

Так, кількість опадів у період відновлення вегетації - поява нижнього вузла соломини в умовах зміни клімату RCP8.5 в Поліссі становить 88 % від середньо багаторічних значень (1986-2005 рр.), на території Лісостепу кількість опадів також зменшиться та становитиме 87 % від середньо багаторічних значень (1986-2005 рр.) (табл. 6.20).

Сумарне випаровування за період відновлення вегетації - поява нижнього вузла соломини в умовах зміни клімату RCP8.5 зменшиться в Поліссі на 4 мм, в Лісостепу на 1 мм, значення випаровуваності зменшиться на 2 та 6 мм відповідно. Такі умови призвели до зниження оцінки вологозабезпеченості в Поліссі на 4 % та збільшення до 10 % в умовах Лісостепу (табл. 6.21).

Таблиця 6.21 – Порівняння показників режиму вологозабезпеченості озимого жита за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценарієм зміни клімату RCP8.5 (2021-2050 рр.)

Період	Відновлення вегетації - поява нижнього вузла соломини			Поява нижнього вузла соломини- колосіння			Колосіння – воскова стиглість			Весь вегетаційний період	
	E	E ₀	V	E	E ₀	V	E	E ₀	V	V	ГТК
Полісся											
1986-2005	66	63	1,06	51	53	0,97	163	173	0,93	0,99	1,5
2021-2050	62	61	1,02	41	42	0,98	127	147	0,86	0,92	1,4
Різниця	-4	-2	-0,04	-10	-11	+0,01	-36	-26	-0,07	-0,07	-0,1
Лісостеп											
1986-2005	61	66	0,90	88	101	0,85	131	165	0,79	0,84	1,3
2021-2050	60	60	1,0	39	40	0,98	123	128	0,96	0,97	1,3
Різниця	-1	-6	+0,1	-49	-61	+0,13	-8	-37	+0,17	+0,07	0

Примітка: E - сумарне випаровування, мм; E₀ - випаровуваність, мм; V - вологозабезпеченість, від.од.; ГТК – гідротермічний коефіцієнт

Кількість опадів у період поява нижнього вузла соломини – колосіння в умовах зміни клімату RCP8.5 в Поліссі та Лісостепу збільшиться та становитиме 148 та 144 % від середньо багаторічних значень (1986-2005 рр.) (табл. 6.20). Значення сумарного випаровування за період поява нижнього

вузла соломини – колосіння в умовах зміни клімату RCP8.5 зменшиться в Поліссі та Лісостепу на 10 та 49 мм відповідно, значення випаровуваності зменшиться на 11 та 61 мм, також відповідно. Оцінка вологозабезпеченості в умовах зміни клімату RCP8.5 на території Полісся та Лісостепу становитиме 98 % (табл. 6.21) у порівнянні з середньо багаторічними даними.

Кількість опадів у період колосіння – воскова стиглість в умовах зміни клімату RCP8.5 в Поліссі та Лісостепу зменшиться та становитиме 97 та 81 % відповідно від середньо багаторічних значень (1986-2005 рр.) (табл. 6.20). За таких умов значення сумарного випаровування за період колосіння – воскова стиглість в умовах зміни клімату RCP8.5 зменшиться в Поліссі та Лісостепу на 36 та 8 мм відповідно, значення випаровуваності також зменшиться на 26 та 37 мм відповідно. Оцінка вологозабезпеченості в умовах зміни клімату RCP8.5 на території Полісся зменшиться на 7 % , на території Лісостепу збільшиться на 17 % (табл. 6.21) у порівнянні з середньо багаторічними даними.

В цілому за період вегетації сума опадів становить норму, але за рахунок знижених температур оцінка вологозабезпеченості в умовах зміни клімату RCP8.5 на території Полісся зменшиться на 10 % , на території Лісостепу збільшиться на 7 % (табл. 6.21) у порівнянні з середньо багаторічними даними.

Значення гідротермічного коефіцієнту в Поліссі зміниться, та становитиме 1,4, а на території Лісостепу змін не відбудеться.

Таким чином, можна зробити висновок, що за умов реалізації сценарію зміни клімату RCP8.5 умови вегетації озимого жита в районах України, що вирощують цю культуру, суттєво не зміняться, але вегетація проходитиме на фоні дещо знижених температур повітря та зменшення кількості опадів.

6.4.3 Фотосинтетична продуктивність озимого жита при реалізації сценарію RCP4.5 зміни клімату в Україні

Під впливом зміни агрокліматичних умов вирощування озимого жита, відбудеться і зміна показників фотосинтетичної діяльності його посівів, що обумовлює рівень урожайності культури. Згідно теорії фотосинтетичної продуктивності посівів такими показниками являються розміри фотосинтезуючої площі та фотосинтетичний потенціал посівів, а також кількісні показники приростів рослинної біомаси [15, 16, 17].

Розглянемо динаміку цих показників протягом вегетації озимого жита за базовим та кліматичним (сценарним) варіантом. На рисунку 6.18 представлена динаміка накопичення відносної площі листя посівів озимого жита в умовах зміни клімату RCP4.5 у порівнянні з базовим періодом (1986-2005 рр.) на території Полісся.

Накопичення відносної площі листя інтенсивно проходить до шостої декади вегетації, далі у 7 декаду вегетації відносна площа листя досягає

свого максимуму. Така ж ситуація спостерігається за середньо багаторічних умов - , максимальне значення відносної площі листя становить $2 \text{ м}^2/\text{м}^2$.

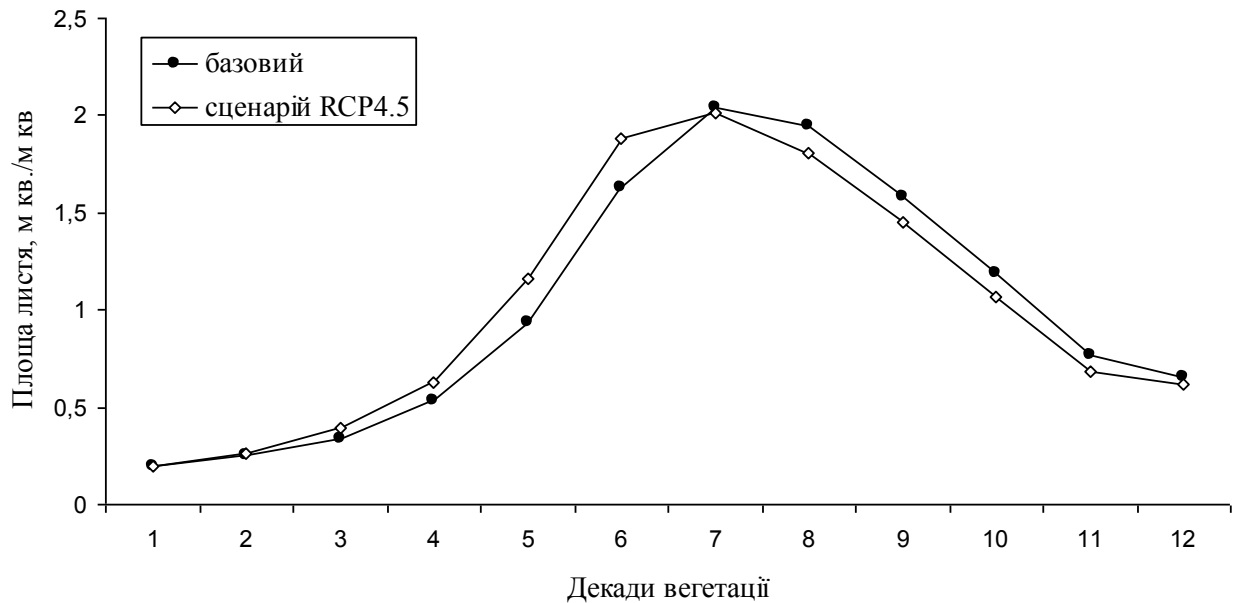


Рис. 6.18 - Динаміка відносної площі листя посівів озимого жита в Поліссі за умов зміни клімату за сценарієм RCP4.5 у порівнянні з базовим періодом (1986-2005 рр.)

Більш раннє формування площі листкової поверхні при зниженому температурному режимі призведе до більш низьких рівнів інтенсивності фотосинтезу (рис. 6.19) порівняно з базовим періодом.

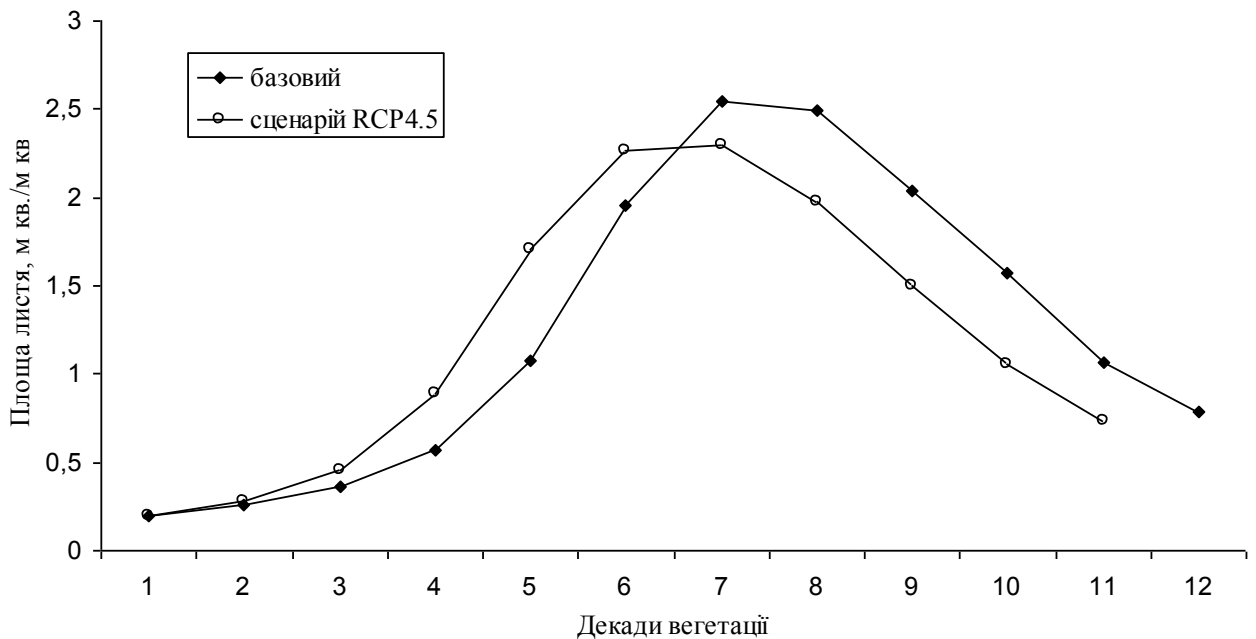


Рисунок 6.19 – Динаміка відносної площі листя посівів озимого жита в Лісостепу за умов зміни клімату за сценарієм RCP4.5 у порівнянні з базовим періодом (1986-2005 рр.)

Максимальних значень площа листової поверхні досягає у цьому декаду та становить $2,6 \text{ м}^2/\text{м}^2$. За рахунок зміни кліматичних умов відбудеться зниження максимальної відносної площі листя до $2,3 \text{ м}^2/\text{м}^2$ (табл. 6.22).

Таблиця 6.22 – Показники фотосинтетичної продуктивності посівів озимого жита в умовах зміни клімату за сценарієм RCP4.5 у порівнянні з базовим періодом (1986-2005 pp.)

Період	Варіант	Період максимального росту			Урожай, ц/га
		площа листової поверхні, м ² /м ²	приріст загальної сухої біомаси, г/м ² за добу	Чиста продуктивність фотосинтезу, г/м ² за добу	
Полісся					
1986–2005	Базовий	2,04	14,5	7,3	100
2021–2050	Сценарій RCP4.5	2,01	12,3	6,4	94
Лісостеп					
1986–2005	Базовий	2,55	18,8	7,5	100
2021–2050	Сценарій RCP4.5	2,30	16,5	7,2	96

В умовах Полісся максимальними значеннями інтенсивності фотосинтезу за сценарієм зміни клімату RCP4.5 становить $16,7 \text{ мг CO}_2/\text{дм}^2 \cdot \text{год}$, а в умовах Лісостепу досягає $21,8 \text{ мг CO}_2/\text{дм}^2 \cdot \text{год}$ в порівнянні з базовим - $18,7$ та $24,9 \text{ мг CO}_2/\text{дм}^2 \cdot \text{год}$ відповідно.

Такий хід площі асимілюючої поверхні та інтенсивності фотосинтезу обумовив і відповідний рівень динаміки загальної сухої біомаси посівів озимого жита. На рисунку 6.20 представлена суха маса цілої рослини озимого жита в умовах зміни клімату RCP4.5 в порівнянні з базовим періодом (1986-2005 pp.) для умов Полісся.

Найбільш високі прирости загальної біомаси будуть спостерігатися в 7 - 8 декадах вегетації в Поліссі. За рахунок змін кліматичних умов сценарного періоду максимальний приріст зменшиться з $14,5$ до $12,3 \text{ г}/\text{м}^2$ за день (на 15 %). Загальна суха біомаса посіву за рахунок зміни кліматичних умов в Поліссі зменшиться до $600 \text{ г}/\text{м}^2$ (базове значення складає $617 \text{ г}/\text{м}^2$).

В умовах Лісостепу найбільш високі прирости загальної біомаси будуть спостерігатися раніше в 6 - 7 декадах вегетації (рис. 6.21). За рахунок змін кліматичних умов сценарного періоду максимальний приріст зменшиться з $18,8$ до $16,5 \text{ г}/\text{м}^2$ за день (на 12 %). Загальна суха біомаса посіву за рахунок зміни кліматичних умов в Поліссі зменшиться до $710 \text{ г}/\text{м}^2$ (базове значення складає $777 \text{ г}/\text{м}^2$).

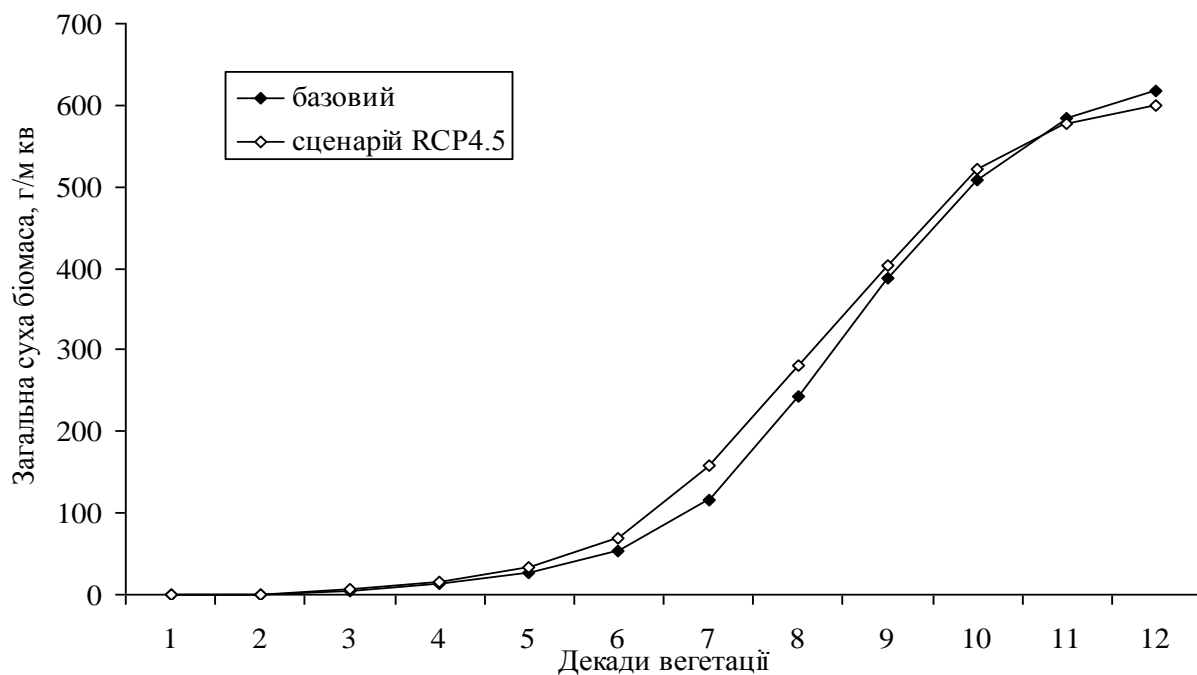


Рисунок 6.20 – Динаміка загальної сухої біомаси озимого жита в Поліссі в умовах зміни клімату за сценарієм RCP4.5 у порівнянні з базовим періодом (1986-2005 рр.)

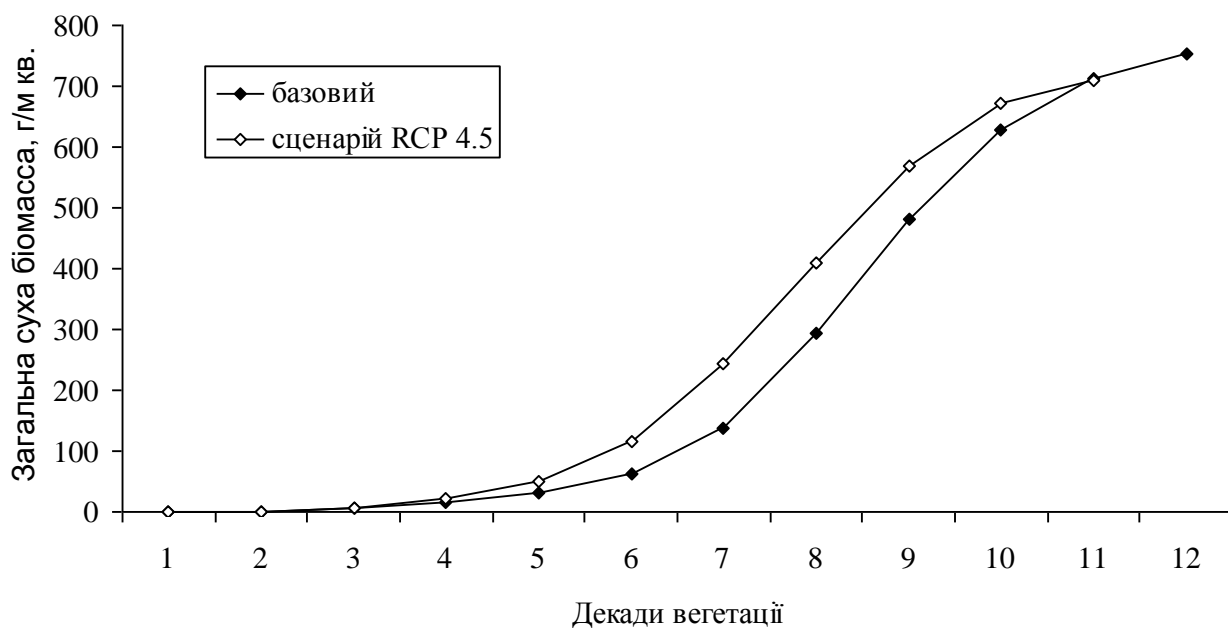


Рисунок 6.21 – Динаміка загальної сухої біомаси озимого жита в Лісостепу в умовах зміни клімату за сценарієм RCP4.5 у порівнянні з базовим періодом (1986-2005 рр.).

Чиста продуктивність фотосинтезу (ЧПФ) визначає продукційний процес озимого жита. Одним із зовнішніх проявів фотосинтезу є збільшення маси фотосинтезуючих тканин за рахунок фотосинтетичного утворення органічних речовин. Криві динаміки ЧПФ озимого жита по декадах за період вегетації в умовах зміни клімату RCP4.5 у порівнянні з базовим періодом (1986-2005 рр.) представлені на рис. 6.22 А – в Поліссі та на рис. 6.22 Б – в Лісостепу. Як випливає з малюнка, максимальні значення ЧПФ в Поліссі будуть спостерігатися в 7 - 8 декадах вегетації. За рахунок змін кліматичних умов сценарного періоду максимальне значення ЧПФ зменшиться з 7,3 до 6,4 г/м² за день (на 12 %).

В умовах Лісостепу максимальні значення ЧПФ будуть спостерігатися в 5 - 7 декадах вегетації. За рахунок змін кліматичних умов сценарного періоду максимальне значення ЧПФ зменшиться незначно - з 7,5 до 7,3 г/м² за день (на 3 %).

Таким чином, можна зробити висновок, що хоч умови вегетації й будуть проходити на умов зниження температурного режиму за рахунок змін кліматичних умов сценарного періоду, але до значного погіршення умов вирощування озимого жита це не призведе. Значення врожаю за рахунок змін кліматичних умов становитиме в Поліссі – 94 %, а в Лісостепу - 96 % у порівнянні з середньо багаторічними значеннями.

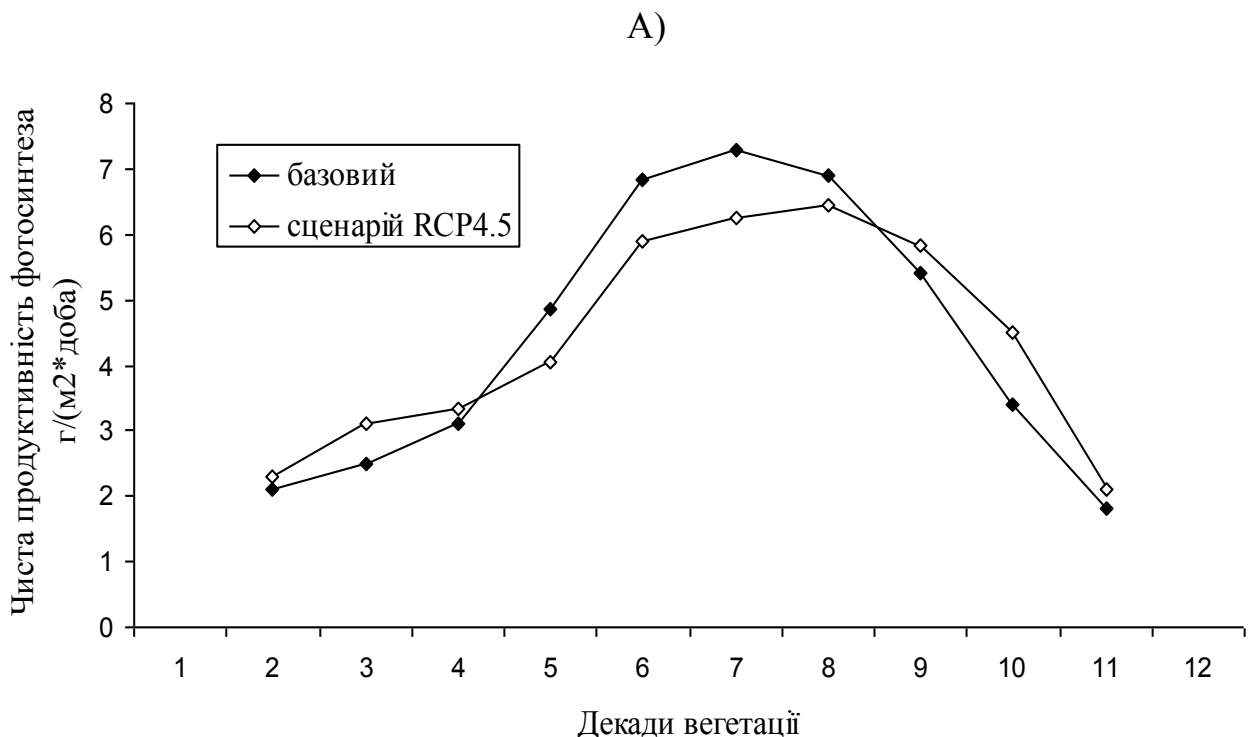
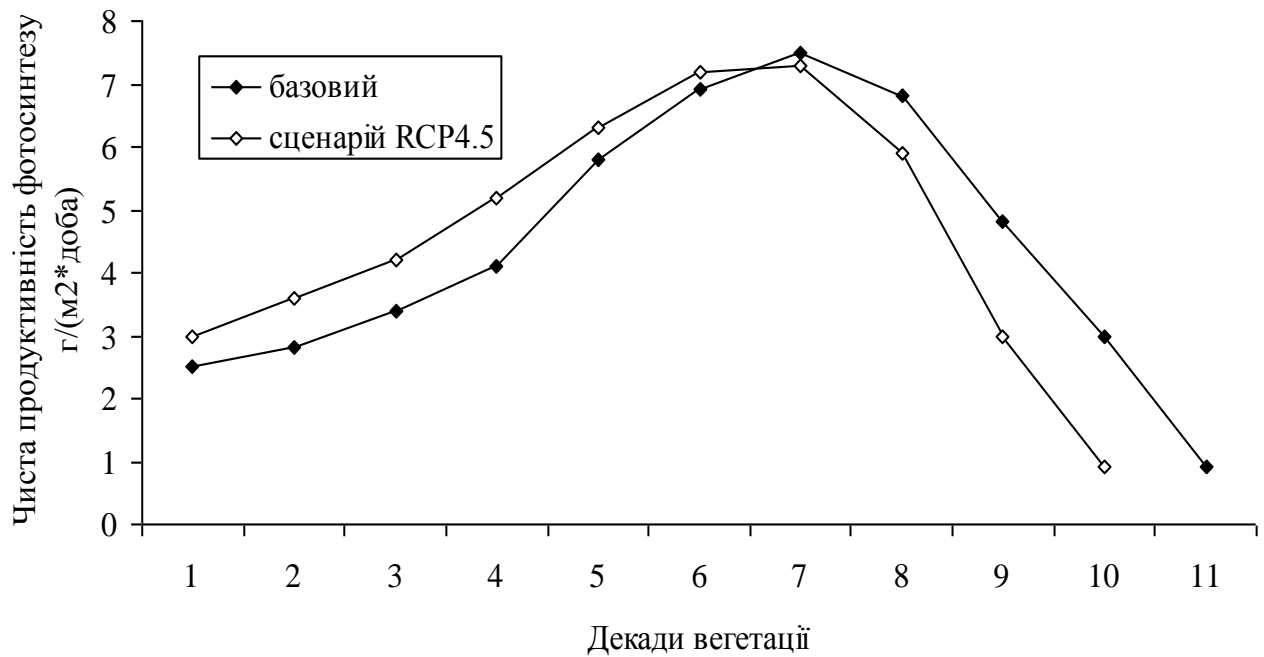


Рисунок 6.22 — Динаміка чистої продуктивності фотосинтезу озимого жита в Поліссі (А) та Лісостепу (Б) в умовах зміни клімату за сценарієм RCP4.5 на 2021-2050 рр. у порівнянні з базовим періодом (1986-2005 рр.), аркуш 1

Б)



Продовження рис. 6.22, аркуш 2

6.4.4 Фотосинтетична продуктивність озимого жита при реалізації сценарію RCP8.5 зміни клімату в Україні

Розглянемо динаміку показників фотосинтетичної діяльності посівів озимого жита, що обумовлює рівень урожайності цієї культури протягом вегетації за базовими середньо багаторічними значеннями та при реалізації сценарію RCP8.5 зміни клімату в Україні.

На рисунку 6.23 представлена динаміка накопичення відносної площі листя посівів озимого жита в умовах зміни клімату RCP8.5 у порівнянні з базовим періодом (1986-2005 рр.) на території Полісся.

При реалізації сценарію RCP8.5 зміни клімату в Україні зростання площі листя інтенсивно проходить до шостої декади вегетації, далі у 7 декаду вегетації відносна площа листя досягає свого максимуму та становить $2,04 \text{ м}^2/\text{м}^2$. Така ж ситуація спостерігається й для середньо багаторічного варіанту, максимальне значення відносної площі листя становить $1,97 \text{ м}^2/\text{м}^2$.

На рисунку 6.24 представлена динаміка накопичення відносної площі листя посівів озимого жита в Лісостепу в умовах зміни клімату RCP8.5 у порівнянні з базовим періодом (1986-2005 рр.).

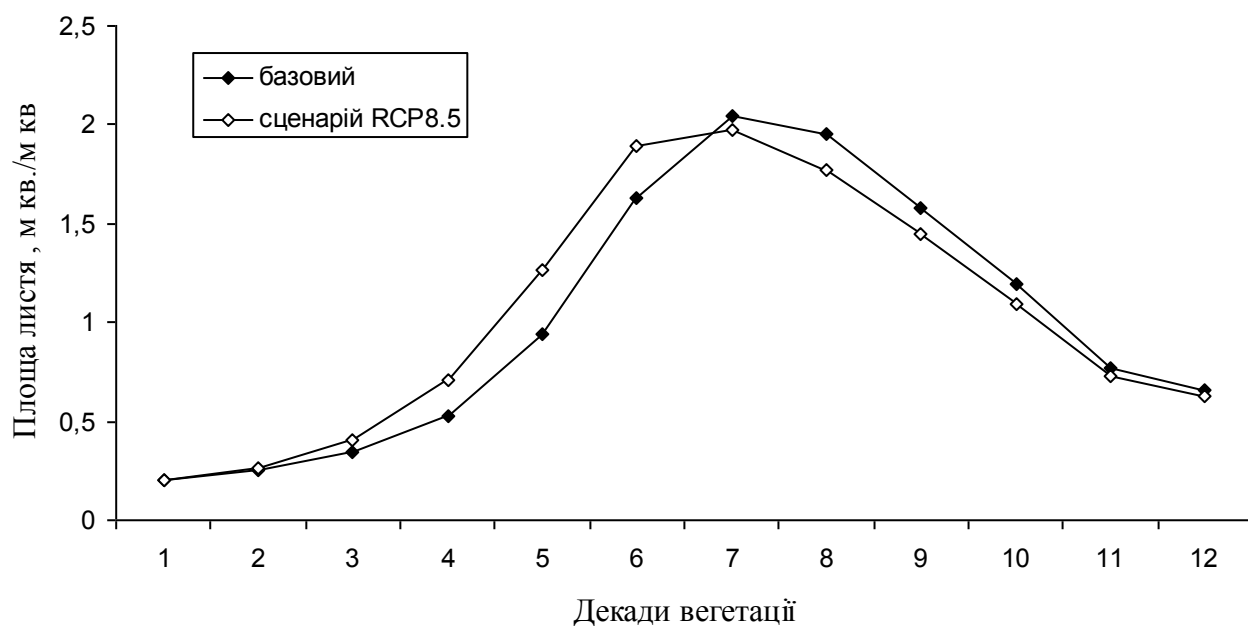


Рисунок 6.23 – Динаміка відносної площі листя посівів озимого жита в Поліссі за умов зміни клімату за сценарієм RCP8.5 (2021-2050 рр.) у порівнянні з базовим періодом (1986-2005 рр.)

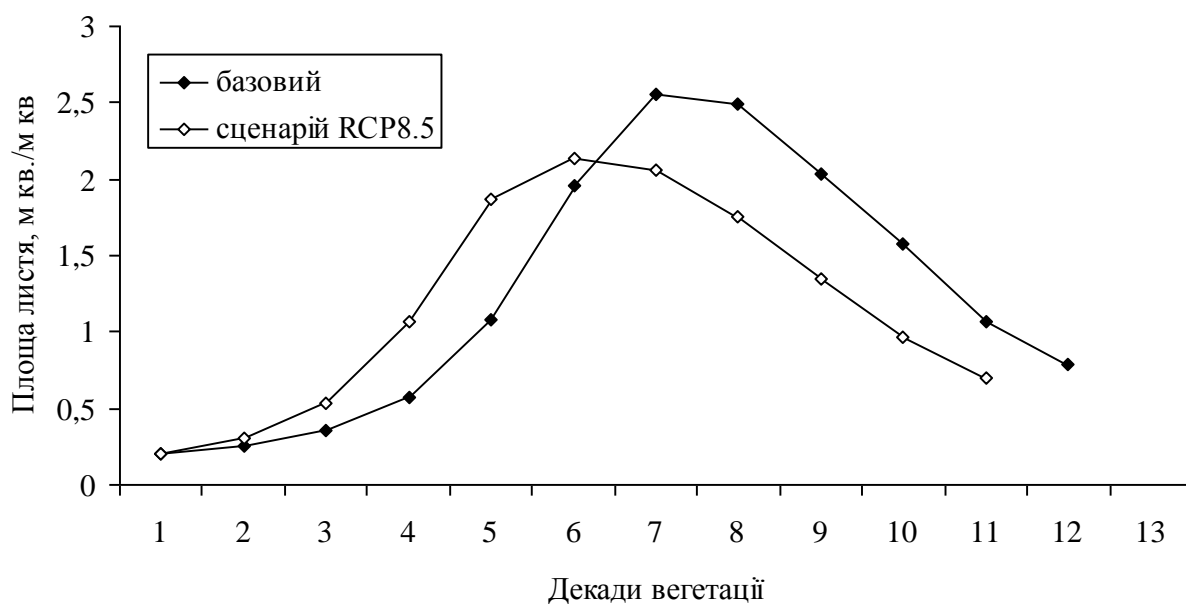


Рисунок 6.24 – Динаміка відносної площі листя посівів озимого жита в Лісостепу за умов зміни клімату за сценарієм RCP8.5 (2021-2050 рр.) у порівнянні з базовим періодом (1986-2005 рр.)

Максимальних значень площа листової поверхні досягає у цьому декаду та становить $2,6 \text{ м}^2/\text{м}^2$. За рахунок зміни кліматичних умов відбудеться зниження максимальної відносної площі листя до $2,1 \text{ м}^2/\text{м}^2$ (табл. 6.23).

Таблиця 6.23 – Показники фотосинтетичної продуктивності посівів озимого жита в умовах зміни клімату за сценарієм RCP8.5 (2021-2030 pp.) у порівнянні з базовим періодом (1986-2005 pp.)

Період	Варіант	Період максимального росту		Чиста продуктивність фотосинтезу, г/м ² за добу	Урожай, %
		площа листової поверхні, м ² /м ²	приріст загальної сухої біомаси, г/м ² за добу		
Полісся					
1986–2005	Базовий	2,04	14,5	7,3	100
2021–2050	Сценарій RCP8.5	1,97	12,7	6,8	96
Лісостеп					
1986–2005	Базовий	2,55	18,8	7,5	100
2021–2050	Сценарій RCP8.5	2,06	16,3	7,2	96

Більш раннє формування площі листової поверхні при зниженому температурному режимі призведе до більш низьких рівнів інтенсивності фотосинтезу (рис. 6.25) порівняно з базовим періодом. В умовах Полісся максимальними значеннями інтенсивності фотосинтезу за сценарієм зміни клімату RCP8.5 становить $16,7 \text{ мг CO}_2/\text{дм}^2\cdot\text{год}$, а в умовах Лісостепу досягає $20,9 \text{ мг CO}_2/\text{дм}^2\cdot\text{год}$ в порівнянні з базовим - $18,7$ та $24,9 \text{ мг CO}_2/\text{дм}^2\cdot\text{год}$ відповідно.

Такий хід площі асимілюючої поверхні та інтенсивності фотосинтезу обумовив і відповідний рівень динаміки загальної сухої біомаси посівів озимого жита. На рисунку 6.26 представлена суха маса цілої рослини озимого жита в умовах зміни клімату RCP4.5 в порівнянні з базовим періодом (1986-2005 pp.) для умов Полісся.

Найбільш високі прирости загальної біомаси будуть спостерігатися в 7 - 8 декадах вегетації в Поліссі. За рахунок змін кліматичних умов сценарного періоду максимальний приріст зменшиться з $14,5$ до $12,7 \text{ г}/\text{м}^2$ за день (на 12 %). Загальна суха біомаса посіву за рахунок зміни кліматичних умов в Поліссі зменшиться зовсім незначно, лише до $613 \text{ г}/\text{м}^2$ (базове значення становить $617 \text{ г}/\text{м}^2$).

В умовах Лісостепу найбільш високі прирости загальної біомаси будуть спостерігатися раніше в 6 - 7 декадах вегетації. За рахунок змін кліматичних умов сценарного періоду максимальний приріст зменшиться з $18,8$ до $16,3 \text{ г}/\text{м}^2$ за день (на 12 %). Загальна суха біомаса посіву за рахунок зміни

кліматичних умов в Поліссі зменшиться до 710 г/м^2 (базове значення складає 777 г/м^2) (рис. 6.27).

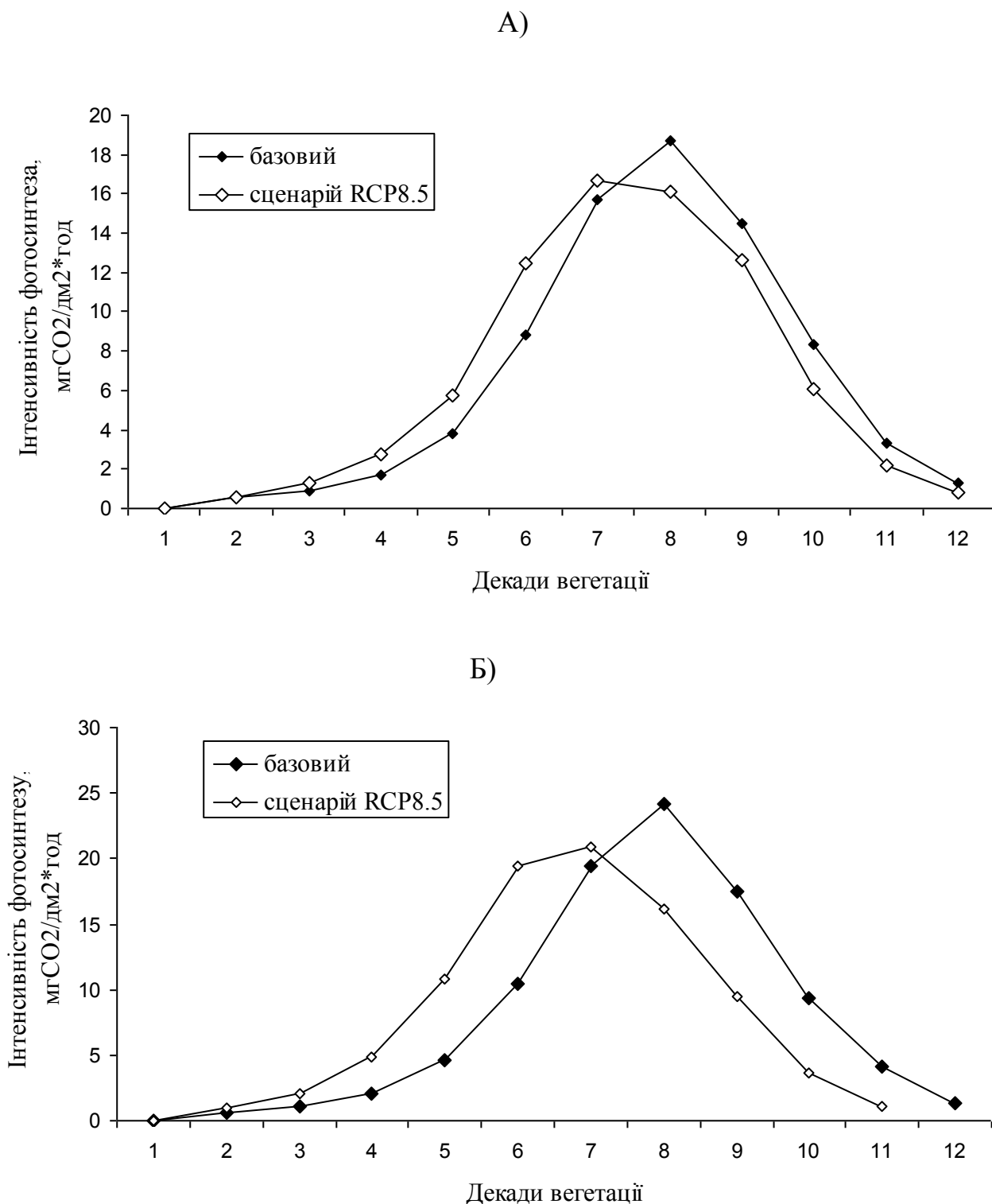


Рисунок 6.25 – Динаміка середньої за декаду інтенсивності фотосинтезу озимого жита в Поліссі (А) та Лісостепу (Б) в умовах зміни клімату за сценарієм RCP8.5 у порівнянні з базовим періодом (1986-2005 pp.)

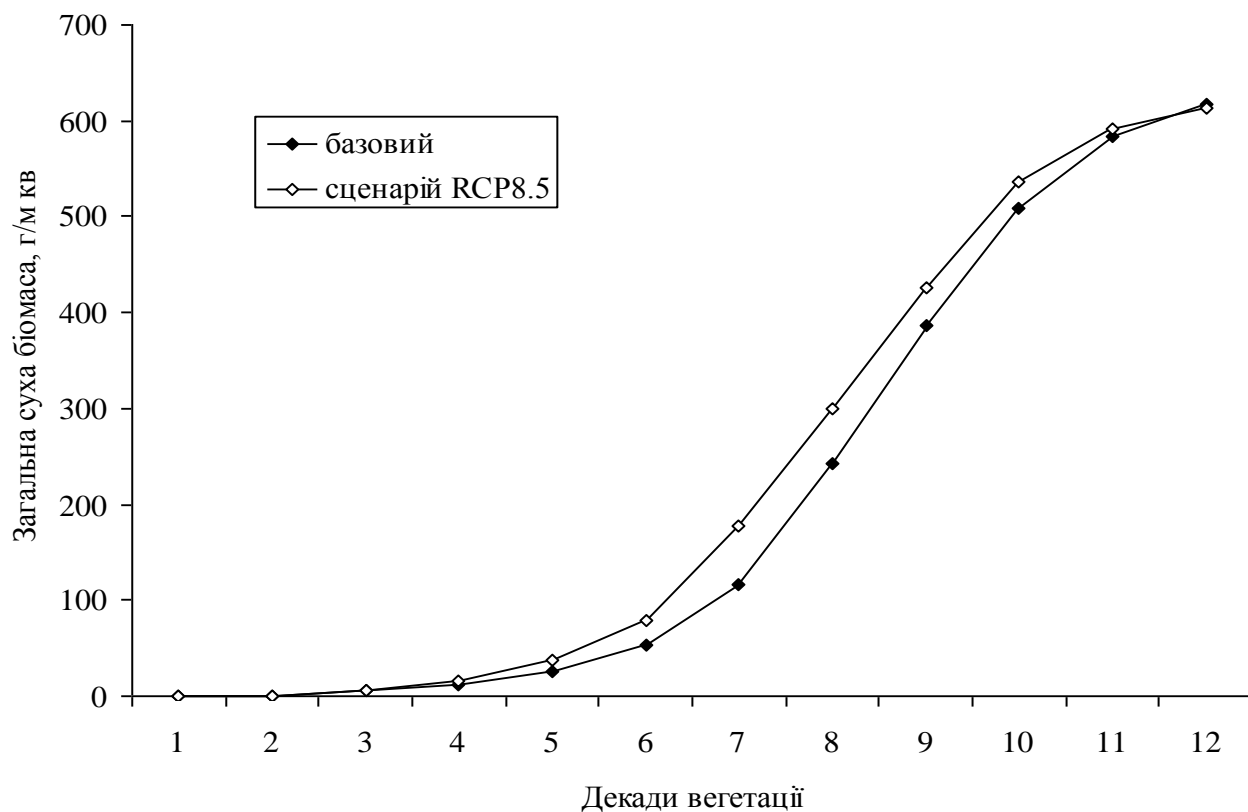


Рисунок 6.26 – Динаміка загальної сухої біомаси озимого жита в Поліссі в умовах зміни клімату за сценарієм RCP8.5 у порівнянні з базовим періодом (1986-2005 рр.)

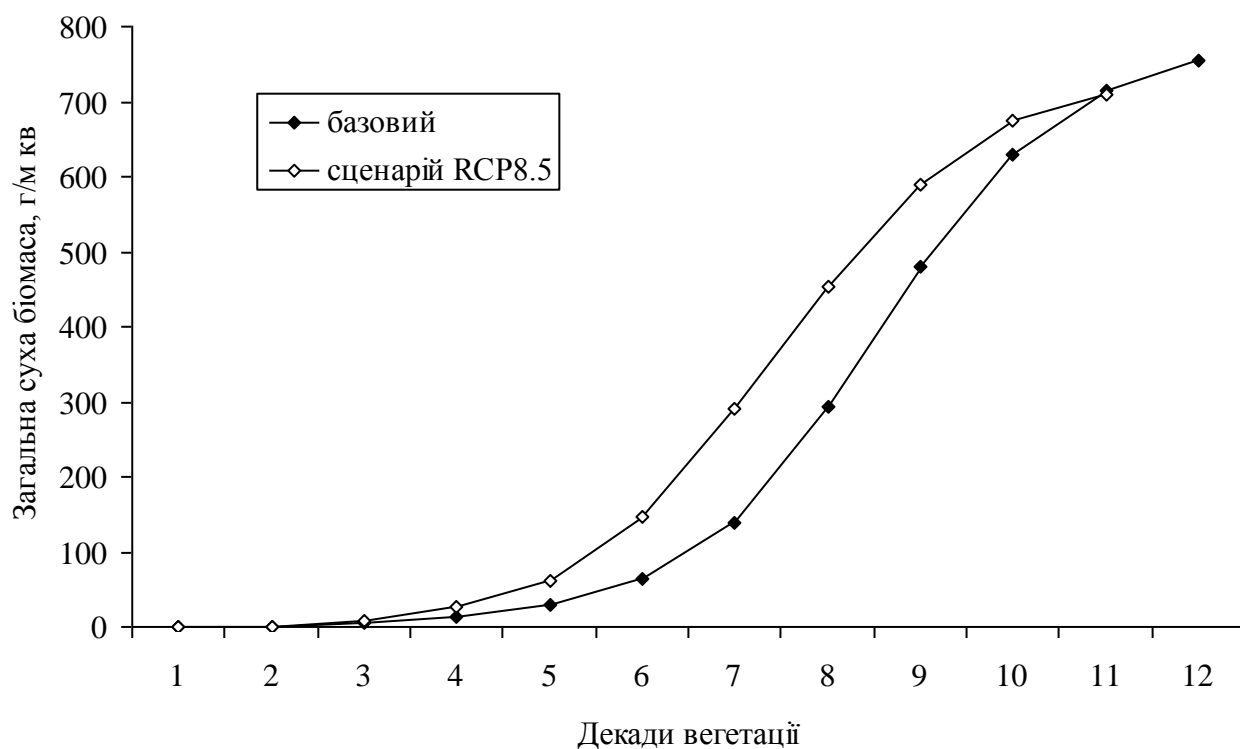


Рисунок 6.27 – Динаміка загальної сухої біомаси озимого жита в Лісостепу в умовах зміни клімату за сценарієм RCP8.5 у порівнянні з базовим періодом (1986-2005 рр.).

Чиста продуктивність фотосинтезу (ЧПФ) визначає продуційний процес озимого жита. Одним із зовнішніх проявів фотосинтезу є збільшення маси фотосинтезуючих тканин за рахунок фотосинтетичного утворення органічних речовин. Криві динаміки ЧПФ озимого жита по декадах за період вегетації в умовах зміни клімату RCP8.5 у порівнянні з базовим періодом (1986-2005 рр.) представлені на рис. 6.28 А – в Поліссі та на рис. 6.28 Б – в Лісостепу. Як бачимо з малюнка, максимальні значення ЧПФ в Поліссі будуть спостерігатися в 6 - 8 декадах вегетації. За рахунок змін кліматичних умов сценарного періоду максимальне значення ЧПФ зменшиться з 7,3 до 6,8 г/м² за день (на 9 %).

В умовах Лісостепу максимальні значення ЧПФ будуть спостерігатися в 5 - 7 декадах вегетації. За рахунок змін кліматичних умов сценарного періоду максимальне значення ЧПФ зменшиться незначно - з 7,5 до 7,2 г/м² за день (на 3 %).

Таким чином, можна зробити висновок, що хоч умови вегетації й будуть проходити на умов зниження температурного режиму за рахунок змін кліматичних умов сценарного періоду, але до значного погіршення умов вирощування озимого жита це не призведе. Значення врожаю за рахунок змін кліматичних умов становитиме в Поліссі – 94 %, а в Лісостепу - 96 % у порівнянні з середньо багаторічними значеннями.

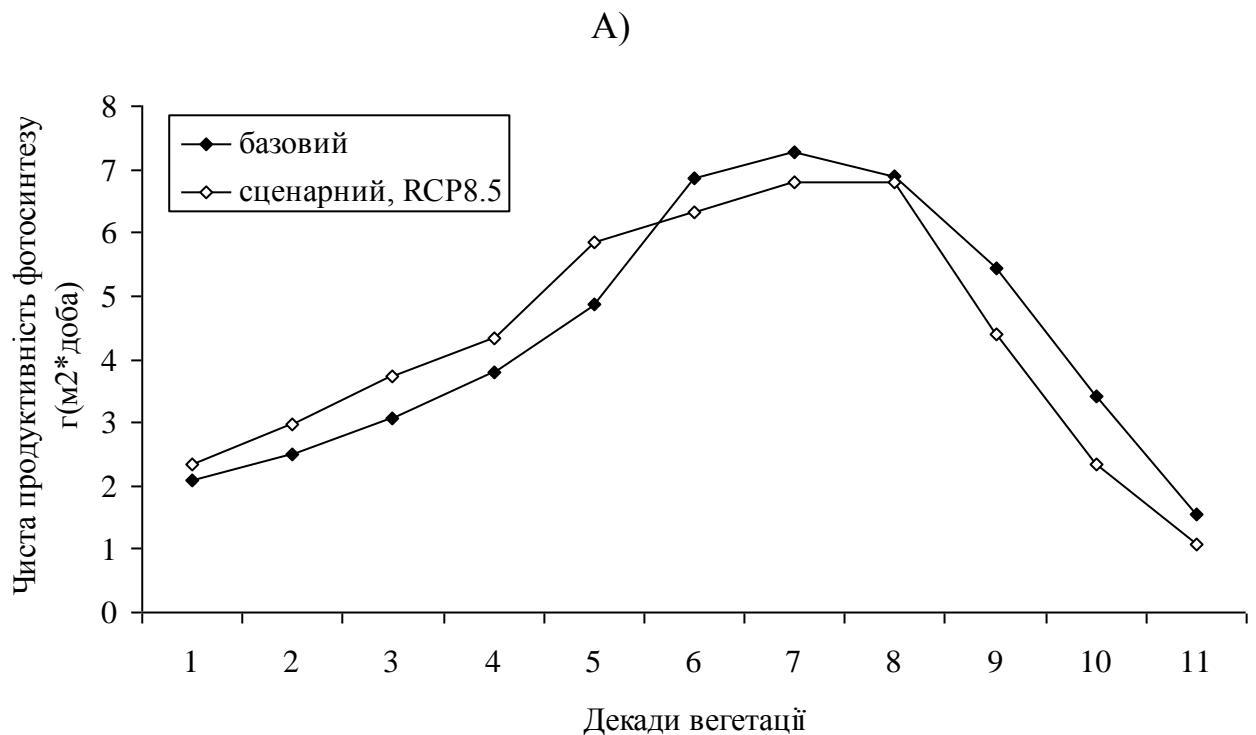
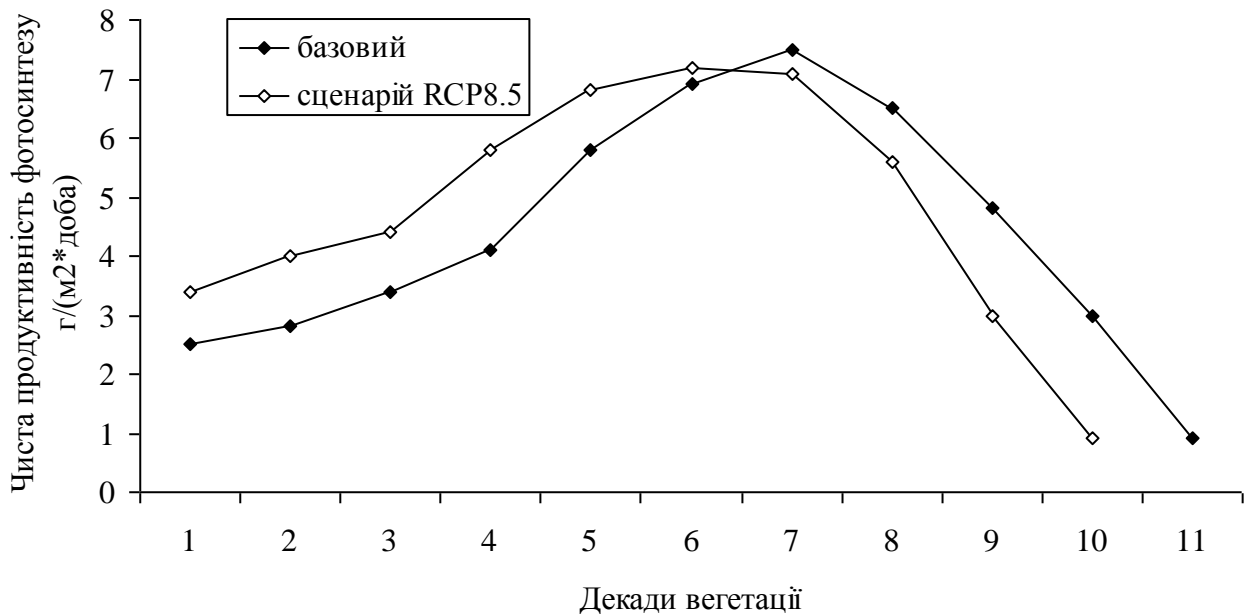


Рисунок 6.28 – Динаміка чистої продуктивності фотосинтезу озимого жита в Поліссі (А) та Лісостепу (Б) в умовах зміни клімату за сценарієм RCP8.5 у порівнянні з базовим періодом (1986-2005 рр.), аркуш 1

Б)



Продовження рис. 6.28, аркуш 2

6.4.5 Оцінка очікуваних ризиків недобору врожаю озимого жита

Розподіл ризиків недобору врожаю озимого жита по областях України, в яких вирощують цю культуру виконано шляхом порівняння даних за кліматичними сценаріями RCP4.5, RCP8.5 та середніми багаторічними характеристиками за базовий період 1986 – 2005 рр..

Значення ризиків змінюється із Заходу на Схід. В умовах Полісся найбільші ризики недобору врожаю озимого жита за середніми багаторічними характеристиками спостерігаються в Закарпатській (11 %), Івано-Франківській (12 %) та Житомирській (8,3 %) області – це свідчить про значне перезволоження зони (рис. 6.29).

Найменші ризики недобору врожаю спостерігаються в Чернігівській області (1,4 %), це свідчить, що зона достатньо зволожена (табл. 6.24).

В умовах Лісостепу найбільші ризики недобору врожаю озимого жита за середніми багаторічними характеристиками спостерігаються в Чернівецькій (14 %) та Київській (8,0 %) області – це свідчить про значне перезволоження зони (рис. 6.30 А).

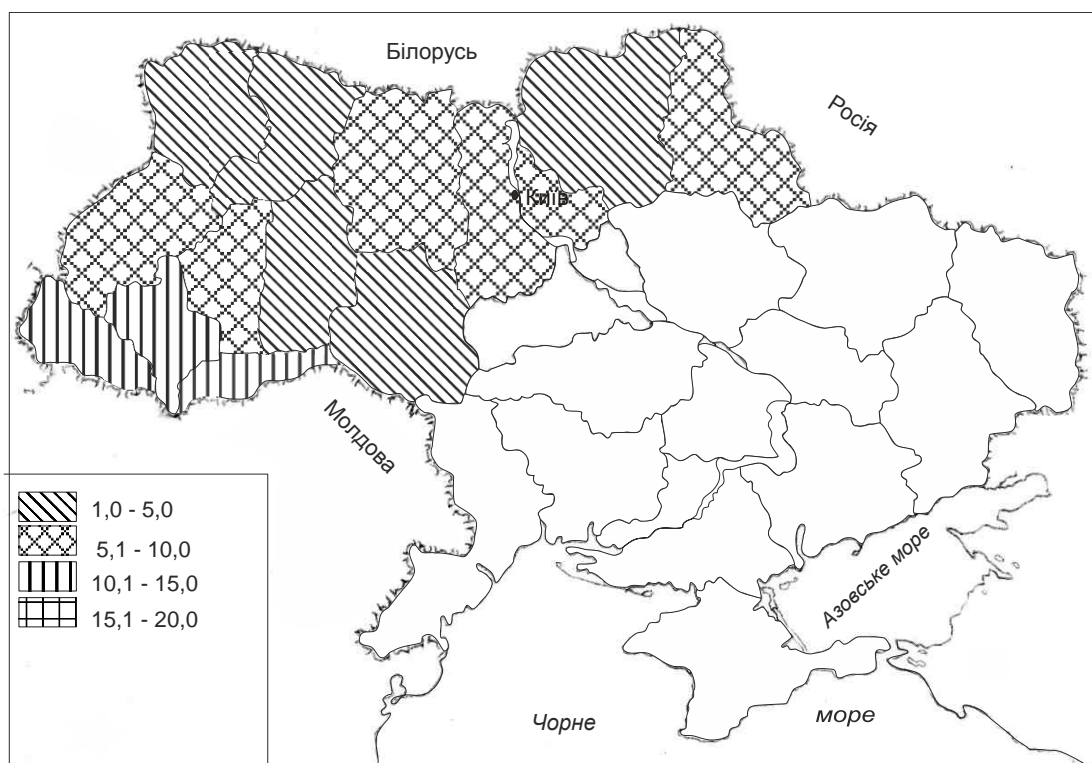
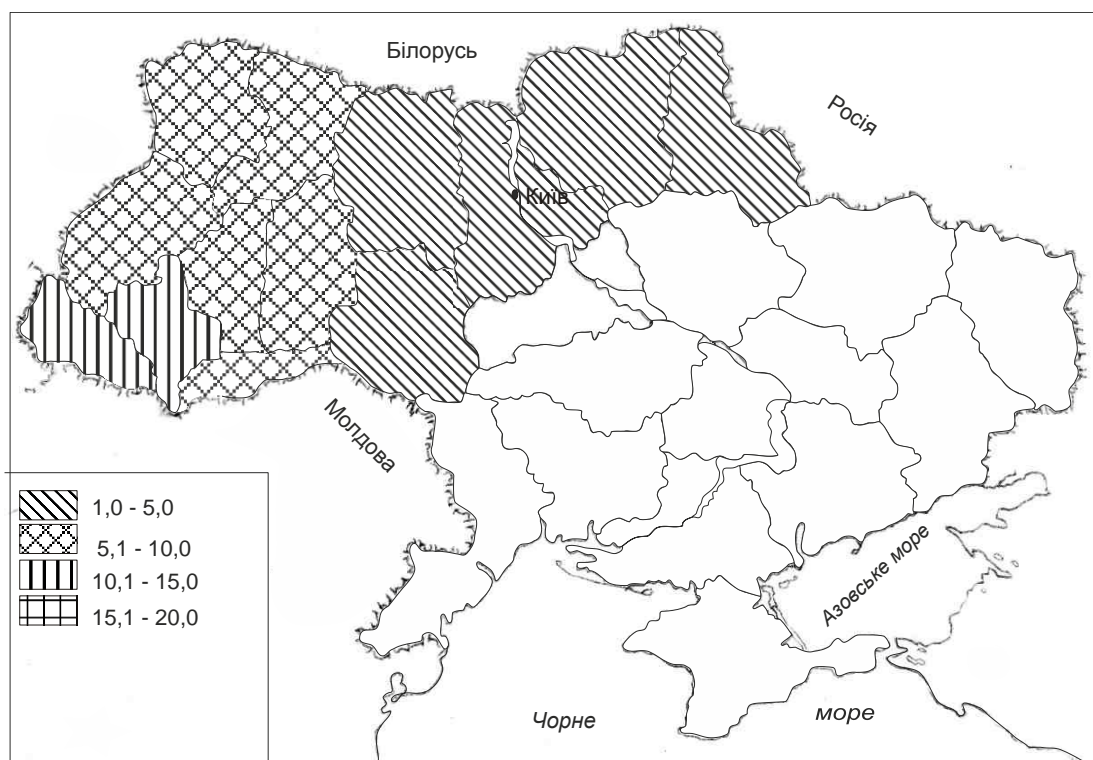


Рисунок 6.29 – Карта розподілу ризиків недобору врожаю озимого жита за середніми багаторічними значеннями (базовий період 1986 – 2005 рр.).

Таблиця 6.24 – Ризики недобору врожаю озимого жита за сценарієм зміни клімату RCP4.5 та RCP8.5 у порівнянні з базовим періодом (1986-2005 рр.), %

Область	Базовий період	RCP4.5	RCP8.5
Полісся			
Волинська	4,7	7,5	8,0
Житомирська	8,3	3,7	2,4
Львівська	5,9	8,2	8,6
Рівненська	5,0	7,5	7,4
Чернігівська	1,4	2,1	1,3
Закарпатська	11,0	13,8	19,0
Івано-Франківська	12,0	14,2	19,0
Лісостеп			
Вінницька	2,1	2,2	2,4
Київська	8,0	1,0	6,0
Сумська	6,9	1,1	1,0
Тернопільська	5,8	8,1	8,4
Хмельницька	4,2	6,5	6,0
Чернівецька	14,0	9,6	11,8

Примітка: 1,0-5,0 % - достатньо зволожена зона, 5,1-10,0 % – слабо перезволожена зона, 10,1-15,0 % - перезволожена зона; 15,1-20,0 дуже перезволожена зона.



Б)

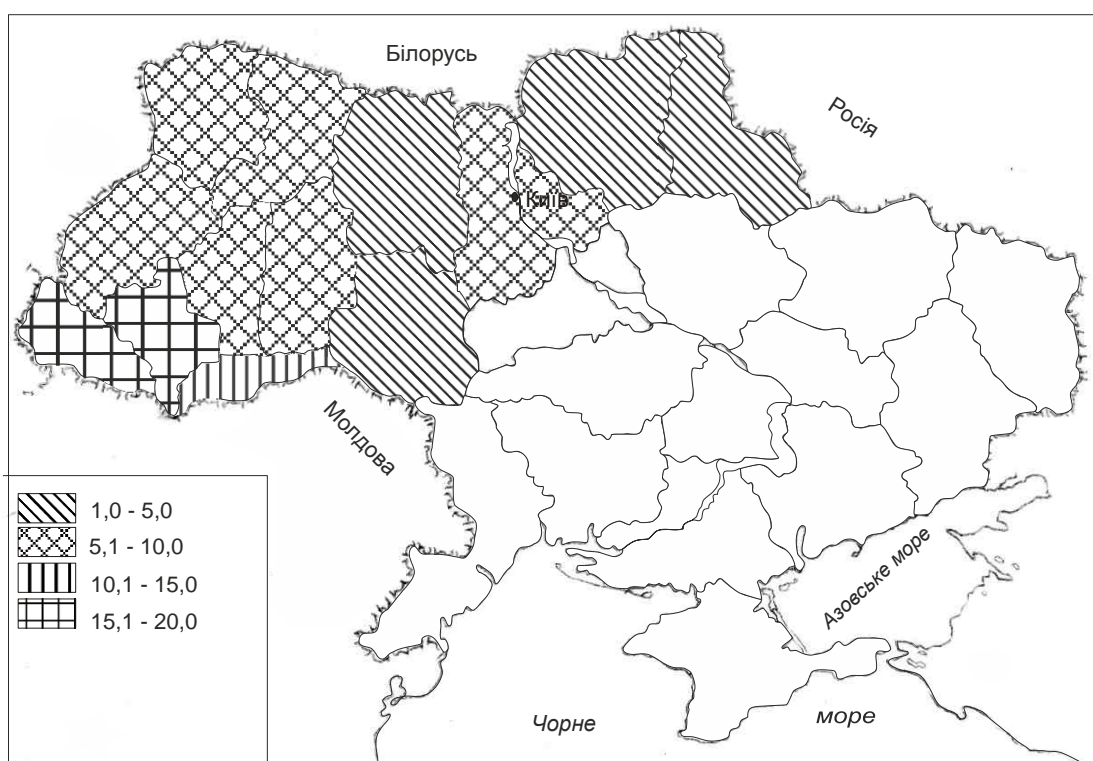


Рисунок 6.30 – Карта розподілу ризиків недобору врожаю озимого жита за сценарієм зміни клімату RCP4.5 (А) та сценарієм зміни клімату RCP8.5 (Б).

Найменші ризики недобору врожаю спостерігаються в Вінницькій області (2,1 %), це свідчить, що зона достатньо зволожена (табл. 6.24).

За рахунок змін кліматичних умов сценарного періоду RCP4.5 умовах Полісся найбільші ризики недобору врожаю озимого жита, в порівнянні з середніми багаторічними характеристиками, спостерігатимуться також в Закарпатській (13,8 %), Івано-Франківській (14,2 %) та Львівській (8,2 %) області. Можна зробити висновок, що до збільшення значення ризиків призвело зниження температурного режиму (рис. 6.30 А). Найменші ризики недобору врожаю спостерігатимуться також в Чернігівській області (2,1 %), це свідчить, що зона достатньо зволожена (табл. 6.24).

За рахунок змін кліматичних умов сценарного періоду RCP4.5 умовах Лісостепу ризики недобору врожаю озимого жита, в порівнянні з середніми багаторічними характеристиками, в Чернівецькій області зменшаться з 14 % до 9,6 %, а в Тернопільській області, навпаки, збільшаться з 5,8 до 8,1 %. Найменші ризики недобору врожаю спостерігатимуться в Київській та Сумській областях - 1,0 та 1,1 % відповідно, це свідчить, що зона достатньо зволожена (табл. 6.24).

За рахунок змін кліматичних умов сценарного періоду RCP8.5 умовах Полісся найбільші ризики недобору врожаю озимого жита, в порівнянні з середніми багаторічними характеристиками, спостерігатимуться також в Закарпатській (19 %), Івано-Франківській (19 %) та Львівській (8,4 %) області. Можна зробити висновок, що до збільшення значення ризиків також призвело зниження температурного режиму (рис. 6.30 Б). Найменші ризики недобору врожаю спостерігатимуться також в Чернігівській області (1,3 %), це свідчить, що зона достатньо зволожена (табл. 6.24).

За рахунок змін кліматичних умов сценарного періоду RCP8.5 умовах Лісостепу ризики недобору врожаю озимого жита, в порівнянні з середніми багаторічними характеристиками, в Чернівецькій області зменшаться з 14 % до 11,8 %, а в Тернопільській області, навпаки, збільшаться з 5,8 до 8,4 %. Найменші ризики недобору врожаю спостерігатимуться в Сумській області - 1,0 %, це свідчить про достатню зволоженість зони (табл. 6.24).

Таким чином, за умов реалізації сценаріїв зміни клімату RCP4.5 та RCP8.5 виконана оцінка впливу зміни клімату на продуктивність озимого жита.

Встановлені оптимальні агрометеорологічні та агрокліматичні умови, при яких спостерігається максимальна продуктивність посівів озимого жита. Проведено порівняння показників фотосинтетичної продуктивності озимого жита, за середньо багаторічними даними та за сценаріями зміни клімату RCP4.5 та RCP8.5. Проведено порівняння сухої біомаси озимого жита за середньо багаторічними даними та за сценаріями зміни клімату RCP4.5 та RCP8.5.

За сценаріями зміни клімату RCP4.5 та RCP8.5 виконана оцінка розподілу ризиків недобору врожаю озимого жита по території України. Найменші ризики недобору врожаю озимого жита за умов сценарних

періодів RCP4.5 та RCP8.5 в Поліссі спостерігатимуться в Чернігівській та Житомирській області. Високі ризики недобору урожаю озимого жита спостерігатимуться в Закарпатській та Івано-Франківській областях.

За умов Лісостепу найбільші ризики недобору врожаю озимого жита за умов сценарних періодів RCP4.5 та RCP8.5 спостерігатимуться в Чернівецькій та Тернопільській області. Найменші ризики недобору врожаю озимого жита спостерігатимуться в Сумській області.

6.5 Оцінка впливу змін клімату на ріст, розвиток і формування врожайності ярого ячменю

Зернові культури – найважливіша група сільськогосподарських рослин, які дають зерно - основний продукт харчування людини, сировину для багатьох галузей промисловості та корм сільськогосподарським тваринам. Урожайність їх залежить від технології вирощування, клімату, сортів та багатьох інших факторів. Ярий ячмінь вирощують в Україні як продовольчу, кормову та технічну культуру. Проте за обсягом використання його продукції в народному господарстві він є, насамперед, однією з цінних зернофуражних культур, частка якої в балансі концентрованих кормів є значною. Ячмінь є важливою продовольчою культурою. Із зерна скловидного крупнозернистого дворядного ячменю виробляють перлову та ячмінну крупу, у складі якої міститься 9 – 11 % білка і 82 – 85 % крохмалю. Зерно ячменю також використовують для виробництва пива.

Зважаючи на важливість цієї культури, розглянемо як будуть змінюватись умови розвитку ярого ячменю під впливом змін клімату.

Для сільськогосподарських культур на фоні зміни кліматичних умов за розрахунковий період з 2021 по 2050 рр. нами розглядалися такі варіанти:

- базовий період (1986 – 2005 рр.)
- кліматичні умови розрахункового періоду за сценарієм 45 за період 2021 – 2050 рр.;
- кліматичні умови періоду 2021 – 2050 рр. за сценарієм *rsp 45* (кліматична норма + CO₂);
- кліматичні умови розрахункового періоду за сценарієм *rsp 85* за період 2021 – 2050 рр.;
- кліматичні умови періоду 2021–2050 рр. за сценарієм *rsp 85* при збільшенні CO₂ в атмосфері.

Як теоретична основа для виконання розрахунків та порівняння результатів були використані розроблені А.М. Польовим моделі продукційного процесу сільськогосподарських культур:

- модель формування продуктивності агроєкосистеми;
- модель фотосинтезу зеленого листка рослини при зміні концентрації CO₂ в атмосфері.

Розрахунки виконувались для природно-кліматичних зон України: Полісся, Західний Лісостеп, Північний Степ, Південний Степ. Слід підкреслити, що вплив зміни клімату на формування продуктивності сільськогосподарських культур розглядався за умов сучасної агротехніки та сучасних сортів і гібридів ярого ячменю в припущенні, що вони суттєво не зміняться. Тенденції зміни агрокліматичних ресурсів розглядалась нами у розрізі основних агрокліматичних зон за різні проміжки часу. Для оцінки змін агрокліматичних ресурсів при можливих змінах клімату були використані сценарії змін клімату в Україні RSP4.5 та RSP8.5.

Розглянемо як під впливом змін клімату будуть змінюватись дати настання фаз розвитку ярого ячменю, показники розвитку його по міжфазних періодах, показники фотосинтетичної продуктивності та урожай. Як видно із табл. 6.25 середні багаторічні терміни сівби ярого ячменю спостерігались з 23 березня в степовій зоні України, зміщувались на більш пізні терміни в Лісостеповій зоні, а саме до 7 квітня і ще пізніше в Поліссі – до 16 квітня.

Таблиця 6.25 – Фази розвитку ярого ячменю за середніми багаторічними даними (1986-2005 рр.) та сценаріями зміни клімату RSP4.5 і RSP8.5

Період	Посів	Сходи	Колосіння	Воскова стиглість	Тривалість вегетаційного періоду, дні
Полісся					
1986-2005	16.IV	30.IV	19.VI	19.VII	94
RSP4.5	8.IV	30.IV	25.VI	25.VII	108
Різниця	-8	0	+6	+6	+14
RSP8.5	7.IV	28.IV	24.VI	24.VII	108
Різниця	-9	-2	+5	+5	+14
Західний Лісостеп					
1986-2005	7.IV	22.IV	13.VI	14.VII	98
RSP4.5	7.IV	28.IV	23.VI	25.VII	109
Різниця	0	+6	+10	+11	+11
RSP8.5	7.IV	27.IV	22.VI	25.VII	109
Різниця	0	+5	+9	+11	+11
Північний Степ					
1986-2005	7.IV	21.IV	8.VI	7.VII	91
RSP4.5	3.IV	24.IV	15.VI	14.VII	102
Різниця	-4	+3	+7	+7	+11
RSP8.5	2.IV	25.IV	10.VI	10.VII	99
Різниця	-5	+4	+2	+3	+8
Південний Степ					
1986-2005	29.III	14.IV	4.VI	30.VI	93
RSP4.5	26.III	18.IV	7.VI	2.VII	98
Різниця	-3	-4	+3	+2	+5
RSP8.5	21.III	18.IV	6.VI	3.VII	103
Різниця	-8	-4	+2	+3	+10

За умов реалізації сценаріїв змін клімату *RSP4.5* та *RSP8.5*, терміни сівби ярого ячменю мало відрізнятимуться за сценаріями і змістяться на більш ранні строки в порівнянні з середніми багаторічними в усіх зонах, окрім Західного Лісостепу, де вони очікуються близькими до середніх багаторічних. Відчутніші відхилення спостерігатимуться у Поліссі (8 – 9 днів), менші в Північному Степу (4 – 5 днів). Відмінність у термінах настання сівби за сценаріями буде спостерігатись в Південному Степу, де за сценарієм *RSP4.5* вони становитимуть не більше 3 днів, а за сценарієм *RSP8.5* – 8 днів. Відповідно змістяться і строки появи сходів. Сходи ярого ячменю за середніми багаторічними даними базового періоду спостерігалися в Поліссі 30 квітня, Лісостепу і Північному Степу – 22 квітня, та в Південному Степу 14 квітня. За сценаріями зміни клімату *RSP4.5* та *RSP8.5* відхилення термінів сходів очікуються однакові за обома сценаріями і наставатимуть в терміни, близькі до середніх багаторічних у Поліссі, раніше середніх багаторічних на 4 дні - в Степу, і пізніше середніх багаторічних на 4 – 6 днів в Лісостеповій зоні.

Наступні за сходами фази розвитку ярого ячменю колосіння та воскова стиглість за обома сценаріями в усіх природно - кліматичних зонах наставатимуть пізніше, ніж в базовий період: на 5 днів у Поліссі, на 9 -11 днів в Західному Лісостепу, на 5 днів в Північному Степу та на 2-3 дні в Південному Степу. В наслідок зміни термінів настання фаз розвитку ярого ячменю зміниться і тривалість його вегетаційного періоду. Вона зросте від 93 днів (середня багаторічна) до 103 днів в Південному Степу та до 108 днів в інших зонах. Під впливом змін клімату зміняться агрокліматичні умови вирощування ярого ячменю. В період від сходів до колосіння середня температура повітря за середніми багаторічними значеннями коливалась від 13,8 °C в Південному Степу до 15,4 °C в Північному Степу (табл. 6.26).

За сценарієм зміни клімату *RSP4.5* від сходів до колосіння середня температура коливатиметься від 13,2 °C в Поліссі та Західному Лісостепу до 15,1 °C в Північному Степу. Розрахунки за сценарієм показують, що в цей період очікується середня температура нижче базової на 0,3 °C в Північному Степу та на 1,8 °C в Західному Лісостепу. В Південному Степу вона буде вищою середніх багаторічних значень на 0,5 °C.

Середня температура повітря за сценарієм зміни клімату *RSP8.5* в період сходів до колосіння коливатиметься від 13,8 °C в Поліссі та Західному Лісостепу до 15,7 °C в Північному Степу (табл. 6.26). В Поліссі та Західному Лісостепу середня температура зменшиться від базового на -0,7 °C та -1,2 °C відповідно. А в Північному та Південному Степу середня температура збільшиться від базового на 0,3 °C та 0,8 °C відповідно.

Сума опадів в період від сходів до колосіння за середніми багаторічними даними коливалася від 63 мм в Північному Степу до 127 мм в Західному Лісостепу. Кількість опадів від сходів до колосіння за сценарієм *RSP4.5* збільшиться в Поліссі та Західному Лісостепу на 4 %, а в Південному Степу – на 12 %. Особливо різке збільшення опадів спостерігатиметься в Північному Степу (на 57 %).

Таблиця 6.26 – Агрокліматичні умови вирощування ярого ячменю за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) та сценаріями зміни клімату RSP4.5 і RSP8.5

Періоди розрахунку	Сходи – колосіння					Колосіння – воскова стиглість					Вегетаційний період	
	середня температура, °C	сума опадів, мм	сумарне випаровування, мм	випаровування, мм	волого з вологозабезпеченність, відн.од	середня температура, °C	сума опадів, мм	сумарне випаровування, мм	випаровування, мм	вологозабезпеченність, відн. од	сума опадів, мм	вологозабезпеченність, відн.од
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Полісся												
1986 – 2005	14,5	124	127	166	1,01	18,5	87	60	107	0,85	211	0,95
RSP4.5	13,2	129	105	124	1,14	18,6	93	77	114	0,90	228	1,02
Різниця	-1,3	+4%	-17%	-25%	+13%	0,1	+7%	+28%	+7%	+6%	+8%	+7%
RSP8.5	13,8	139	108	124	1,15	18,3	88	76	106	0,96	228	1,07
Різниця	-0,7	+12%	-15%	-25%	+14%	-0,2	+1%	+27%	-1%	+13%	+8%	+13%
Західний Лісостеп												
1986 – 2005	15,0	127	152	193	1,04	19,2	93	58	89	0,87	220	0,96
RSP4.5	13,2	132	116	123	1,25	18,7	82	84	123	0,90	214	1,08
Різниця	-1,8	+4%	-24%	-36%	+20%	-0,5	-12%	+45%	+38%	+3%	-3%	+13%
RSP8.5	13,8	150	123	125	1,31	18,5	77	82	112	0,98	227	1,16
Різниця	-1,2	+18%	-19%	+35%	+26%	-0,7	-17%	+41%	+26%	+13%	+3%	+21%

Продовження табл.6.26

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Північний Степ												
1986 – 2005	15,4	63	131	186	0,93	20,5	50	53	125	0,56	113	0,78
RSP4.5	15,1	99	145	185	1,04	21,3	33	50	109	0,61	132	0,88
Різниця	-0,3	+57%	+11	-1%	+12%	+0,8	-34%	-6%	-13%	+9%	+17%	+13%
RSP8.5	15,7	98	149	183	1,08	21	36	47	100	0,62	134	0,92
Різниця	+0,3	+55%	+14	-2%	16%	+0,5	-28%	-11%	-20%	+11%	+19%	+18%
Південний Степ												
1986 – 2005	13,8	65	90	155	0,78	20,1	55	44	132	0,45	120	0,62
RSP4.5	14,3	73	95	173	0,73	21,8	34	31	111	0,38	107	0,59
Різниця	+0,5	+12%	+6%	+12%	-6%	+1,7	-38%	-30%	-16%	-16%	-11%	-5%
RSP8.5	14,6	85	94	154	0,81	20,9	36	34	110	0,41	121	0,48
Різниця	+0,8	+31%	+5%	-1%	+10%	+0,8	-35%	+23%	-17%	-9%	-0,8%	-23%

За сценарієм RSP4.5 сума опадів від сходів до колосіння зросте більше і буде на 12 % Поліссі, 18 % - в Західному Лісостепу, 55 % в Північному Степу та 31 % - Південному Степу вищою від середніх багаторічних сум.

Сумарне випаровування за сценаріями зміни клімату RSP4.5 та RSP8.5 зменшиться в Поліссі на 17 % та 15 %, в Західному Лісостепу на 24 % та 19% відповідно. В Північному Степу та Південному Степу сумарне випаровування за сценаріями зміни клімату RSP4.5 та RSP8.5 збільшиться. В Північному Степу на 11 % та 14 %, а в Південному Степу на 6 % та 5 % відповідно.

Як показують розрахунки за сценарієм зміни клімату RSP4.5 в період від сходів до колосіння випаровуваність в Поліссі, Західному Лісостепу та Північному Степу в порівнянні з базовим зменшиться від до 36 %. В Південному Степу випаровуваність збільшиться в порівнянні з базовим значенням на 12 %.

Від сходів до колосіння випаровуваність за сценарієм зміни клімату RSP8.5 збільшиться на 35 % в порівнянні з базовим в Західному Лісостепу, а в Поліссі, Північному Степу та Південному Степу випаровуваність зменшиться на 25 % (табл. 6.26).

За середніми багаторічними значеннями вологозабезпеченість посівів ярого ячменю від сівби до колосіння коливалась від 0,78 відн. од в Південному Степу до 1,00 відн. од. в Західному Лісостепу. За умов реалізації сценарію зміни клімату RSP4.5 вологозабезпеченість посівів ячменю збільшиться в Поліссі на 13 %, в Західному Лісостепу на 20 % та в Північному Степу на 12 %. В Південному Степу вологозабезпеченість за цим же сценарієм зменшиться на 6 %.

В період від сівби до колосіння вологозабезпеченість за сценарієм зміни клімату RSP8.5 збільшиться в усіх природно-кліматичних зонах. Це збільшення буде коливатися від 10 % в Південному Степу до 26 % в Поліссі в порівнянні з базовим періодом.

Середня температура повітря за середніми багаторічними значеннями в період від колосіння до воскової стиглості коливалась від 18,5 °C в Поліссі до 20,5 °C в Північному Степу.

В період з 2011 до 2050 рр. за сценарієм зміни клімату RSP4.5 від колосіння до воскової стиглості середня температура коливатиметься від 18,6 °C в Поліссі до 21,8 °C в Південному Степу, що відповідно на 1,7°C вище середньої температури базового періоду. В Західному Лісостепу середня температура повітря складатиме 18,7 °C, що буде майже на рівні середньої багаторічної.

За сценарієм зміни клімату RSP8.5 середня температура повітря за період від колосіння до воскової стиглості коливатиметься від 18,3 °C в Поліссі до 21,0 °C в Північному Степу і буде нижчою на 0,2°C та 0,7°C відповідно середньої багаторічної температури повітря. А в Північному та Південному Степу за цим же сценарієм середня температура повітря за

період від колосіння до воскової стиглості підвищиться на 0,5 °C та 0,8 °C відповідно.

В період від колосіння до воскової стиглості сума опадів коливалась в середньому багаторічному від 50 мм в Північному Степу до 93 мм в Західному Лісостепу. За сценарієм зміни клімату RSP4.5 сума опадів зросте на 7 % в Поліссі, а в Західному Лісостепу, Північному Степу та Південному Степу зменшиться на 12 %, 34 % та 38 % відповідно.

За сценарієм зміни клімату RSP8.5 кількість опадів в період від колосіння до воскової стиглості зменшиться на 17 % в Західному Лісостепу, на 35 % в Південному Степу по відношенню до середньо багаторічних значень. Тільки в Поліссі сума опадів буде близька до кліматичної норми.

Сумарне випарування в період від колосіння до воскової стиглості за середніми багаторічними значеннями коливалось від 44 мм в Південному Степу до 60 мм в Поліссі.

В період від колосіння до воскової стиглості за сценарієм зміни клімату RSP4.5 сумарне випарування збільшиться в Поліссі та Західному Лісостепу на 28 % та 45 %. В Північному та Південному Степу сумарне випарування зменшиться на 6 % та 30 % відповідно.

За сценарієм зміни клімату RSP8.5 сумарне випарування зросте і становитиме в Поліссі до 76 мм, в Західному Лісостепу до 82 мм, Південному Степу до 34 мм. І тільки в зоні Північного Степу сумарне випарування зменшиться до 47 мм, що на 11% нижче середнього багаторічного.

Від колосіння до воскової стиглості випаровуваність за сценарієм зміни клімату RSP8.5 збільшиться в Поліссі та Західному Лісостепу від 7 % до 26 % відповідно. Випаровуваність зменшиться в Північному Степу на 13 % та Південному Степу на 16 % (табл.6.26).

Випаровуваність в період від колосіння до воскової стиглості за сценарієм зміни клімату RSP8.5 зменшиться в Поліссі, Північному та Південному Степу на 1 %, 20 %, 23 % відповідно. І лише в Західному Лісостепу випаровуваність зросте на 26 % в порівнянні з базовим значенням.

За середніми багаторічними значеннями вологозабезпеченість посівів ярого ячменю від колосіння до воскової стиглості коливалась від 0,45 відн.од в Південному Степу до 0,87 відн. од. в Західному Лісостепу. За умов реалізації сценарію зміни клімату RSP8.5 за період 2015 – 2050 рр. вологозабезпеченість зросте в Поліссі та Західному Лісостепу до 0,90 відн.од., а в Північному Степу до 0,61 відн. од. В Південному Степу вологозабезпеченість зменшиться до 0,38 відн. од., що на 16 % менше від середньо багаторічного значення.

Вологозабезпеченість в період від колосіння до воскової стиглості за сценарієм зміни клімату RSP8.5 збільшиться в усіх природно-кліматичних зонах на 11 – 13 % від середньо багаторічного значення, крім Південного Степу де вологозабезпеченість зменшиться на 9 %.

Кількість опадів за умов реалізації сценарію зміни клімату RSP8.5 за вегетаційний період збільшиться в Поліссі та Північному Степу на 8 % та

17 %, а в Західному Лісостепу та Південному Степу зменшиться на 3 % та 11 %.

За умов реалізації сценарію зміни клімату RSP8.5 сума опадів за вегетаційний період збільшиться в Поліссі, в Західному Лісостепу та Північному Степу на 8 %, 3 % та 19 % відповідно. І тільки в Південному Степу сума опадів буде близька до середньо багаторічних значень.

Вологозабезпеченість за умов реалізації сценаріїв змін клімату RSP4.5 та RSP8.5 збільшиться в Поліссі, Західному Лісостепу та Північному Степу, окрім Південного Степу, де вологозабезпеченість зменшиться (табл. 6.26).

Зміни агрокліматичних умов спричинять зміну показників фотосинтетичної діяльності посівів ярого ячменю, що обумовить рівень його урожайності. Такими показниками будуть розміри фотосинтезуючої площі та фотосинтетичний потенціал посівів, кількісні показники приростів рослинної біомаси на одиницю площі, чиста продуктивність фотосинтезу (ефективність процесу фотосинтезу на одиницю площі листової поверхні), урожай загальної біомаси посівів та урожай біомаси зерна, коефіцієнт господарської ефективності, який показує долю урожаю господарсько-цінної частини врожаю в загальному врожаї біомаси посівів.

Розглянемо розподіл цих показників у ґрунтово-кліматичних зонах України при зміні кліматичних умов за сценаріями RSP4.5 та RSP8.5 в порівнянні з показниками фотосинтетичної продуктивності ярого ячменю, які розраховані за середніми багаторічними даними (табл. 6.27).

Динаміка окремих показників фотосинтетичної діяльності наводиться на рис. 6.31 – 6.46.

Як видно із табл. 6.27 та рис. 6.31- 6.34 *площа листя* в період максимального розвитку в середньому за базовий період коливалась від $1,44 \text{ м}^2/\text{м}^2$ в Північному Степу (Дніпропетровськ) до $2,66 \text{ м}^2/\text{м}^2$ в Південному Степу. Розрахунки за сценаріями RSP4.5 по варіанту «клімат» показують, що збільшення площі листя відбудеться за сценарієм RSP4.5 на 18 % у Поліссі, на 34 % у Західному Лісостепу, на 26 % у Північному Степу та всього на 3 % у Південному Степу.

Розрахунки за варіантом «клімат + CO_2 » вказують на збільшення площі листя в порівнянні із її середнім багаторічним значенням і в порівнянні з варіантом «клімат», а саме: у Поліссі на 22 %, в Західному Лісостепу – на 38 %, в Північному Степу – на 31 %, в Південному Степу – на 13 %.

В разі реалізації сценарію RSP8.5 за варіантом «клімат» розрахунки показують, що відбудеться більш значне збільшення площі листя в порівнянні із середніми багаторічними значеннями та значеннями першого сценарію: а саме в Поліссі на 13 %, Західному Лісостепу – на 30 %, Північному Степу – на 38 %, в Південному Степу – на 22%. Як видно із розрахунків за цим сценарієм найвідчутніші зміни площі листя спостерігатимуться в Західному Лісостепу та Північному Степу, найменші зміни очікуються в Південному Степу (рис. 6.31, 6.32).

Таблиця 6.27 – Порівняння показників фотосинтетичної продуктивності ярого ячменю за середніми багаторічними даними (1986-2005 рр.) та сценаріями зміни клімату RSP4.5 і RSP8.5

Період	Варіант	Площа листя в період максимального розвитку, м ² /м ²	Чиста продуктивність фотосинтезу в період максимального розвитку, г/м ² дек	Приріст маси в період максимального розвитку, г/м ² дек	Суша біомаса, г/м ²	Фотосинтетичний потенціал, м ² /м ²
Полісся						
1986-2005	Базовий	1,62	81	124	454	79
rsp 45	Клімат	1,99	77	148	568	101
	Клімат + CO ₂	2,09	79	159	605	106
rsp 85	Клімат	1,87	84	157	594	100
	Клімат + CO ₂	2,00	86	172	647	106
Західний Лісостеп						
1986-2005	Базовий	1,52	88	126	475	74
rsp 45	Клімат	2,31	86	191	692	116
	Клімат + CO ₂	2,44	88	205	739	121
rsp 85	Клімат	2,16	94	203	712	112
	Клімат + CO ₂	2,32	96	223	777	119
Північний Степ						
1986-2005	Базовий	1,44	83	102	334	65
rsp 45	Клімат	1,96	95	179	563	90
	Клімат + CO ₂	2,08	97	192	600	93
rsp 85	Клімат	2,34	100	224	677	104
	Клімат + CO ₂	2,51	102	245	736	110
Південний Степ						
1986-2005	Базовий	2,66	89	174	499	114
rsp 45	Клімат	2,92	90	188	579	127
	Клімат + CO ₂	3,08	91	202	617	133
rsp 85	Клімат	3,42	100	296	714	137
	Клімат + CO ₂	3,69	102	324	778	150

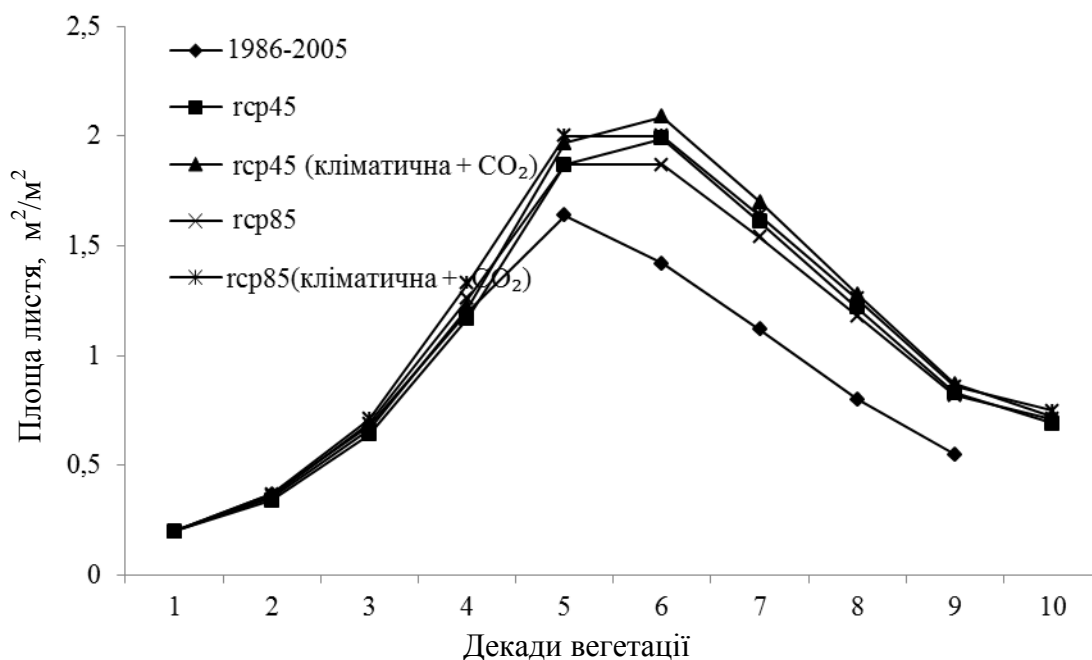


Рисунок 6.31 – Динаміка площі листя ярого ячменю в Поліссі за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценаріями зміни клімату RSP4.5 і RSP8.5

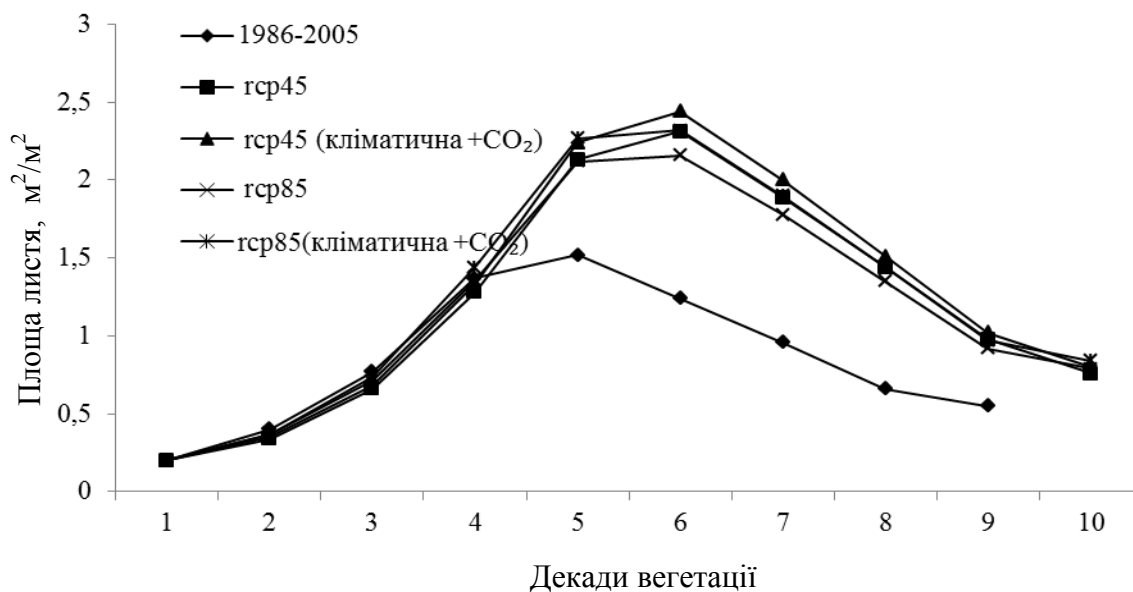


Рисунок 6.32 – Динаміка площі листя ярого ячменю в Західному Лісостепу за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценаріями зміни клімату RSP4.5 і RSP8.5

В разі реалізації сценарію RSP8.5 за варіантом «клімат» розрахунки показують, що відбудеться більш значне збільшення площі листя в порівнянні із середніми багаторічними значеннями та значеннями першого сценарію: а саме в Поліссі на 13 %, Західному Лісостепу – на 30 %, Північному Степу – на 38 %, в Південному Степу – на 22 %. Як видно із

розрахунків за цим сценарієм найвідчутніші зміни площі листя спостерігатимуться в Західному Лісостепу та Північному Степу, найменші зміни очікуються в Південному Степу (рис. 6.31, 6.32).

Результати розрахунків за варіантом «клімат + CO₂» за цим же сценарієм дають можливість стверджувати, що і в порівнянні з середнім багаторічним значенням і в порівнянні з варіантом «клімат» площа листя зростає в Поліссі на 19 %, що на 6 % більше, ніж в попередньому варіанті, в Західному Лісостепу – на 35 %, в Північному Степу – на 43 %, і в Південному Степу – на 28 %. (рис. 6.33, 6.34)

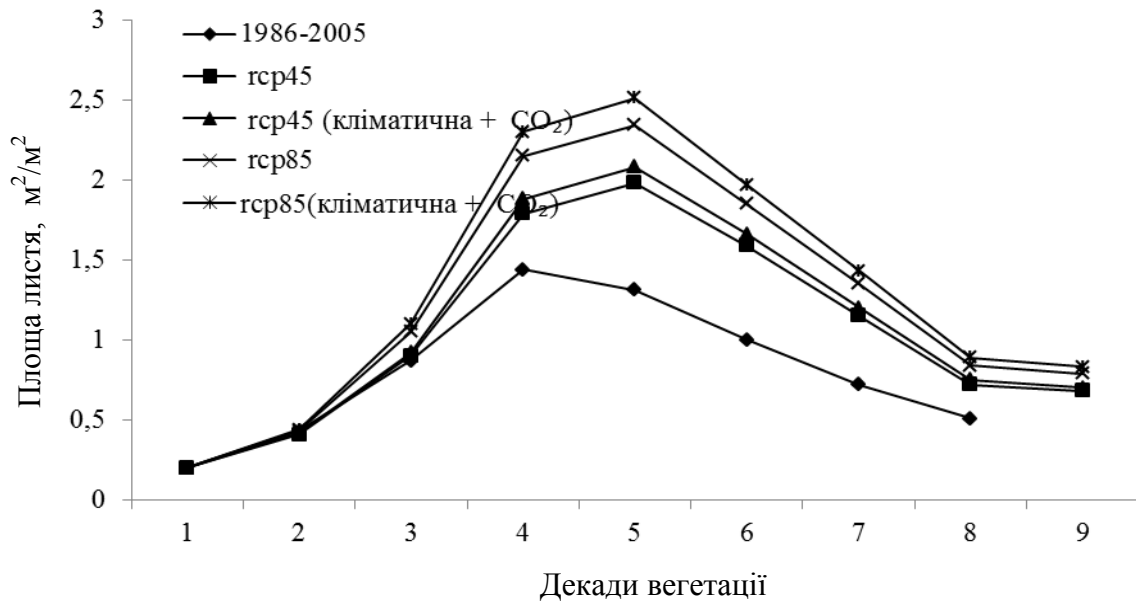


Рисунок 6.33 – Динаміка площі листя ярого ячменю в Північному Степу за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценаріями зміни клімату *rsp 45* і *rsp 85*.

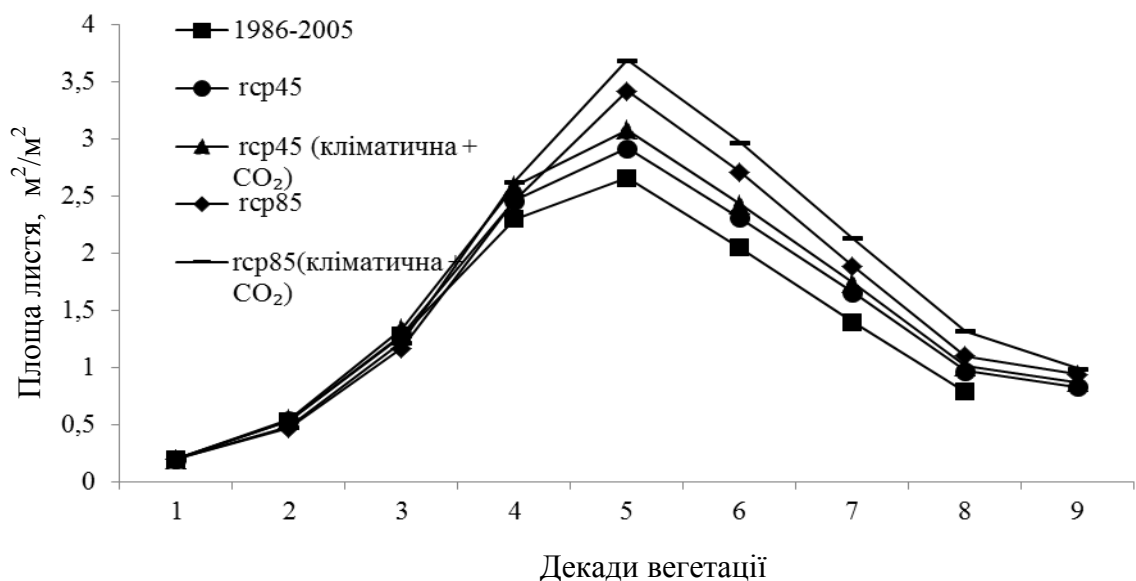


Рисунок 6.34 – Динаміка площі листя ярого ячменю в Південному Степу за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценаріями зміни клімату *rsp 45* і *rsp 85*.

За умови реалізації будь-якого із сценаріїв зміни клімату буде очікуватись більш інтенсивне формування площі асимілюючої поверхні в порівнянні з середніми багаторічними даними.

Ще одним показником фотосинтетичної діяльності посівів ячменю є *суха біомаса рослин*. Середні багаторічні величини сухої маси і розрахунки її величин за варіантами наводяться в табл. 6.27, а її динаміка впродовж вегетаційного періоду на рис. 6.35 – 6.38.

В базовий період середні багаторічні значення сухої маси змінювались від 454 г/м^2 в Поліссі, поступово збільшувались на південь і досягли в Південному Степу 499 г/м^2 .

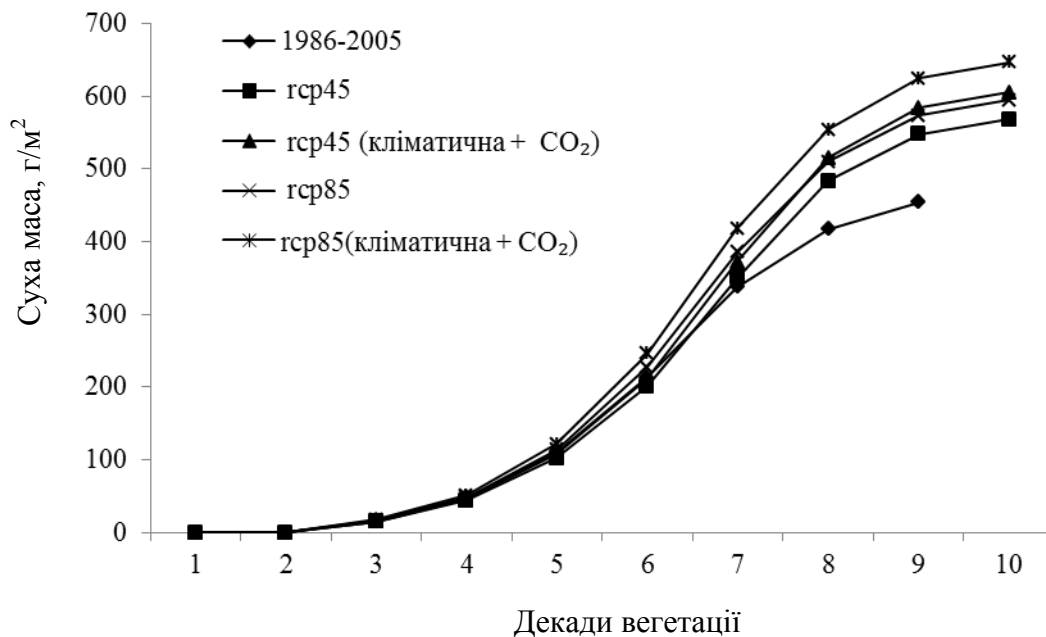


Рисунок 6.35 – Суха маса ярого ячменю в Поліссі за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценаріями зміни клімату RSP4.5 і RSP8.5.

Розрахунки сухої маси за сценаріями RSP4.5 та RSP8.5 показують, що як і площа листя, суха маса збільшується в усіх варіантах в усіх зонах, але темпи збільшення в різних зонах різні.

Так, в разі реалізації сценарію RSP4.5 у варіанті «клімат» збільшення буде в Поліссі на 20%, в Західному Лісостепу – 31%, в Північному Степу – 41 %, в Південному Степу – 14 %. У розрахунках за цим же сценарієм у варіанті «клімат + CO₂» збільшення сухої маси буде вище в порівнянні як із середньою багаторічною, так і в порівнянні зі значеннями варіанту «клімат» і становитиме відповідно 605, 739, 600 та 617 г/м^2 , що більше середніх багаторічних значень сухої маси на 25, 36, 44 та 19 % відповідно (рис. 6.35 – 6.38).

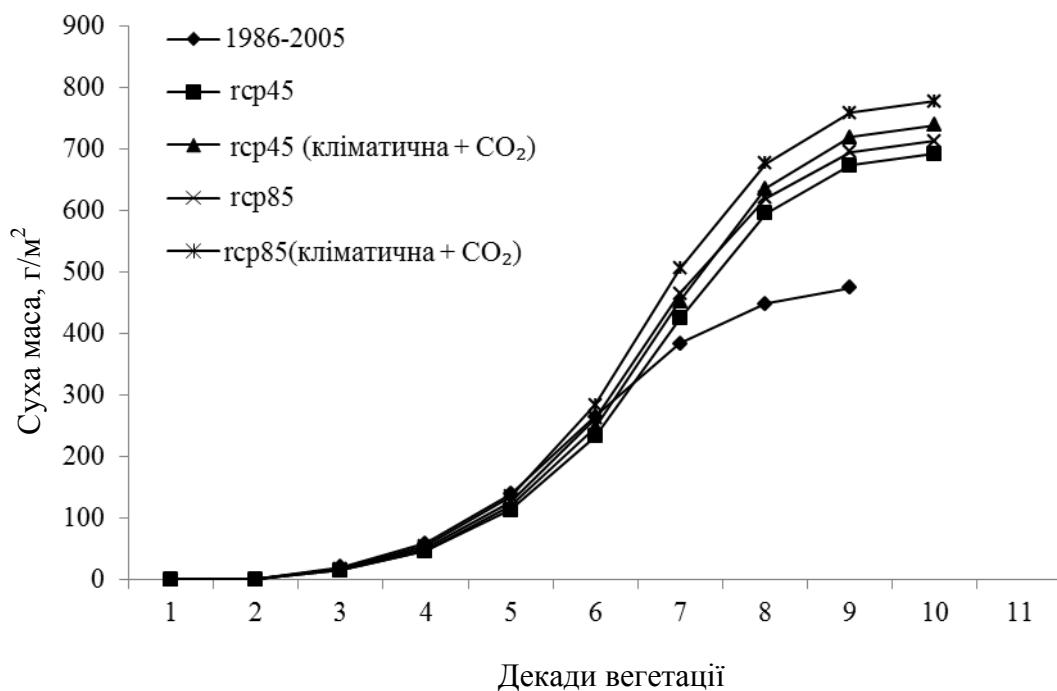


Рисунок 6.36 – Суша маса ярого ячменю в Західному Лісостепу за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценаріями зміни клімату RSP4.5 і RSP8.5

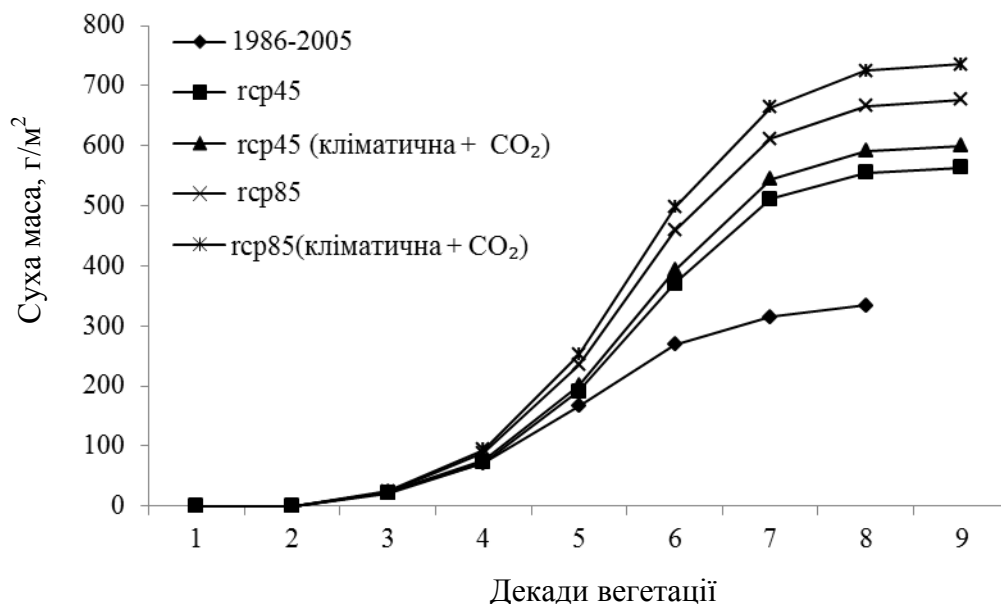


Рисунок 6.37 – Суша маса ярого ячменю в Північному Степу за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценаріями зміни клімату RSP4.5 і RSP8.5.

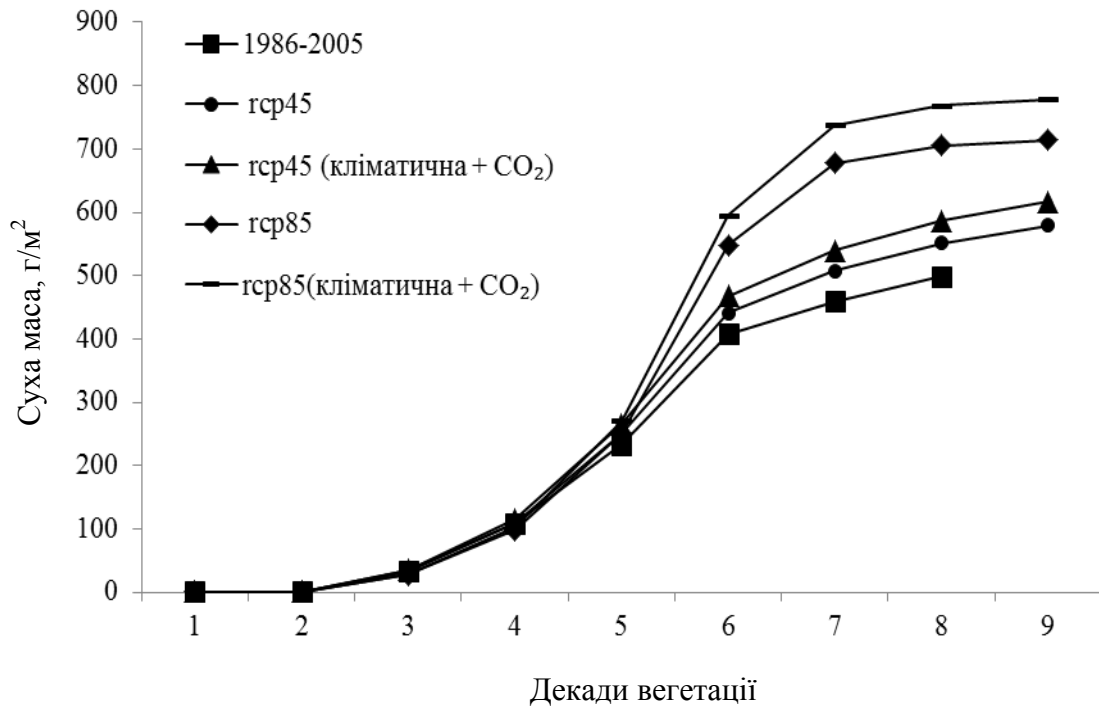


Рисунок 6.38 – Суха маса ярого ячменю в Південному Степу за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценаріями зміни клімату RSP4.5 і RSP8.5.

В разі реалізації сценарію RSP8.5 розрахунки за варіантом «клімат» теж показують збільшення сухої маси рослин у порівнянні із середніми багаторічними, а саме у Поліссі на 31 %, Західному Лісостепу – на 33 %, Північному Степу – на 54 %, Південному Степу на 30%. Особливо відчутне це збільшення у Поліссі (на 6 %), Північному та Південному Степу (на 10 - 12 %).

У варіанті «клімат + CO₂» в Поліссі збільшення сухої маси в порівнянні із варіантом «клімат» не буде спостерігатись. В інших зонах збільшення сухої маси становитиме на 39 % в Західному Лісостепу – на 55 % в Північному Степу і на 36 % в Південному Степу, що на 4 - 6 % вище, ніж у варіанті «клімат».

У відповідності із змінами площі листя, сухої маси рослин буде змінюватись і значення *фотосинтетичного потенціалу* (табл. 6.27, рис. 6.39 – 6.42).

Як видно із табл. 6.27 та рис 6.39 – 6.42 за базовий період значення фотосинтетичного потенціалу були найменшими в Північному Степу і становили 65 м²/м², найбільшими – в Південному Степу – 144 м²/м². Відповідно 74 та 79 м²/м² в Поліссі та Західному Лісостепу.

Розрахунки за обома сценаріями і про всіх варіантах показали, що в період з 2015 по 2050 рр. відбудеться збільшення фотосинтетичного потенціалу, але інтенсивність збільшення різна за різними сценаріями і за варіантами.

Динаміка наростання фотосинтетичного потенціалу, розрахованого за двома сценаріями RSP4.5 та RSP8.5 до п'ятої декади вегетації співпадає із середніми багаторічними за базовий період в усіх природно – кліматичних зонах .

Розглянемо як зміниться фотосинтетичний потенціал до кінця вегетації ярого ячменю по агрокліматичних зонах.

За обома сценаріями у варіантах «клімат» та «клімат + CO₂» у Поліссі фотосинтетичний потенціал зростає на 21 – 25 % у порівнянні із середніми багаторічними значеннями (рис. 6.39).

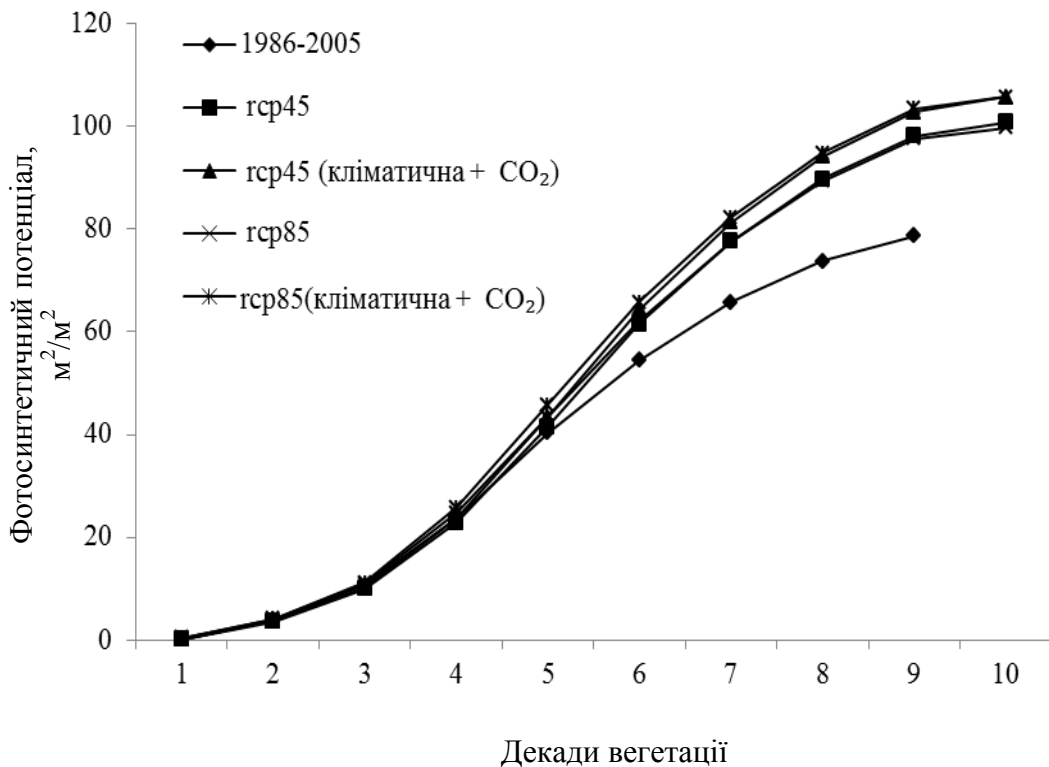


Рисунок 6.39 – Фотосинтетичний потенціал ярого ячменю в Поліссі за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценаріями зміни клімату RSP4.5 і RSP8.5

В Західному Лісостепу фотосинтетичний потенціал за обома сценаріями буде зростати на 34 - 36 % у варіанті «клімат» та на 38 – 39 % у варіанті «клімат + CO₂» і становитиме 112 та 116 м²/м² відповідно (рис. 6.40).

Значення фотосинтетичного потенціалу в Північному Степу за обома сценаріями зростатимуть, але зростання буде більш відчутним за сценарієм RSP8.5 як у варіанті «клімат», так і у варіанті «клімат + CO₂» і становитиме за першим сценарієм 90 та 93 м²/м², та за другим 104 та 110 м²/м² відповідно, або на 28 - 30 % та на 37 та 41 % більше, ніж середні багаторічні (рис. 6.41).

В Південному Степу середні багаторічні значення фотосинтетичного потенціалу найвищі - 114 м²/м², але ріст за розрахунками за сценаріями в

обох варіантам буде найменший по Україні і становитиме за сценарієм *rsp 45* відповідно 10 та 14% , за сценарієм *rsp 85* – 17 та 24 % відповідно (рис.6.42).

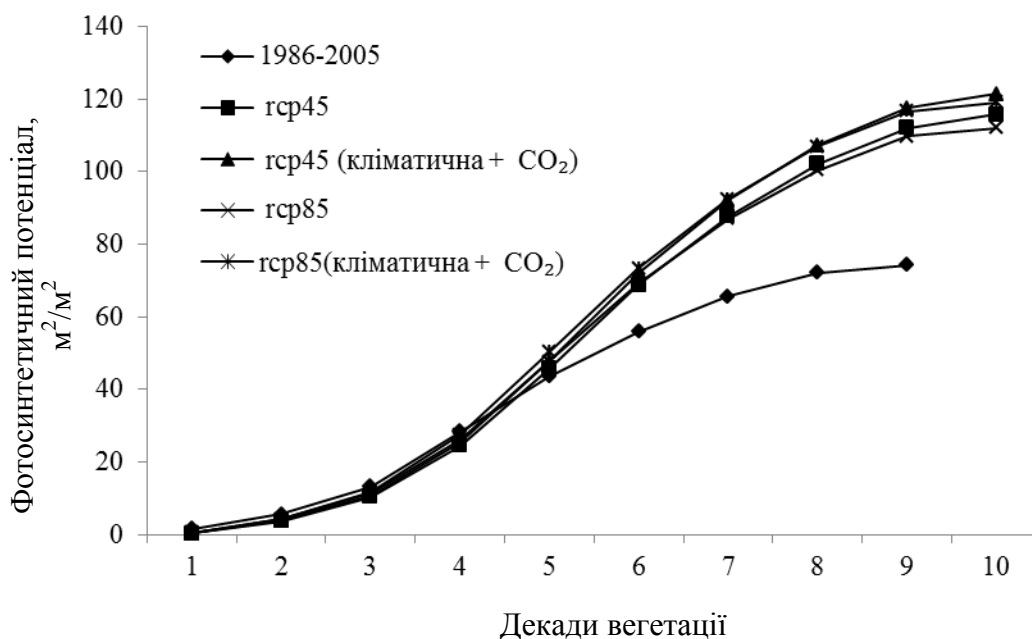


Рисунок 6.40 – Фотосинтетичний потенціал ярого ячменю в Західному Лісостепу за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценаріями зміни клімату RSP4.5 і RSP8.5

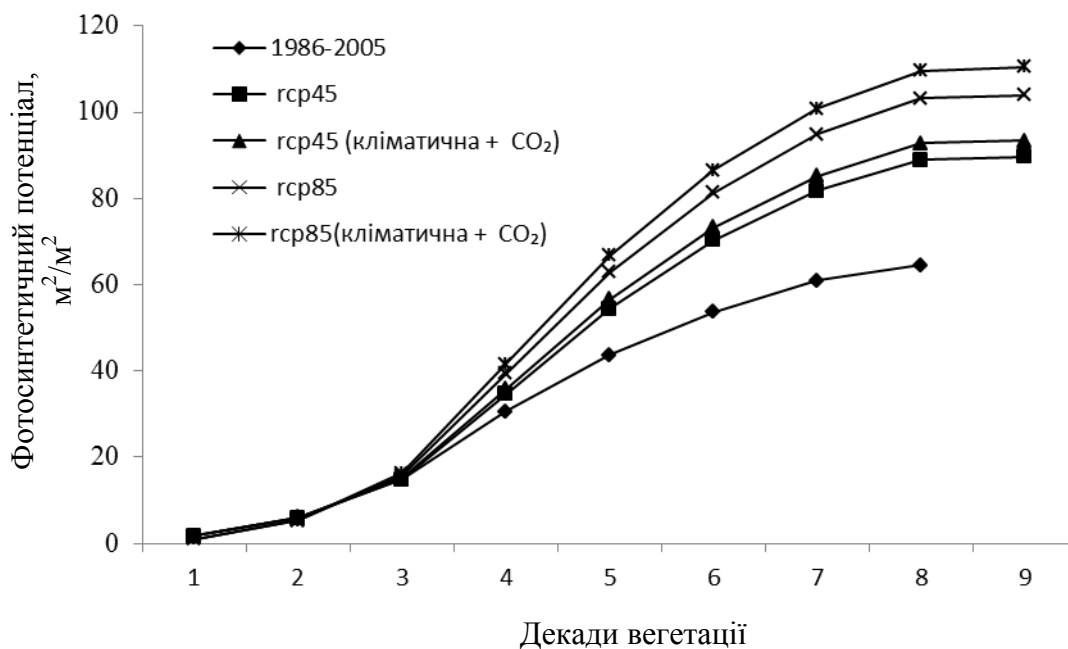


Рисунок 6.41 – Фотосинтетичний потенціал ярого ячменю в Північному Степу за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценаріями зміни клімату RSP4.5 і RSP8.5

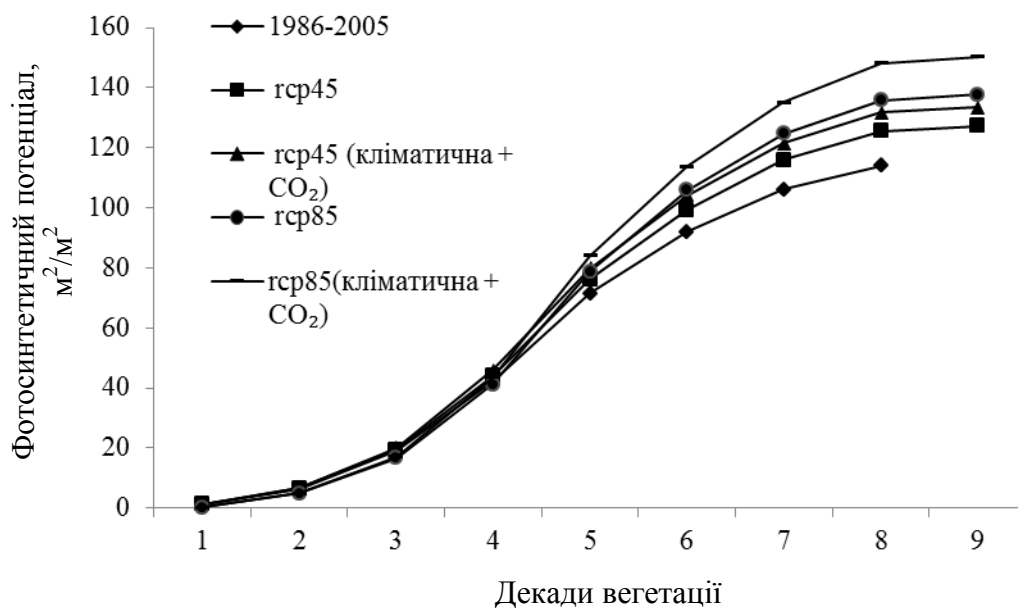


Рисунок 6.42 – Фотосинтетичний потенціал ярого ячменю в Південному Степу за середньобаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценаріями зміни клімату RSP4.5 і RSP8.5

Ще одним показником фотосинтетичної діяльності рослин є чиста продуктивність фотосинтезу. Найвищі значення чистої продуктивності фотосинтезу за середніми багаторічними даними спостерігались в Південному Степу і становили 89 г/м². В Західному Степу вона становила 88 г/м², в Північному Степу – 83 г/м² і у Поліссі – 81 г/м² (рис.6.43).

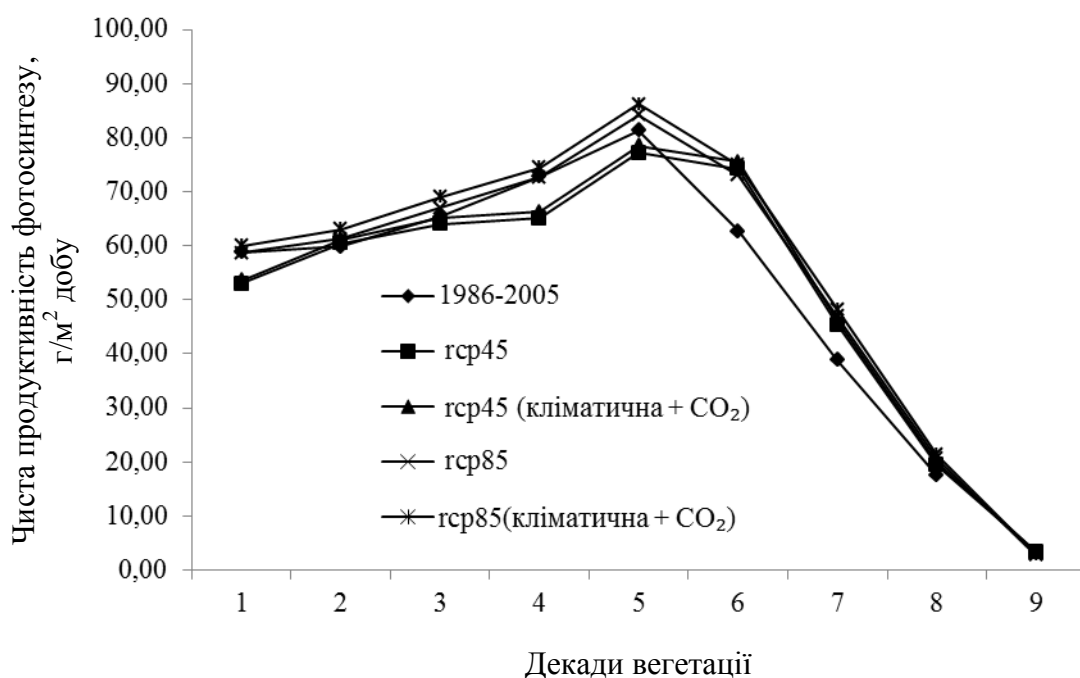


Рисунок 6.43 – Чиста продуктивність фотосинтезу ярого ячменю в Поліссі за середньобаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценаріями зміни клімату RSP4.5 і RSP8.5

В разі реалізації сценарію RSP45 чиста продуктивність фотосинтезу у варіантах «клімат» та «клімат + CO₂» зменшиться на 2 – 4 г/м² в Поліссі. В Західному Лісостепу у варіанті «клімат» вона зменшиться на 2 г/м², у варіанті «клімат + CO₂» буде на рівні середнього значення базового періоду. Якщо ж реалізується сценарій RSP85, то спостерігатиметься збільшення чистої продуктивності фотосинтезу в обох варіантах до 94 та 96 г/м² (рис. 6.44).

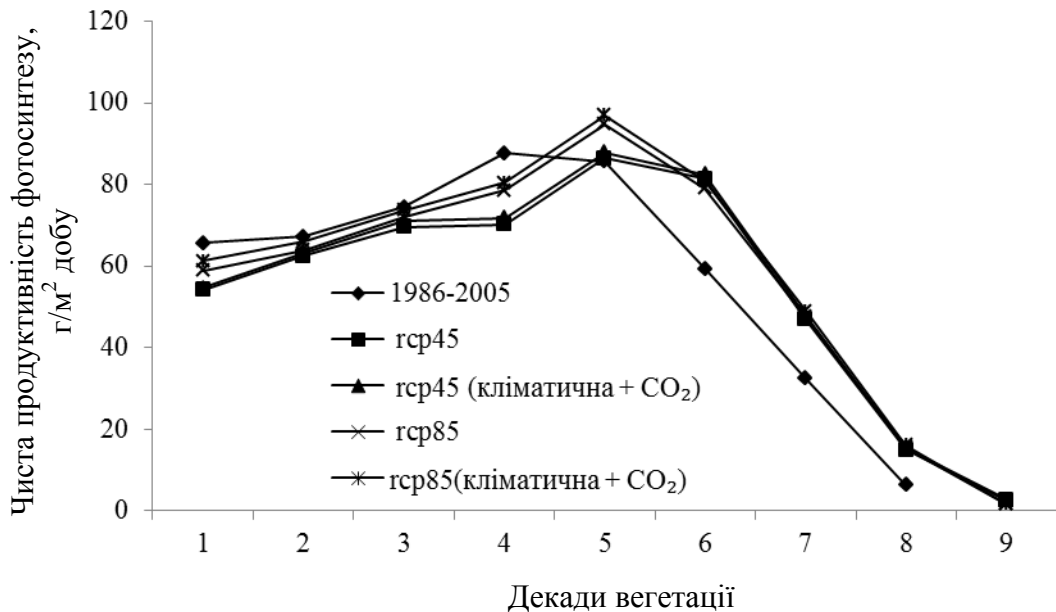


Рисунок 6.44 – Чиста продуктивність фотосинтезу ярого ячменю в Західному Лісостепу за середніми багаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценаріями зміни клімату RSP4.5 і RSP8.5

В Північному Степу теж відбудеться збільшення чистої продуктивності фотосинтезу за обома сценаріями в обох варіантах. За сценарієм RSP4.5 чиста продуктивність становитиме 95 та 97 г/м² відповідно, тобто на 12 та 15 г/м² вище середнього багаторічного. За сценарієм RSP85 вона зросте ще більше і становитиме відповідно 100 та 102 г/м², що на 17 та 19 г/м² більше, ніж середня багаторічна (рис. 6.45).

В Південному Степу чиста продуктивність фотосинтезу за сценарієм *rsp45* зросте в обох варіантах до 90 та 91 г/м², що вище середньої багаторічної всього на 2-3 г/м². За сценарієм RSP85 вона зростатиме інтенсивніше, буде такою ж як і у Північному Степу і становитиме відповідно 100 та 102 г/м², що на 11 та 19 г/м² більше, ніж середня багаторічна (рис. 6.46).

Збільшення до 2050 р. усіх показників фотосинтетичної продуктивності посівів ярого ячменю спричинить підвищення його врожаїв.

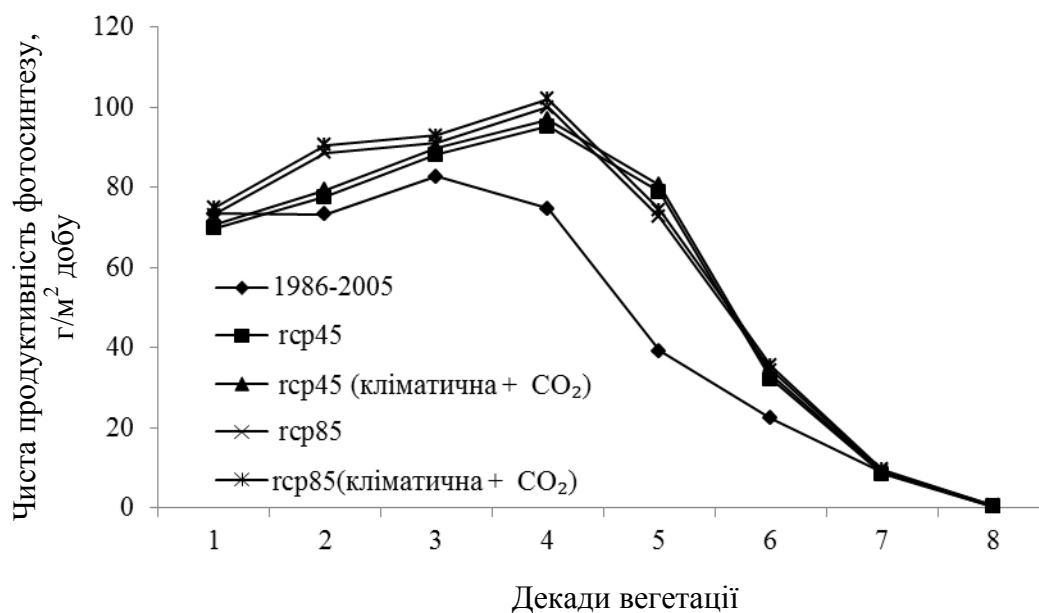


Рисунок 6.45 – Чиста продуктивність фотосинтезу ярого ячменю в Північному Степу за середніми багаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценаріями зміни клімату RSP4.5 і RSP8.5

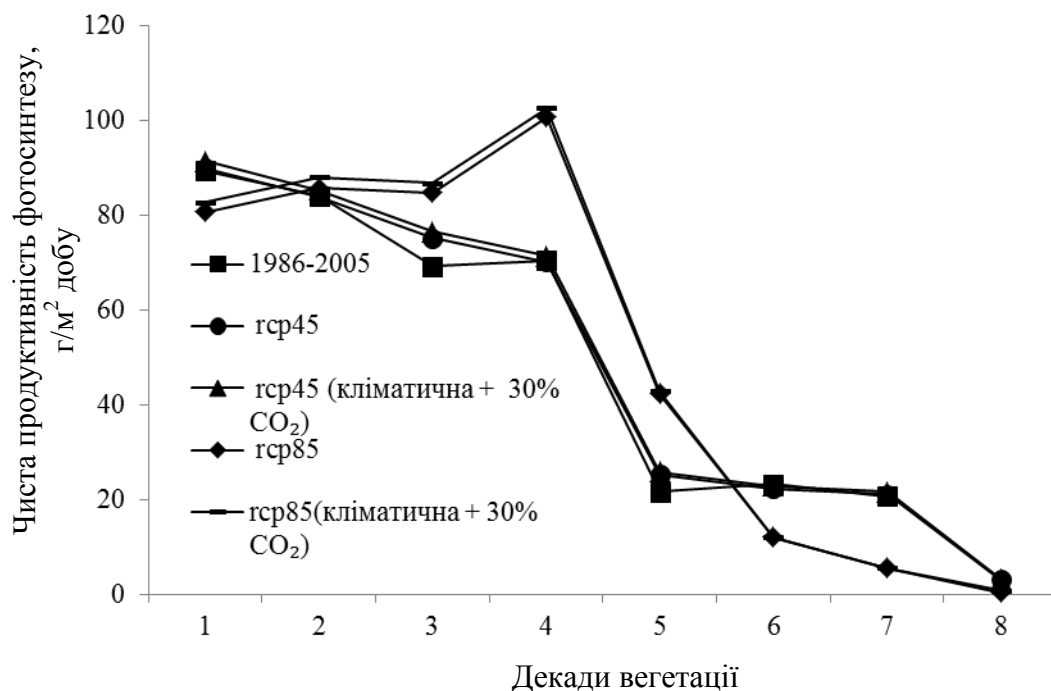


Рисунок 6.46 – Чиста продуктивність фотосинтезу ярого ячменю в Південному Степу за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценаріями зміни клімату RSP4.5 і RSP8.5

Як видно із табл. 6.27 в базовий період найменші врожаї відзначались в Північному Степу і становили 19 ц/га. У Південному Степу вони становили 26 ц/га, в Поліссі – 29 ц/га, в Західному Лісостепу – 30 ц/га.

Так, у Поліссі очікується підвищення врожаю за сценарієм RSP4.5 на 17-22 % і становитиме він 35 – 37 ц/га. За сценарієм підвищення врожаю у першому варіанті очікується до 37 ц/га, тобто на 22 % вище середнього за базовий період, а у другому варіанті підвищення буде відчутнішим і становитиме 41 ц/га, тобто на 29 % вище ніж середній багаторічний.

В Західному Лісостепу підвищення врожаю очікується за сценарієм RSP4.5 в обох варіантах до 43 та 45 ц/га, що вище середнього багаторічного на 30 – 35 % відповідно. За сценарієм RSP8.5 підвищення врожаю в цій зоні очікується до 45 ц/га у першому варіанті та до 49 ц/га у другому, що становитиме на 33 та 39 % вище середнього багаторічного відповідно.

В Північному Степу очікуються найбільші прирости врожаїв: до 44 – 47 % більше середнього багаторічного за першим сценарієм та до 54 – 58 % – за другим.

В Південному Степу за сценарієм RSP4.5 урожаї збільшаться в обох варіантах відповідно на 10 та 15 % і становитимуть 29 – 31 ц/га. За другим сценарієм в цій зоні урожаї в обох варіантах зростуть відповідно на 28 та 34 % в порівнянні з середнім багаторічним і становитимуть 36 та 39 ц/га відповідно.

Розподіл очікуваних ризиків недобору врожаю ярого ячменю в 2021-2050 рр. за сценаріями RSP4.5 та RSP8.5 на території України майже однорідний. На рис. 6.47 та табл. 6.28 наводиться розподіл очікуваних

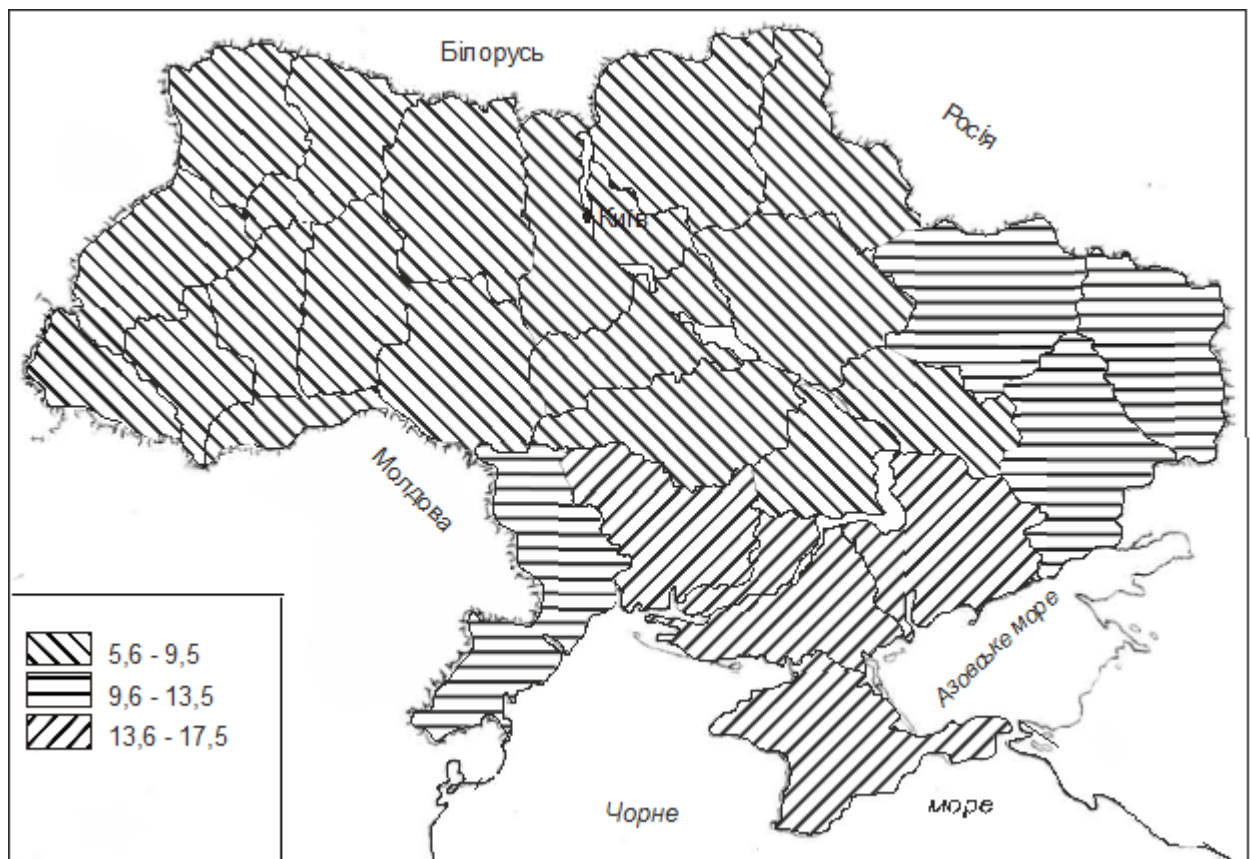


Рис. 6.47 – Розподіл очікуваних ризиків недобору врожаю ярого ячменю в 2021-2050 рр. за сценарієм RSP4.5 (%)

ризиків недобору врожаю ярого ячменю в 2021-2050 рр. за сценарієм RSP4.5.

Таблиця 6.28 – Очікувані ризики недобору врожаю ярого ячменю в 2021-2050 рр. за сценарієм RSP4.5
(0-5 % – низькі, 6-15 % – середні, 16-25 % – високі, >25 % – значно високі)

№ п/п	Область	Ризики недобору врожаю,		Серед. річне ГТК, від.од.
		%	оцінка	
1	АР Крим	17,0	високі	0,7
2	Дніпропетровська	8,3	середні	0,9
3	Донецька	10,1	середні	1,0
4	Запорізька	17,0	високі	0,8
5	Кіровоградська	7,5	середні	1,1
6	Луганська	13,0	середні	1,0
7	Миколаївська	15,0	середні	0,8
8	Одеська	10,9	середні	0,9
9	Херсонська	16,0	високі	0,8
10	Вінницька	7,0	середні	1,4
11	Київська	7,0	середні	1,4
12	Полтавська	7,0	середні	1,0
13	Сумська	7,0	середні	1,2
14	Тернопільська	5,8	низькі	1,5
15	Харківська	10,0	середні	1,0
16	Хмельницька	1,9	низькі	1,4
17	Черкаська	7,4	середні	1,2
18	Чернівецька	5,7	низькі	1,2
19	Волинська	5,6	низькі	1,5
20	Житомирська	6,4	середні	1,5
21	Івано-Франківська	5,6	низькі	1,8
22	Львівська	5,9	низькі	1,6
23	Рівненська	5,8	низькі	1,5
24	Чернігівська	7,0	середні	1,2
25	Закарпатська	5,6	низькі	1,6

За сценарієм RSP4.5 очікувані ризики недобору врожаю ярого ячменю коливатимуться в межах від 5,6 % до 17,5 %. Найменші очікувані ризики недобору врожаю ярого ячменю спостерігатимуться в Поліссі та Західному Лісостепу 5,6 – 9,5 %. Трохи вищі очікувані ризики недобору врожаю ярого ячменю спостерігатимуться в Північному Степу та в західних областях Південного Степу 9,6 – 13,5 %. Найбільші очікувані ризики недобору врожаю

ярого ячменю спостерігатимуться в центральних областях Південному Степу та коливатимуться від 13,6 до 17,5 %.

На рис. 6.48 та табл. 6.29 наводиться розподіл очікуваних ризиків недобору врожаю ярого ячменю в 2021-2050 рр. за сценарієм RSP8.5.

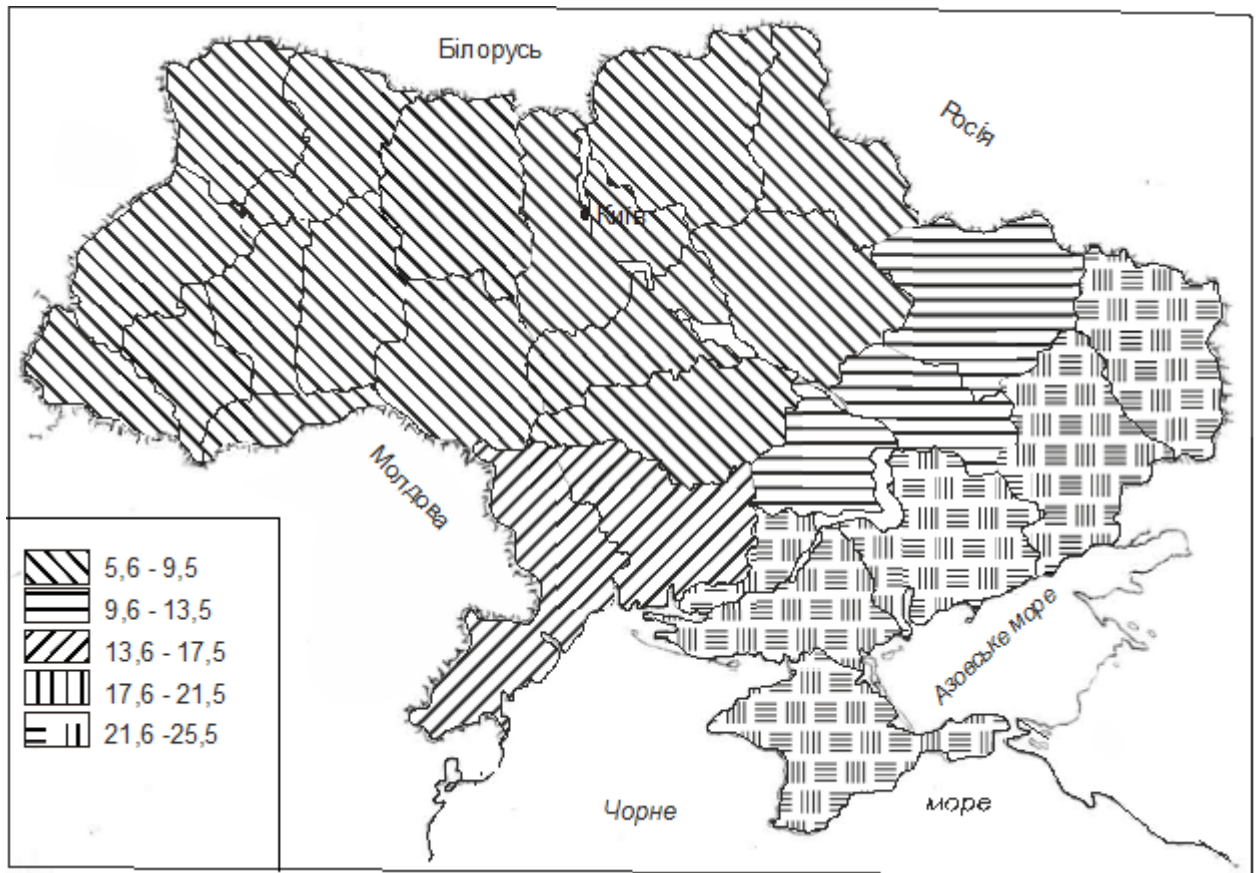


Рис. 6.48 – Розподіл очікуваних ризиків недобору врожаю ярого ячменю в 2021-2050 рр. за сценарієм RSP8.5 (%).

За сценарієм RSP8.5 очікувані ризики недобору врожаю ярого ячменю коливатимуться в межах від 5,6 % до 25,5 % .

Найменші очікувані ризики недобору врожаю ярого ячменю спостерігатимуться в Поліссі та Західному Лісостепу 5,6 – 9,5 %. Трохи вищі очікувані ризики недобору врожаю ярого ячменю спостерігатимуться в південних областях Північному Степу 9,6 – 13,5 %. Середні очікувані ризики недобору врожаю ярого ячменю спостерігатимуться в Південному Степу та коливатимуться від 13,6 до 17,5 %. Найбільш високі очікувані ризики недобору врожаю ярого ячменю спостерігатимуться в центральних областях Південного Степу і складатимуть до 26 %.

В цілому можна сказати, що за обома сценаріями в усіх зонах очікується значна зміна агрокліматичних умов росту, розвитку та формування продуктивності ярого ячменю по території України.

Таблиця 6.29 – Очікувані ризики недобору врожаю ярого ячменю в 2021-2050 рр. за сценарієм RSP8.5
(0-5 % – низькі, 6-15 % – середні, 16-25 % – високі, >25 % – значно високі)

№ п/п	Область	Ризики недобору врожаю,		Серед. річне ГТК, від.од.
		%	оцінка	
1	АР Крим	21,0	високі	0,7
2	Дніпропетровська	11,1	середні	0,9
3	Донецька	23,0	високі	1,0
4	Запорізька	24,0	високі	0,8
5	Кіровоградська	9,2	середні	1,1
6	Луганська	23,9	високі	1,0
7	Миколаївська	15,0	середні	0,8
8	Одеська	15,0	середні	0,9
9	Херсонська	22,0	високі	0,8
10	Вінницька	8,4	середні	1,4
11	Київська	9,0	середні	1,4
12	Полтавська	9,5	середні	1,0
13	Сумська	9,0	середні	1,2
14	Тернопільська	8,0	середні	1,5
15	Харківська	10,3	середні	1,0
16	Хмельницька	8,3	середні	1,4
17	Черкаська	9,2	середні	1,2
18	Чернівецька	7,8	середні	1,2
19	Волинська	7,9	середні	1,5
20	Житомирська	7,3	середні	1,5
21	Івано-Франківська	7,5	середні	1,8
22	Львівська	8,0	середні	1,6
23	Рівненська	8,0	середні	1,5
24	Чернігівська	8,7	середні	1,2
25	Закарпатська	7,5	середні	1,6

Оцінка коливань його урожайності показала, що при зміні клімату за сценаріями RSP4.5 та RSP8.5 складуться сприятливі умови для вирощування ярого ячменю. При чому за реалізації сценарію RSP8.5 умови будуть сприятливішими, ніж за реалізації сценарію RSP4.5. Але очікувані ризики недобору врожаю ярого ячменю за сценарієм RSP8.5 будуть вищі ніж за сценарієм RSP4.5.

6.6 Оцінка агрокліматичних умов вирощування кукурудзи за сценарієм rcp4.5 (період 2021-2050 рр.)

Рівень продуктивності кукурудзи, як і будь-якої сільськогосподарської культури, обумовлюється агрокліматичними умовами. За сценарієм, що розглядався (RCP45 – прогноз середніх кліматичних параметрів на період 2021-2050 рр.) було отримано такі результати:

Для Вінницької, Житомирської, Дніпропетровської, Херсонської областей зміна параметрів клімату (середньої декадної температури повітря, кількості опадів по декадах вегетації, відносної вологості повітря, сумарної сонячної радіації) призведе до таких особливостей агрокліматичних умов вирощування кукурудзи, загальні із яких полягатимуть у наступному:

- суттєве зменшення кількості опадів за вегетаційний період і відповідно погіршення вологозабезпечення для всіх областей, що розглядалися;
- зниження (збільшення дефіциту) або того ж рівня відносної вологості повітря;
- майже незмінного, або дещо нижчого температурного режиму.

Порівняння основних кліматичних параметрів:

При оцінці зміни агрокліматичних умов у період весняно-літньої вегетації кукурудзи за сценарієм зміни клімату RCP4.5 (2021-2050 р.) було проведено порівняння сценарних показників температури повітря, кількості опадів, дефіциту вологості повітря та середніх багаторічних показників за період 1986–2005 роки і отримано такі результати:

Житомирська область.

Середня температура повітря періоду третя декада травня – третя декада серпня зміниться незначно - за сучасних умов 17,8 °С, за сценарієм – 17,4 °С (Рис. 6.49).

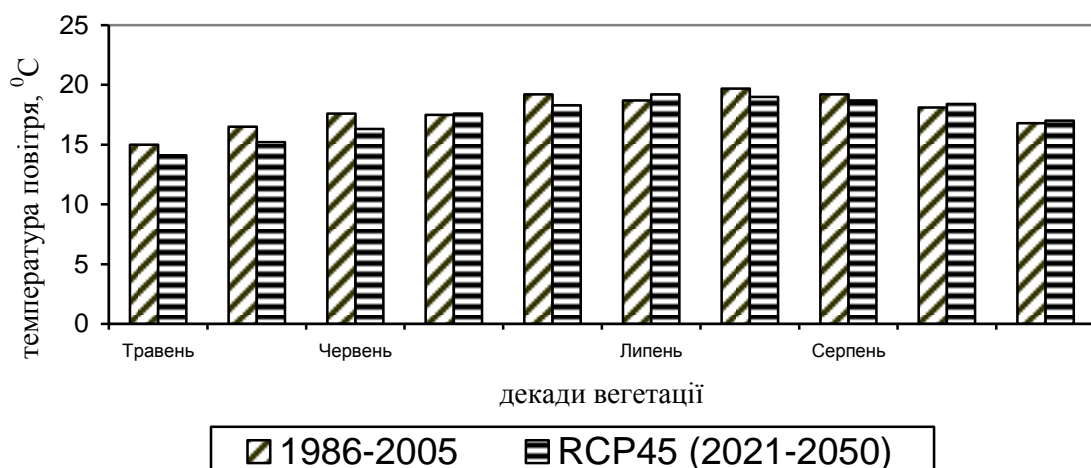


Рисунок 6.49 – Середня декадна температура повітря по декадах вегетації за сценарієм RCP4.5 (2021-2050) та період 1986-2005. 26 травня – 25 серпня.

Кількість опадів за цей же період зазнає значної зміни - від сучасної 239 мм до 188 мм за сценарієм, або зменшиться на 21 %. Дефіцит вологості повітря підвищиться на 10% (Рис. 6.50).

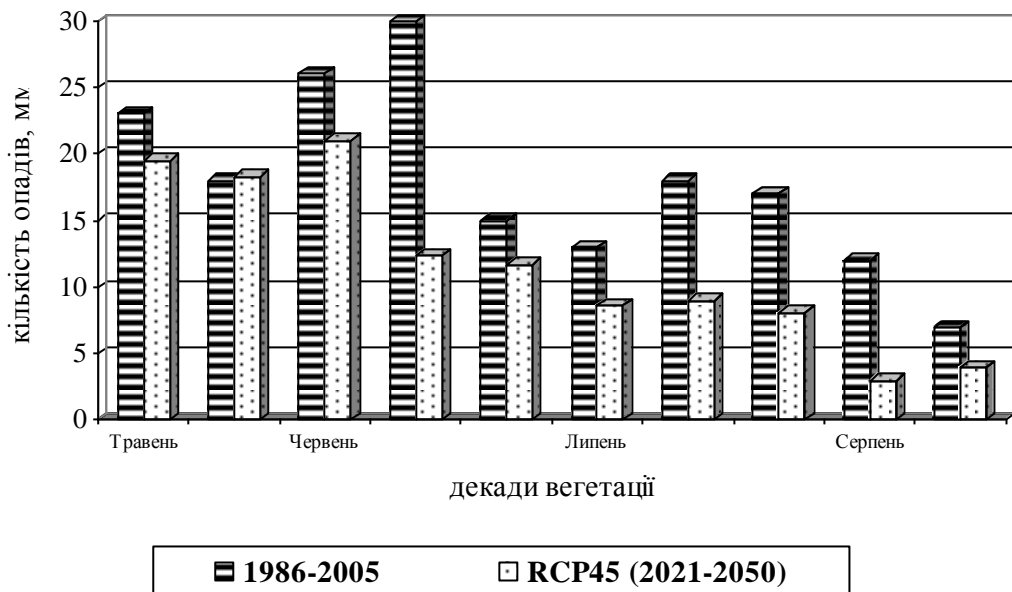


Рисунок 6.50 – Кількість опадів (мм) по декадах вегетації за сценарієм RCP4.5 (2021-2050) та період 1986-2005. 26 травня – 25 серпня.

Вінницька область.

Середня температура повітря вегетаційного періоду (друга декада травня – третя декада серпня) буде нижчою майже на 1°. За сучасних умов вона складає 18,2°, за сценарієм – 17,3° (Рис. 6.51).

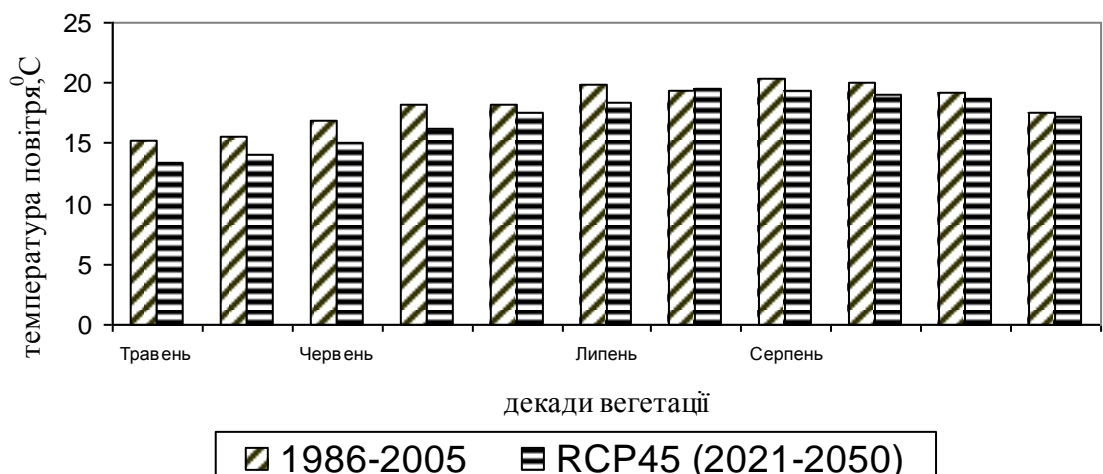


Рисунок 6.51 – Середня декадна температура повітря (°C) по декадах вегетації за сценарієм RCP4.5 (2021-2050) та період 1986-2005.

18 травня – 25 серпня

Кількість опадів за цей же період буде меншою від сучасної на 26 % - відповідно сучасна 256 мм, за сценарієм 191 мм (Рис. 6.52). Дефіцит вологості повітря понизиться на 5 %.

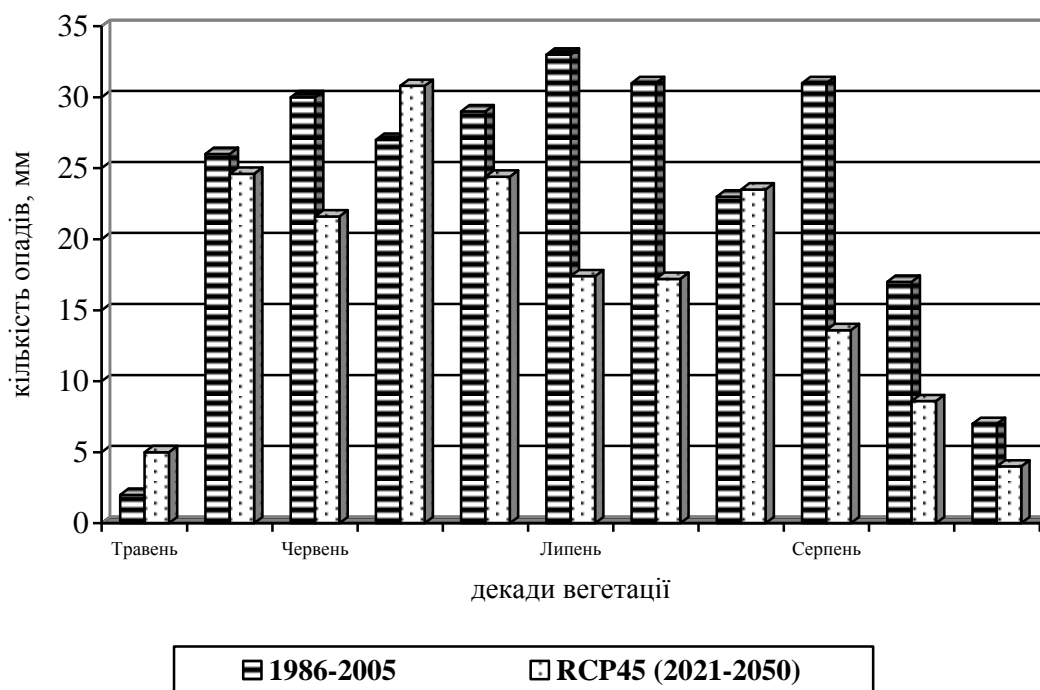


Рисунок 6.52 – Кількість опадів (мм) по декадах вегетації за сценарієм RCP4.5 (2021-2050) та період 1986-2005. 18 травня – 25 серпня.

Дніпропетровська область.

Середня температура повітря періоду третя декада травня – друга декада серпня майже не зміниться - за сучасних умов вона складає 20,4 °С, за сценарієм – 20,2 °С (Рис. 6.53).

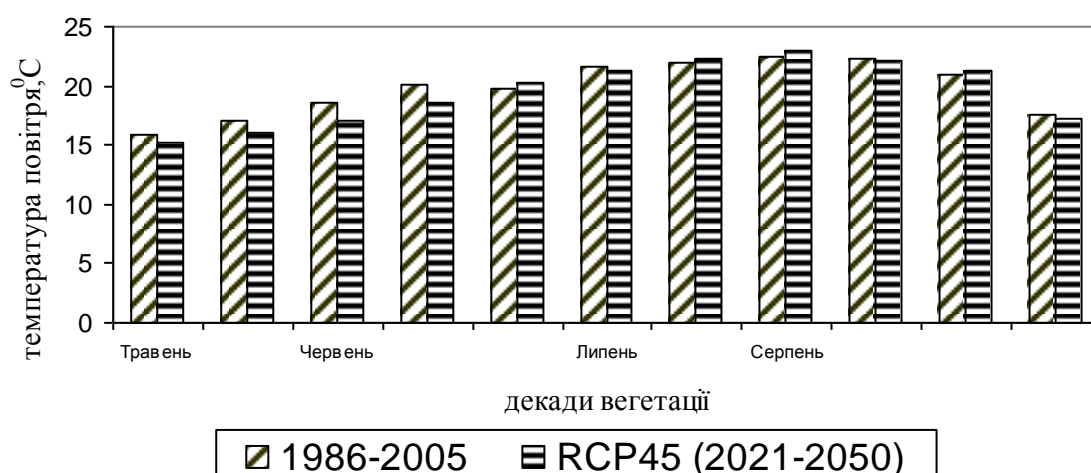


Рисунок 6.53 – Середня декадна температура повітря по декадах вегетації за сценарієм RCP4.5 (2021-2050) та період 1986-2005. 20 травня – 14 серпня.

Кількість опадів за цей же період зазнає значної зміни - від сучасної 156 мм до 116 мм за сценарієм, або зменшиться на 36 % (Рис. 6.54). Дефіцит вологості повітря підвищиться на 10 %.

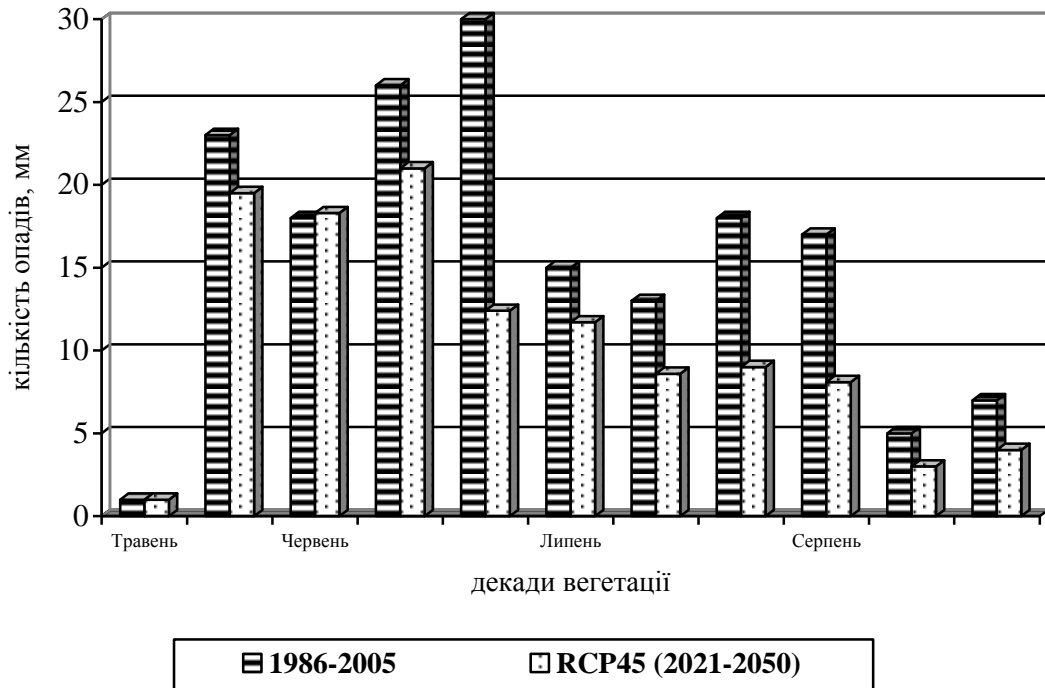


Рис. 6.54— Кількість опадів (мм) по декадах вегетації за сценарієм RCP4.5 (2021-2050) та період 1986-2005. 20 травня – 14 серпня.

Херсонська область.

Середня температура повітря періоду вегетаційного періоду (друга декада травня – друга декада серпня) майже не зміниться - за сучасних умов 20,9 °С, за сценарієм – 20,8 °С (Рис. 6.55).

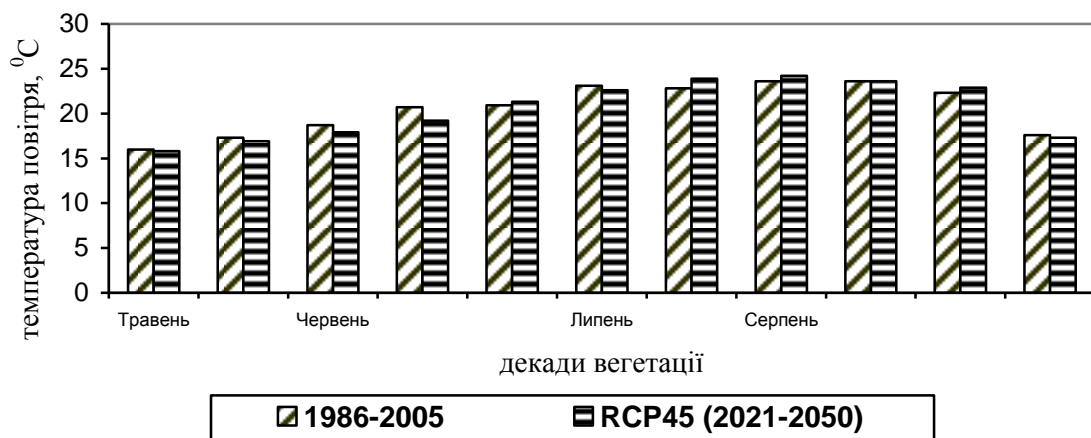


Рисунок 6.55 – Середня декадна температура повітря по декадах вегетації за сценарієм RCP4.5 (2021-2050) та період 1986-2005. 16 травня – 16 серпня

Кількість опадів за цей же період зменшиться майже вдвічі (на 45%) - від сучасної 167 мм до 90 мм за сценарієм (Рис. 6.56). Дефіцит вологості повітря майже не зміниться.

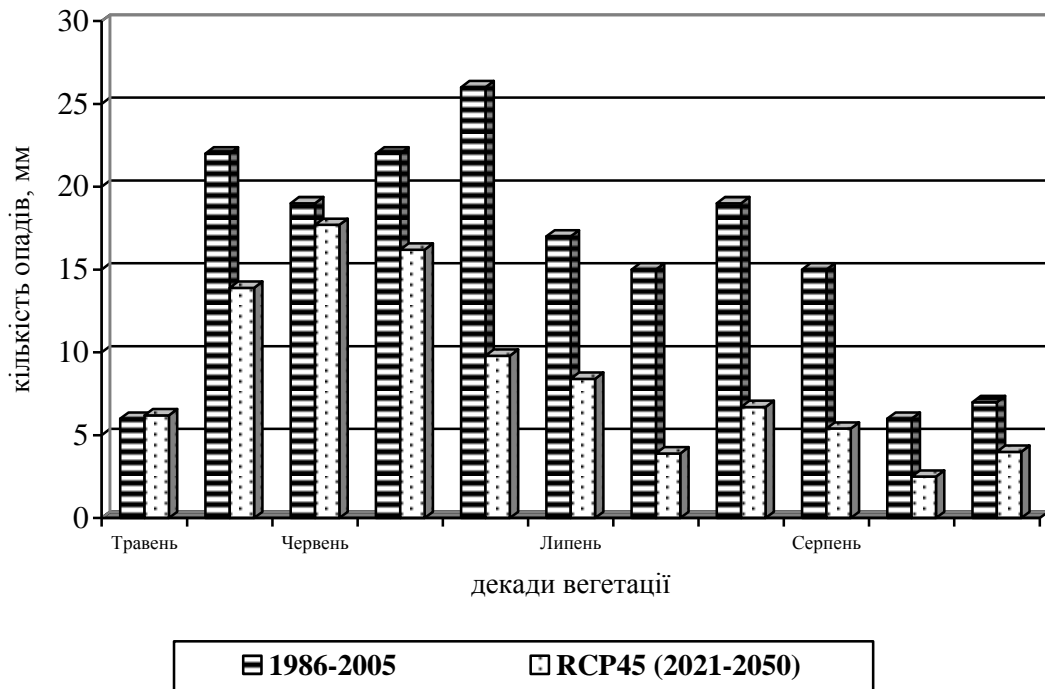


Рисунок 6.56 – Кількість опадів (мм) по декадах вегетації за сценарієм RCP4.5 (2021-2050) та середні багаторічні за 1986-2005.
16 травня – 16 серпня

Теплозабезпечення

Модельні розрахунки показують, що у зв'язку із тим, що за сценарієм RCP4.5 (2021-2050) ні в одній із областей, що розглядалися, не очікується значного підвищення температури повітря, за сценарієм вона залишиться на сучасному рівні та навіть дещо нижчою, то ж і теплозабезпечення вегетаційного циклу кукурудзи найімовірніше відповідатиме показникам, які були взяті за основу (1986-2005).

Внаслідок того, що рівень температури повітря визначає швидкість проходження фенологічних фаз розвитку та загальну тривалість вегетаційного періоду, а відповідно до сценарних показників температура повітря майже не зміниться, тому і дати настання фенологічних фаз розвитку кукурудзи зміниться незначно (не більше на 1-3 днів), відповідно і тривалість міжфазних періодів та вегетаційного періоду в цілому також буде близькою до сучасної.

Вологозабезпечення.

Як було показано раніше, за сценарними показниками очікується значне зменшення опадів за вегетаційний період, отже вологозабезпечення буде

основним лімітуючим фактором для майбутнього рівня урожайності кукурудзи. Суттєве зменшення запасів води у другій половині вегетації кукурудзи ймовірно спричинятиме більш ранню витрату води метрового шару, порівняно із сучасними умовами (висушування ґрунту), що у свою чергу призводитиме до погіршення умов для завершення формування урожаю кукурудзи, відповідно до зменшення її потенційної урожайності.

Таким чином, у зв'язку із суттєвим зменшенням кількості опадів вегетаційного періоду, яке прогнозується за сценарієм, ймовірно значне погіршення вологозабезпечення. Про це свідчить порівняння Рис. 6.57-6.60). розрахункових запасів води метрового шару по декадах вегетації та середніх багаторічних фактичних показників по областях, що розглядалися.

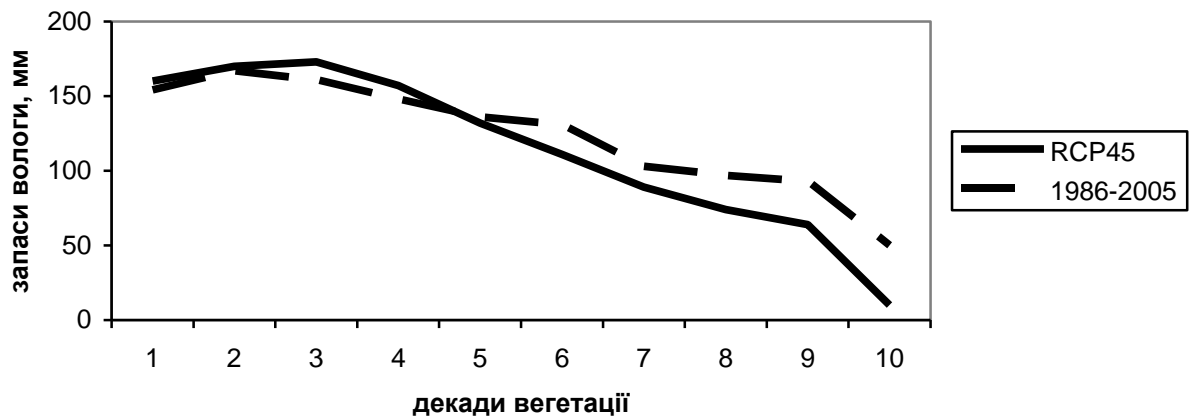


Рисунок 6.57 – Розрахункові запаси води (мм) по декадах вегетації у метровому шарі ґрунту за сценарними даними RCP45 (2021-2050) та середні багаторічні за період 1986-2005. Житомирська обл.



Рисунок 6.58 – Розрахункові запаси води (мм) по декадах вегетації у метровому шарі ґрунту за сценарними даними RCP4.5 (2021-2050) та середні багаторічні за період 1986-2005. Вінницька обл.

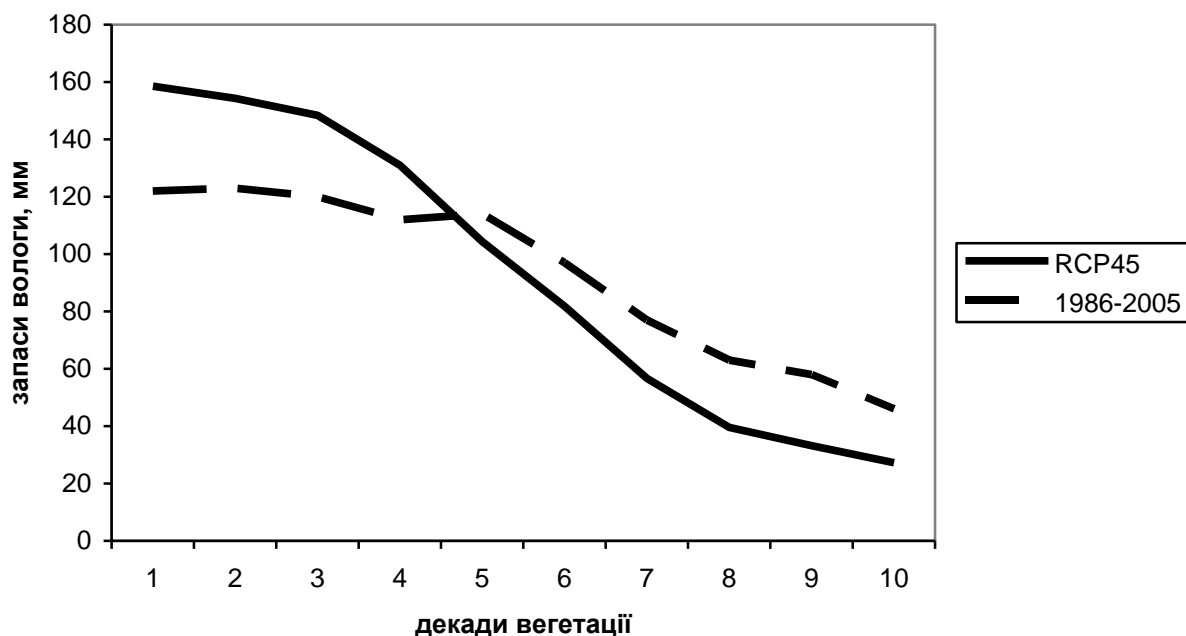


Рисунок 6.59 – Розрахункові запаси вологи (мм) по декадах вегетації у метровому шарі ґрунту за сценарними даними RCP4.5 (2021-2050) та середні багаторічні за період 1986-2005. Дніпропетровська обл.

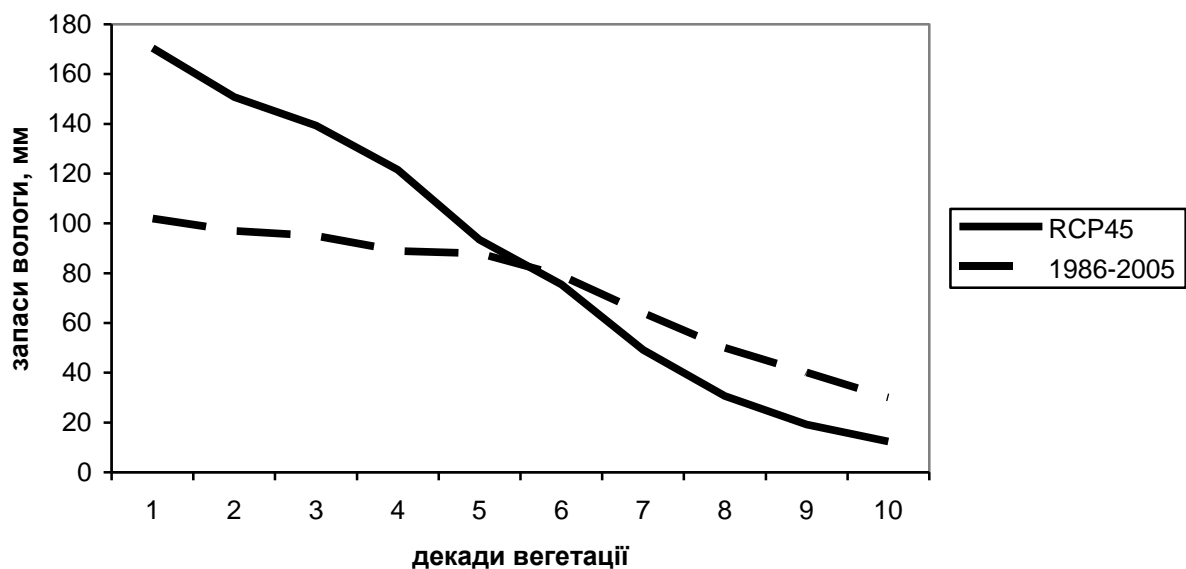


Рисунок 6.60 – Розрахункові запаси вологи (мм) по декадах вегетації у метровому шарі ґрунту за сценарними даними RCP4.5 (2021-2050) та середні багаторічні за період 1986-2005. Херсонська обл.

Продуктивність.

На графіках (Рис. 6.61-6.64) представлено динаміку приростів біомаси кукурудзи по областях, які розглядалися, за сценарієм та розрахункові за середніми багаторічними показниками.

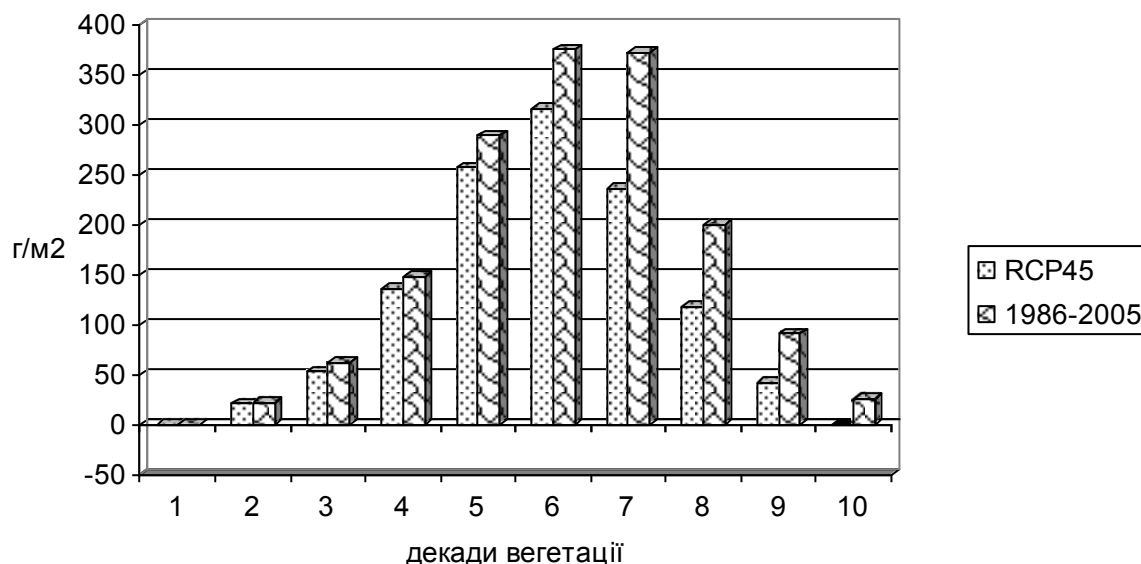


Рисунок 6.61 – Динаміка приростів загальної біомаси кукурудзи (г/м²) за сценарієм зміни клімату та середніми багаторічними даними у Житомирській обл.

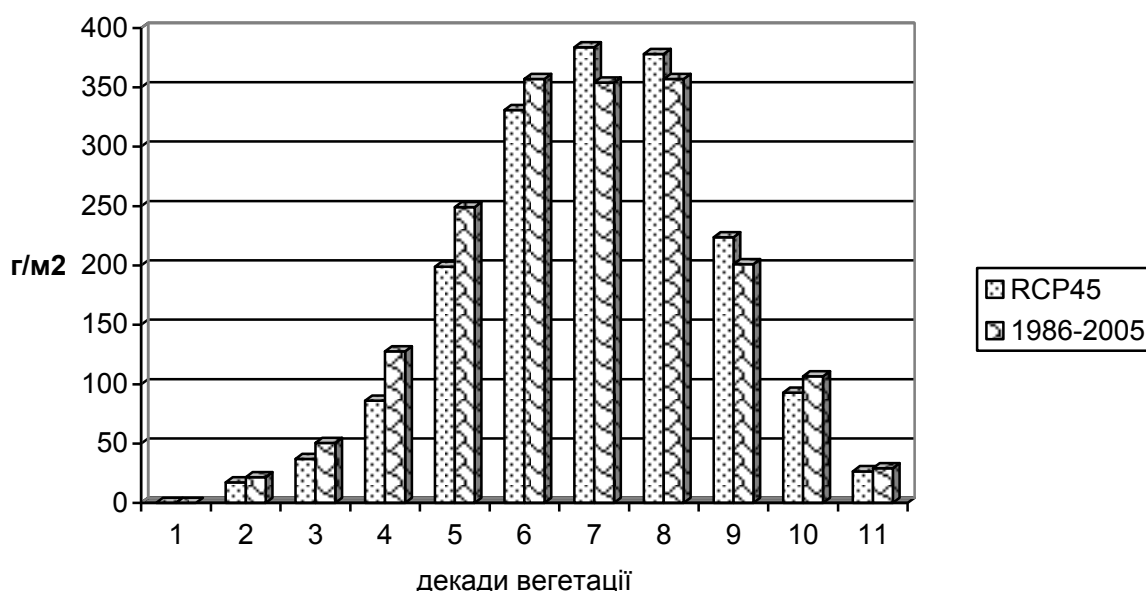


Рисунок 6.62 – Динаміка приростів загальної біомаси кукурудзи (г/м²) за сценарієм зміни клімату та середніми багаторічними даними у Вінницькій обл.

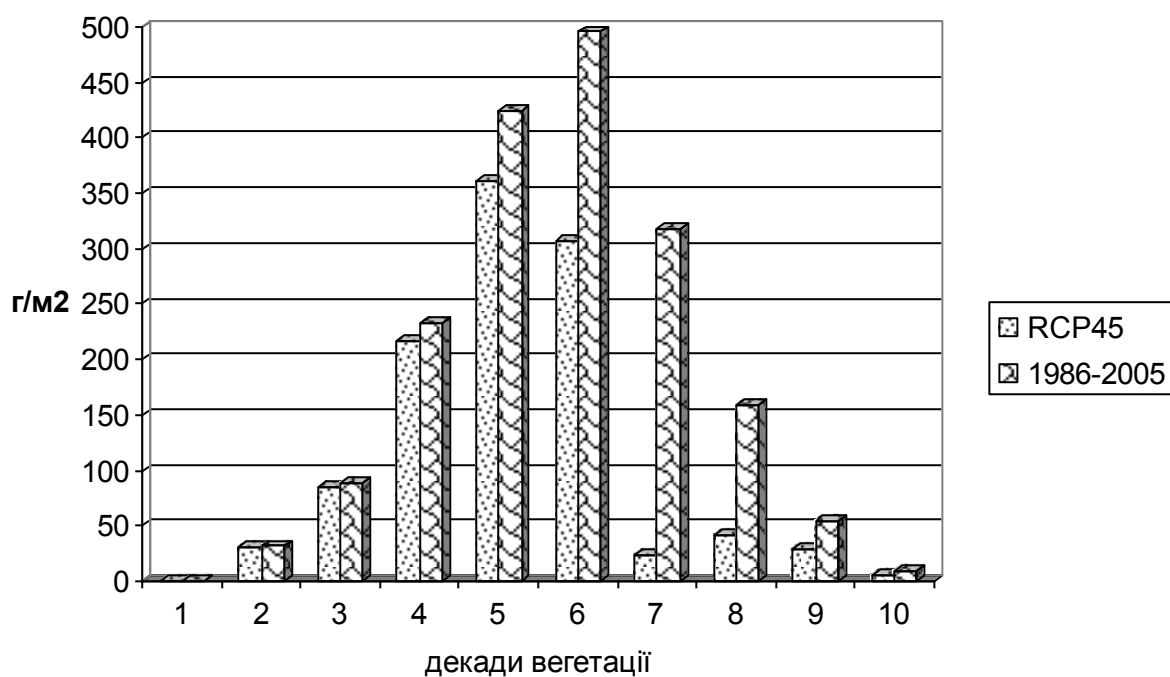


Рисунок 6.63 – Динаміка приростів загальної біомаси кукурудзи (г/м²) за сценарієм зміни клімату та середніми багаторічними даними у Дніпропетровській обл.

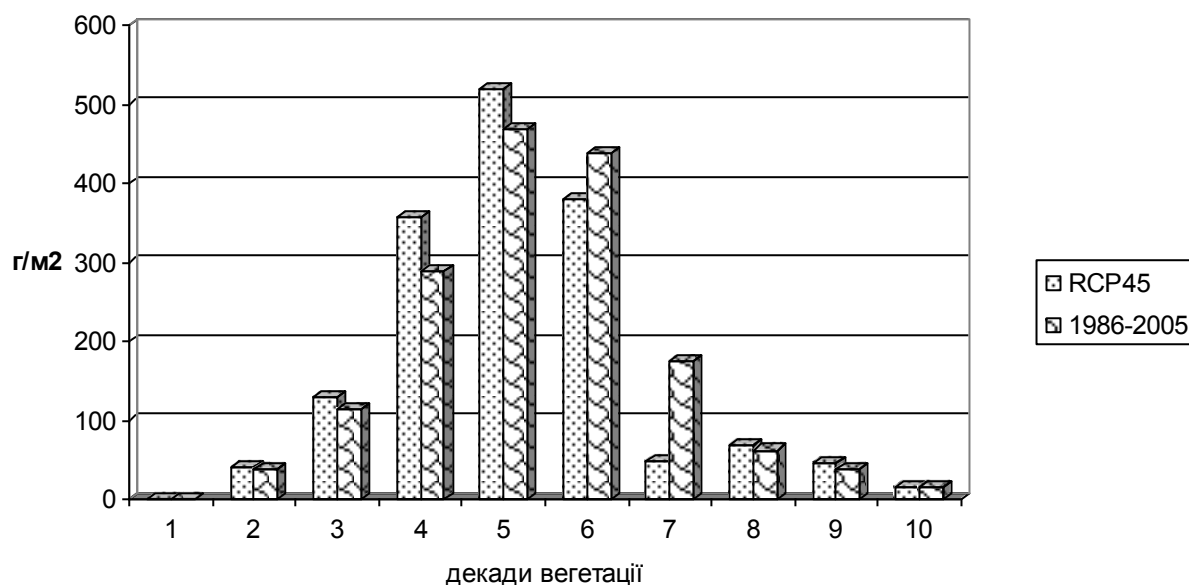


Рисунок 6.64 – Динаміка приростів загальної біомаси кукурудзи (г/м²) за сценарієм зміни клімату та середніми багаторічними даними у Херсонській обл.

Урожайність

Моделювання рівня урожайності кукурудзи за сценарними даними в кінцевому підсумку показало наступні результати щодо можливої урожайності порівняно із максимальною урожайністю, яка була отримана на території областей за період 1990 -2014 рр. (Рис. 6.65):

Дніпропетровська область – зниження урожайності на 42 %;

Вінницька область – зниження урожайності на 27 %;

Житомирська область – зниження урожайності на 49 %

Херсонська область – збільшення урожайності на 60 %;

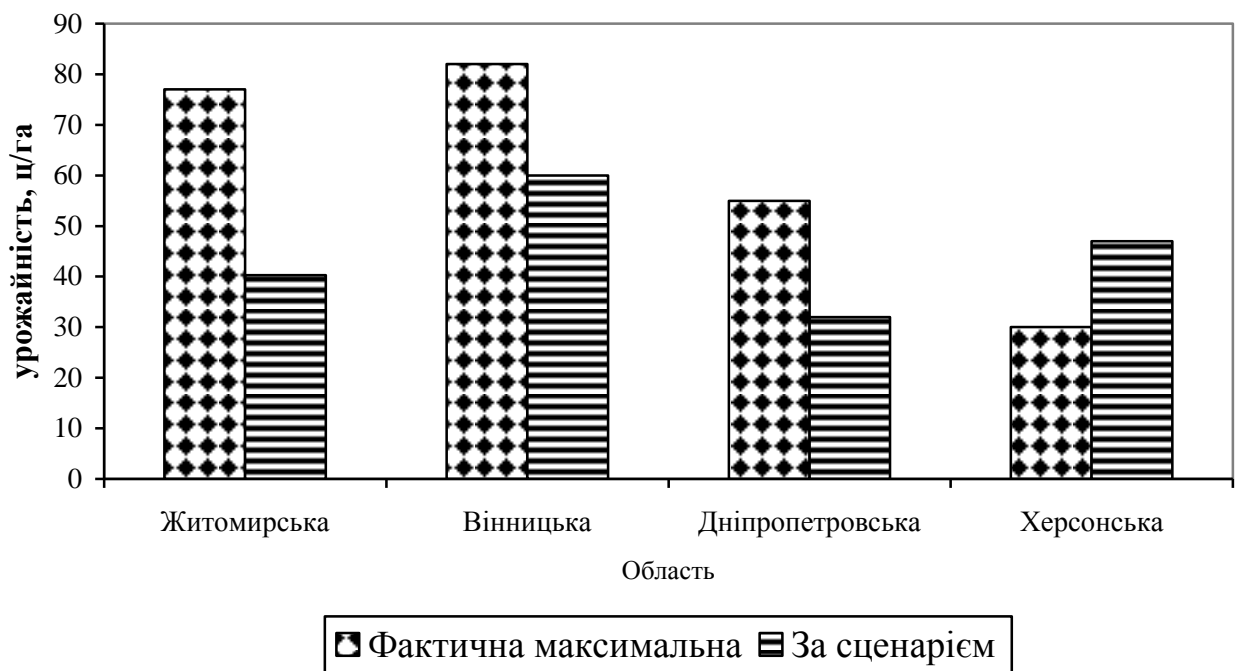


Рисунок 6.65 – Розрахункова урожайність кукурудзи за сценарієм RCP4.5 (2021-2050) та максимальна фактична урожайність кукурудзи за період 1990-2015 рр.

Таким чином, найбільше погіршення агрокліматичних умов, разом із цим і падіння урожайності майже вдвічі, ймовірне у Дніпропетровській та Житомирській областях за сценарієм RCP4.5.

6.7 Оцінка впливу кліматичних змін на ріст, розвиток і формування врожаю соняшника

В Україні одною з найпопулярніших олійних культур є соняшник. Високий рівень рентабельності і попит на насіння спричинили значне розширення його посівних площ. Соняшник - основна олійна культура країни. За народногосподарської цінності і значенням він не поступається таким широко розповсюдженим культурам, як пшениця, кукурудза, соя. У порівнянні з іншими олійними культурами соняшник дає найбільший вихід олії з одиниці площі. На соняшникову олію припадає 98% загального виробництва олії в Україні.

Україна займає лідируючі позиції в рейтингу світових виробників і експортерів насіння соняшнику. Питома вага країни у виробництві олійної становить 50 %.

В даний час посівні площі під соняшником в Україні вже досягли максимальних розмірів. Тому потенціал збільшення виробництва олійної закладений в інтенсифікації виробництва, тобто в підвищенні рівня агротехнологій, в першу чергу зусилля повинні бути спрямовані на підвищення врожайності олійної.

Зважаючи на це, розглянемо як будуть змінюватись умови розвитку соняшнику під впливом змін клімату.

Для оцінки впливу на ріст, розвиток и формування врожаю соняшнику можливих змін клімату були використані сценарії змін клімату в Україні RCP4.5 та RCP8.5.

Дослідження формування врожаю соняшнику проводилося на основі динамічної моделі продуктивності посівів сільськогосподарських культур.

Для порівняльного аналізу сценарних метеорологічних величин з минулими даними з агрокліматичного довідника України [1] береться період з 1986 до 2005 рр., що є базовим. В сценаріях RCP4.5 та RCP8.5 розглядається кліматичний період з 2021 до 2050 рр.

Розрахунки виконувались для природно-кліматичних зон України: Східний Лісостеп, Північний Степ і Південний Степ.

Вплив змін клімату на формування продуктивності соняшнику розглядався за умов сучасної агротехніки та сучасних сортів і гібридів в припущенні, що вони суттєво не зміняться.

6.7.1 Оцінка термінів сівби та фаз розвитку соняшнику

Розглянемо як під впливом змін клімату будуть змінюватись термін сівби й дати настання фаз розвитку соняшнику.

Із табл. 6.30 видно, що середні багаторічні терміни сівби соняшнику спостерігались практично однакові в Східному Лісостепу (29 квітня) і Північному Степу (30 квітня), та зміщувались на більш ранні терміни в Південному Степу, а саме до 25 квітня.

Таблиця 6.30– Фази розвитку соняшнику за середніми багаторічними даними та сценаріями змін клімату RCP4.5 і RCP 8.5

Кліматичний період	Сівба	Фази розвитку			Тривалість періоду сівба-збиральна стиглість , дні
		Сходи	Цвітіння	Збиральна стиглість	
Східний Лісостеп					
1986-2005	29.04	15.05	23.07	15.09	139
Сценарій RCP4.5					
2021-2050	16.04	06.05	20.07	06.09	143
Різниця	-13	-9	-3	-9	+4
Сценарій RCP8.5					
2021-2050	17.04	05.05	25.07	05.09	141
Різниця	-12	-10	+2	-10	+2
Північний Степ					
1986-2005	30.04	15.05	16.07	10.09	133
Сценарій RCP4.5					
2021-2050	15.04	04.05	15.07	29.08	135
Різниця	-15	-11	-1	-11	+2
Сценарій RCP8.5					
2021-2050	11.04	02.05	12.07	26.08	137
Різниця	-19	-13	-4	-14	+4
Південний Степ					
1986-2005	25.04	10.05	08.07	30.08	127
Сценарій RCP4.5					
2021-2050	10.04	27.04	03.07	17.08	129
Різниця	-15	-13	-5	-13	+2
Сценарій RCP8.5					
2021-2050	08.04	25.04	02.07	16.08	130
Різниця	-17	-15	-6	-14	+3

За умов реалізації сценаріїв змін клімату RCP4.5 та RCP8.5, терміни сівби соняшнику мало відрізнятимуться за сценаріями і змістяться на більш ранні строки в порівнянні з середніми багаторічними в усіх досліджуваних природно-кліматичних зонах. Відчутніші відхилення спостерігатимуться у

Степовій зоні: у Північному степу (14-19 днів), у Південному Степу (15-17 днів). Більш значна відмінність у термінах настання сівби за сценаріями буде спостерігатись в Північному Степу, де за сценарієм RCP4.5 воно становитимуть 14 днів, а за сценарієм rsp 85 – 19 днів.

Відповідно змістяться і строки появи сходів. Сходи соняшнику за середніми багаторічними даними базового періоду спостерігалися в Східному Лісостепу і Північному Степу 15 травня, а в Південному Степу – 10 травня. За сценаріями зміни клімату RCP4.5 та RCP8.5 відхилення термінів сходів очікуються за обома сценаріями і наставатимуть раніше середніх багаторічних на 9-10 днів в Східному Лісостепу, на 11-13 днів – в Північному Степу і на 13-15 днів – в Південному Степу.

Наступна за сходами фаза цвітіння, що характеризує закінчення періоду листяутворення та утворення суцвіть, за обома сценаріями в усіх розглянутих природно - кліматичних зонах очікується близькою до середніх багаторічних. Відчутніші відхилення спостерігатимуться у Південному Степу (на 5-6 днів раніше). Відмінність у термінах настання цвітіння за сценаріями буде спостерігатись в Східному Лісостепу, де за сценарієм RCP4.5 воно наставатимуть раніше середніх багаторічних на 3 дні, а за сценарієм RCP8.5 пізніше на 2 дні.

Збиральна стиглість насіння соняшнику за середніми багаторічними даними базового періоду спостерігалась в Східному Лісостепу 15 вересня, у Північному Степу – 10 вересня, а в Південному Степу – 30 серпня. За сценаріями зміни клімату RCP4.5 та RCP8.5 відхилення термінів сходів очікуються за обома сценаріями і наставатимуть раніше середніх багаторічних на 9-10 днів в Східному Лісостепу, на 11-14 днів – в Північному Степу і на 13-14 днів – в Південному Степу.

В наслідок зміщення термінів настання фаз розвитку соняшнику в бік більш ранніх тривалість періоду його вегетації мало відрізнятимуться від середньої багаторічної.

6.7.2 Оцінка агрокліматичних умов вирощування соняшнику

Зміни клімату впливатимуть на агрокліматичні умови вирощування соняшнику (табл. 6.31)

В період від сходів до цвітіння простежується зростання середньої температури повітря за середніми багаторічними значеннями з півночі на південь: від 18,9 °C в Східному Лісостепу до 19,9 °C в Південному Степу (табл. 6.31).

За сценарієм зміни клімату RCP4.5 в цей період середня температура коливатиметься від 17,0 °C в Східному Лісостепу до 17,9 °C в Північному Степу. Розрахунки за сценарієм показують, що в цей період очікується середня температура нижче базової на -1,9 °C в Східному Лісостепу, на

-1,4 °C – в Північному Степу, а в Південному Степу вона буде нижчою середніх багаторічних значень на -2,6 °C.

Середня температура повітря за сценарієм зміни клімату RCP8.5 в період сходи - цвітіння коливатиметься від 16,5 °C в Східному Лісостепу до 18,2 °C в Північному Степу (табл. 6.31). В Східному Лісостепу та в Південному Степу середня температура зменшиться від базового на - 2,4 °C, а в Північному Степу на -1,1 °C.

Сума опадів в період від сходів до цвітіння за середніми багаторічними даними коливалася від 163 мм в Східному Лісостепу до 96 мм в Північному Степу.

За сценарієм зміни клімату RCP4.5 кількість опадів від сходів до цвітіння зменшиться в Східному Лісостепу на 23 %, в Південному Степу – на 14 %, а в Північному Степу спостерігатиметься збільшення опадів (на 15 %).

Сума опадів від сходів до цвітіння за сценарієм RCP8.5 в Східному Лісостепу та Південному Степу також зменшиться, але менше і буде на 15 % Східному Лісостепу, 9 % - в Південному Степу нижчою від середніх багаторічних сум. В Північному Степу, як за сценарієм RCP4.5 спостерігатиметься збільшення опадів (на 15 %).

Сумарне випаровування за сценаріями змін клімату RCP4.5 та RCP8.5 за цей період вегетації в Східному Лісостепу збільшиться на 13 % та зменшиться 12 % відповідно. В Північному Степу сумарне випаровування за сценаріями зміни клімату RCP4.5 та RCP8.5 зменшиться на 9 % і 6 %, а в Південному Степу на 20 % і 18 % відповідно.

За результатами розрахунків за сценарієм RCP4.5 в період від сходів до цвітіння випаровуваність в Східному Лісостепу та Південному Степу в порівнянні з базовим зменшиться від 4 до 17 %. Північному Степу випаровуваність збільшиться в порівнянні з базовим значенням на 4 %.

За сценарієм RCP8.5 за цей період випаровуваність збільшиться на 10 % в порівнянні з базовим в Східному Лісостепу та 11 % в Північному Степу, а в Південному Степу випаровуваність зменшиться на 23 % (табл. 6.33).

За середніми багаторічними значеннями вологозабезпеченість посівів соняшнику від сходів до цвітіння коливалась від 0,70 відн. од в Північному Степу до 0,58 відн. од. в Південному Степу. За умов реалізації сценарію RCP4.5 вологозабезпеченість посівів соняшнику збільшиться в Східному Лісостепу на 27 %. В Північному Степу вологозабезпеченість за цим же сценарієм зменшиться на 13 %, а в Південному Степу вона залишиться практично без змін.

Вологозабезпеченість від сходів до цвітіння за сценарієм RCP8.5 збільшиться в порівнянні з базовим періодом в Східному Лісостепу на 26 % і в Південному Степу на 5 %, а Північному Степу зменшиться на 16 %.

Таблиця 6.31 – Агрокліматичні умови вирощування соняшнику за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) та сценаріями зміни клімату RCP 4.5 і RCP8.5

Кліматичний період	Міжфазний період										Вегетаційний період	
	Сходи - цвітіння					Цвітіння - збиральна стиглість						
	середня температура, °С	сума опадів, мм	сумарне випаровування, мм	випаровуваність, мм	Вологозабезпе- ченість, відн.од	середня температура, °С	сума опадів, мм	сумарне випаровування, мм	випаровуваність, мм	Вологозабезпе- ченість, відн.од	сума опадів, мм	вологозабезпе- ченість, відн.од
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Західний Лісостеп												
1986-2005	18,9	163	192	288	0,66	18,4	99	91	217	0,42	262	0,56
Сценарій RCP4.5												
2021-2050	17,0	126	216	276	0,84	20,2	8	80	295	0,25	155	0,61
Різниця	-1,9	-23 %	+13%	-4%	+27%	+1,8	-92%	-12%	+36%	-40%	-41%	+9%
Сценарій RCP8.5												
2021-2050	16,5	139	191	316	0,83	19,1	35	64	248	0,26	163	0,61
Різниця	-2,4	-15%	-12%	+10%	+26	+0,7	-65%	-30%	+14%	-38%	-38%	+9%
Північний Степ												
1986-2005	19,3	96	193	277	0,70	20,6	89	89	281	0,32	185	0,51
Сценарій RCP4.5												
2021-2050	17,9	110	176	289	0,61	21,8	36	72	303	0,24	146	0,53
Різниця	-1,4	+15%	-9%	+4%	-13%	+1,2	-60%	-19%	+7%	-25%	-21%	+4%
Сценарій RCP8.5												
2021-2050	18,2	110	181	308	0,59	21,8	39	67	294	0,23	149	0,41
Різниця	-1,1	+15%	-6%	+11%	-16%	+1,2	-56%	-25%	+5%	-28%	-19%	-20%

Продовження табл.6.31

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Південний Степ												
1986 – 2005	19,9	111	190	327	0,58	22,6	56	58	253	0,23	167	0,46
Сценарій RCP4.5												
2021-2050	17,3	96	152	270	0,56	23,4	29	74	356	0,21	117	0,51
Різниця	-2,6	-14%	-20%	-17%	-3%	+0,8	-48%	+28%	+41%	-9%	-30%	+11%
Сценарій RCP8.5												
2021-2050	17,5	101	155	253	0,61	23,6	26	80	366	0,22	127	0,52
Різниця	-2,4	-9%	-18%	-23%	+5%	+1,0	-54%	+38%	+45%	-4%	-24%	+13%

В період від цвітіння до збиральної стиглості також простежується зростання середньої температури повітря за середніми багаторічними значеннями з півночі на південь від 18,4 °С в Східному Лісостепу до 22,6 °С в Південному Степу.

У кліматичний період з 2021 до 2050 рр. за сценаріями RCP4.5 і RCP8.5 від цвітіння до збиральної стиглості середня температура повітря в порівнянні з середніми багаторічними значеннями зростатиме по всіх досліджуваних природно-кліматичних зонах і буде вищою в Північному Степу на 1,2 °С за обома сценаріями, в Східному Лісостепу на 1,8 °С і 0,7 °С, та в Південному Степу на 0,8 °С і 1,0 °С відповідно.

В період від цвітіння до збиральної стиглості (табл. 6.31) простежується зменшення кількості опадів за середніми багаторічними значеннями з півночі на південь від 99 мм в Східному Лісостепу до 56 мм в Південному Степу. За обома сценаріями RCP4.5 і RCP8.5 сума опадів по всіх природно-кліматичних зонах в період від цвітіння до збиральної стиглості по відношенню до середньо багаторічних значень дуже значно зменшиться: на 92 % і 65 % в Східному Лісостепу, на 60 % і 56 % в Північному Степу та на 48 % і 54 % в Південному Степу відповідно.

Сумарне випарування в період від цвітіння до збиральної стиглості за середніми багаторічними значеннями коливалось від 91 мм в Східному Лісостепу до 58 мм в Південному Степу.

За сценарієм змін клімату RCP4.5 сумарне випарування зменшиться Східному Лісостепу на 12 % та Північному Степу на 19 %. В Південному Степу сумарне випарування збільшиться на 28 %.

Сумарне випарування за сценарієм змін клімату RCP8.5 ще більше зменшиться в порівнянні зі середніми багаторічними значеннями і становитиме в Східному Лісостепу 64 мм, у Північному Степу 72 мм. І тільки в зоні Південному Степу сумарне випарування збільшиться до 80 мм, що на 38 % вище середнього багаторічного.

За результатами розрахунків від цвітіння до збиральної стиглості випаровуваність за сценарієм зміни клімату RCP4/5 значно збільшиться в Східному Лісостепу (36 %) та Південному Степу (41 %). Випаровуваність збільшиться й в Північному Степу але на 7 % (табл.6.31).

Випаровуваність в період від цвітіння до збиральної стиглості за сценарієм RCP8.5 найбільшою очікується в Південному Степу до 366 мм (на 45 %). В Східному Лісостепу випаровуваність зростає на 14 %, а в Північному Степу на 5 % в порівнянні з базовим значенням.

Вологозабезпеченість посівів соняшнику від цвітіння до збиральної стиглості за середніми багаторічними значеннями коливалась від 0,42 відн. од. в Східному Лісостепу до 0,23 відн. од. в Південному Степу. За умов реалізації сценарію RCP4.5 за період 2021 – 2050 рр. вологозабезпеченість зменшиться в Східному Лісостепу до 0,25 відн. од., а в Північному Степу до 0,24 відн. од. В Південному Степу вологозабезпеченість

зменшиться до 0,21 відн. од., що на 9 % менше від середньо багаторічного значення.

За сценарієм RCP8.5 вологозабезпеченість в усіх природно-кліматичних зонах зменшиться: в Східному Лісостепу на 38 % від середньо багаторічного значення, в Північному Степу на 28 %, а в Південному Степу на 4 %.

За період вегетації від сходів до збиральної стиглості кількість опадів за умов реалізації сценарію зміни клімату RCP4.5 зменшиться в Східному Лісостепу на 41 %, Північному Степу на 21 %, а Південному Степу зменшиться на 30 %.

За умов реалізації сценарію RCP8.5 сума опадів за період вегетації від сходів до збиральної стиглості в усіх природно-кліматичних зонах зменшиться: в Східному Лісостепу на 38 %, в Північному Степу на 19 %. в Південному Степу на 24 %.

За результатами розрахунків вологозабезпеченість за умов реалізації сценарію RCP4.5 за період вегетації від сходів до збиральної стиглості збільшиться в Східному Лісостепу на 9 %, в Північному Степу на 4 %, в Південному Степу на 11 % (табл. 6.31).

За умов реалізації сценарію RCP8.5 вологозабезпеченість збільшиться в Східному Лісостепу на 9 % та в Південному Степу на 13 % , а в Північному Степу зменшиться на 20 %.

6.7.3 Оцінка показників фотосинтетичної діяльності посівів соняшнику

Агрокліматичні умови, що змінюються під впливом змін клімату спричинять зміну показників фотосинтетичної діяльності посівів соняшнику, що обумовить рівень його урожайності. Такими показниками є розміри фотосинтезуючої площі та фотосинтетичний потенціал посівів, кількісні показники приростів рослинної біомаси на одиницю площі, чиста продуктивність фотосинтезу (ефективність процесу фотосинтезу на одиницю площі листової поверхні), урожай загальної біомаси посівів та урожай біомаси насіння.

Розподіл цих показників у природно-кліматичних зонах: Східний Лісостеп, Північний Степ та Південний Степ при зміні кліматичних умов за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 розглянемо в порівнянні з показниками фотосинтетичної продуктивності соняшнику, які розраховані за середніми багаторічними даними (табл. 6.32).

Для соняшнику на фоні зміни кліматичних умов за розрахунковий період з 2021 по 2050 рр. нами розглядалися такі варіанти:

- базовий період (1986 – 2005 рр.)
- кліматичні умови розрахункового періоду за сценарієм RCP4.5 за період 2021 – 2050 рр.;

- кліматичні умови періоду 2021 – 2050pp. за сценарієм RCP4.5 (кліматична норма + CO₂);
- кліматичні умови розрахункового періоду за сценарієм RCP8.5 за період 2021 – 2050 pp.;
- кліматичні умови періоду 2015–2050 pp. за сценарієм RCP8.5 при збільшенні CO₂ в атмосфері .

Динаміка площі листя та загальної біомаси наводиться на рис. 6.66 – 6.71.

За результатами розрахунків площа листя (табл. 6.32 та рис. 6.66- 6.68) в період максимального розвитку в середньому за базовий період коливалась від 2,2 м²/м² в Південному Степу до 2,7 м²/м² в Північному Степу. У варіанті «клімат» за сценарієм rcp 45 видно, що відбудеться збільшення площі листя до 4,0 м²/м² у Східному Лісостепу, до 3,6 м²/м² у Південному Степу, а в Північному Степу площа листя дорівнюватиме базовій.

Розрахунки за варіантом «клімат + CO₂» вказують на збільшення площі листя в порівнянні із її середнім багаторічним значенням і в порівнянні з варіантом «клімат», а саме: в Східному Лісостепу до 4,3 м²/м², в Північному Степу до 2,9 м²/м², в Південному Степу до 3,6 м²/м².

За реалізації сценарію RCP8.5 у варіантах «клімат» і «клімат + CO₂» розрахунки показують, що в Східному Лісостепу відбудеться збільшення площі листя в порівнянні із середніми багаторічними значеннями та практично дорівнюють значенням першого сценарію (3,9 м²/м² і 4,2 м²/м²). В Північному Степу відбудеться зменшення площі листя в порівнянні із середніми багаторічними значеннями та значеннями першого сценарію до 2,2 м²/м² і 2,3 м²/м² відповідно. В Південному Степу спостерігатиметься більш значне збільшення площі листя в порівнянні із середніми багаторічними значеннями та значеннями першого сценарію до 3,2 м²/м² і 3,5 м²/м² відповідно (рис. 6.66- 6.68).

Таким чином, за умови реалізації будь-якого із сценаріїв змін клімату в природно-кліматичних зонах Східного Лісостепу та Південному Степу очікується більш інтенсивне формування площі асимілюючої поверхні в порівнянні з середніми багаторічними даними. І лише в Північному Степу в разі реалізації сценарію RCP4.5 формування площі листя буде на рівні середніх багаторічних значень, а за реалізації сценарію RCP8.5 формування площі асимілюючої поверхні очікується менш інтенсивне.

Таблиця 6.32 – Порівняння показників фотосинтетичної продуктивності соняшнику за середніми багаторічними даними (1986-2005 рр.) та сценаріями зміни клімату RCP4.5 і RCP8.5

Кліматичний період	Варіант	Площа листя в період максимального розвитку, м ² /м ²	Чиста продуктивність фотосинтезу в період максимального розвитку, г/м ² дек	Приріст маси в період максимального розвитку, г/м ² дек	Суша біомаса, г/м ²	Фотосинтетичний потенціал, м ² /м ²
Східний Лісостеп						
1986-2005	Базовий	2,3	76	171	768	172
Сценарій RCP4.5						
2021-2050	Клімат	4,0	78	233	1018	283
	Клімат + CO ₂	4,3	78	251	1090	308
Сценарій RCP8.5						
2021-2050	Клімат	3,9	79	222	957	295
	Клімат + CO ₂	4,2	83	244	1048	320
Північний Степ						
1986-2005	Базовий	2,7	85	209	756	177
Сценарій RCP4.5						
2021-2050	Клімат	2,7	66	149	707	187
	Клімат + CO ₂	2,9	68	160	757	187
Сценарій RCP8.5						
2021-2050	Клімат	2,2	58	107	573	151
	Клімат + CO ₂	2,3	57	117	628	162
Південний Степ						
1986-2005	Базовий	2,2	79	146	486	157
Сценарій RCP4.5						
2021-2050	Клімат	2,4	50	111	539	168
	Клімат + CO ₂	3,6	51	120	578	179
Сценарій RCP8.5						
2021-2050	Клімат	3,2	56	163	727	203
	Клімат + CO ₂	3,5	56	180	782	215

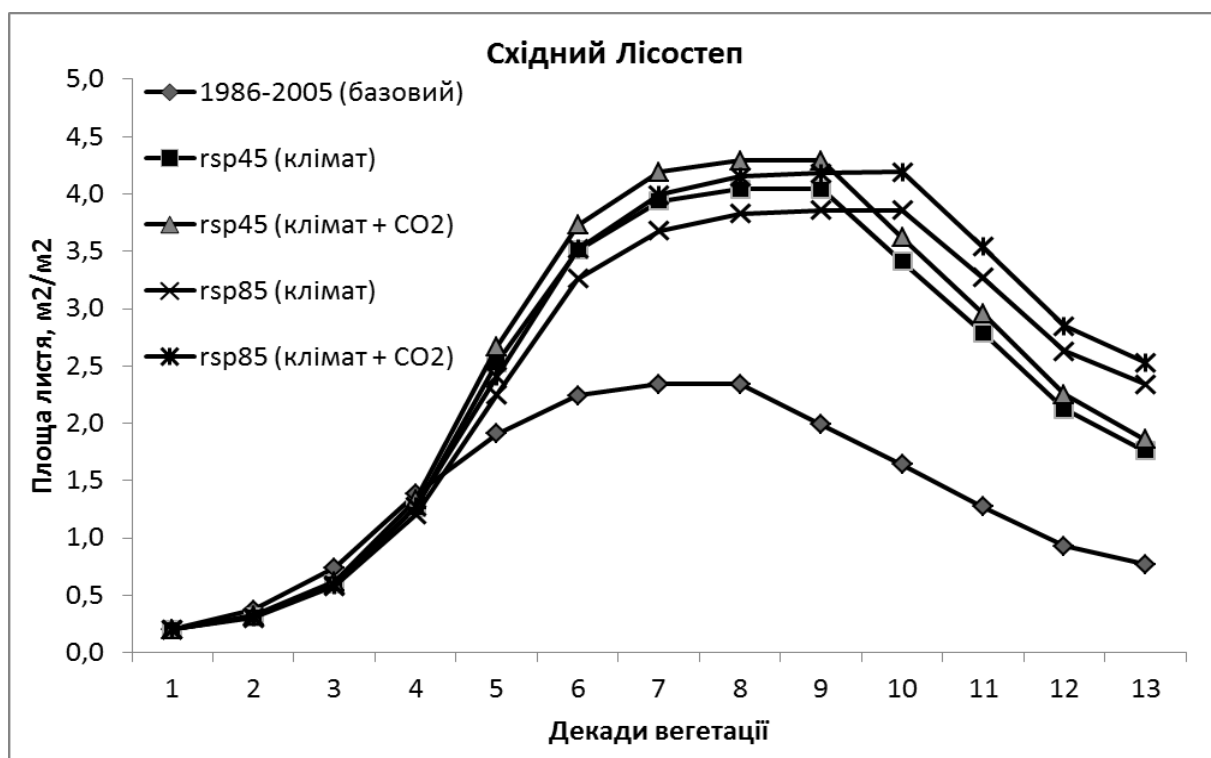


Рисунок 6.66 – Динаміка площі листя соняшнику в Східному Лісостепу за середньобазовими даними (1986-2005 рр.) та за сценаріями змін клімату RCP4.5 і RCP8.5

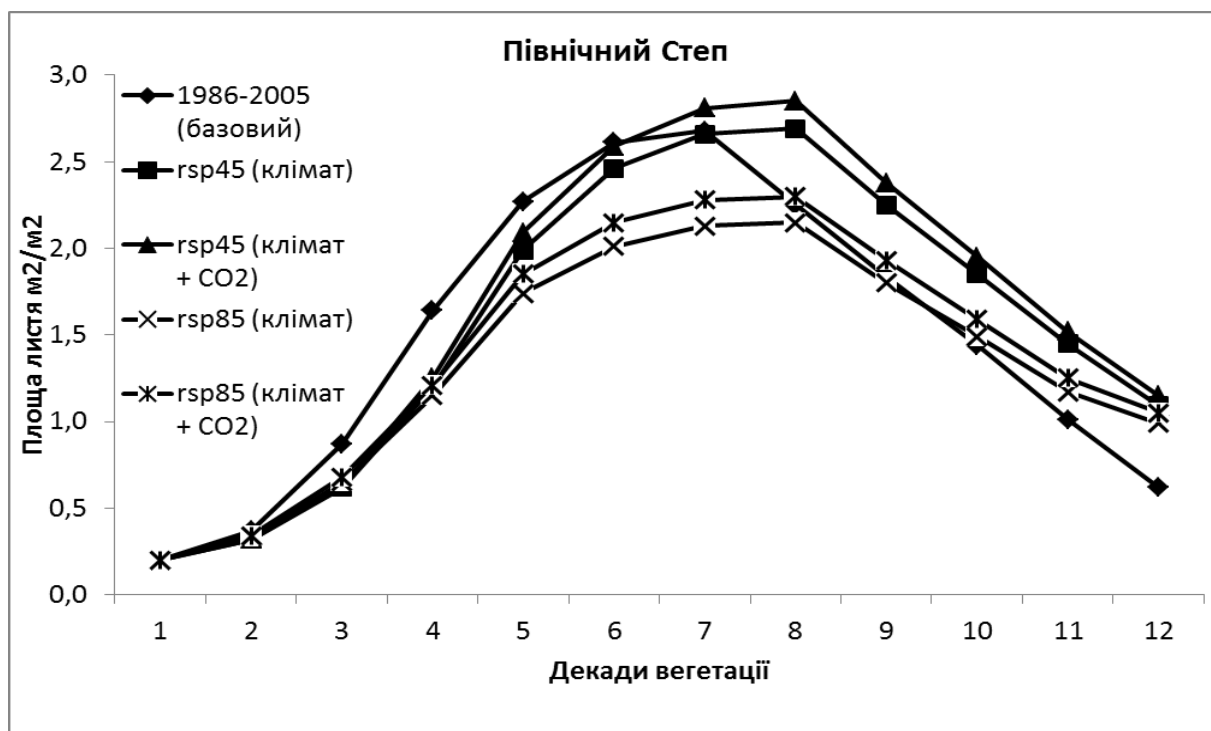


Рисунок 6.67 – Динаміка площі листя соняшнику в Північному Степу за середньобазовими даними (1986-2005 рр.) та за сценаріями змін клімату RCP4.5 і RCP8.5

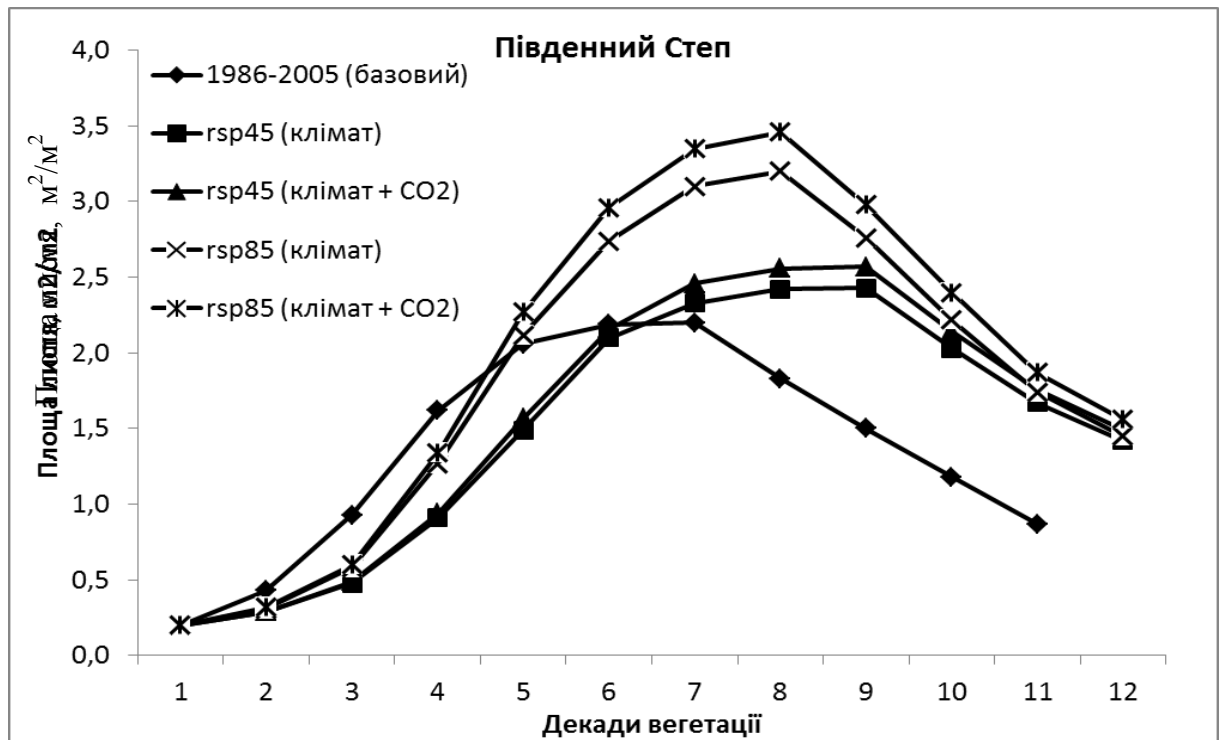


Рисунок 6.68 – Динаміка площі листя соняшнику в Південному Степу за середньобаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценаріями змін клімату RCP4.5 і RCP8.5.

Фотосинтетичну діяльність посівів також добре характеризує суха біомаса рослин. Середні багаторічні величини сухої маси і розрахунки посівів соняшнику за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 за варіантами наводяться в табл. 6.33, а її динаміка впродовж періоду вегетації на рис. 6.69 – 6.71.

Середні багаторічні значення сухої маси соняшнику в базовий період змінювались від 768 г/м² в Східному Лісостепу, поступово зменшувались на південь і в Південному Степу становили 468 г/м².

Розрахунки сухої маси за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 показують, що як і площа листя, суха маса збільшуватиметься в усіх варіантах в зонах Східного Лісостепу та Південного Степу і зменшуватиметься в зоні Північного Степу.

Розглянемо темпи збільшення та зменшення сухої маси в різних зонах за обома сценаріями змін клімату за варіантами.

Так, в разі реалізації сценарію RCP4.5 у варіанті «клімат» збільшення буде в Східному Лісостепу на 33 %, в Південному Степу на 11 %. в Північному Степу буде зменшення на 6 %, У розрахунках за цим же сценарієм у варіанті «клімат + CO₂» збільшення сухої маси в Східному Лісостепу та Південному Степу буде вище в порівнянні як із середньою багаторічною, так і в порівнянні зі значеннями варіанту «клімат» і становитиме відповідно 1090 г/м² та 578 г/м², що більше середніх багаторічних значень сухої маси на 42 і 19 % відповідно, а в Північному Степу буде дорівнювати середньої багаторічної (757 г/м²).

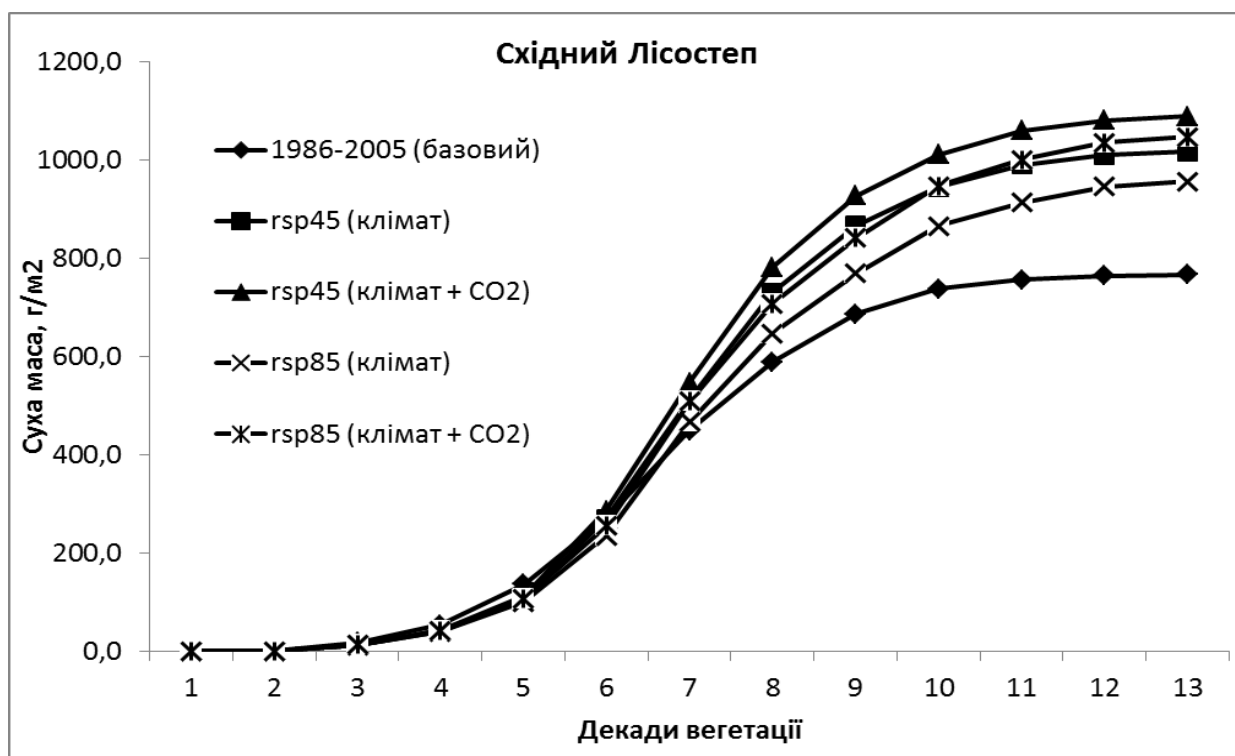


Рисунок 6.69 – Динаміка сухої маси соняшнику в Східному Лісостепу за середньобаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценаріями змін клімату RCP4.5 і RCP8.5.

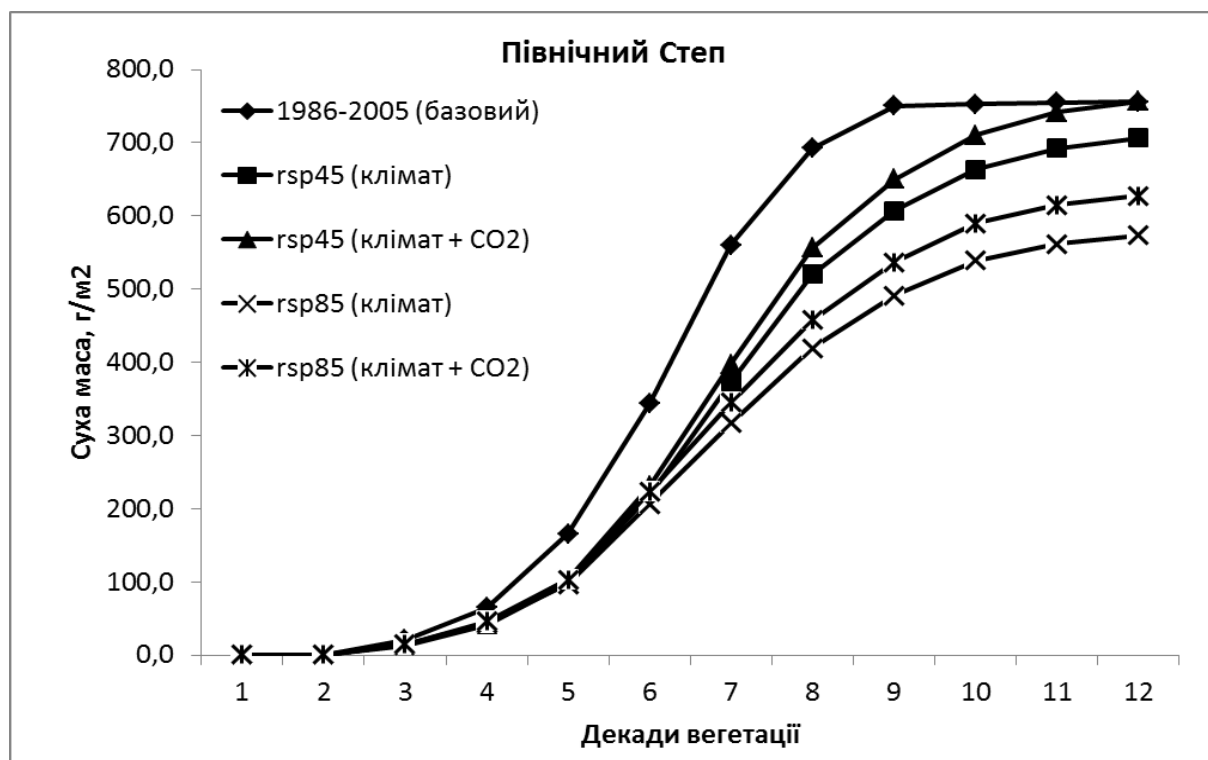


Рисунок 6.70 – Динаміка сухої маси соняшнику в Північному Степу за середньобаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценаріями змін клімату RCP4.5 і RCP8.5

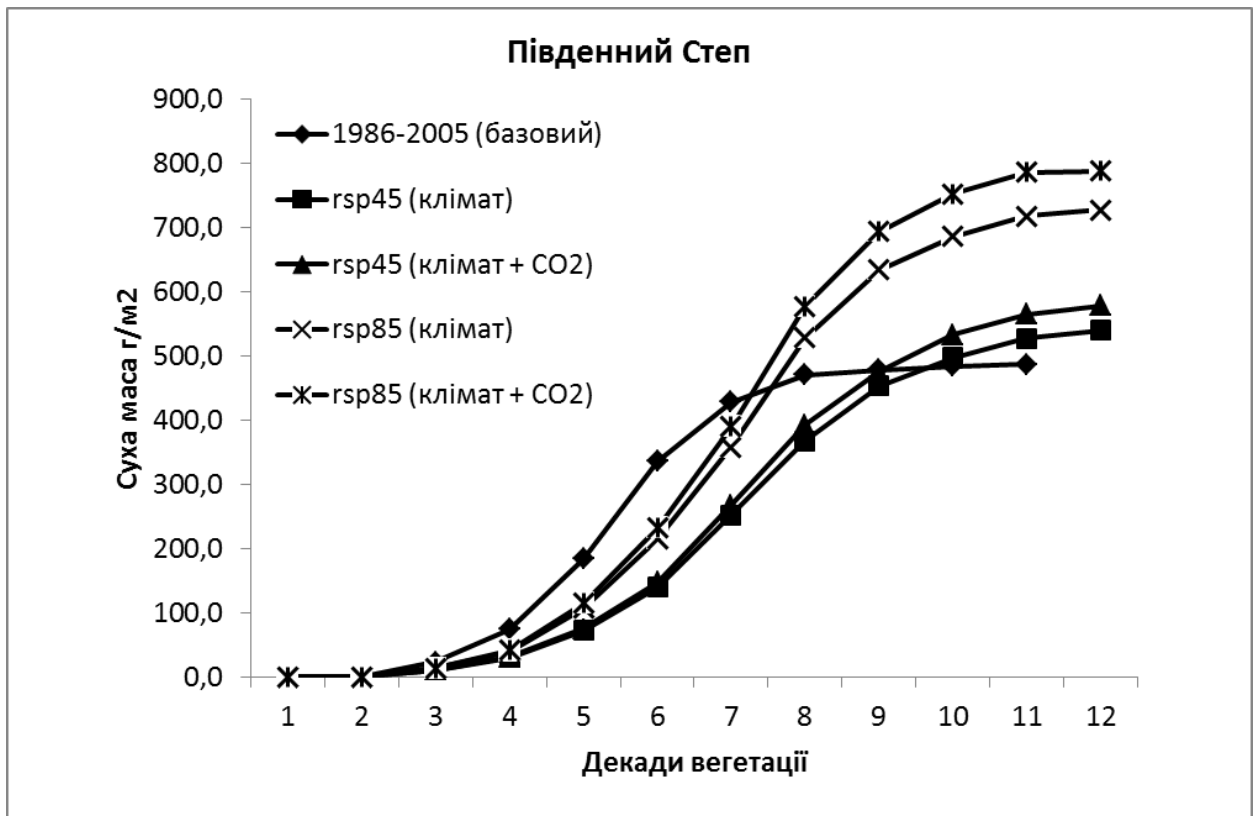


Рисунок 6.71 – Динаміка сухої маси соняшнику в Південному Степу за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценаріями змін клімату RCP4.5 і RCP8.5

За реалізації сценарію RCP8.5 розрахунки за варіантом «клімат» теж показують збільшення сухої маси рослин у порівнянні із середніми багаторічними у Східному Лісостепу – на 25 %. Особливо відчутне це збільшення в Південному Степу (50 %). В Північному Степу очікується зменшення сухої маси більш значніше ніж в за сценарієм RCP4.5 (на 24 %).

У варіанті «клімат + CO₂» значне збільшення сухої маси на 61 % спостерігатиметься в Південному Степу. В Східному Лісостепу у порівнянні із середніми багаторічними буде збільшення сухої маси на 36 %. На 17 % зменшуватиметься суха маса в Північному Степу (табл. 6.32, рис. 6.69 – 6.71).

Із змінами площі листя, сухої маси рослин відповідно змінюватиметься і значення фотосинтетичного потенціалу соняшнику (табл. 6.32).

За базовий період значення фотосинтетичного потенціалу були найменшими в Південному Степу і становили 157 м²/м², найбільшими – в Північному Степу – 177 м²/м².

Розрахунки за обома сценаріями і по всіх варіантах показали, що в період з 2021 по 2050 рр. відбудеться збільшення фотосинтетичного потенціалу, але інтенсивність збільшення різна за різними сценаріями і за варіантами в усіх природно – кліматичних зонах.

Так, найбільш значніший ріст фотосинтетичного потенціалу за обома сценаріями буде в Східному Лісостепу. Фотосинтетичний потенціал соняшнику зростатиме у варіанті «клімат» за сценарієм RCP4.5 на 64 %, за сценарієм RCP8.5 на 72 %, у варіанті «клімат + CO₂» відповідно на 79 % та на 86 % (табл. 6.32).

В Південному Степу середні багаторічні значення фотосинтетичного потенціалу найнижчі - 157 м²/м², але ріст за розрахунками за сценаріями в обох варіантах буде становитиме за сценарієм RCP4.5 відповідно 7 та 14 %, за сценарієм RCP8.5 – 30 та 74 % відповідно.

Значення фотосинтетичного потенціалу в Північному Степу за сценарієм RCP4.5 незначно але зростатимуть і становитиме, як у варіанті «клімат», так і у варіанті «клімат + CO₂» 187 м²/м², або на 6 % більше, ніж середній багаторічний (табл. 6.32).

Виключенням буде лише зменшення фотосинтетичного потенціалу в Північному Степу за сценарієм RCP8.5. У порівнянні із середніми багаторічними значеннями зниження фотосинтетичного потенціалу становитиме у варіанті «клімат» 15 %, «клімат + CO₂» - 8 %.

Ще одним показником фотосинтетичної діяльності рослин є чиста продуктивність фотосинтезу. Найвищі значення чистої продуктивності фотосинтезу за середніми багаторічними даними спостерігались в Північному Степу і становили 85 г/м². В Східному Лісостепу вона становила 76 г/м², в Південному Степу – 79 г/м² (табл. 6.32). В разі реалізації сценарію RCP4.5 чиста продуктивність фотосинтезу у варіантах «клімат» та «клімат + CO₂» збільшиться на 2 г/м² в Східному Лісостепу, якщо реалізується сценарій RCP8.5, то спостерігатиметься збільшення чистої продуктивності фотосинтезу в обох варіантах до 79 та 83 г/м².

В Північному Степу відбудеться зменшення чистої продуктивності фотосинтезу за обома сценаріями в обох варіантах. За сценарієм RCP4.5 чиста продуктивність становитиме 66 та 68 г/м² відповідно, тобто на 19 та 17 г/м² вище середнього багаторічного. За сценарієм RCP8.5 вона зменшиться ще більше і становитиме відповідно 58 та 57 г/м², що на 27 та 26 г/м² менше, ніж середня багаторічна (табл. 6.32). В Південному Степу чиста продуктивність фотосинтезу за сценарієм RCP4.5 зменшиться в обох варіантах до 50 та 51 г/м², що нижче середньої багаторічної на 28-29 г/м². За сценарієм RCP8.5 вона зменшиться до 56 г/м², що на 23 г/м² менше, ніж середня багаторічна (табл. 6.32).

Таким чином, за обома сценаріями в усіх природно-кліматичних зонах очікується значна зміна агрокліматичних умов росту, розвитку та формування продуктивності соняшнику. Оцінка коливань його урожайності показала, що при зміні клімату за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 складуться взагалі сприятливі умови для вирощування соняшнику. При чому за реалізації сценарію RCP8.5 умови будуть сприятливішими, ніж за реалізації сценарію RCP4.5.

6.7.4 Оцінка ризиків недобору врожаю насіння соняшника в 2021-2050 рр. в Україні

Розрахунки показали, що в період з 2021 по 2050 рр. очікуються окремі роки, коли погодні умови сприятимуть одержанню врожаю насіння соняшнику до 40-50 ц/га, і навпаки можливі дуже несприятливі умови, які будуть викликати зниження продуктивності посівів соняшнику, як слід тому врожай насіння може знижуватися до 5-10 ц/га.

Для оцінки ступеню вразливості території та кліматичного ризику великих неврожаїв соняшнику в основних районах його вирощування були виконані розрахунки очікуваних ризиків недобору врожаю насіння соняшника за сценаріями змін клімату RCP4.5 і RCP8.5 (тал. 6.33, рис. 6.72 і 6.73).

Таблиця 6.33 – Очікувані ризики недобору врожаю насіння соняшника в 2021-2050 рр. за сценаріями змін клімату RCP4.5 і RCP8.5

№ п/п	Область	Сценарій					
		RCP4.5			RCP8.5		
		Ризики недобору врожаю,		Серед. річне ГТК, від.од.	Ризики недобору врожаю,		Серед. річне ГТК, від.од.
		%	оцінка		%	оцінка	
1	Сумська	4,0	низькі	1,0	1,8	низькі	1,1
2	Київська	6,1	середні	0,9	4,2	низькі	1,0
3	Черкаська	8,5	середні	0,8	7,5	середні	0,9
4	Полтавська	2,2	низькі	1,1	10,3	середні	0,8
5	Вінницька	2,2	низькі	1,1	0,2	низькі	1,2
6	Кіровоградська	8,5	середні	0,8	10,3	середні	0,8
7	Запорізька	26,0	значно високі	0,5	18,0	високі	0,5
8	Одеська	17,2	високі	0,6	15,5	високі	0,6
9	Миколаївська	26,0	значно високі	0,5	15,5	високі	0,6
10	Херсонська	26,0	значно високі	0,5	18,0	високі	0,5
11	АР Крим	26,0	значно високі	0,5	18,0	високі	0,5
12	Харківська	10,6	середні	0,7	13,2	середні	0,7
13	Дніпропетровська	12,8	середні	0,7	12,6	середні	0,7
14	Луганська	17,2	високі	0,6	18,0	високі	0,5
15	Донецька	10,6	середні	0,7	18,0	високі	0,5

Примітка: (0-5 % – низькі, 6-15 % – середні, 16-25 % – високі, >25 % – значно високі)

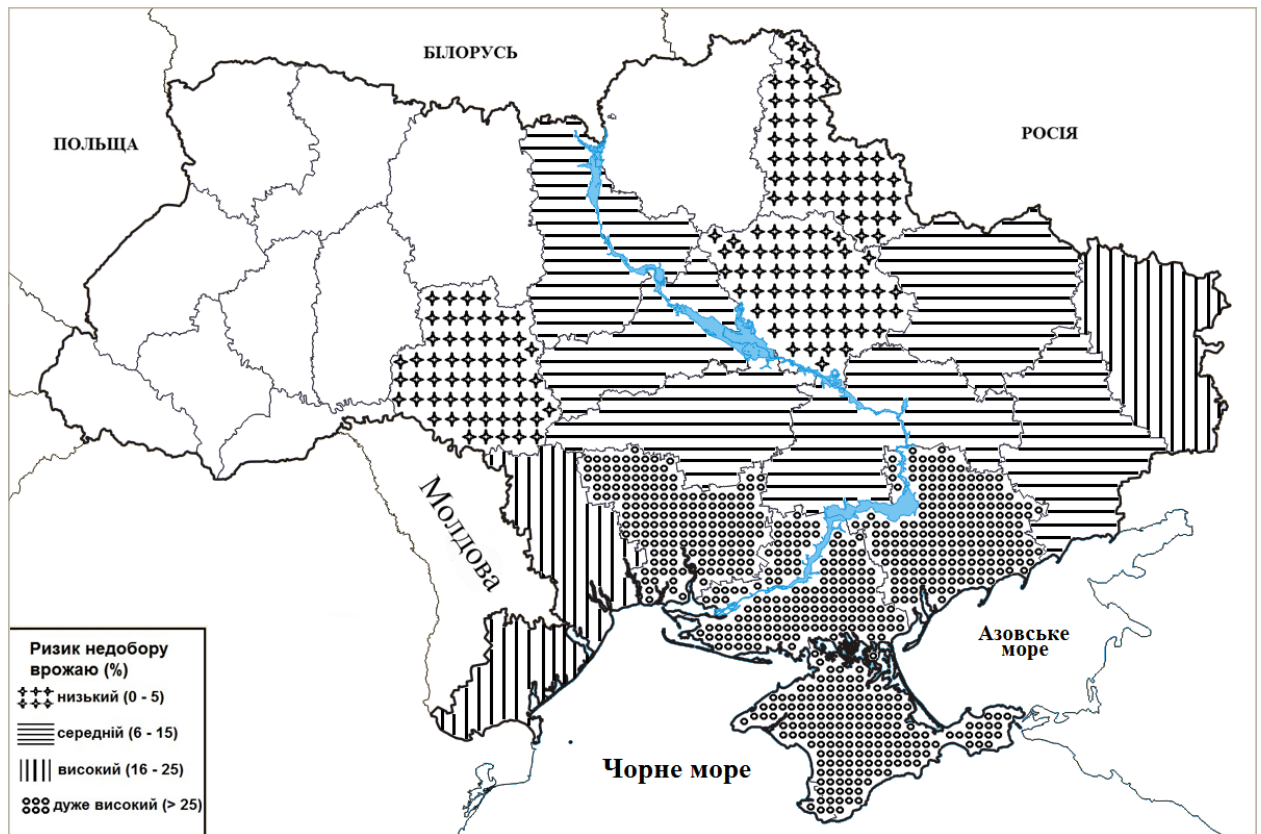


Рисунок 6.72 – Розподіл очікуваних ризиків недобору врожаю насіння соняшнику (%) в Україні за сценарієм змін клімату RCP4.5

Як показують розрахунки за сценарієм зміни клімату RCP45 низькі ризики 2-4 % слід очікувати в Західному та Східному Лісостепу (таб. 6.33, рис. 6.72). В центральній частині Лісостепу, в Північному Степу і в західній частині Донецького регіону відбудуться середні ризики недобору врожаю: а саме в Київській області - 6,1 %, в Черкаській та Кіровоградській – 8,5 %, Харківській і Донецькій – 10,6 % та в Дніпропетровській – 12,8 %. Високі ризики до 17,2 % спостерігатимуться в південно-західній частині Степу та в східній частині Донецького регіону. В центральній частині Південного Степу будуть очікуватись значно високі ризики недобору врожаю (26 %).

В разі реалізації сценарію RCP8.5 значно високих ризиків недобору врожаю не очікується (рис. 6.73). Однак в зоні Південного Степу повсюдно відбудуться високі ризики недобору врожаю (15,5 – 18,0 %). В центрі та на сході Степової та Лісостепової зон спостерігатимуться середні ризики недобору врожаю, що становитиме в Черкаській області 7,5 %, в Полтавській і Кіровоградській - 10,3 %, в Харківській – 13,2 %, в Дніпропетровській – 12,6 %.

Слід зазначити, що за сценарієм змін клімату RCP45 ризик недобору врожаю в Полтавській області очікується меншим на 7 % (табл. 6.33).

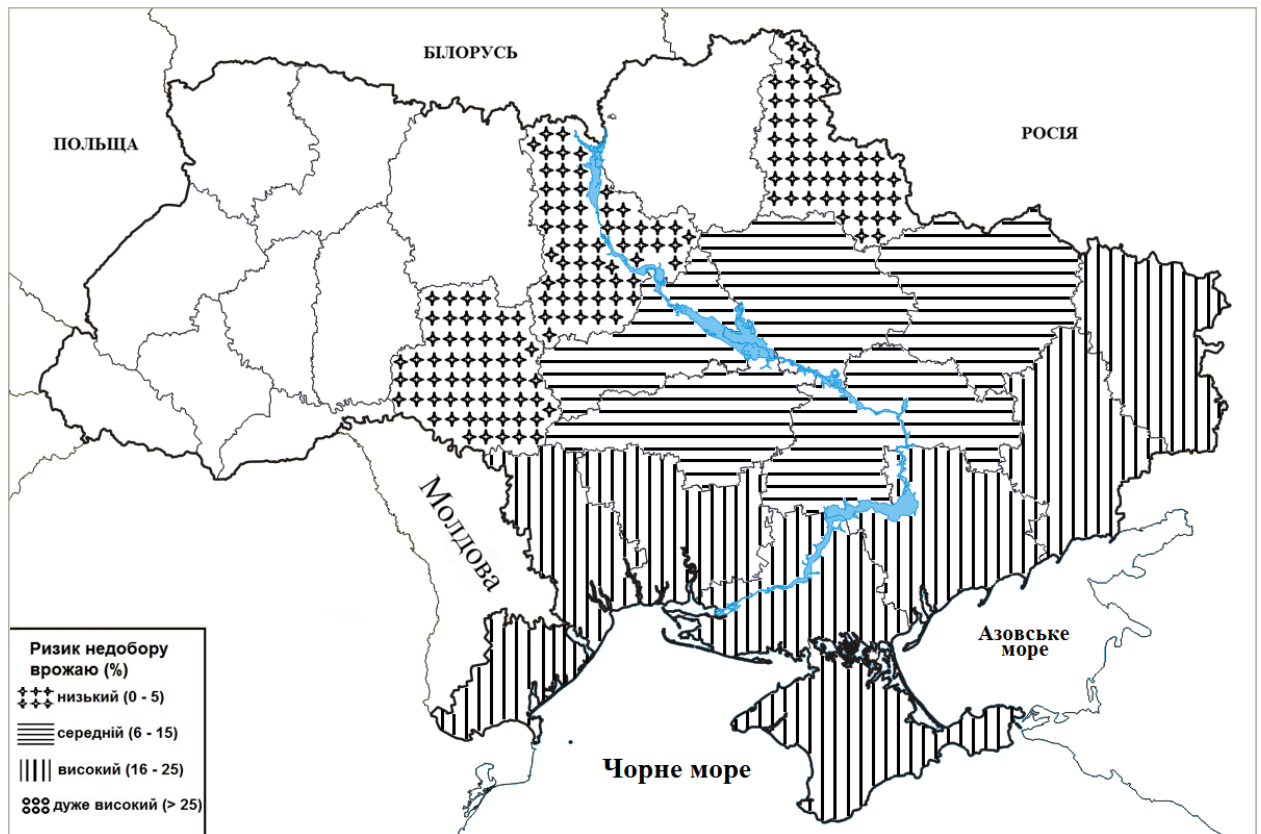


Рисунок 6.73 – Розподіл очікуваних ризиків недобору врожаю насіння соняшника (%) в 2021-2050 рр. в Україні за сценарієм змін клімату RCP8.5

Низьких ризиків недобору врожаю можна очікувати в Західному Лісостепу (0,2 %) та на півночі Східного Лісостепу (1,8 %). В Київській області в порівнянні з ризиками за сценарієм змін клімату RCP4.5, які складатимуть 6,1 % очікувані ризики за даним сценарієм будуть низкі 4,2 %.

6.8 Моделювання впливу зміни клімату на продуктивність картоплі

За умов реалізації сценарію зміни клімату RCP4.5, терміни садіння картоплі змістяться на більш ранні строки: в Західному Лісостепу на 8 днів, в Поліссі – на 4 дня, в Степу на 2 дня, в Східному Лісостепу на 5 днів в порівнянні з середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.), за умов реалізації сценарію зміни клімату RCP8.5, терміни садіння картоплі змістяться на більш ранні строки: в Західному Лісостепу та в Поліссі на 6 днів, в Степу термін садіння картоплі зміститься на 3 дня пізніше, а в Східному Лісостепу на 3 дня раніше в порівнянні з середньо багаторічними даними (1986-2005 рр) (табл. 6.34).

Таблиця 6.34 - Фази розвитку картоплі за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценаріями зміни клімату RCP4.5 та RCP8.5

Період	Садіння	Сходи	Цвітіння	В'янення бадилля	Тривалість вегетаційного періоду, дні
Полісся					
1986-2005	01.V	29.V	03.VII	10.VIII	73
RCP4.5	26.IV	24.V	26.VI	4.VIII	72
Різниця	-4	-5	+7	-6	-1
1986-2005	01.V	29.V	03.VII	10.VIII	73
RCP8.5	24.IV	21.V	02.VII	2.VIII	73
Різниця	-6	-8	-1	-8	0
Західний Лісостеп					
1986-2005	30.IV	26.V	29.VI	08.VIII	74
RCP4.5	22.IV	23.V	27.VI	14.VIII	83
Різниця	-8	-3	-2	+6	+9
1986-2005	30.IV	26.V	29.VI	08.VIII	74
RCP8.5	24.IV	21.V	03.VII	13.VIII	84
Різниця	-6	-5	-4	+5	+10
Східний Лісостеп					
1986-2005	29.IV	26.V	30.VI	09.VIII	75
RCP4.5	24.IV	21.V	03.VII	10.VIII	81
Різниця	-5	-5	-3	+1	+6
1986-2005	29.IV	26.V	30.VI	09.VIII	75
RCP8.5	26.IV	23.V	06.VII	12.VIII	81
Різниця	-3	-3	-6	+3	+6
Степ					
1986-2005	17.IV	14.V	29.VI	23.VII	70
RCP4.5	15.IV	11.V	09.VII	24.VII	74
Різниця	-2	-3	-9	+1	+4
1986-2005	17.IV	14.V	29.VI	23.VII	70
RCP8.5	20.IV	18.V	22.VI	28.VII	71
Різниця	+3	+4	-7	+5	+1

Відповідно змістяться і строки появи сходів. В Західному Лісостепу сходи картоплі за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) спостерігалися 26.V, а за сценарієм зміни клімату RCP4.5 23.V, що на 3 дня раніше, а за сценарієм зміни клімату RCP8.5 21.V, що на 5 днів раніше, в порівнянні з середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.), в'янення бадилля за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) спостерігалось 08.VIII, а за сценарієм зміни клімату RCP4.5 14.VIII, що на 6 днів пізніше, а за сценарієм зміни клімату RCP8.5 в'янення бадилля спостерігалось 13.VIII, що на 5 днів пізніше.

Тривалість вегетаційного періоду в Західному Лісостепу за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) склала 74 дня, а за сценарієм зміни клімату RCP4.5 83 дня, що на 9 днів більше, за сценарієм зміни клімату

RCP8.5 тривалість вегетаційного періоду склала 84 дні, що на 10 днів більше в порівнянні з середньо багаторічними даними (1986-2005 pp.).

В Поліссі сходи картоплі за середньо багаторічними даними (1986-2005 pp.) спостерігалися 29.V, а за сценарієм зміни клімату RCP4.5 24.V, що на 5 днів раніше, а за сценарієм зміни клімату RCP8.5 сходи картоплі спостерігались 21.V, що на 8 днів раніше в порівнянні з середньо багаторічними даними (1986-2005 pp.), в'янення бадилля за середньо багаторічними даними (1986-2005 pp.) спостерігалось 10.VIII, а за сценарієм зміни клімату RCP4.5 4.VIII, що на 6 днів раніше, за сценарієм зміни клімату RCP8.5 в'янення бадилля спостерігалось 2.VIII, що на 8 днів раніше в порівнянні з середньо багаторічними даними (1986-2005 pp.).

Тривалість вегетаційного періоду за середньо багаторічними даними (1986-2005 pp.) в Поліссі склала 73 дні, а за сценарієм зміни клімату RCP4.5 72 дні, що на 1 день менше, за сценарієм зміни клімату RCP8.5 тривалість вегетаційного періоду склала також 73 дні, як і в випадку з середньо багаторічними даними.

В Степу сходи картоплі за середньо багаторічними даними (1986-2005 pp.) спостерігалися 14.V, а за сценарієм зміни клімату RCP4.5 11.V, що на 3 дні раніше, за сценарієм зміни клімату RCP8.5 сходи картоплі спостерігалися 18.V, що на 4 дні пізніше в порівнянні з середньо багаторічними даними (1986-2005 pp.), в'янення бадилля за середньо багаторічними даними (1986-2005 pp.) спостерігалось 23.VII, а за сценарієм зміни клімату RCP4.5 24.VII, що на 1 день пізніше, за сценарієм зміни клімату RCP8.5 в'янення бадилля спостерігалось 28.VII, що на 5 днів пізніше в порівнянні з середньо багаторічними даними (1986-2005 pp.). Тривалість вегетаційного періоду за середньо багаторічними даними (1986-2005 pp.) в Степу склала 70 днів, а за сценарієм зміни клімату RCP4.5 – 74 дні, що на 4 дні більше, за сценарієм зміни клімату RCP8.5 – 71 день, що на 1 день більше.

В Східному Лісостепу сходи картоплі за середньо багаторічними даними (1986-2005 pp.) спостерігалися 26.V, а за сценарієм зміни клімату RCP4.5 21.V, що на 5 днів раніше, за сценарієм зміни клімату RCP8.5 23.V, що на 3 дні раніше в порівнянні з середньо багаторічними даними (1986-2005 pp.), в'янення бадилля за середньо багаторічними даними (1986-2005 pp.) спостерігалось 09.VIII, а за сценарієм зміни клімату RCP4.5 10.VIII, що на 1 день пізніше, за сценарієм зміни клімату RCP8.5 в'янення бадилля в Східному Лісостепу спостерігалось 12.VIII, що на 3 дні пізніше, в порівнянні з середньо багаторічними даними (1986-2005 pp.). Тривалість вегетаційного періоду за середньо багаторічними даними (1986-2005 pp.) в Східному Лісостепу склала 75 днів, а за сценаріями зміни клімату RCP4.5 та RCP8.5 81 день, що на 6 днів більше. За умов реалізації сценаріїв зміни клімату RCP4.5 та RCP8.5, сходи в Західному Лісостепу, Поліссі, Степу та Східному Лісостепу спостерігались раніше від 3 до 8 днів, тривалість вегетаційного періоду була більшою від 1 до 10 днів.

За умов реалізації сценаріїв зміни клімату RCP4.5 та RCP8.5 період сходи – цвітіння буде проходити при знижених температурах: на 1,5-1,6 °C у Західному Лісостепу, на 0,8-1 °C у Поліссі, на 0,8-1,1 °C у Степу та 1,2 °C у Східному Лісостепу (табл. 6.35).

Зниженим буде і температурний режим в період цвітіння – в’янення бадилля на 1 °C у Західному Лісостепу, на 0,3-0,4 °C у Поліссі, на 0,2-0,4 °C у Східному Лісостепу. Таким чином, середня температура повітря за весь вегетаційний період за сценарієм зміни клімату RCP4.5 буде зниженою у Західному Лісостепу на 1 °C, в Поліссі на 0,6 °C, в Степу на 0,4 °C, у Східному Лісостепу на 0,7 °C, за сценарієм зміни клімату RCP8.5 буде зниженою у Західному Лісостепу на 1,1 °C, в Поліссі на 0,7 °C, в Степу на 0,4 °C, у Східному Лісостепу на 0,6 °C.

Кількість опадів у період сходи – цвітіння зменшиться в Західному Лісостепу на 10 %, в Поліссі на 6 %, в Степу зменшиться на 8 %, в Східному Лісостепу збільшиться на 8 %, за сценарієм зміни клімату RCP4.5, кількість опадів у період сходи – цвітіння за сценарієм зміни клімату RCP8.5, зменшиться в Степу на 10 %, а збільшиться в Поліссі на 7 %, в Східному Лісостепу на 21 %, та в Західному Лісостепу збільшиться кількість опадів у період сходи – цвітіння на 3 % в порівнянні з середньо багаторічними даними (табл. 6.35).

За сценарієм зміни клімату RCP4.5, для періоду цвітіння – в’янення бадилля кількість опадів зменшиться в Західному Лісостепу на 36 %, в Поліссі на 33 %, для Степу зменшиться на 34 %, в Східному Лісостепу кількість опадів зменшиться на 26 %, кількість опадів для періоду цвітіння – в’янення бадилля за сценарієм зміни клімату RCP8.5, зменшиться в Західному Лісостепу на 25 %, в Поліссі на 40 %, в Степу на 34 % та у Східному Лісостепу на 26 %.

Сума температур за період сходи – цвітіння за сценарієм зміни клімату RCP4.5 збільшиться в Західному Лісостепу на 24 °C, в Східному Лісостепу на 42 °C, в Степу на 1 °C, а зменшиться в Поліссі на 14 °C.

За сценарієм зміни клімату RCP8.5 сума температур за період сходи – цвітіння збільшиться в Західному Лісостепу на 47 °C, в Поліссі на 21 °C, а зменшиться в Степу на 94 °C та в Східному Лісостепу на 2 °C (табл. 6.37).

Сума температур за період цвітіння – в’янення бадилля за сценарієм зміни клімату RCP4.5 збільшиться в Західному Лісостепу на 62 °C, в Поліссі зменшиться на 67 °C, в Степу збільшиться на 29 °C, а в Східному Лісостепу збільшиться на 13 °C, за сценарієм зміни клімату RCP8.5 збільшиться в Західному Лісостепу на 46 °C, зменшиться у Поліссі на 107 °C, та збільшиться у Степу на 110 °C і у Східному Лісостепу на 49 °C.

Таким чином, сума температур за весь вегетаційний період за сценарієм зміни клімату RCP4.5 збільшиться в Західному Лісостепу на 86 °C, в Поліссі зменшиться на 81 °C, в Степу збільшиться на 30 °C, в Східному Лісостепу збільшиться на 55 °C, за сценарієм зміни клімату RCP8.5 збільшиться в Західному Лісостепу на 93 °C, в Поліссі зменшиться на 86 °C, в Степу збільшиться на 16 °C, в Східному Лісостепу збільшиться на 47 °C.

Таблиця 6.35 – Агрокліматичні умови вирощування картоплі за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценаріями зміни клімату RCP4.5 та RCP8.5

Період	Період сходи – цвітіння			Період цвітіння – в’янення бадилля			Весь вегетаційний період		
	середня температура, °C	сума температур, °C	сума опадів, мм	середня температура, °C	сума температур, °C	сума опадів, мм	середня температура, °C	сума температур, °C	сума опадів, мм
Полісся									
1986 – 2005	16,6	604	108	19,2	710	117	17,9	1314	225
RCP4.5	15,8	590	102	18,8	643	84	17,3	1233	186
Різниця	-0,8	-14	-6%	-0,4	-67	-33%	-0,6	-81	-39%
1986 – 2005	16,6	604	108	19,2	710	117	17,9	1314	225
RCP8.5	15,6	625	115	18,9	603	77	17,2	1228	192
Різниця	-1	+21	+7%	-0,3	-107	-40%	-0,7	-86	-33%
Західний Лісостеп									
1986 – 2005	17,2	577	112	19,9	775	116	18,5	1352	228
RCP4.5	15,7	601	102	18,9	837	80	17,5	1438	182
Різниця	-1,5	+24	-10	-1	+62	-36	-1	+86	-46
1986 – 2005	17,2	577	112	19,9	775	116	18,5	1352	228
RCP8.5	15,6	624	115	18,9	821	91	17,4	1445	206
Різниця	-1,6	+47	+3	-1	+46	-25	-1,1	+93	-22
Східний Лісостеп									
1986 – 2005	17,2	598	90	19,8	772	94	18,5	1370	184
RCP4.5	16,0	640	98	19,6	785	68	17,8	1425	166
Різниця	-1,2	+42	+8%	-0,2	+13	-26%	-0,7	+55	-18%
1986 – 2005	17,2	598	90	19,8	772	94	18,5	1370	184
RCP8.5	16,0	596	111	19,4	821	68	17,9	1417	179
Різниця	-1,2	-2	+21%	-0,4	+49	-26%	-0,6	+47	-5%
Степ									
1986 – 2005	17,8	669	80	21,4	701	76	19,6	1370	156
RCP4.5	16,7	670	72	21,7	730	42	19,2	1400	114
Різниця	-1,1	+1	-8%	+0,3	+29	-34%	-0,4	+30	-42%
1986 – 2005	17,8	669	80	21,4	701	76	19,6	1370	156
RCP8.5	17,0	575	70	21,4	811	42	19,2	1386	112
Різниця	-0,8	-94	-10	0	+110	-34	-0,4	+16	-44

Площа листя картоплі в період максимального розвитку за сценарієм зміни клімату RCP4.5 збільшиться в Поліссі на $1,86 \text{ м}^2/\text{м}^2$, в Західному Лісостепу на $1,56 \text{ м}^2/\text{м}^2$, в Східному Лісостепу на $2,07 \text{ м}^2/\text{м}^2$, в Степу на

3,36 м²/м² в порівнянні з середньо багаторічними даними, а за сценарієм зміни клімату RCP8.5 збільшиться в Поліссі на 1,21 м²/м², в Західному Лісостепу на 1,19 м²/м², в Східному Лісостепу на 3,34 м²/м², в Степу на 5,32 м²/м² в порівнянні з середньо багаторічними даними. (табл. 6.36).

Таблиця 6.36 – Фотосинтетична продуктивність картоплі за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценаріями зміни клімату RCP4.5 та RCP8.5

Період	Площа листя картоплі в період максимального розвитку, м ² /м ²	Чиста продуктивність фотосинтезу в період максимального розвитку, г/м ² декада	Приріст маси в період максимального розвитку, г/м ²	Суха біомаса цілої рослини картоплі, г/м ²	Урожай картоплі, ц/га
Полісся					
1986-2005	5,77	102	488	1726	173
RCP4.5	7,63	92	600	2125	235
RCP8.5	6,98	95	605	1982	206
Західний Лісостеп					
1986-2005	4,16	86	315	1157	136
RCP4.5	5,72	89	479	1706	190
RCP8.5	5,35	90	442	1588	174
Східний Лісостеп					
1986-2005	4,07	100	380	1380	143
RCP4.5	6,77	96	548	1803	200
RCP8.5	7,41	95	570	2068	218
Степ					
1986-2005	2,65	114	285	1003	107
RCP4.5	6,01	110	456	1476	157
RCP8.5	7,97	93	579	1695	163

Приріст маси картоплі в період максимального розвитку за сценарієм зміни клімату RCP4.5 збільшиться в Поліссі на 112 г/м², в Західному Лісостепу на 164 г/м², в Східному Лісостепу на 168 г/м², в Степу на 171 г/м², а за сценарієм зміни клімату RCP8.5 приріст маси картоплі в період максимального розвитку збільшиться в Поліссі на 117 г/м², в Західному Лісостепу на 127 г/м², в Східному Лісостепу на 190 г/м², в Степу на 294 г/м², в порівнянні з середньо багаторічними даними. Таким чином, в залежності від цього і суха біомаса цілої рослини картоплі за сценарієм зміни клімату RCP4.5 збільшиться в Поліссі на 399 г/м², в Західному Лісостепу на 549 г/м², в Східному Лісостепу на 423 г/м², в Степу на 473 г/м², а за сценарієм зміни клімату RCP8.5 суха біомаса цілої рослини картоплі збільшиться в Поліссі на 256 г/м², в Західному Лісостепу на 431 г/м², в Східному Лісостепу на 688 г/м², в Степу на 692 г/м² в порівнянні з середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.).

Урожай картоплі за сценарієм зміни клімату RCP4.5 в Поліссі буде складати 235 ц/га, що на 62 ц/га більше, ніж в Поліссі за середньо багаторічними даними (1986-2005). В Західному Лісостепу урожай картоплі за сценарієм зміни клімату RCP4.5 склав 190 ц/га, що на 54 ц/га більше, чим в Західному Лісостепу за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.). Урожай картоплі в Східному Лісостепу за сценарієм зміни клімату RCP4.5 складає 200 ц/га, що на 57 ц/га більше, чим в Східному Лісостепу за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.), в Степу урожай картоплі складає 157 ц/га, що на 50 ц/га більше, чим урожай картоплі в Степу за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.). Урожай картоплі за сценарієм зміни клімату RCP8.5 в Поліссі буде складати 206 ц/га, що на 33 ц/га більше, ніж в Поліссі за середньо багаторічними даними (1986-2005). В Західному Лісостепу урожай картоплі за сценарієм зміни клімату RCP8.5 склав 174 ц/га, що на 38 ц/га більше, чим в Західному Лісостепу за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.). Урожай картоплі в Східному Лісостепу за сценарієм зміни клімату RCP8.5 складає 218 ц/га, що на 75 ц/га більше, чим в Східному Лісостепу за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.), в Степу урожай картоплі складає 163 ц/га, що на 56 ц/га більше, чим урожай картоплі в Степу за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.).

Сумарне випаровування за період сходи – цвітіння за сценарієм зміни клімату RCP4.5 збільшиться в Східному Лісостепу на 9 мм, а зниження сумарного випаровування буде спостерігатися в Поліссі на 3мм, в Степу на 6 мм та в Західному Лісостепу на 4 мм. (табл. 6.37).

Сумарна випаровуваність за період сходи – цвітіння за сценарієм зміни клімату RCP4.5 збільшиться в Степу на 5 мм, а зниження сумарної випаровуваності спостерігається в Поліссі на 49 мм в порівнянні з середньо багаторічними даними.

Зниження сумарної випаровуваності спостерігається в Східному Лісостепу на 61 мм та в Західному Лісостепу на 62 мм в порівнянні з середньо багаторічними даними.

Сумарне випаровування за період цвітіння – в'янення бадилля за сценарієм зміни клімату RCP4.5 зменшиться в Поліссі на 29 мм, в Степу на 19 мм та в Західному Лісостепу на 8 мм, а збільшиться в Східному Лісостепу на 4 мм.

Таблиця 6.37 – Порівняння показників режиму вологозабезпеченості картоплі за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценарієм зміни клімату RCP4.5

Період	І період Сходи - цвітіння			ІІ період цвітіння – в'янення бадилля			Вегетаційний період
	Сумарне випаро- вування, мм	Сумарна випарову- ваність, мм	Волого- забезпе- ченість, від.од	Сумарне випаро- вування мм	Сумарна випарову- ваність, мм	Волого- забезпе- ченість, від.од	Вологозабез- печеність, від.од
	Полісся						
1986-2005	78	144	0,72	79	139	0,76	0,74
RCP4.5	75	95	1,05	50	126	0,52	0,75
Різниця	-3	-49		-29	-13		
	Західний Лісостеп						
1986-2005	91	159	0,76	93	155	0,80	0,78
RCP4.5	87	97	1,19	85	177	0,64	0,83
Різниця	-4	-62		-8	+22		
	Східний Лісостеп						
1986-2005	72	159	0,60	75	155	0,65	0,63
RCP4.5	81	98	1,90	79	156	0,68	0,84
Різниця	+9	-61		+4	+1		
	Степ						
1986-2005	80	126	0,85	67	124	0,72	0,79
RCP4.5	74	131	0,75	48	200	0,32	0,49
Різниця	-6	+5		-19	+76		

Сумарна випаровуваність за період цвітіння – в'янення бадилля збільшиться в Східному Лісостепу на 1 мм, в Степу на 76 мм та в Західному Лісостепу на 22 мм, а зменшиться сумарна випаровуваність тільки в Поліссі на 13 мм в порівнянні з середньо багаторічними даними.

Відносна вологозабезпеченість за період сходи – цвітіння за середньо багаторічними даними становить в Західному Лісостепу 0,76 відн.од., в Поліссі 0,72 відн.од., в Степу 0,85 відн. од., в Східному Лісостепу 0,60 відн.од. Відносна вологозабезпеченість за сценарієм зміни клімату RCP4.5, за період сходи – цвітіння становить в Західному Лісостепу 1,19 відн.од., в Поліссі 1,05 відн.од., в Степу 0,75 відн.од., в Східному Лісостепу 1,09 відн.од. Відносна вологозабезпеченість за середньо багаторічними даними, за період цвітіння – в'янення бадилля становить в Західному Лісостепу 0,80 відн.од., в Поліссі 0,76 відн.од., в Степу 0,72 відн. од., в Східному Лісостепу 0,65 відн.од. Відносна вологозабезпеченість за період цвітіння – в'янення бадилля за сценарієм зміни клімату RCP4.5 становить в Західному Лісостепу 0,64 відн.од., в Поліссі 0,52 відн.од., в Степу 0,32 відн.од., в Східному Лісостепу 0,68 відн.од. Відносна вологозабезпеченість за весь вегетаційний період за середньо багаторічними даними, становить в Поліссі 0,74 відн.од., в Східному Лісостепу 0,63 відн.од., в Степу 0,79 відн. од. та в Західному Лісостепу 0,78 відн.од. Відносна вологозабезпеченість за весь вегетаційний період за сценарієм зміни клімату RCP4.5, становить в Поліссі 0,75 відн.од., в Східному Лісостепу 0,84 відн.од., в Степу 0,49 відн. од. та в Західному Лісостепу 0,83 відн.од. Сумарне випаровування за період сходи – цвітіння за сценарієм зміни клімату RCP8.5 збільшиться в Східному Лісостепу та Степу на 6 мм, а зниження сумарного випаровування буде спостерігатися в Поліссі на 1 мм та в Західному Лісостепу на 3 мм. (табл. 6.38). Сумарна випаровуваність за період сходи – цвітіння за сценарієм зміни клімату RCP8.5 зменшиться в Поліссі на 51 мм, в Східному Лісостепу на 72 мм, в Степу на 15 мм та в Західному Лісостепу на 66 мм в порівнянні з середньо багаторічними даними. Сумарне випаровування за період цвітіння – в'янення бадилля за сценарієм зміни клімату RCP8.5 зменшиться в Поліссі на 23 мм, та в Західному Лісостепу на 7 мм, а збільшиться в Східному Лісостепу на 3 мм та в Степу на 18 мм. Сумарна випаровуваність за період цвітіння – в'янення бадилля збільшиться в Східному Лісостепу на 3 мм, в Степу на 90 мм та в Західному Лісостепу на 22 мм, а зменшиться сумарна випаровуваність тільки в Поліссі на 15 мм в порівнянні з середньо багаторічними даними.

Відносна вологозабезпеченість за період сходи – цвітіння за середньо багаторічними даними становить в Західному Лісостепу 0,76 відн.од., в Поліссі 0,72 відн.од., в Степу 0,85 відн. од., в Східному Лісостепу 0,60 відн.од. Відносна вологозабезпеченість за сценарієм зміни клімату RCP8.5, за період сходи – цвітіння становить в Західному Лісостепу 1,4 відн.од., в Поліссі 1,1 відн.од., в Степу 1,04 відн.од., в Східному Лісостепу 1,2 відн.од. Відносна вологозабезпеченість за середньо багаторічними даними, за період

Таблиця 6.38 – Порівняння показників режиму вологозабезпеченості картоплі за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценарієм зміни клімату RCP8.5

Період	І період Сходи - цвітіння			ІІ період цвітіння – в'янення бадилля			Вегетаційний період
	Сумарне випаро- вування, мм	Сумарна випарову- ваність, мм	Волого- забезпе- ченість, від.од	Сумарне випаро- вування мм	Сумарна випарову- ваність, мм	Волого- забезпе- ченість, від.од	Вологозабез- печеність, від.од
	Полісся						
1986-2005	78	144	0,72	79	139	0,76	0,74
RCP8.5	77	93	1,1	56	124	0,60	0,82
Різниця	-1	-51		-23	-15		
	Західний Лісостеп						
1986-2005	91	159	0,76	93	155	0,80	0,78
RCP8.5	88	93	1,4	86	177	0,65	0,86
Різниця	-3	-66		-7	+22		
	Східний Лісостеп						
1986-2005	72	159	0,60	75	155	0,65	0,63
RCP8.5	78	87	1,2	78	158	0,66	0,85
Різниця	+6	-72		+3	+3		
	Степ						
1986-2005	80	126	0,85	67	124	0,72	0,79
RCP8.5	86	111	1,04	85	214	0,53	0,70
Різниця	+6	-15		+18	+90		

цвітіння – в’янення бадилля становить в Західному Лісостепу 0,80 відн.од., в Поліссі 0,76 відн.од., в Степу 0,72 відн. од., в Східному Лісостепу 0,65 відн.од. Відносна вологозабезпеченість за період цвітіння – в’янення бадилля за сценарієм зміни клімату RCP8.5 становить в Західному Лісостепу 0,65 відн.од., в Поліссі 0,60 відн.од., в Степу 0,53 відн.од., в Східному Лісостепу 0,66 відн.од. Відносна вологозабезпеченість за весь вегетаційний період за середньо багаторічними даними, становить в Поліссі 0,74 відн.од., в Східному Лісостепу 0,63 відн.од., в Степу 0,79 відн. од. та в Західному Лісостепу 0,78 відн.од. Відносна вологозабезпеченість за весь вегетаційний період за сценарієм зміни клімату RCP8.5, становить в Поліссі 0,82 відн.од., в Східному Лісостепу 0,85 відн.од., в Степу 0,70 відн. од. та в Західному Лісостепу 0,86 відн.од.

В Поліссі площа листя картоплі за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) збільшувалась до четвертої декади вегетації і набула максимального значення у четверту декаду вегетації і склала $5,77 \text{ м}^2/\text{м}^2$. Площа листя картоплі за сценаріями зміни клімату RCP4.5 та RCP8.5 збільшувалась до п’ятої декади вегетації і набула максимального значення у п’яту декаду вегетації і склала $6,98-7,63 \text{ м}^2/\text{м}^2$. Площа листя картоплі в Поліссі в період максимального розвитку за сценаріями зміни клімату збільшилась на $1,21-1,86 \text{ м}^2/\text{м}^2$ в порівнянні з середньо багаторічними даними. В умовах збільшення CO_2 , в Поліссі площа листя картоплі зростала до п’ятої декади вегетації і максимальне значення площі листя картоплі за умов збільшення CO_2 складає $7,54-8,10 \text{ м}^2/\text{м}^2$. В умовах збільшення CO_2 площа листя картоплі збільшилась на $1,77-2,33 \text{ м}^2/\text{м}^2$, в порівнянні з площею листя картоплі за середньо багаторічними даними (рис. 6.74).

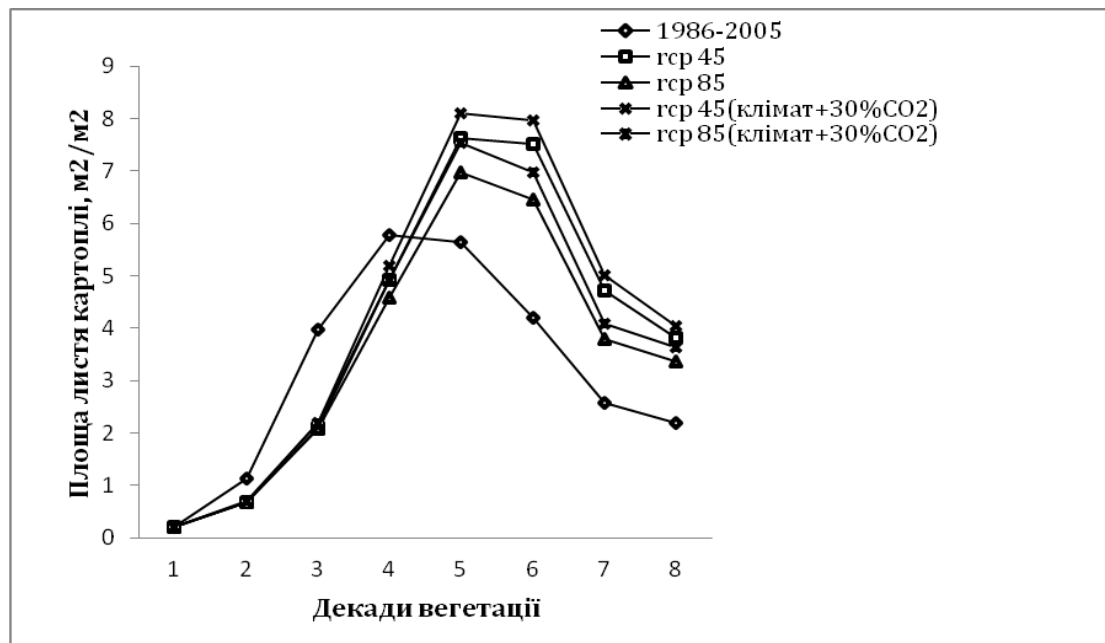


Рисунок 6.74 – Динаміка площі листя картоплі в Поліссі за середньо багаторічними даними та за сценаріями зміни клімату RCP4.5 та RCP8.5.

Площа листя картоплі в Західному Лісостепу за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) збільшувалась до п'ятої декади вегетації і набула максимального значення у п'яту декаду вегетації і склала $4,16 \text{ м}^2/\text{м}^2$ (рис. 6.75).

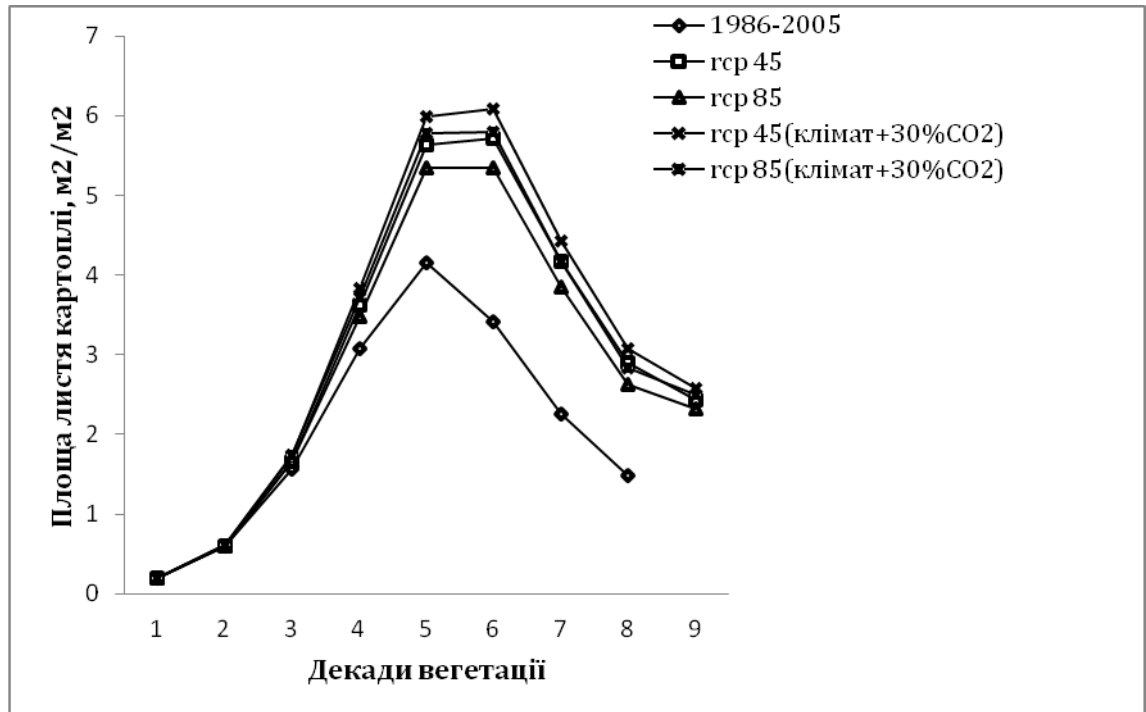


Рисунок 6.75 – Динаміка площі листя картоплі в Західному Лісостепу за середньо багаторічними даними та за сценаріями зміни клімату RCP4.5 та RCP8.5.

Площа листя картоплі в Західному Лісостепу за сценаріями зміни клімату RCP4.5 та RCP8.5 збільшувалась до шостої декади вегетації і набула максимального значення у шосту декаду вегетації і склала $5,35\text{-}5,72 \text{ м}^2/\text{м}^2$.

Площа листя картоплі в період максимального розвитку за сценаріями зміни клімату збільшилась на $1,19\text{-}1,56 \text{ м}^2/\text{м}^2$ в порівнянні з середньо багаторічними даними (рис. 6.75). В умовах збільшення CO_2 , в Західному Лісостепу площа листя картоплі зростала до шостої декади вегетації і максимальне значення площі листя картоплі за умов збільшення CO_2 за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 в шосту декаду вегетації складає $5,79\text{-}6,08 \text{ м}^2/\text{м}^2$. В умовах збільшення CO_2 площа листя картоплі збільшилась на $1,63\text{-}1,92 \text{ м}^2/\text{м}^2$, в порівнянні з площею листя картоплі за середньо багаторічними даними.

Максимальна площа листя картоплі в Східному Лісостепу спостерігалась у п'яту декаду вегетації, як за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.), так і за сценаріями зміни клімату RCP4.5 та RCP8.5. Максимальна площа листя за середньо багаторічними даними складає

4,07 м²/м², максимальна площа листя картоплі за сценаріями зміни клімату дорівнює 6,77-7,41 м²/м² (рис. 6.76).

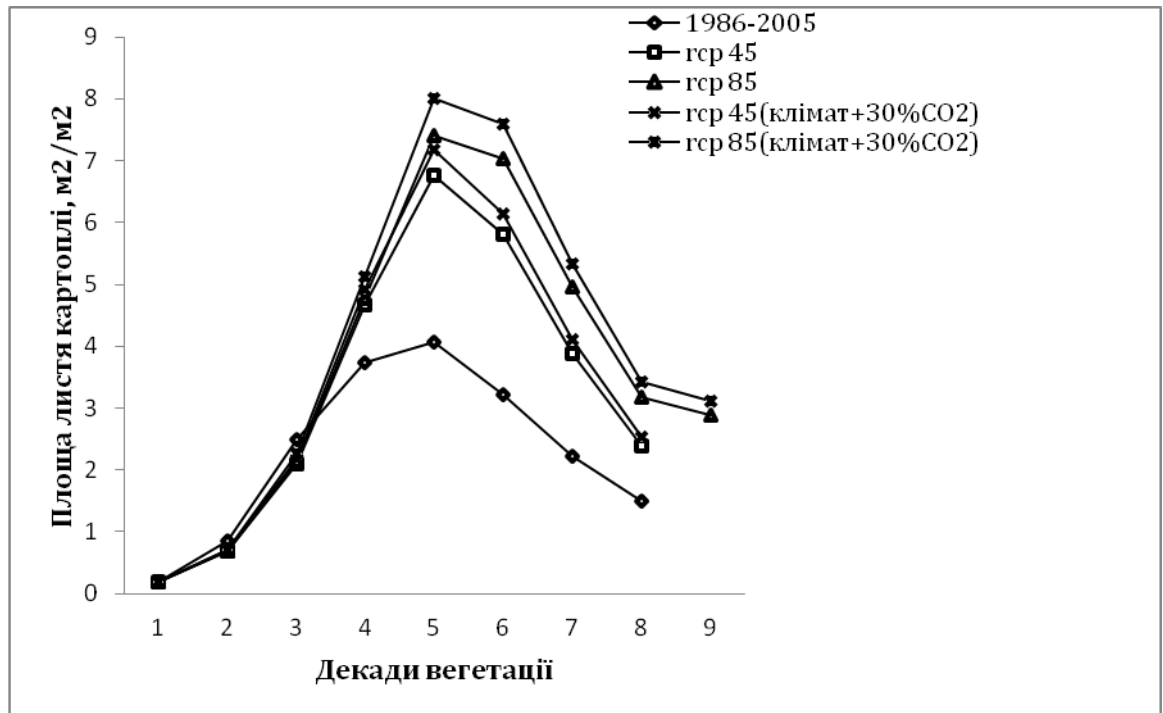


Рисунок 6.76 – Динаміка площі листя картоплі в Східному Лісостепу за середньо багаторічними даними та за сценаріями зміни клімату RCP4.5 та RCP8.5.

Максимальна площа листя картоплі в Східному Лісостепу за сценаріями зміни клімату RCP4.5 і RCP8.5 збільшилась на 2,7-3,34 м²/м², в порівнянні з середньо багаторічними даними. В умовах збільшення CO₂, в Східному Лісостепу площа листя картоплі зростала до п'ятої декади вегетації і максимальне значення площі листя картоплі за умов збільшення CO₂ за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 складає 7,17-8,0 м²/м². В умовах збільшення CO₂ площа листя картоплі збільшилась на 3,1-3,9 м²/м² в порівнянні з площею листя картоплі за середньо багаторічними даними.

Максимальна площа листя картоплі в Степу спостерігалась у п'яту декаду вегетації, як за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.), так і за сценаріями зміни клімату RCP4.5 та RCP8.5. Максимальна площа листя картоплі в Степу за середньо багаторічними даними склала 2,65 м²/м², а за сценаріями зміни клімату RCP4.5 та RCP8.5, максимальна площа листя картоплі склала 6,01-7,97 м²/м² (рис. 6.77).

Максимальна площа листя картоплі в Степу за сценаріями зміни клімату RCP4.5 та RCP8.5 збільшилась на 3,36-5,32 м²/м², в порівнянні з середньо багаторічними даними. В умовах збільшення CO₂, в Степу площа листя картоплі зростала до п'ятої декади вегетації за сценаріями зміни клімату RCP4.5 і RCP8.5, максимальне значення площі листя картоплі за умов

збільшення CO_2 складає $6,36\text{--}8,60 \text{ м}^2/\text{м}^2$. В умовах збільшення CO_2 площа листя картоплі за сценаріями зміни клімату RCP4.5 та RCP8.5 збільшилась на $3,71\text{--}5,95 \text{ м}^2/\text{м}^2$ в порівнянні з площею листя картоплі за середньо багаторічними даними.

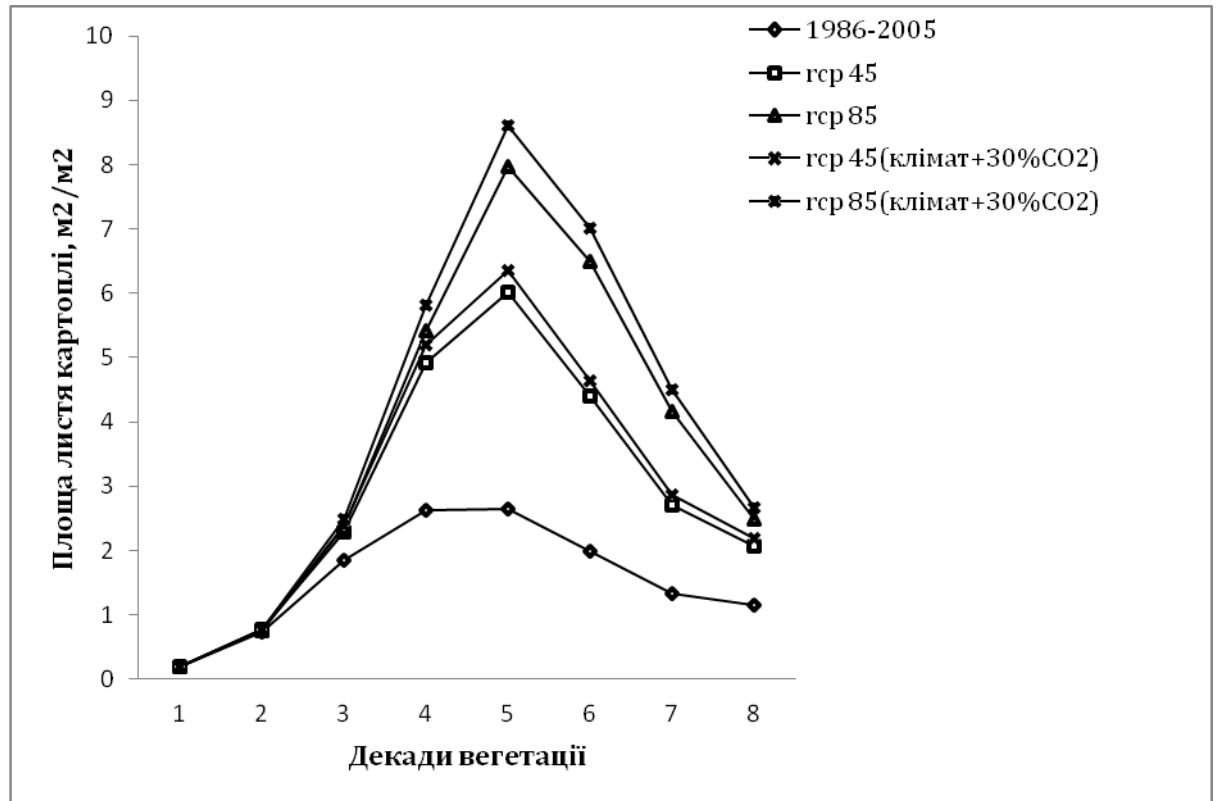


Рисунок 6.77 – Динаміка площі листя картоплі в Степу за середньо багаторічними даними та за сценаріями зміни клімату RCP4.5 та RCP8.5.

В Поліссі чиста продуктивність фотосинтезу збільшувалась з першої по третю декаду вегетації, потім почала знижуватися, як за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.), так і за сценаріями зміни клімату RCP4.5 та RCP8.5.

В Поліссі чиста продуктивність фотосинтезу картоплі за середньо багаторічними даними, та за сценарієм RCP4.5, набула максимального значення у третю декаду вегетації і склала $92\text{--}102 \text{ г}/\text{м}^2 \cdot \text{декада}$, за сценарієм RCP8.5, чиста продуктивність фотосинтезу картоплі набула максимального значення у третю і четверту декаду вегетації і склала $95 \text{ г}/\text{м}^2 \cdot \text{декада}$, в умовах збільшення CO_2 в Поліссі чиста продуктивність фотосинтезу за сценаріями зміни клімату RCP4.5 та RCP8.5 склала $96\text{--}102 \text{ г}/\text{м}^2 \cdot \text{декада}$ (рис. 6.80). В Поліссі максимальне значення чистої продуктивності фотосинтезу картоплі за сценаріями зміни клімату зменшилось на $7\text{--}10 \text{ г}/\text{м}^2 \cdot \text{декада}$, в порівнянні з середньо багаторічними даними.

Чиста продуктивність фотосинтезу картоплі в Західному Лісостепу збільшувалась з першої по третю декаду вегетації за сценаріями зміни

клімату та набула максимального значення у третю декаду вегетації і склала 89-90 г/м²·декада. Чиста продуктивність фотосинтезу в Західному Лісостепу набула максимального значення за середньо багаторічними даними в другу декаду вегетації і склала 86 г/м²·декада. В умовах збільшення CO₂ в Західному Лісостепу чиста продуктивність фотосинтезу картоплі склала 91-93 г/м²·декада (рис. 6.78).

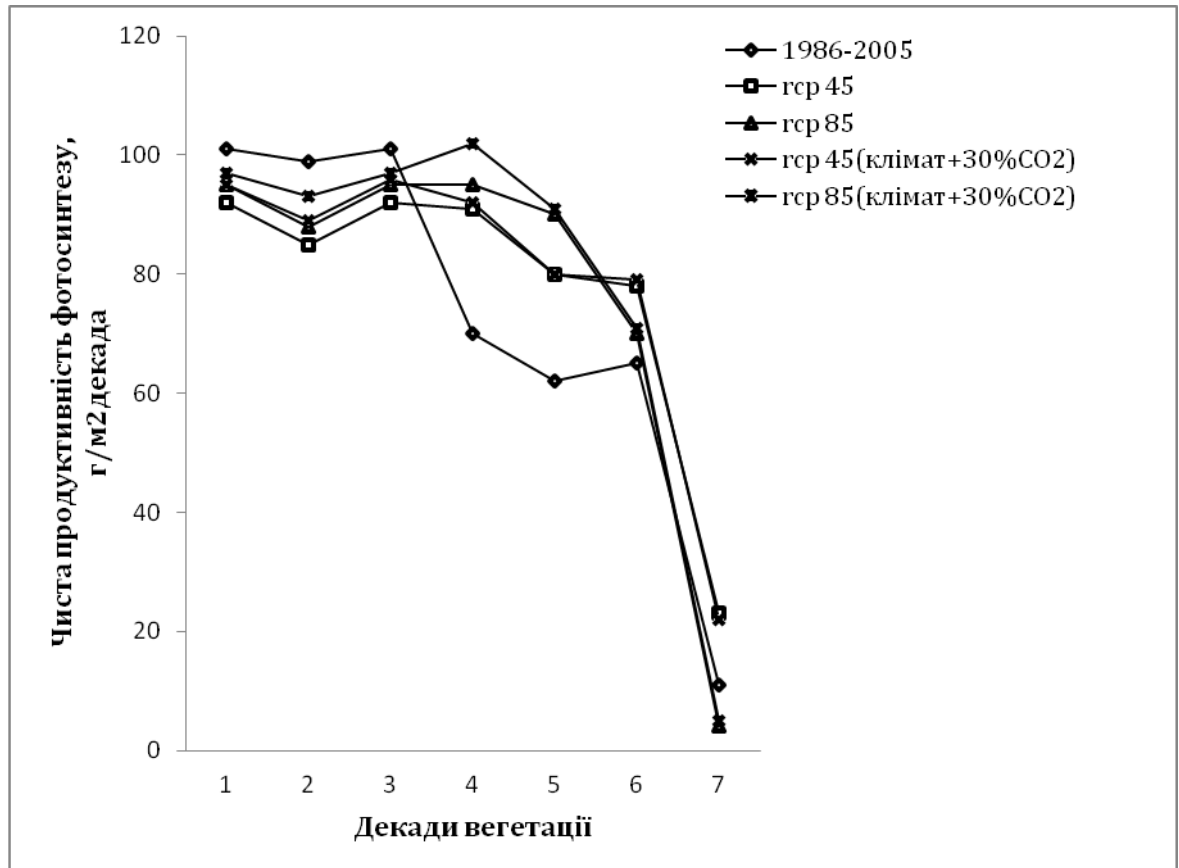


Рисунок 6.78 – Чиста продуктивність фотосинтезу картоплі в Поліссі за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценаріями зміни клімату RCP4.5 та RCP8.5.

В Західному Лісостепу максимальне значення чистої продуктивності фотосинтезу картоплі за сценаріями зміни клімату збільшилось на 3-4 г/м²·декада, в порівнянні з середньо багаторічними даними, за умов збільшення CO₂ максимальне значення чистої продуктивності фотосинтезу картоплі збільшилось на 5-7 г/м²·декада, в порівнянні з середньо багаторічними даними.

В Східному Лісостепу чиста продуктивність фотосинтезу за сценарієм зміни клімату RCP4.5 збільшувалася з першої по третю декаду вегетації і набула максимального значення у третю декаду вегетації і склала 97 г/м²·декада, за сценарієм RCP8.5 чиста продуктивність фотосинтезу збільшувалася з першої по четверту декаду вегетації і склала 95 г/м²·декада, за

середньо багаторічними даними чиста продуктивність фотосинтезу збільшується до третьої декади і складає 100 г/м^2 декада (рис. 6.80).

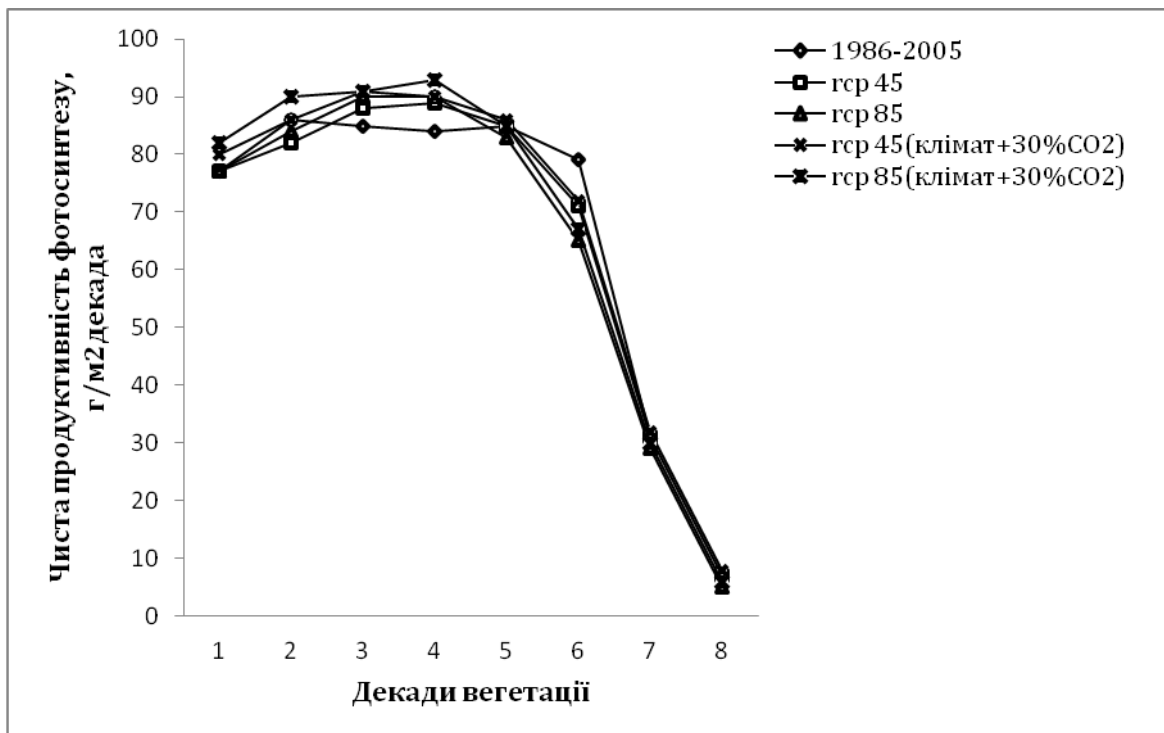


Рисунок 6.79 – Чиста продуктивність фотосинтезу картоплі в Західному Лісостепу за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценаріями зміни клімату RCP4.5 та RCP8.5.

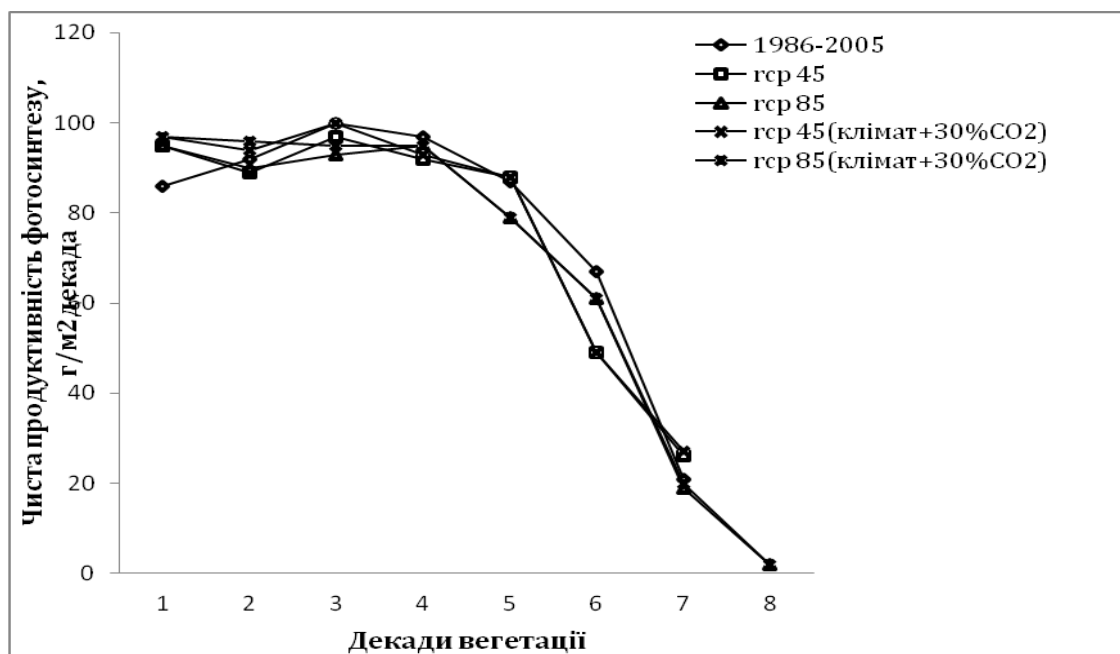


Рисунок 6.80 – Чиста продуктивність фотосинтезу картоплі в Східному Лісостепу за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценаріями зміни клімату RCP4.5 та RCP8.5.

В Східному Лісостепу максимальне значення чистої продуктивності фотосинтезу картоплі за сценаріями зміни клімату RCP4.5 та RCP8.5 зменшилось на 3-5 г/м²·декада, в порівнянні з середньо багаторічними даними. За умов збільшення CO₂ чиста продуктивність фотосинтезу зменшилась на 3 г/м²·декада, в порівнянні з середньо багаторічними даними.

В Степу чиста продуктивність фотосинтезу збільшувалась с першої по третю декаду вегетації, потім почала знижуватися, як за середньо багаторічними даними так і за сценаріями зміни клімату. Максимальне значення чистої продуктивності фотосинтезу за середньо багаторічними даними становить 114 г/м²·декада. За сценаріями зміни клімату RCP4.5 та RCP8.5 максимальне значення чистої продуктивності фотосинтезу становить 93-103 г/м²·декада (рис. 6.81).

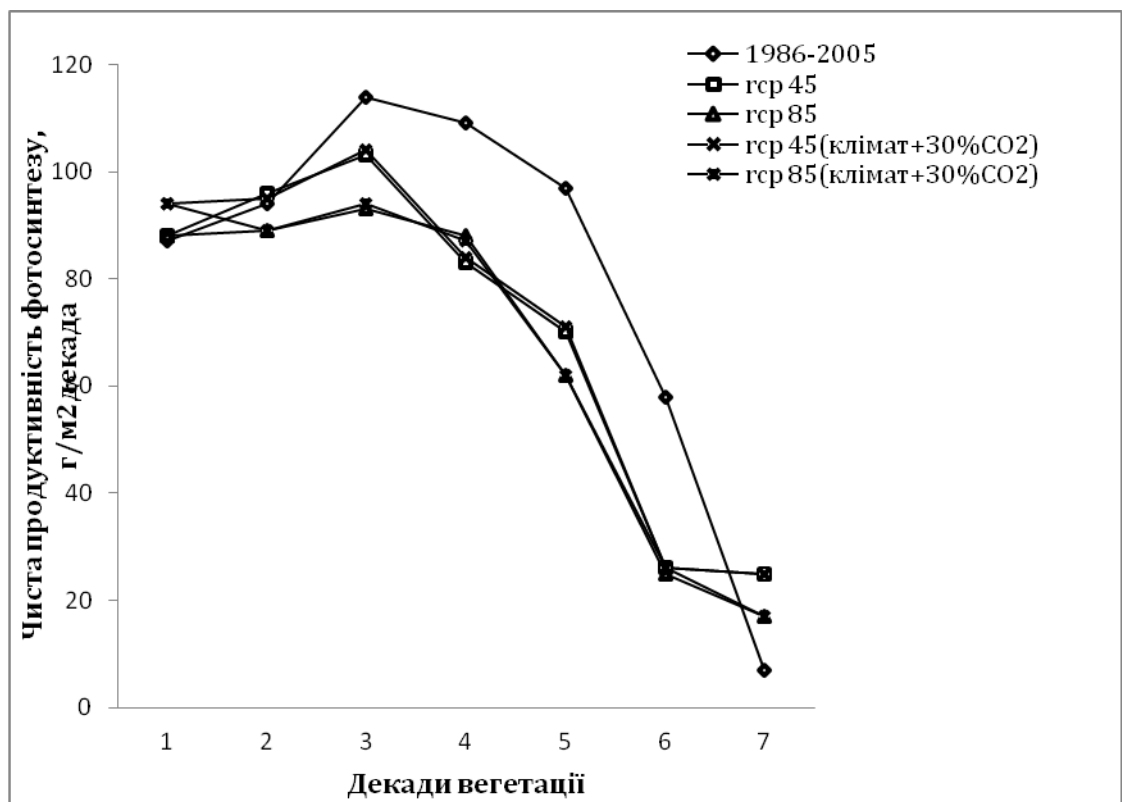


Рисунок 6.81 – Чиста продуктивність фотосинтезу картоплі в Степу за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценаріями зміни клімату RCP4.5 та RCP8.5.

В умовах збільшення CO₂ в Степу чиста продуктивність фотосинтезу набула максимального значення у третю декаду вегетації і склала 94-104 г/м²·декада.

В Степу максимальне значення чистої продуктивності фотосинтезу картоплі за сценаріями зміни клімату зменшилось на 11-21 г/м²·декада, в порівнянні з середньо багаторічними даними, за умов збільшення CO₂ максимальне значення чистої продуктивності фотосинтезу картоплі

зменшилось на 10-20 г/м²·декада, в порівнянні з середньо багаторічними даними.

Фотосинтетичний потенціал картоплі в Поліссі за середньо багаторічними даними та за сценаріями зміни клімату RCP4.5 та RCP8.5 почав збільшуватися з першої по восьму декади вегетації (рис. 6.82). За середньо багаторічними даними максимальне значення фотосинтетичного потенціалу картоплі в Поліссі складає 242 м²/м², за сценарієм RCP4.5 фотосинтетичний потенціал картоплі збільшиться до 297 м²/м², за сценарієм RCP8.5 фотосинтетичний потенціал картоплі збільшиться до 258 м²/м². В умовах збільшення CO₂ в Поліссі фотосинтетичний потенціал картоплі складає 276-313 м²/м².

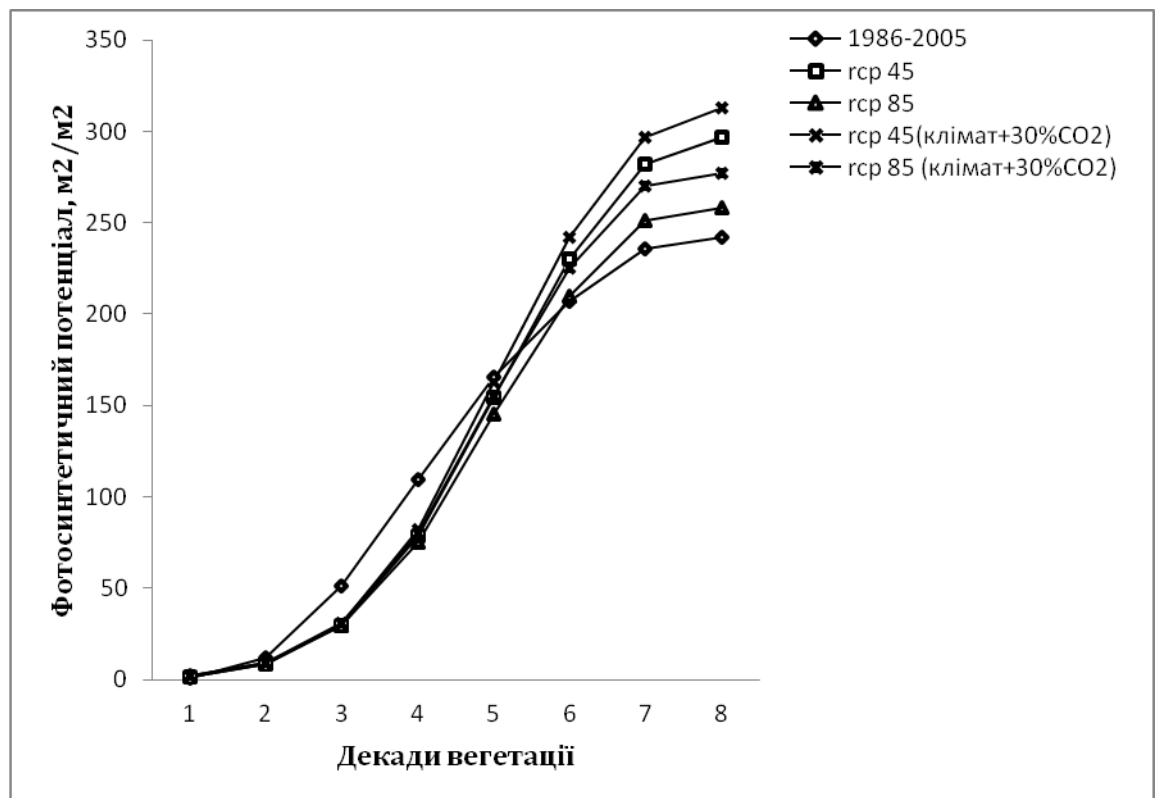


Рисунок 6.82 – Фотосинтетичний потенціал картоплі в Поліссі за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценаріями зміни клімату RCP4.5 та RCP8.5.

В Поліссі максимальне значення фотосинтетичного потенціалу картоплі за сценаріями зміни клімату збільшиться на 16-55 м²/м², в порівнянні з середньо багаторічними даними, а в умовах збільшення CO₂ максимальне значення фотосинтетичного потенціалу картоплі збільшиться на 35-71 м²/м², в порівнянні з середньо багаторічними даними.

Фотосинтетичний потенціал картоплі в Західному Лісостепу за середньо багаторічними даними почав збільшуватися з першої по восьму декади вегетації, а за сценаріями зміни клімату RCP4.5 та RCP8.5 фотосинтетичний

потенціал картоплі збільшувався с першої по дев'яту декади вегетації (рис. 6.83).

За середньо багаторічними даними максимальне значення фотосинтетичного потенціалу картоплі в Західному Лісостепу складає $166 \text{ м}^2/\text{м}^2$, а за сценаріями зміни клімату RCP4.5 та RCP8.5 значення фотосинтетичного потенціалу збільшується і складає $242\text{-}258 \text{ м}^2/\text{м}^2$. В умовах збільшення CO_2 в Західному Лісостепу фотосинтетичний потенціал картоплі збільшується і складає $258\text{-}259 \text{ м}^2/\text{м}^2$. В Західному Лісостепу максимальне значення фотосинтетичного потенціалу картоплі за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 збільшилось на $76\text{-}92 \text{ м}^2/\text{м}^2$, а в умовах збільшення CO_2 максимальне значення фотосинтетичного потенціалу картоплі збільшилось на $92\text{-}93 \text{ м}^2/\text{м}^2$, в порівнянні з середньо багаторічними даними.

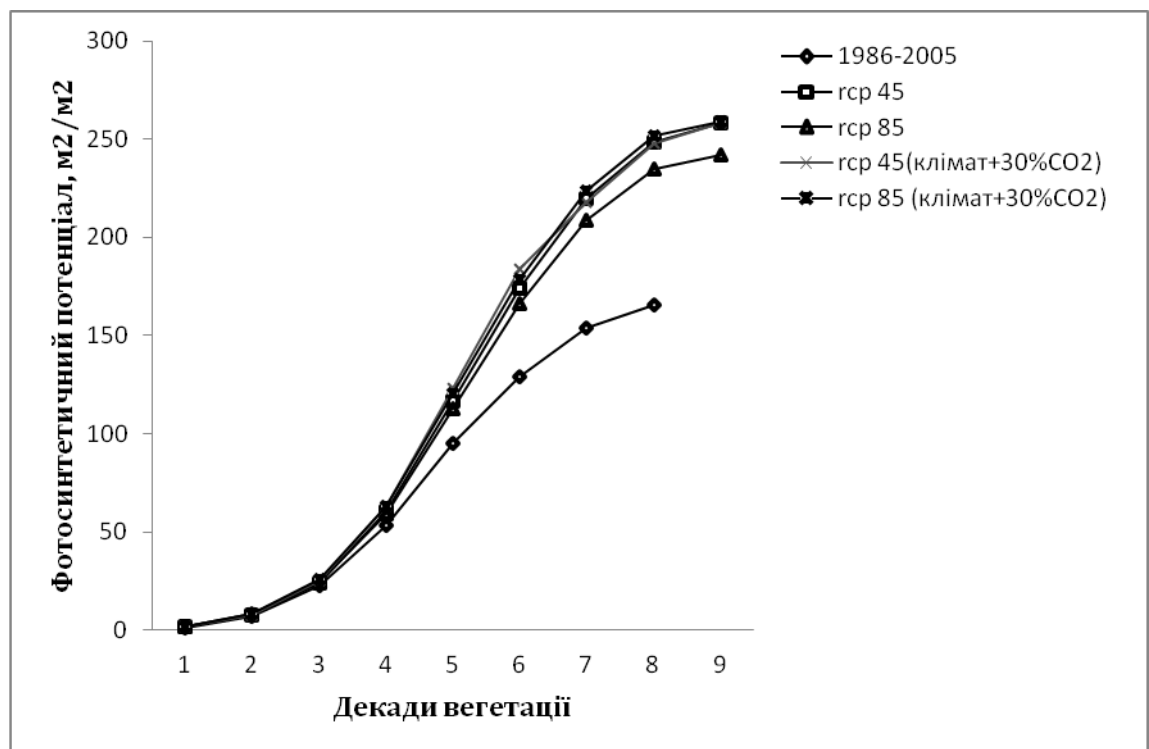


Рисунок 6.83 — Фотосинтетичний потенціал картоплі в Західному Лісостепу за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценаріями зміни клімату RCP4.5 та RCP8.5.

Фотосинтетичний потенціал картоплі в Східному Лісостепу за середньо багаторічними даними почав збільшуватися с першої по восьму декади вегетації, максимальне значення фотосинтетичного потенціалу становить $182 \text{ м}^2/\text{м}^2$. За сценарієм RCP4.5 фотосинтетичний потенціал картоплі збільшувався с першої по восьму декади вегетації, максимальне значення фотосинтетичного потенціалу становить $268 \text{ м}^2/\text{м}^2$, а за сценарієм RCP8.5 фотосинтетичний потенціал картоплі збільшувався с першої по дев'яту декади вегетації, максимальне значення фотосинтетичного потенціалу становить $313 \text{ м}^2/\text{м}^2$ (рис. 6.84).

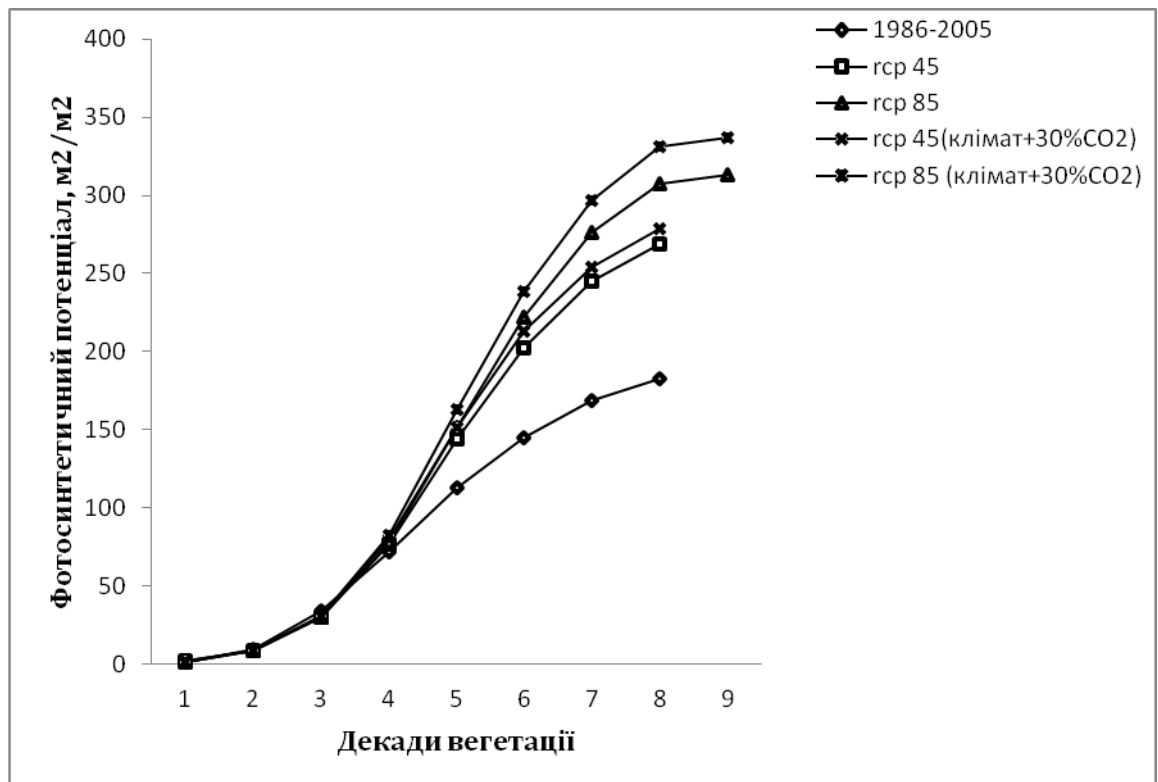


Рисунок 6.84 – Фотосинтетичний потенціал картоплі в Східному Лісостепу за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценаріями зміни клімату RCP4.5 та RCP8.5.

В умовах збільшення CO_2 в Східному Лісостепу фотосинтетичний потенціал картоплі за сценарієм зміни клімату RCP4.5 збільшувався з першої по восьму декаду вегетації і максимальне значення фотосинтетичного потенціалу складає $279 \text{ м}^2/\text{м}^2$, а за сценарієм зміни клімату RCP8.5 фотосинтетичний потенціал картоплі збільшувався з першої по дев'яту декаду вегетації і максимальне значення фотосинтетичного потенціалу складає $337 \text{ м}^2/\text{м}^2$.

В Східному Лісостепу максимальне значення фотосинтетичного потенціалу картоплі за сценарієм RCP4.5 збільшилось на $86 \text{ м}^2/\text{м}^2$, в порівнянні з середньо багаторічними даними, максимальне значення фотосинтетичного потенціалу картоплі за сценарієм RCP8.5 збільшилось на $131 \text{ м}^2/\text{м}^2$, в порівнянні з середньо багаторічними даними. За умов збільшення CO_2 в Східному Лісостепу фотосинтетичний потенціал картоплі збільшився на $97\text{-}155 \text{ м}^2/\text{м}^2$, в порівнянні з середньо багаторічними даними. Фотосинтетичний потенціал картоплі в Степу за середньо багаторічними даними та за сценаріями зміни клімату RCP4.5 та RCP8.5 почав збільшуватися з першої по восьму декади вегетації (рис. 6.85).

За середньо багаторічними даними максимальне значення фотосинтетичного потенціалу картоплі в Степу складає $117 \text{ м}^2/\text{м}^2$, а за сценаріями зміни клімату RCP4.5 та RCP8.5, максимальне значення фотосинтетичного потенціалу картоплі складає $221\text{-}292 \text{ м}^2/\text{м}^2$.

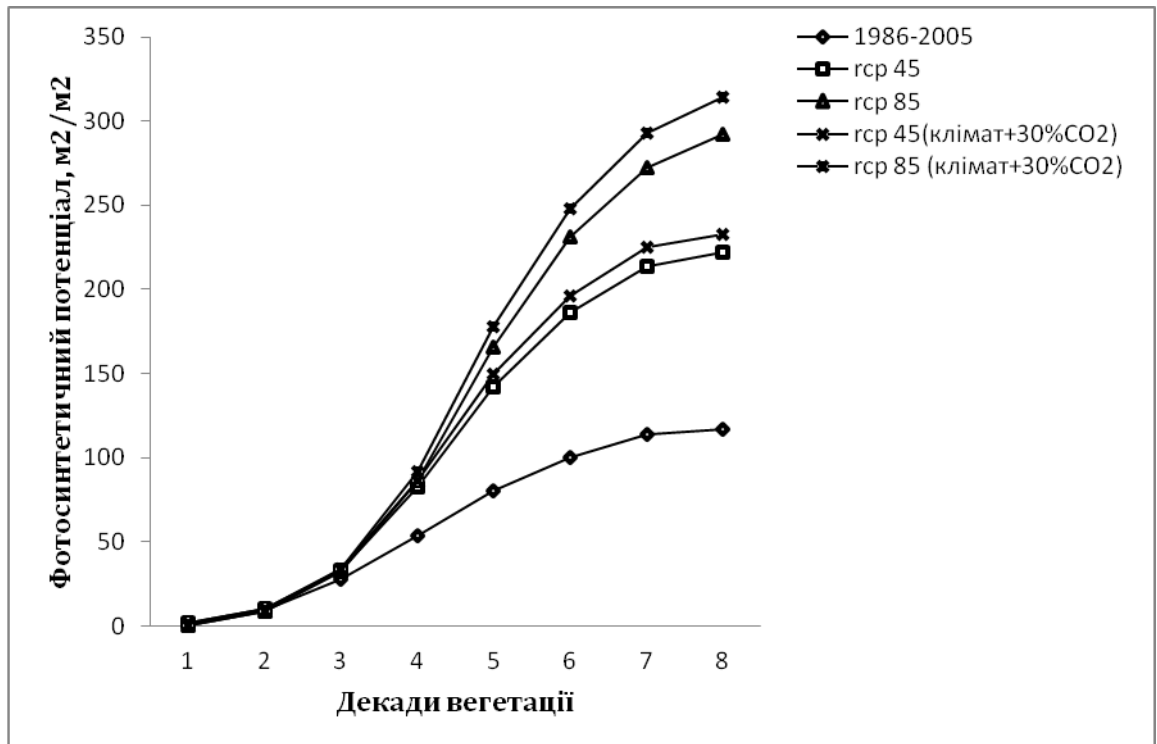


Рисунок 6.85 – Фотосинтетичний потенціал картоплі в Степу за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценаріями зміни клімату RCP4.5 та RCP8.5.

В умовах збільшення CO_2 в Степу максимальне значення фотосинтетичного потенціалу картоплі за сценаріями зміни клімату RCP4.5 та RCP8.5 складає 233-314 $\text{м}^2/\text{м}^2$. В Степу максимальне значення фотосинтетичного потенціалу картоплі за сценарієм RCP4.5 збільшилось на 104 $\text{м}^2/\text{м}^2$, в порівнянні з середньо багаторічними даними, а за сценарієм RCP8.5 максимальне значення фотосинтетичного потенціалу картоплі збільшилось на 175 $\text{м}^2/\text{м}^2$, в порівнянні з середньо багаторічними даними. В умовах збільшення CO_2 максимальне значення фотосинтетичного потенціалу картоплі за сценарієм RCP4.5 збільшилось на 116 $\text{м}^2/\text{м}^2$, а за сценарієм RCP8.5 максимальне значення фотосинтетичного потенціалу картоплі збільшилось на 197 $\text{м}^2/\text{м}^2$, в порівнянні з середньо багаторічними даними.

Суша біомаса бульб картоплі в Поліссі за середньо багаторічними даними почала набирати масу с четвертої декади вегетації і до восьмої декади вегетації і в восьму декаду вегетації суха біомаса бульб картоплі в Поліссі склала 991 $\text{г}/\text{м}^2$ (рис. 6.86).

За сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 в Поліссі, суха біомаса бульб картоплі почала набирати масу с п'ятої декади вегетації і до восьмої декади вегетації і в восьму декаду вегетації суха біомаса бульб картоплі склала 1182-1345 $\text{г}/\text{м}^2$.

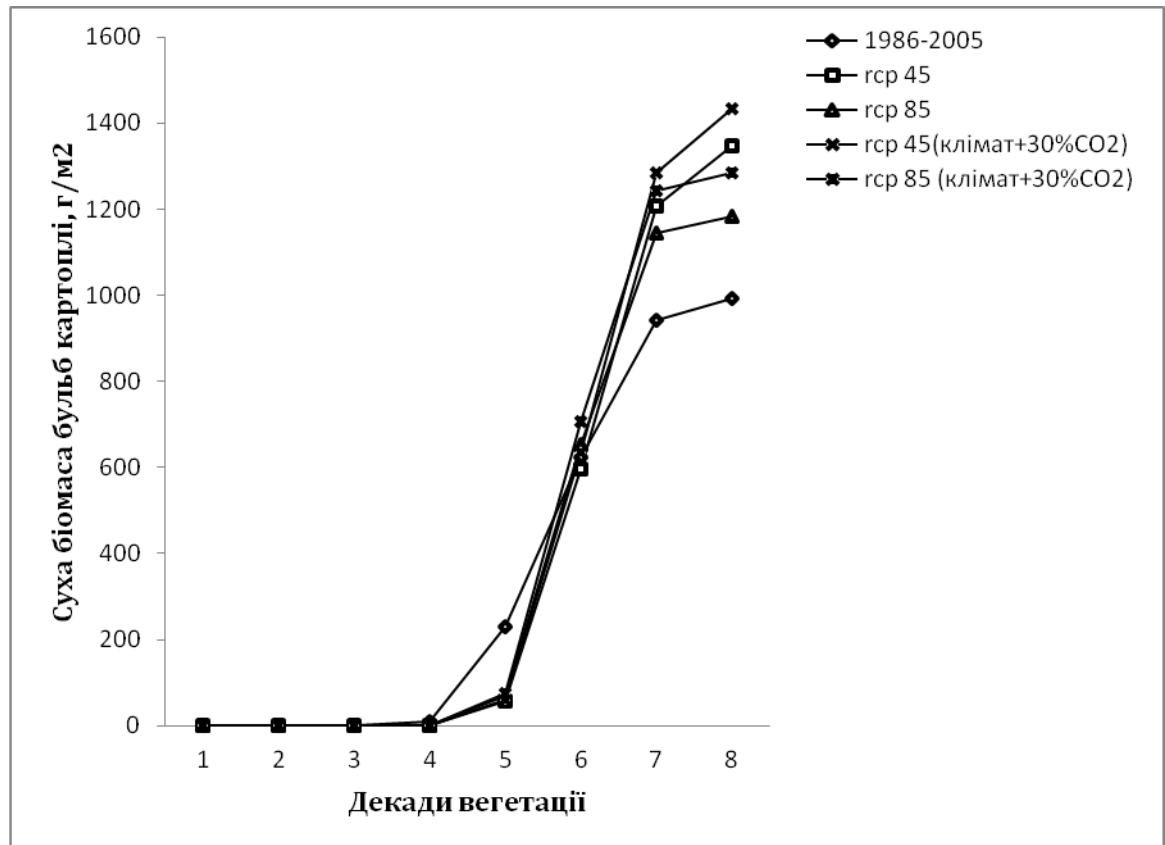


Рисунок 6.86 – Суха біомаса бульб картоплі в Поліссі за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценаріями зміни клімату RCP4.5 та RCP8.5.

Суха біомаса бульб картоплі в Поліссі за умов збільшення CO_2 почала набирати масу з п'ятої по восьму декаду вегетації і в восьму декаду вегетації склала 1284-1432 г/м². Суха біомаса бульб картоплі в Поліссі в період максимального розвитку за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 збільшилась на 191-345 г/м² в порівнянні з середньо багаторічними даними. Суха біомаса бульб картоплі в Поліссі за умов збільшення CO_2 збільшилась на 293-441 г/м² в порівнянні з середньо багаторічними даними.

Суха біомаса бульб картоплі в Західному Лісостепу за середньо багаторічними даними почала набирати масу з п'ятої декади вегетації і до восьмої декади вегетації і в восьму декаду вегетації суха біомаса бульб картоплі в Західному Лісостепу склала 781 г/м² (рис. 6.87).

За сценарієм RCP4.5, в Західному Лісостепу, суха біомаса бульб картоплі почала набирати масу з п'ятої декади вегетації і до дев'ятої декади вегетації і в дев'яту декаду вегетації суха біомаса бульб картоплі склала 1090 г/м². За сценарієм RCP8.5, суха біомаса бульб картоплі в Західному Лісостепу почала набирати масу з п'ятої декади вегетації і до дев'ятої декади вегетації і в дев'яту декаду вегетації суха біомаса бульб картоплі склала 996 г/м².

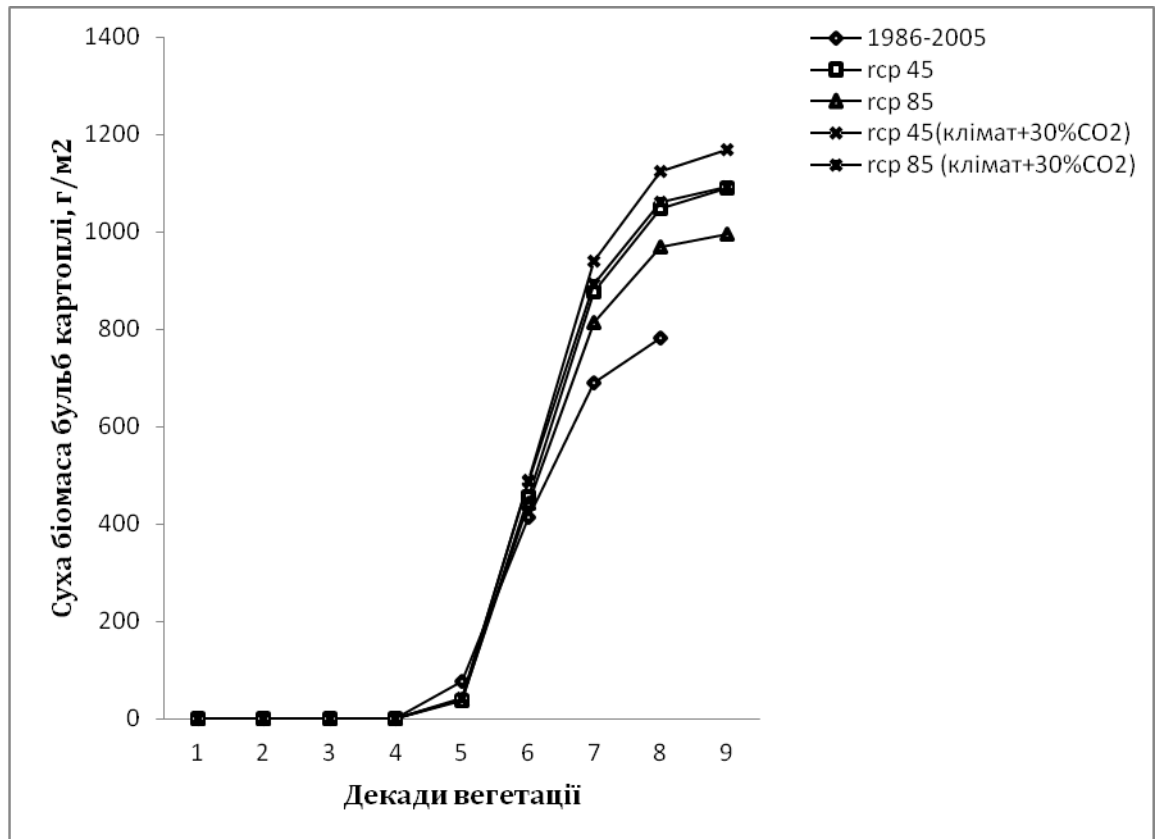


Рисунок 6.87 – Суха біомаса бульб картоплі в Західному Лісостепу за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценаріями зміни клімату RCP4.5 та RCP8.5.

Суха біомаса бульб картоплі за умов збільшення CO_2 почала набирати масу з п'ятої по дев'яту декаду вегетації і в дев'яту декаду вегетації склала 1092-1169 г/м².

Суха біомаса бульб картоплі в Західному Лісостепу в період максимального розвитку за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 збільшилась на 215-309 г/м² в порівнянні з середньо багаторічними даними, а суха біомаса бульб картоплі за умов збільшення CO_2 збільшилась на 311-388 г/м² в порівнянні з середньо багаторічними даними.

Суха біомаса бульб картоплі в Східному Лісостепу за середньо багаторічними даними почала набирати масу з четвертої декади вегетації і до восьмої декади вегетації і в восьму декаду вегетації суха біомаса бульб картоплі в Східному Лісостепу склала 817 г/м² (рис. 6.88).

За сценарієм RCP4.5 в Східному Лісостепу, суха біомаса бульб картоплі почала набирати масу з п'ятої декади вегетації і до восьмої декади вегетації і в восьму декаду склала 1145 г/м². За сценарієм RCP8.5 суха біомаса бульб картоплі почала набирати масу з п'ятої декади вегетації і до дев'ятої декади вегетації і в дев'яту декаду вегетації суха біомаса бульб картоплі склала 1246 г/м².

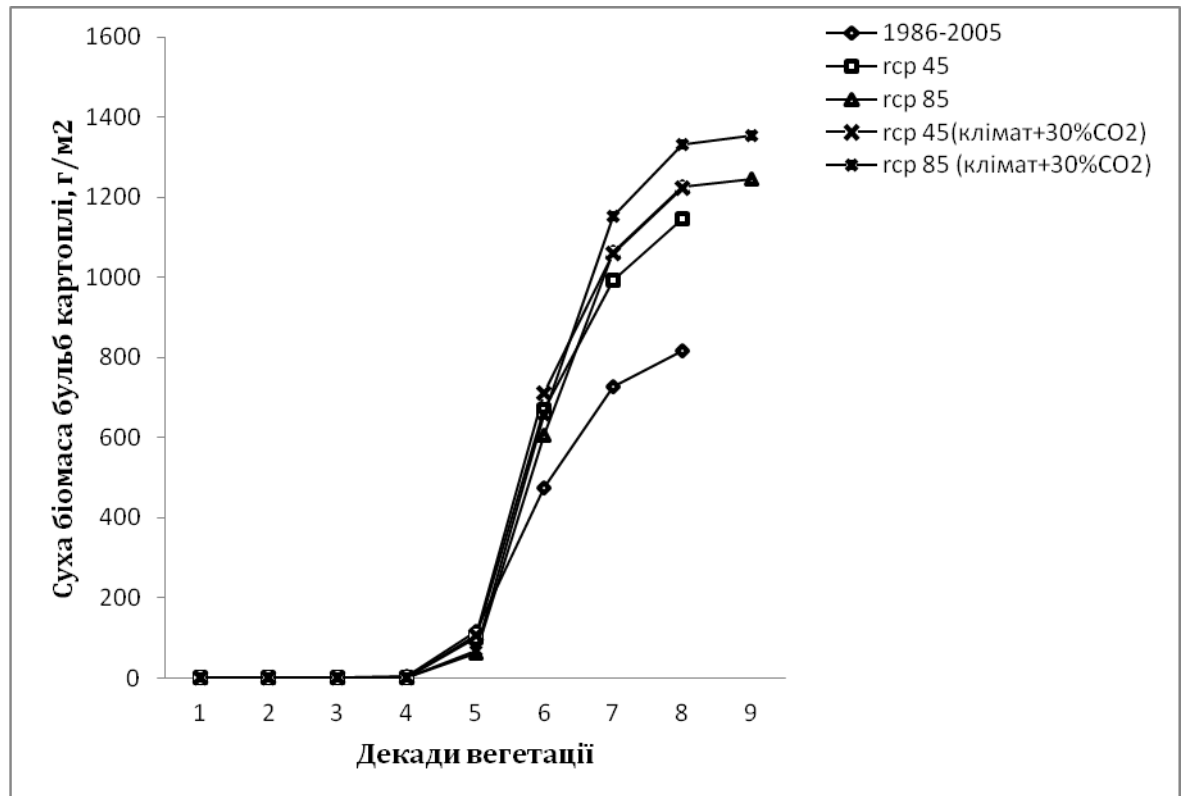


Рисунок 6.88 – Суха біомаса бульб картоплі в Східному Лісостепу за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценаріями зміни клімату RCP4.5 та RCP8.5.

Суша біомаса бульб картоплі за сценарієм RCP4.5 в Східному Лісостепу, при збільшенні CO_2 почала набирати масу з п'ятої по восьму декаду вегетації і в восьму декаду вегетації склала 1222 г/м^2 . Суша біомаса бульб картоплі за сценарієм RCP8.5, при збільшенні CO_2 почала набирати масу з п'ятої по дев'яту декаду вегетації і в дев'яту декаду вегетації склала 1353 г/м^2 . Суша біомаса бульб картоплі в Східному Лісостепу в період максимального розвитку за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 збільшилась на $328\text{-}429 \text{ г/м}^2$ в порівнянні з середньо багаторічними даними, а за умов збільшення CO_2 суха біомаса бульб картоплі збільшилась на $405\text{-}536 \text{ г/м}^2$ в порівнянні з середньо багаторічними даними.

Суша біомаса бульб картоплі в Степу за середньо багаторічними даними, почала набирати масу з четвертої декади вегетації і до восьмої декади вегетації і в восьму декаду вегетації суха біомаса бульб картоплі в Степу склала 615 г/м^2 (рис. 6.89).

За сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 в Степу, суха біомаса бульб картоплі почала набирати масу з п'ятої декади вегетації і до восьмої декади вегетації і в восьму декаду вегетації суха біомаса бульб картоплі за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 склала $900\text{-}932 \text{ г/м}^2$. Суша біомаса бульб картоплі в Степу за умов

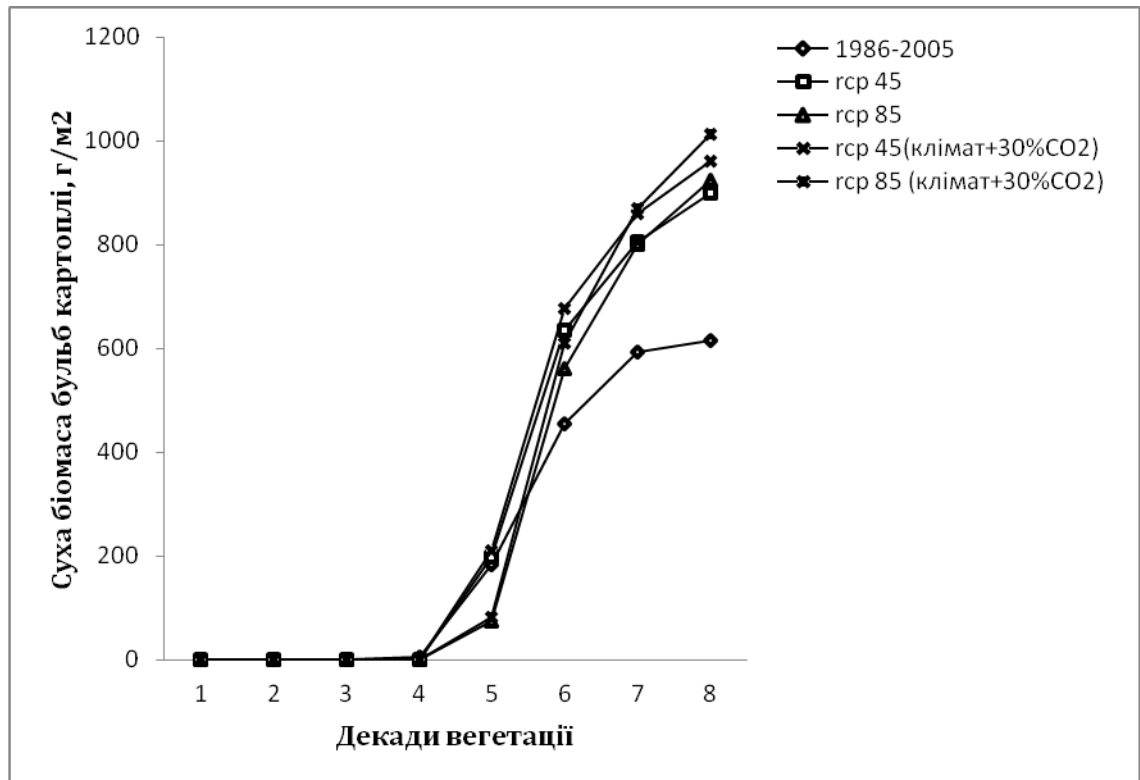


Рисунок 6.89 – Суха біомаса бульб картоплі в Степу за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценаріями зміни клімату RCP4.5 та RCP8.5.

збільшення CO_2 почала набирати масу з п'ятої декади вегетації і по восьму декаду вегетації і в восьму декаду вегетації склала $961\text{--}1013 \text{ г/м}^2$. Суха біомаса бульб картоплі в Степу в період максимального розвитку за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 збільшилась на $285\text{--}317 \text{ г/м}^2$, в порівнянні з середньо багаторічними даними, а суха біомаса бульб картоплі в Степу за умов збільшення CO_2 збільшилась на $346\text{--}398 \text{ г/м}^2$ в порівнянні з середньо багаторічними даними.

За умов реалізації сценарію зміни клімату RCP4.5 найбільші ризики недобору врожаю картоплі очікуються в Степу та в АР Крим. Значення ГТК в АР Крим становить 0,4 відн. од., в АР Крим спостерігається сильна посуха, тому ризик недобору урожаю буде значно високий і складатиме 70 % (табл. 6.39).

Високі ризики недобору врожаю картоплі очікуються в Дніпропетровській, Донецькій, Херсонській, Запорізькій та Кіровоградській областях 55-60 %, в цих областях значення ГТК складає 0,5-0,6 відн. од., в цих областях спостерігається середня посуха. В Луганській, Одеській та Миколаївській областях ризик недобору врожаю картоплі трохи знизиться і складатиме 50-53 %, значення ГТК в цих областях складатиме 0,5 відн.од. Високі ризики недобору врожаю картоплі також очікуються в Західному та Східному Лісостепу в Черкаській та Харківській областях. В цих областях

спостерігається слабка посуха, значення ГТК складає 0,6-0,8 відн.од., ризик недобору врожаю картоплі буде 48-54 %.

Таблиця 6.39 – Очікувані ризики недобору врожаю картоплі за сценарієм зміни клімату RCP4.5 в 2021-2050 рр.

0-18 % - низькі, 19-36 % - середні, 37-55 % - високі,
>55 % - значно високі

№ п/п	Область	Ризики недобору врожаю		Середнє річне ГТК, відн.од.
		%	оцінка	
1	Волинська	3	низькі	1,4
2	Житомирська	3	низькі	1,1
3	Івано-Франківська	1	низькі	1,8
4	Львівська	2	низькі	1,4
5	Рівненська	3	низькі	1,4
6	Чернігівська	28	середні	1,0
7	Закарпатська	1	низькі	1,7
8	Вінницька	5	низькі	1,1
9	Київська	10	низькі	0,9
10	Полтавська	48	високі	0,8
11	Сумська	13	низькі	1,0
12	Тернопільська	3	низькі	1,4
13	Харківська	54	високі	0,6
14	Хмельницька	11	низькі	1,3
15	Черкаська	48	високі	0,8
16	Чернівецька	1	низькі	1,5
17	АР Крим	70	значно високі	0,4
18	Дніпропетровська	55	високі	0,6
19	Донецька	55	високі	0,6
20	Запорізька	60	значно високі	0,5
21	Кіровоградська	58	значно високі	0,7
22	Луганська	51	високі	0,5
23	Миколаївська	53	високі	0,5
24	Одеська	52	високі	0,5
25	Херсонська	60	значно високі	0,5

Середні ризики недобору врожаю картоплі 28 % очікуються в Чернігівській області, в цій області значення ГТК збільшиться до 1,0 відн.од., це вказує на те, що Чернігівська області достатньо зволожена.

Низькі ризики недобору врожаю картоплі за сценарієм RCP4.5, можна очікувати в Поліссі, в Західному та Східному Лісостепу. В Івано-

Франківській, Закарпатській та Чернівецькій областях ризик недобору врожаю картоплі знизиться до 1 %, ці області достатньо зволоженні, на це вказує значення ГТК, яке дорівнює 1,5-1,8 відн.од.. В Волинській, Житомирській, Львівській, Рівненській, Тернопільській та Вінницькій областях ризик недобору врожаю картоплі залишиться низьким 3-5 %, значення ГТК в цих областях дорівнює 1,1-1,4 відн.од., а в Сумській, Хмельницькій і Київській областях ризик недобору врожаю картоплі трохи збільшиться до 10-13 %.

За умов реалізації сценарію зміни клімату RCP8.5 високі ризики недобору врожаю картоплі очікуються в Степу та в АР Крим, в АР Крим спостерігається сильна посуха, значення ГТК складає 0,5 відн.од., ризик недобору врожаю становить 47 %. Високі ризики недобору врожаю картоплі 50 % спостерігаються в Запорізькій та Луганській областях, трохи нижчі ризики втрати врожаю картоплі в Донецькій, Кіровоградській, Миколаївській та Одеській областях 45-47 %, значення ГТК в цих областях коливається від 0,4 до 0,6 відн.од. (табл. 6.40).

В Полтавській, Харківській і Дніпропетровській області очікуються середні ризики недобору врожаю картоплі 20-35 %, в цих областях значення ГТК збільшується до 0,7-0,8 відн.од., на даній території спостерігається слабка посуха.

Низькі ризики недобору врожаю картоплі за сценарієм RCP8.5, можна очікувати в Поліссі, в Західному та Східному Лісостепу. В Івано-Франківській та Закарпатській областях ризик недобору врожаю картоплі знизиться до 1 %, ці області достатньо зволоженні, на це вказує значення ГТК, яке дорівнює 1,7 відн.од. В Волинській, Житомирській, Львівській, Рівненській, Тернопільській, Сумській та Чернівецькій областях ризик недобору врожаю картоплі залишиться низьким 3-5 %, значення ГТК в цих областях дорівнює 1,1-1,4 відн.од., а в Чернігівській, Вінницькій, Київській та Черкаській областях ризик недобору врожаю картоплі трохи збільшиться від 7 до 18 %.

Розподіл ризиків недобору урожаю картоплі по території України змінюється із Заходу на Схід за сценарієм зміни клімату RCP4.5. Найменші ризики недобору врожаю картоплі спостерігатимуться в Поліссі та в Західному Лісостепу, так в Закарпатській, Івано-Франківській, Волинській, Рівненській, Житомирській, Тернопільській і Вінницькій областях ризики недобору врожаю картоплі коливатимуться від 1 % до 10 %, це свідчить про те, що зона достатньо зволожена (рис. 6.90).

Дещо більші ризики недобору урожаю картоплі спостерігатимуться в Східному Лісостепу, так в Сумській, Київській і Чернігівській областях ризики недобору врожаю картоплі коливатимуться від 13 % до 28 %.

Високі ризики недобору урожаю картоплі спостерігатимуться в Південному Степу, так в Миколаївській, Херсонській, Запорізькій і Одеській областях ризики недобору врожаю картоплі будуть коливатися від 50 % до

60 %. Трохи нижчі ризики недобору урожаю картоплі спостерігатимуться в Північному Степу від 45 % до 50 %.

Таблиця 6.40 – Очікувані ризики недобору врожаю картоплі за сценарієм зміни клімату RCP8.5 в 2021-2050 рр.
0-18 % - низькі, 19-36 % - середні, 37-55 % - високі, >55 % - значно високі

№ п/п	Область	Ризики недобору врожаю		Середнє річне ГТК, відн.од.
		%	оцінка	
1	Волинська	2	низькі	1,4
2	Житомирська	5	низькі	1,3
3	Івано-Франківська	1	низькі	1,7
4	Львівська	3	низькі	1,4
5	Рівненська	2	низькі	1,4
6	Чернігівська	6	низькі	1,1
7	Закарпатська	1	низькі	1,7
8	Вінницька	6	низькі	1,1
9	Київська	7	низькі	1,0
10	Полтавська	20	середні	0,8
11	Сумська	4	низькі	1,0
12	Тернопільська	3	низькі	1,4
13	Харківська	35	середні	0,7
14	Хмельницька	4	низькі	1,0
15	Черкаська	18	низькі	0,8
16	Чернівецька	3	низькі	1,4
17	АР Крим	47	високі	0,5
18	Дніпропетровська	35	середні	0,6
19	Донецька	45	високі	0,5
20	Запорізька	50	високі	0,4
21	Кіровоградська	45	високі	0,6
22	Луганська	50	високі	0,4
23	Миколаївська	45	високі	0,6
24	Одеська	45	високі	0,6
25	Херсонська	47	високі	0,5

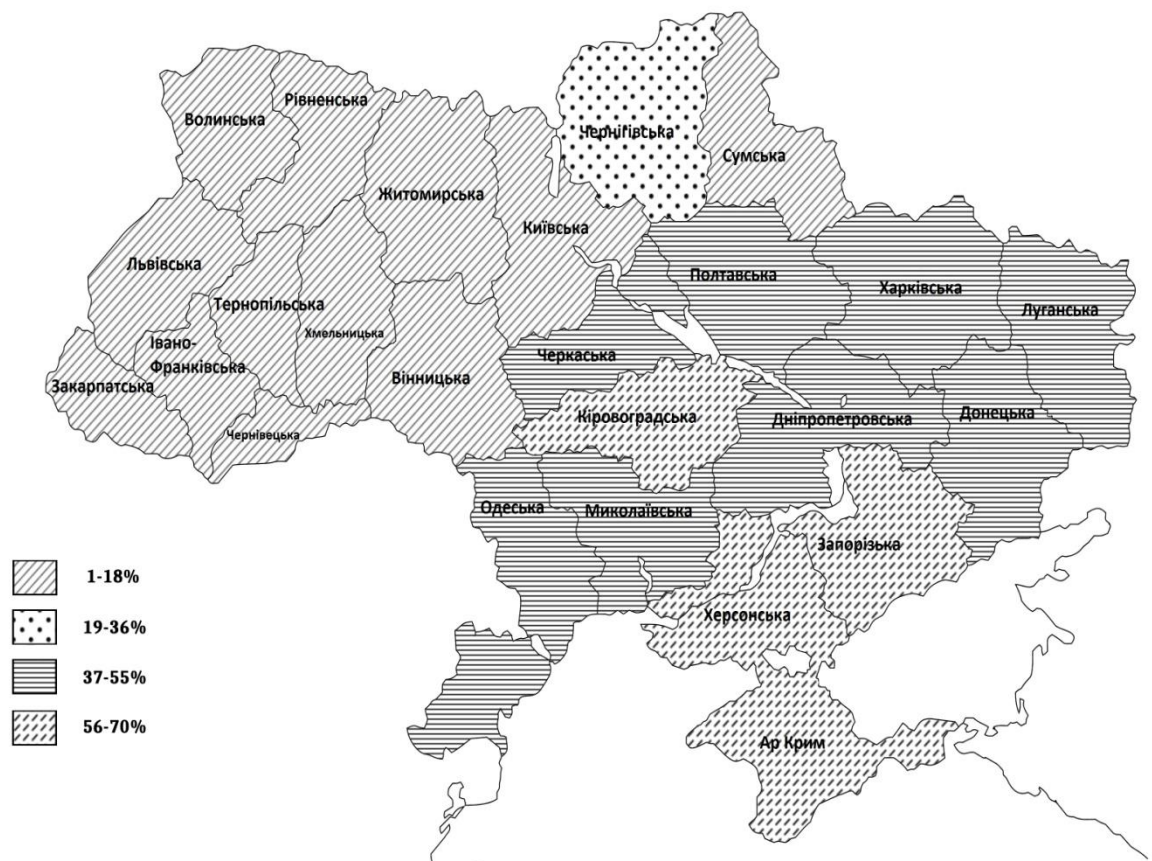


Рисунок 6.90 – Карта розподілу ризиків недобору врожаю картоплі за сценарієм зміни клімату RCP4.5, %.

Найбільші ризики недобору урожаю картоплі до 70 % спостерігатимуться в АР Крим.

За сценарієм зміни клімату RCP8.5 розподіл ризиків недобору урожаю картоплі по території України змінюється із Заходу на Схід. Найменші ризики недобору врожаю картоплі спостерігатимуться в Поліссі та в Західному Лісостепу (рис. 6.91).

В Закарпатській, Івано-Франківській, Тернопільській, Хмельницькій і Чернівецькій областях будуть найменші ризики недобору врожаю картоплі 1-3 %. Трохи більші ризики недобору врожаю картоплі будуть в Волинській, Рівненській, Житомирській, Хмельницькій, Вінницькій, Київській і Чернігівській областях і коливатимуться від 4 до 8 %. Далі з просуванням на Південь ризики недобору врожаю картоплі будуть збільшуватися. Дещо більші ризики недобору урожаю картоплі спостерігатимуться в Східному Лісостепу. В Полтавській, Харківській, Черкаській областях ризики недобору урожаю картоплі коливатимуться від 18 % до 35 %.

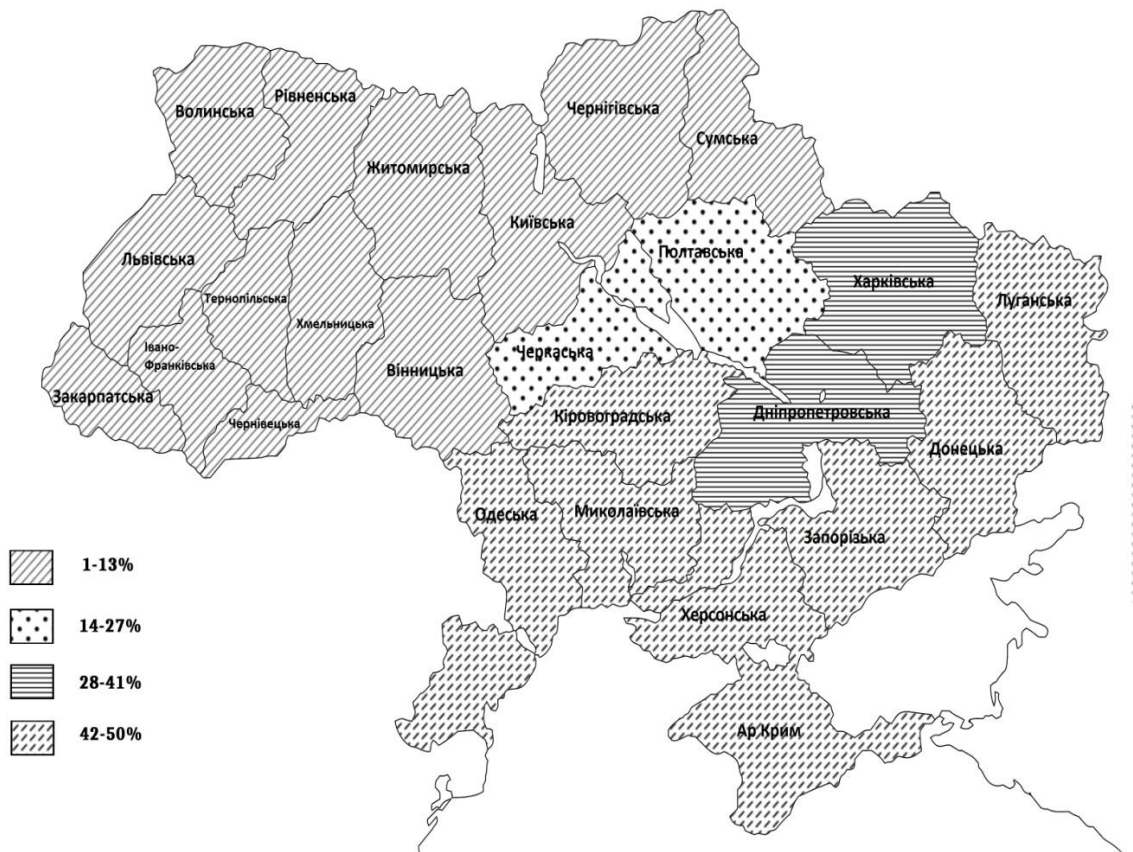


Рисунок 6.91 – Карта розподілу ризиків недобору врожаю картоплі за сценарієм зміни клімату RCP8.5, %.

Високі ризики недобору урожаю картоплі спостерігатимуться в Південному Степу. В Одеській, Херсонській і Миколаївській області ризики недобору урожаю картоплі становлять 45-47 %.

Найбільші ризики недобору урожаю картоплі будуть в Запорізькій, Донецькій і Луганській областях 45-50 % та в АР Крим 47 %.

Таким чином, за умов реалізації сценаріїв зміни клімату RCP4.5 та RCP8.5 виконана оцінка впливу зміни клімату на продуктивність картоплі.

Встановлені оптимальні агрометеорологічні та агрокліматичні умови, при яких спостерігається максимальна продуктивність посадок картоплі. Проведено порівняння показників фотосинтетичної продуктивності картоплі, за середньо багаторічними даними та за сценаріями зміни клімату RCP4.5 та RCP8.5. Проведено порівняння сухої біомаси бульб картоплі за середньо багаторічними даними та за сценаріями зміни клімату RCP4.5 та RCP8.5.

За сценаріями зміни клімату RCP4.5 та RCP8.5 виконана оцінка розподілу ризиків недобору урожаю картоплі по території України. Найменші ризики недобору врожаю картоплі спостерігатимуться в Поліссі та в Західному і Східному Лісостепу. Високі ризики недобору урожаю картоплі спостерігатимуться в Південному Степу. Найбільші ризики недобору урожаю картоплі спостерігатимуться в АР Крим.

6.9 Оцінка впливу змін клімату на ріст, розвиток і формування врожайності цукрового буряку

6.9.1 Агрокліматичні умови вирощування цукрового буряку при реалізації сценаріїв RCP4.5 та RCP8.5

Аналіз тенденції зміни клімату виконано шляхом порівняння даних за кліматичними сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 та середніх багаторічних характеристик кліматичних та агрокліматичних показників за два періоди: 1986 – 2005 рр. (базовий період) та 2021 – 2050 рр. (кліматичний або сценарний період).

Для цукрового буряку на фоні зміни кліматичних умов нами розглядались такі варіанти:

- кліматичні умови періоду;
- кліматичні умови періоду + збільшення CO₂ в атмосфері з 380 до 437 ppm (сценарій RCP4.5) та до 455 ppm (сценарій RCP8.5).

Як теоретична основа для виконання розрахунків та порівняння результатів були використані розроблені А.М. Польовим моделі продукційного процесу сільськогосподарських культур:

- модель формування продуктивності агроєкосистеми;
- результати розробки моделі фотосинтезу зеленого листа рослин при зміні концентрації CO₂ в атмосфері.

Ідентифікація моделі формування урожайності сільськогосподарських культур виконана на основі матеріалів агрометеорологічних спостережень метеорологічних станцій Полісся та Лісостепу та даних середньої обласної урожайності цукрового буряку.

Розглядалось формування урожайності культури в умовах зміни клімату по двом вищепереліченим зонам.

Слід підкреслити, що вплив зміни клімату на формування продуктивності цукрового буряку розглядався за умов сучасної агротехніки та сучасних сортів і гібридів сільськогосподарських культур в припущенні, що вони суттєво не зміняться.

У якості основних агрокліматичних характеристик температурного режиму вегетаційного періоду цукрового буряку були розглянуті:

- дати сівби та основних фаз розвитку цукрового буряку;
- середні за міжфазні періоди температури повітря;
- суми активних температур повітря за період вегетації.

Для характеристики умов зволоження вегетаційного періоду цукрового буряку розглядались такі показники:

- суми опадів за міжфазні періоди та за вегетаційний період в абсолютних та відносних величинах;
- сумарне випаровування та випаровуваність за вегетаційний період;

– вологозабезпеченість за період вегетації.

Цукровий буряк вирощується практично на всій території України за винятком східних областей північностепової підзони (Запорізької, Луганської та Донецької). В південному Степу (Одеська, Миколаївська області) цукровий буряк вирощують лише в декількох районах, на решті території вирощування цукрового буряку вважається нерентабельним. Немає виробничих посівів цукрового буряку у Херсонській області та АР Крим, а також у Закарпатській області.

Результати розрахунків дат настання фаз розвитку цукрового буряку за базовими та кліматичними даним представлені у табл. 6.41.

За даними 1986-2005 рр. (базовими), терміни сівби цукрового буряку майже співпадають з датами переходу температури повітря через 10 °С, і в залежності від зони вирощування культури коливаються від 20 квітня (Лісостеп) до 24 квітня (Полісся).

Таблиця 6.41 – Фази розвитку цукрового буряку за середніми багаторічними даними (1986-2005 рр.) та сценаріями зміни клімату RCP4.5 та RCP8.5

Період	Сівба	Сходи	Початок росту коренеплоду	Пожовтіння нижнього листя
Полісся				
1986-2005 рр.	24.04	15. 05	18.06	30.08
RCP4.5	2.05	18. 05	22.06	06.09
Різниця	+8	+3	+4	+6
RCP8.5	22.04	10. 05	15.06	28.08
Різниця	-2	-5	-3	-2
Лісостеп				
1986-2005 рр.	20.0 4	06. 05	02.06	23.08
RCP4.5	29.0 4	15. 05	12.06	06.09
Різниця	+9	+9	+10	+14
RCP8.5	24.0 4	10. 05	07.06	02.09
Різниця	+4	+4	+5	+10

Появлення сходів цукрового буряку, як показали наші розрахунки, спостерігається при накопиченні суми активних температур порядку 190°C. У Лісостепу сходи з'являються 6 травня, а у Поліссі - 15 травня.

За умов реалізації першого сценарію зміни клімату RCP4.5 терміни сівби цукрового буряку змістяться на більш пізні строки. На території Лісостепу сіяти культуру будуть 29 квітня, що на 9 днів пізніше, ніж за базових умов. У Поліссі сівба буде проводитись 2 травня, що на 8 днів пізніше у порівнянні з базовим періодом 1986-2005 рр. Відповідно змістяться і строки появи сходів, які будуть з'являтися 18 травня, тобто на 3 дні пізніше (Полісся) та 15 травня, тобто на 9 днів пізніше (Лісостеп).

Аналізуючи результати досліджень за другим сценарієм RCP8.5, можна зробити наступні висновки. На території Полісся буде спостерігатися зміщення строків посіву в сторону більш ранніх термінів. Так, сівба тут буде проводитись 22 квітня, що на 2 дні раніше за базовий строк. У більш ранні строки будуть спостерігатися й сходи - 10 травня (на 5 днів раніше за базові значення).

У той же час, за умов реалізації другого сценарію зміни клімату RCP8.5 на території Лісостепу терміни сівби цукрового буряку змістяться на більш пізні строки. Сіяти культуру тут будуть 24 квітня, що на 4 дні пізніше, ніж за базових умов. Також на 4 дні пізніше будуть спостерігатись і сходи цукрового буряку – 10 травня.

Настання фази початку росту коренеплоду цукрового буряку за базових умов в Лісостепу спостерігається 2 червня, а у Поліссі – 18 червня. Наступна фаза - початок росту коренеплоду – спостерігається відповідно 23 та 30 серпня.

За умов реалізації першого сценарію зміни клімату RCP4.5 терміни початку росту коренеплоду цукрового буряку змістяться на більш пізні строки. На території Лісостепу настання цієї фази очікується 12 червня, що на 10 днів пізніше, ніж за базових умов. У Поліссі початок росту коренеплоду очікується 22 червня, що на 4 дні пізніше у порівнянні з базовим періодом 1986-2005 рр. Відповідно зсунуться і строки настання фази пожовтіння нижнього листя, які будуть спостерігатися в Лісостепу 6 вересня, тобто на два тижні пізніше. У Поліссі фаза пожовтіння нижнього листя також очікується 6 вересня, тобто на 6 днів пізніше.

За умов реалізації другого сценарію зміни клімату RCP8.5 термін настання фази початок росту коренеплоду в умовах Лісостепу також очікуються пізніше, ніж у базовий період, а саме 7 червня, тобто на 5 днів пізніше. Фаза пожовтіння нижнього листя також очікується на 10 днів пізніше за базовий термін – 2 вересня.

Дещо інша ситуація очікується при реалізації сценарію RCP8.5 в умовах Полісся. Строк настання фази початок росту коренеплоду очікується на 3 дні раніше, а саме 15 червня. Фаза пожовтіння нижнього листя очікується 28 серпня, тобто на 2 дні раніше за базових умов.

У таблиці 6.42 представлені агрокліматичні умови вирощування цукрового буряку на досліджуваній території за умов реалізації обох сценаріїв у порівнянні з базовими значеннями.

Таблиця 6.42 – Агрокліматичні умови вирощування цукрового буряку за середніми багаторічними даними (1986-2005 рр.) та сценаріями зміни клімату RCP4.5 та RCP8.5

Період	Період сходи – початок росту коренеплоду			Період початок коренеплоду – пожовтіння нижнього листя			Вегетаційний період			Сумарне випаро- вування, мм	Випаро - вува- ність, мм	Волого- забезпе- ченість, %
	трива- лість, дні	середня темпера- тура, °С	сума опадів , мм	трива- лість, дні	середня темпера- тура, °С	сума опадів , мм	сума активни х темпера- тур, °С	сума опадів, мм	у % від кліматич -ної норми			
Полісся												
1986–2005 рр.	34	15,4	85	73	18,7	193	2430	351	100	355	428	83
RCP4.5	35	14,9	86	76	17,9	145	2300	307	87	328	390	84
Різниця	+1	-0,5	+1	+3	-0,8	-52	-130	-44	-13	-27	-38	+1
Різниця, %	+3	-3	+1	+4	-4	-25	-5	-13	-13	-8	-9	+1
RCP8.5	36	14,5	96	74	18,4	156	2345	323	92	343	400	86
Різниця	+2	-0,9	+11	+1	-0,3	-37	-85	-28	-8	-12	-28	+3
Різниця, %	+6	-6	+13	+1	-2	-20	-3	-8	-8	-3	-7	+4
Лісостеп												
1986–2005 рр.	27	15,1	50	82	19,0	224	2535	357	100	404	493	82
RCP4.5	28	15,0	63	86	18,1	156	2380	276	77	374	451	83
Різниця	+1	-0,1	+13	+4	-0,9	-68	-155	-81	-23	-30	-42	+1
Різниця, %	+3	-1	+26	+5	-5	-30	-6	-23	-23	-7	-9	+1
RCP8.5	28	14,7	77	87	18,0	177	2365	304	85	388	458	85
Різниця	+1	-0,4	+27	+5	-1,0	-47	-170	-53	-15	-10	-35	+3
Різниця, %	+3	-3	+54	+7	-5	-21	-7	-15	-15	-2	-7	+4

Цукровий буряк – культура, яка може вегетувати до кінця вересня, а в окремі роки (за умов відсутності сильних дощів або заморозків) – й до кінця жовтня. У цей час активного росту маси коренеплоду вже не спостерігається, але суха, ясна та сонячна погода сприяє накопиченню цукру у коренеплоді. Тому за умов реалізації обох сценаріїв зміни клімату тривалість вегетаційного періоду цукрового буряку суттєво не зміниться, і згідно з біологічними особливостями культури, буде складати не менше 15 декад, починаючи з дати сходів.

Середньобагаторічна (базова) тривалість періоду сходів – початок росту коренеплоду становить 34 дні. У порівнянні з базовим варіантом у Поліссі тривалість періоду сходів – початок росту коренеплоду за умов реалізації обох сценаріїв зміни клімату незначно збільшиться (на один-два дні) до 35 днів (сценарій RCP4.5) та до 36 днів (сценарій RCP8.5). Середня температура за цей період становить за базовим варіантом 15,4 °С, за сценарними варіантами вона зміниться несуттєво. Так, період сходів – початок росту коренеплоду буде проходити при знижених температурах: на 0,5 °С за умов реалізації сценарію RCP4.5 та на 0,9 °С за умов реалізації сценарію RCP8.5 (табл. 6.42).

Тривалість періоду початок росту коренеплоду – пожовтіння нижнього листя також дещо збільшиться. Якщо за базовим варіантом у Поліссі вона становить 73 дні, то за умов реалізації першого сценарію вона зросте до 76 днів (тобто на 3 дні), а за умов реалізації другого сценарію тривалість цього періоду зросте всього на один день – до 74 днів.

У Поліссі середня температура за період початок росту коренеплоду – пожовтіння нижнього листя становить за базовим варіантом 18,7 °С. Дещо зниженими будуть сценарні температури цього періоду (на 0,8 °С за умов реалізації сценарію RCP4.5 і на 0,3 °С за умов реалізації сценарію RCP8.5).

Сума температур за вегетаційний період цукрового буряку у Поліссі становить за базовим варіантом 2430 °С. За умов реалізації сценарію RCP4.5 вона зменшиться до 2300 °С, тобто на 130 °С. За умов реалізації сценарію RCP8.5 це зменшення буде менш суттєвим - до 2345 °С, тобто на 85 °С.

Для аналізу зволоження доцільно було розглянуті суми опадів за міжфазні періоди цукрового буряку та весь вегетаційний період. За базовим варіантом кількість опадів за період сходів – початок росту коренеплоду у Поліссі становить 85 мм. Кількість опадів у період сходів – початок росту коренеплоду практично не зміниться за умов реалізації першого сценарію (становитиме 86 мм), а для умов реалізації другого сценарію зросте до 96 мм (на 13 %).

За базовим варіантом кількість опадів за період початок росту коренеплоду - пожовтіння нижнього листя становить 193 мм. Зменшення опадів за цей період у Поліссі буде за умов реалізації обох сценаріїв досить суттєвим. За сценарієм RCP4.5 сума опадів зменшиться до 145 мм (на 25 %). Кількість опадів за період початок росту коренеплоду - пожовтіння нижнього

листя за умов реалізації сценарію RCP8.5 становитиме 156 мм, тобто зменшиться на 20 %.

Сума опадів за вегетаційний період цукрового буряку у Поліссі за базовим варіантом становить 351 мм. За умов реалізації першого сценарію вона зменшиться до 307 мм, а за умов реалізації другого сценарію – до 323 мм. Таким чином кількість опадів за весь вегетаційний період цукрового буряку при зміні клімату зменшиться на 13 % та на 8 % відповідно.

Зменшення кількості опадів за вегетаційний період призведе до зменшення сумарного випаровування в порівнянні з базовим (355 мм) до 328 мм за умов реалізації сценарію RCP4.5 і до 343 мм за умов реалізації сценарію RCP8.5. У відсотковому співвідношенні ці зміни складають 8 % та 3 % відповідно, тобто сценарне зменшення сумарного випаровування не є дуже суттєвим.

Завдяки зниженню температурного режиму в Поліссі та зменшенню величини дефіциту вологості повітря за умов реалізації обох сценаріїв дещо зменшиться і величина випаровуваності. При базовому значенні 428 мм, випаровуваність за першим сценарієм зменшиться до 390 мм, а за другим сценарієм до 400 мм.

Одним з основних показників, що характеризують умови зволоження вегетаційного періоду будь-якої сільськогосподарської культури, є вологозабезпеченість, тобто відношення величини сумарного випаровування до величини випаровуваності.

Умови вологозабезпеченості вегетаційного періоду цукрового буряку в Поліссі за умов реалізації сценарію RCP4.5 протягом 2021-2050 рр. майже не зміняться, про що свідчить значення 84 %, тоді як базове значення вологозабезпеченості складає 83 %. За умов реалізації сценарію RCP8.5 умови вологозабезпеченості у порівнянні з базовим значенням покращаться більш суттєво і значення вологозабезпеченості складатиме 86 %.

У порівнянні з базовим варіантом у Лісостепу тривалість періоду сходів – початок росту коренеплоду за умов реалізації обох сценаріїв зміни клімату незначно збільшиться – на один день, з 27 до 28 днів. Середня температура за цей період становить за базовим варіантом 15,1 °С, за сценарними варіантами вона також зміниться несуттєво. Так, період сходів – початок росту коренеплоду буде проходити при знижених температурах: на 0,1 °С за умов реалізації сценарію RCP4.5 та на 0,4 °С за умов реалізації сценарію RCP8.5 (табл. 6.42).

Тривалість періоду початок росту коренеплоду – пожовтіння нижнього листя також дещо збільшиться. Якщо за базовим варіантом у Лісостепу вона становить 82 дні, то за умов реалізації першого сценарію вона зросте до 86 днів (тобто на 4 дні), а за умов реалізації другого сценарію тривалість цього періоду зросте ще більше – до 87 днів, тобто буде більше на тиждень.

Середня температура за період початок росту коренеплоду – пожовтіння нижнього листя становить за базовим варіантом 19,0 °С. Дещо зниженими

будуть сценарні температури цього періоду (на 0,9 °C за умов реалізації сценарію RCP4.5 і на 1,0 °C за умов реалізації сценарію RCP8.5).

Сума температур за вегетаційний період цукрового буряку у Лісостепу становить за базовим варіантом 2535 °C. За умов реалізації сценарію RCP4.5 вона зменшиться до 2380 °C, тобто на 155 °C. За умов реалізації сценарію RCP8.5 це зменшення буде ще більш суттєвим - до 2365 °C, тобто на 170 °C.

Для аналізу зволоження доцільно було розглянуті суми опадів за міжфазні періоди цукрового буряку та весь вегетаційний період. За базовим варіантом кількість опадів за період сходи – початок росту коренеплоду у Лісостепу становить 50 мм. Кількість опадів у період сходи – початок росту коренеплоду збільшиться для умов першого сценарію до 63 мм (на 26 %), а для II-го – до 77 мм (на 54 %).

За базовим варіантом кількість опадів за період початок росту коренеплоду - пожовтіння нижнього листя становить 224 мм. Зменшення опадів за цей період буде за умов реалізації сценарію RCP4.5 досить суттєвим – до 156 мм (на 30 %). Кількість опадів за період початок росту коренеплоду - пожовтіння нижнього листя за умов реалізації сценарію RCP8.5 становитиме 177 мм, тобто зменшиться на 21 %. Таким чином, кількість опадів за період початок росту коренеплоду - пожовтіння нижнього листя при очікуваних змінах клімату у Лісостепу зменшиться досить суттєво.

Кількість опадів за вегетаційний період цукрового буряку у Лісостепу за базовим варіантом становить 357 мм. За умов реалізації першого сценарію вона зменшиться до 276 мм, а за умов реалізації другого сценарію – до 304 мм. Таким чином кількість опадів за весь вегетаційний період цукрового буряку при зміні клімату зменшиться на 23 % та на 15 % відповідно.

Зменшення кількості опадів за вегетаційний період призведе до зменшення сумарного випаровування в порівнянні з базовим (404 мм) до 374 мм за умов реалізації сценарію RCP4.5 і до 388 мм за умов реалізації сценарію RCP8.5. У відсотковому співвідношенні ці зміни складають 7 % та 2 % відповідно, тобто сценарне зменшення сумарного випаровування не є суттєвим.

Завдяки зниженню температурного режиму в Лісостепу за умов реалізації обох сценаріїв дещо зменшиться і величина випаровуваності. При базовому значенні 493 мм, випаровуваність за першим сценарієм зменшиться до 374 мм, а за другим сценарієм до 388 мм.

Одним з основних показників, що характеризують умови зволоження вегетаційного періоду будь-якої сільськогосподарської культури, є вологозабезпеченість, тобто відношення величини сумарного випаровування до величини випаровуваності.

Умови вологозабезпеченості вегетаційного періоду цукрового буряку в Лісостепу за умов реалізації сценарію RCP4.5 протягом 2021-2050 рр. майже не зміняться, про що свідчить значення 83 %, тоді як базове значення вологозабезпеченості складає 82 %. За умов реалізації сценарію RCP8.5 умови вологозабезпеченості у порівнянні з базовим значенням покращаться більш суттєво і значення вологозабезпеченості складатиме 85 %.

6.9.2 Оцінка за допомогою моделі продукційного процесу рослин фотосинтетичної продуктивності та коливання урожайності цукрового буряку при реалізації сценаріїв RCP4.5 та RCP8.5

Під впливом зміни агрокліматичних умов вирощування цукрового буряку, відбудеться і зміна показників фотосинтетичної діяльності його посівів, що обумовлюють рівень урожайності культури. Згідно теорії фотосинтетичної продуктивності посівів такими показниками являються розміри фотосинтезуючої площі та фотосинтетичний потенціал посівів, а також кількісні показники приростів рослинної біомаси (табл. 6.43).

Таблиця 6.43 – Показники фотосинтетичної продуктивності посівів цукрового буряку за базовий період (1986-2005 рр.) та сценаріями зміни клімату RCP4.5 та RCP8.5

Варіант	Період максимального росту		Фотосинтетични й потенціал посівів м ² /м ² за вегетаційний період	Загальна суха біомаса, г/м ²	Урожай корене- плодів, ц/га
	площа листової поверхні, м ² /м ²	приріст загальної сухої біомаси, г/м ² за день			
Полісся					
1986–2005 рр.	4,8	49,0	444	2626	408
RCP4.5	5,4	54,8	488	2900	432
RCP4.5+ CO ₂	6,0	58,9	562	3050	460
Різниця*	0,6-1,2	5,8-9,9	44-118	274-424	24-52
Різниця у %*	13-25	12-20	10-27	10-16	6-13
RCP8.5	6,2	60,1	580	3189	475
RCP8.5+ CO ₂	6,7	65,6	630	3460	515
Різниця*	1,4-1,9	11,1-16,6	136-186	563-834	67-107
Різниця у %*	29-40	23-34	31-42	21-32	16-26
Лісостеп					
1986–2005 рр.	4,5	47,0	403	2564	390
RCP4.5	5,2	51,4	473	2735	410
RCP4.5+ CO ₂	5,6	54,8	513	3007	440
Різниця*	0,7-1,1	4,4-7,8	70-110	171-443	20-50
Різниця у %*	16-24	9-17	17-27		5-13
RCP8.5	5,9	56,7	548	3050	445
RCP8.5+ CO ₂	6,5	61,7	586	3310	480
Різниця*	1,4-2,0	9,7-14,7	145-183	486-746	55-90
Різниця у %*	31-44	21-31	36-45		14-23

- перше число - різниця між базовим та кліматичним періодами,
- друге число – різниця між базовим та кліматичним періодами з врахуванням зміни CO₂

Розглянемо динаміку цих показників протягом вегетації цукрового буряку за базовим та кліматичними (сценарними) варіантами. На рис. 6.95 представлена динаміка накопичення відносної площі листя посівів цукрового буряку в умовах зміни клімату за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 в порівнянні з базовим періодом (1986-2005 рр.) для умов Полісся.

Можна бачити, що ріст відносної площі листя посіву цукрового буряку найбільш інтенсивно проходить у п'яту - шосту декади вегетації, а у 8 декаду вегетації відносна площа листя досягає свого максимуму, після чого відбувається поступове її зменшення. (рис. 6.92).

Основні показники фотосинтетичної продуктивності посівів за базовими та сценарними умовами суттєво відрізняються (табл. 6.43). За рахунок зміни кліматичних умов за сценарієм RCP4.5 періоду у Поліссі відбудеться підвищення максимальної відносної площі листя до $5,40 \text{ м}^2/\text{м}^2$ (проти $4,80 \text{ м}^2/\text{м}^2$ у базовий період). За умов збільшення CO_2 максимальна відносна площа листя збільшиться до $6,00 \text{ м}^2/\text{м}^2$.

Як видно з даних таблиці 6.43, зміна кліматичних умов та збільшення вмісту CO_2 в умовах реалізації цього сценарію призведе до підвищення відносної площі листя в декаду з її максимальними значеннями на 0,6 та $1,2 \text{ м}^2/\text{м}^2$, що становить 13-25 % відповідно.

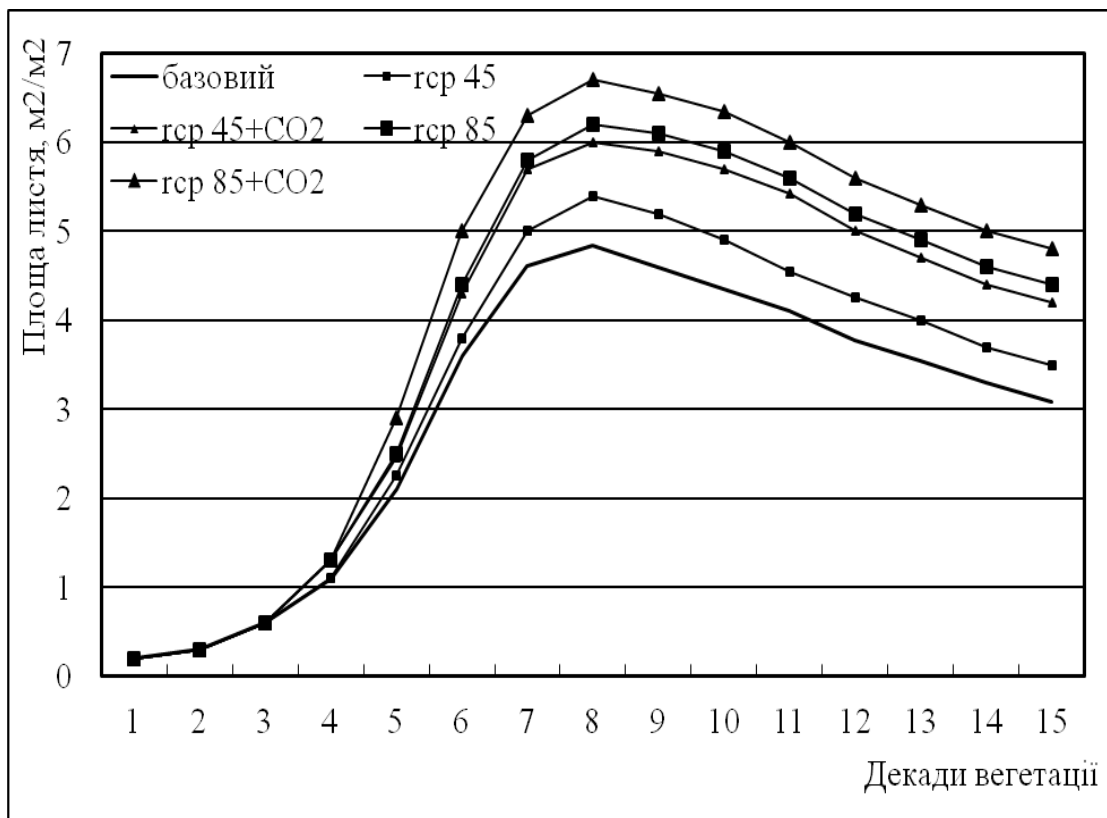


Рисунок 6.92 – Динаміка накопичення відносної площі листя посіву цукрового буряку за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 у порівнянні з базовим періодом

За рахунок зміни кліматичних умов за сценарієм RCP8.5 періоду у Поліссі відбудеться підвищення максимальної відносної площі листя до $6,20 \text{ м}^2/\text{м}^2$ (проти $4,80 \text{ м}^2/\text{м}^2$ у базовий період). За умов збільшення CO_2 максимальна відносна площа листя збільшиться до $6,70 \text{ м}^2/\text{м}^2$.

Як видно з даних табл. 6.43, зміна кліматичних умов та збільшення вмісту CO_2 в умовах реалізації цього сценарію також призведе до підвищення відносної площі листя в декаду з її максимальними значеннями на 1,4 та $1,9 \text{ м}^2/\text{м}^2$, що становить 29-40 % відповідно. Фотосинтетичний потенціал посівів за вегетаційний період за базових умов складає у Поліссі $444 \text{ м}^2/\text{м}^2$. Як видно з даних табл. 6.43, зміна кліматичних умов та збільшення вмісту CO_2 призведе до підвищення фотосинтетичного потенціалу посіву до $488 \text{ м}^2/\text{м}^2$ (за сценарієм RCP4.5 на 2021-2050 рр.) $562 \text{ м}^2/\text{м}^2$ (за умови збільшення CO_2). Тобто різниця складає 44 та $118 \text{ м}^2/\text{м}^2$ або 10-27 % відповідно.

Зміна кліматичних умов за сценарієм RCP8.5 призведе до підвищення фотосинтетичного потенціалу посіву до $580 \text{ м}^2/\text{м}^2$ та $630 \text{ м}^2/\text{м}^2$ (за умови збільшення CO_2). Тобто різниця складає 136 та $186 \text{ м}^2/\text{м}^2$ або 31-42 % відповідно. Динаміка площі асимілюючої поверхні та інтенсивності фотосинтезу обумовлює і відповідний рівень динаміки загальної сухої біомаси посівів цукрового буряку. На рис. 6.93 представлена динаміка накопичення сухої загальної маси посівів в умовах зміни клімату за обома сценаріями в порівнянні з базовим періодом (1986-2005 рр.) для умов Полісся.

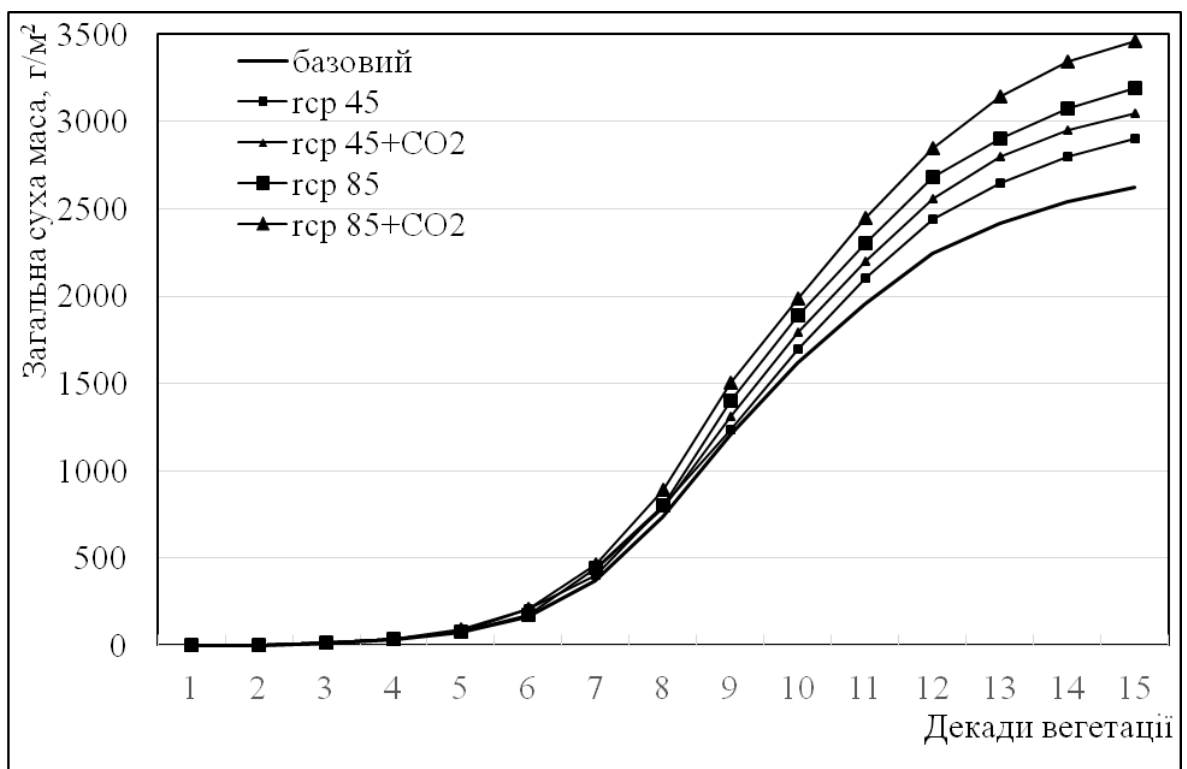


Рисунок 6.93 – Динаміка накопичення сухої загальної маси посіву цукрового буряку в Поліссі за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 у порівнянні з базовим періодом

Можна бачити, що накопичення загальної сухої біомаси до дев'ятої декади вегетації проходить досить швидкими темпами. Найбільш високі прирости загальної біомаси спостерігаються в 8 – 9 декадах вегетації. За рахунок змін кліматичних умов сценарію RCP4.5 приріст сухої загальної біомаси у період максимального росту у Поліссі збільшиться з 49,0 до 54,8 г/м² за день. З врахуванням зміни вмісту CO₂ в атмосфері це значення буде ще більшим - до 28,9 г/м² за день. Тобто зростання становить відповідно 5,8 та 9,9 г/м², або 12-20 %.

За рахунок змін кліматичних умов сценарію RCP8.5 приріст сухої загальної біомаси у період максимального росту збільшиться з 49,0 до 60,1 г/м² за день. З врахуванням зміни вмісту CO₂ в атмосфері це значення буде ще більшим - до 65,6 г/м² за день. Тобто у цьому випадку збільшення становить відповідно 11,1 та 16,6 г/м², або 23-34 %.

Як видно з даних табл. 6.43, за базових умов загальна суха біомаса посіву цукрового буряку на кінець вегетаційного періоду становить 2626 г/м². За рахунок змін кліматичних умов сценарію RCP4.5

суха загальна біомаса на кінець вегетації збільшиться до 2900 г/м². З врахуванням зміни вмісту CO₂ в атмосфері це збільшення буде ще суттєвішим - до 3050 г/м². Тобто збільшення становить відповідно 274 та 424 г/м², або 10-16 %.

За рахунок змін кліматичних умов сценарію RCP8.5 суха загальна біомаса посіву на кінець вегетації у Поліссі збільшиться до 3189 г/м². З врахуванням зміни вмісту CO₂ в атмосфері це збільшення також буде ще суттєвішим - до 3460 г/м². Тобто збільшення становить відповідно 563 та 834 г/м², або 21-32 %.

Зростання рівня показників фотосинтетичної продуктивності посівів цукрового буряку в Поліссі в умовах зміни клімату за рахунок підвищення рівня інтенсивності фотосинтезу та більшої величини фотосинтетичного потенціалу посівів обумовить і збільшення сухої маси коренеплоду, а також кінцевого урожаю коренеплодів при стандартній вологості (рис. 6.94, табл. 6.43).

Можна бачити, що ріст маси коренеплоду найбільш інтенсивно проходить протягом 7-10 декад вегетації, наприкінці вегетаційного періоду темп росту дещо зменшується, у коренеплоді активно накопичується цукор. Така ж ситуація спостерігається для всіх варіантів.

За рахунок зміни кліматичних умов сценарію RCP4.5 відбудеться підвищення сухої маси коренеплоду до 2650 г/м² (проти 2474 г/м² у базовий період). За умов збільшення CO₂ суха маса коренеплоду збільшиться до 2820 г/м². За умов зміни клімату за сценарієм RCP4.5 урожай коренеплодів у Поліссі зросте порівняно з базовим періодом з 408 до 432 ц/га (на 24 ц/га або 6 %). Підвищення концентрації CO₂ в атмосфері обумовить відповідне зростання рівня урожаю цукрового буряку до 460 ц/га (на 52 ц/га або 13 %).

За рахунок зміни кліматичних умов сценарію RCP8.5 відбудеться підвищення сухої маси коренеплоду до 2875 г/м² (проти 2474 г/м² у базовий період). За умов збільшення CO₂ суха маса коренеплоду збільшиться до

125 г/м². За умов зміни клімату за цим сценарієм у 2021-2050 рр. урожай коренеплодів у Поліссі зросте порівняно з базовим періодом з 408 до 475 ц/га (на 67 ц/га або 16 %). Підвищення концентрації CO₂ в атмосфері обумовить відповідне зростання рівня урожаю цукрового буряку до 515 ц/га (на 107 ц/га або 26 %).

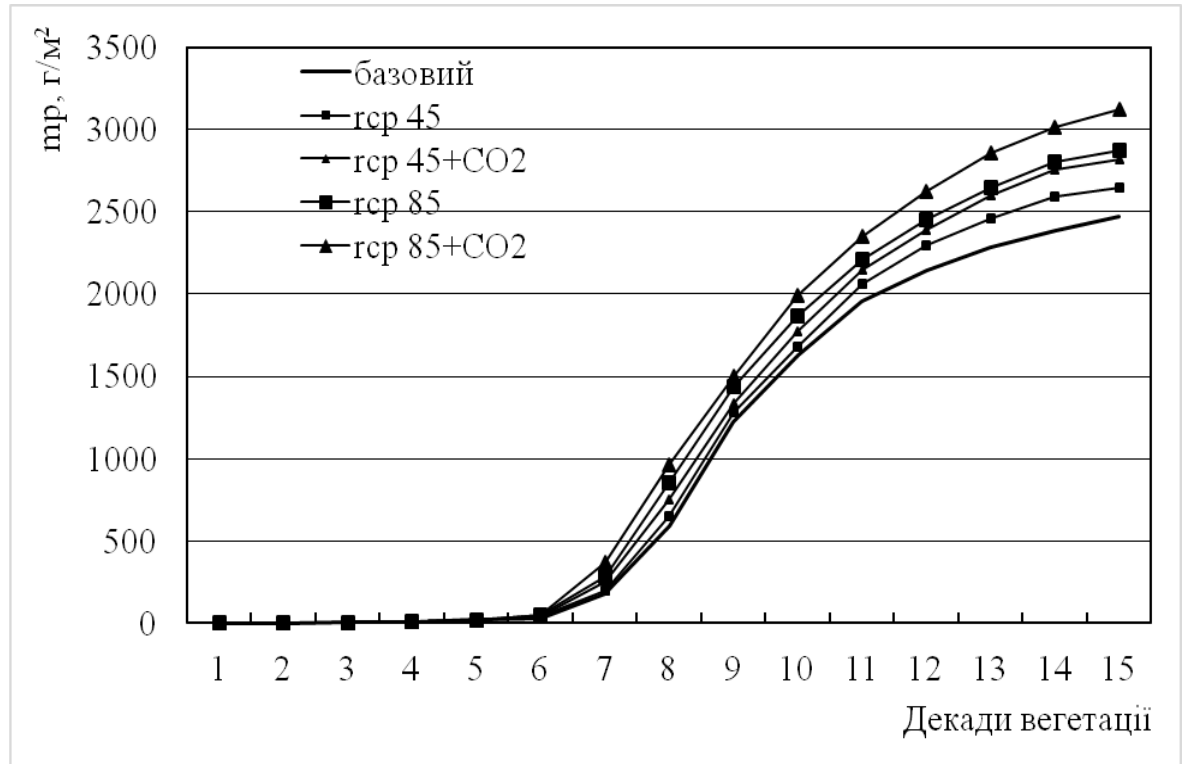


Рисунок 6.94 – Динаміка накопичення сухої маси коренеплоду цукрового буряку в Поліссі за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 у порівнянні з базовим періодом

На рисунку 6.95 представлена динаміка накопичення відносної площі листя посівів цукрового буряку в умовах зміни клімату за сценарними варіантами в порівнянні з базовим періодом (1986-2005 рр.) для умов Лісостепу України. За рахунок зміни кліматичних умов за сценарієм RCP4.5 у Лісостепу відбудеться підвищення максимальної відносної площі листя до 5,20 м²/м² (проти 4,50 м²/м² у базовий період). За умов збільшення CO₂ максимальна відносна площа листя збільшиться до 5,60 м²/м².

Таким чином, як видно з даних табл. 6.43, зміна кліматичних умов за цим сценарієм та збільшення вмісту CO₂ призведе до підвищення відносної площі листя в декаду з її максимальними значеннями на 0,7 та 1,1 м²/м², що становить 16-24 % відповідно.

Фотосинтетичний потенціал посівів за вегетаційний період при базових умовах складає у Лісостепу 403 м²/м². Як видно з даних табл. 6.46, зміна кліматичних умов та збільшення вмісту CO₂ призведе до підвищення фотосинтетичного потенціалу посіву до 473 м²/м² (за сценарієм RCP4.5 на 2021-2050 рр.) та до 513 м²/м² (за умови збільшення CO₂). Тобто різниця складає 70 та 110 м²/м² або 17-27 % відповідно.

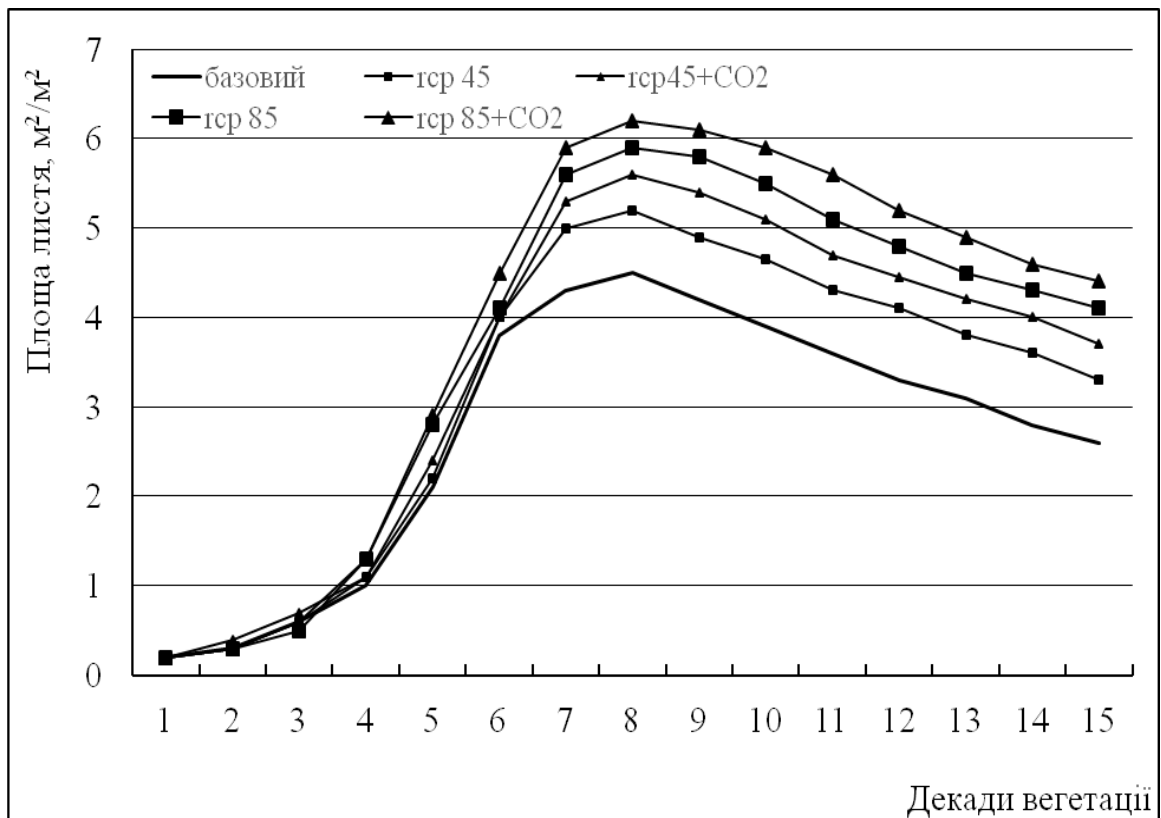


Рисунок 6.95 – Динаміка накопичення відносної площі листя посіву цукрового буряку в Лісостепу за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 у порівнянні з базовим періодом

За рахунок зміни кліматичних умов за сценарієм RCP8.5 у Лісостепу відбудеться підвищення максимальної відносної площі листя до $5,90 \text{ м}^2/\text{м}^2$. За умов збільшення CO_2 максимальна відносна площа листя збільшиться до $6,20 \text{ м}^2/\text{м}^2$. Тобто, як видно з даних табл. 6.46, зміна кліматичних умов за цим сценарієм та збільшення вмісту CO_2 призведе до підвищення відносної площі листя в декаду з її максимальними значеннями на 1,4 та $1,7 \text{ м}^2/\text{м}^2$, що становить 31-38 % відповідно.

Зміна кліматичних умов за сценарієм RCP8.5 та збільшення вмісту CO_2 призведе до підвищення фотосинтетичного потенціалу посіву до $548 \text{ м}^2/\text{м}^2$ та до $586 \text{ м}^2/\text{м}^2$. Тобто різниця складає 145 та $183 \text{ м}^2/\text{м}^2$ або 36-45 % відповідно.

Динаміка площі асимілюючої поверхні та інтенсивності фотосинтезу обумовлює і відповідний рівень динаміки загальної сухої біомаси посівів цукрового буряку. На рис. 6.96 представлена динаміка накопичення сухої загальної маси посівів в умовах зміни клімату за обома сценаріями в порівнянні з базовим періодом (1986-2005 рр.) для умов Лісостепу.

Накопичення загальної біомаси на території Лісостепу, як і на території Полісся, до дев'ятої декади вегетації проходить досить швидкими темпами. Найбільш високі прирости загальної біомаси спостерігаються в 8 – 9 декадах вегетації. За рахунок змін кліматичних умов першого сценарію приріст сухої

загальної біомаси у період максимального росту збільшиться з 47,0 до 51,4 г/м² за день. З врахуванням зміни вмісту CO₂ в атмосфері це зростання буде ще більшим – до 54,8 г/м² за день. Це зростання становить відповідно 4,4 та 7,8 г/м², або 9-17 %.

За рахунок змін кліматичних умов другого сценарію приріст сухої загальної біомаси у період максимального росту збільшиться з 47,0 до 56,7 г/м² за день. З врахуванням зміни вмісту CO₂ в атмосфері це зростання буде ще більшим – до 61,7 г/м² за день. Це зростання становить відповідно 9,7 та 14,7 г/м², або 21-31 %.

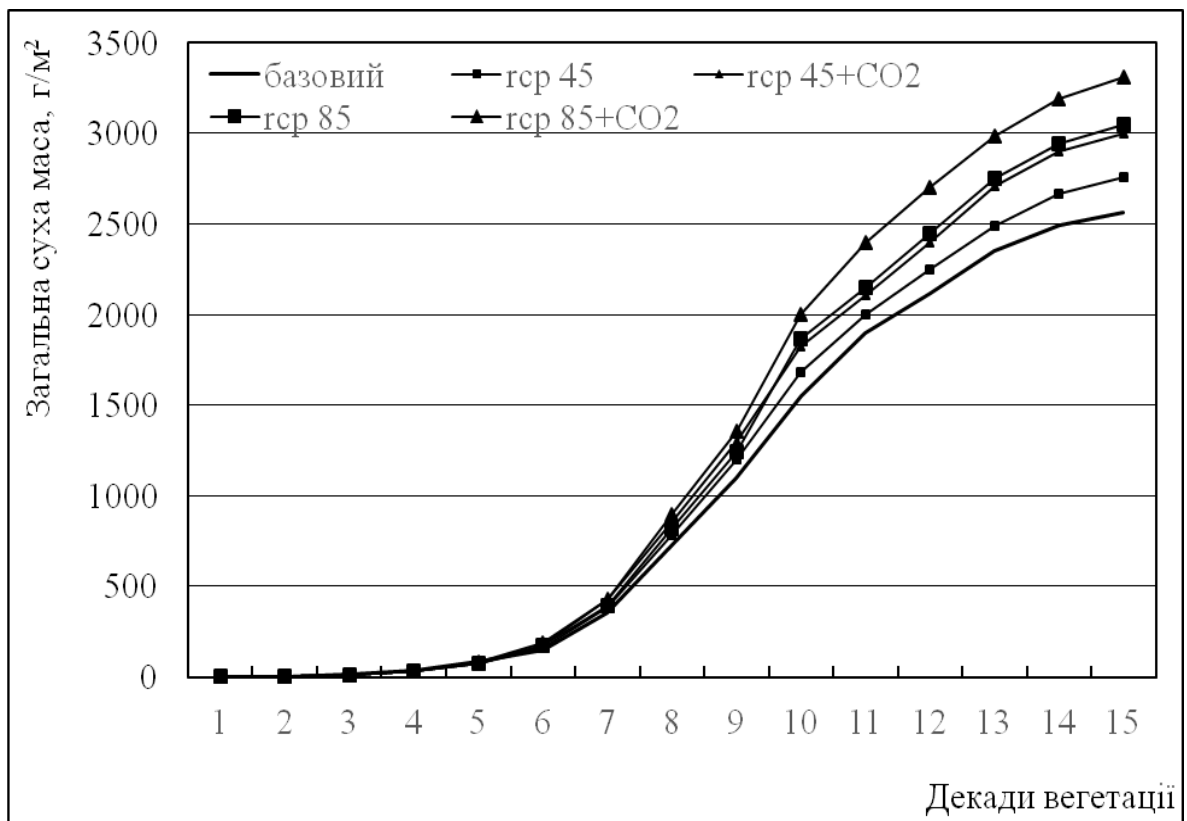


Рисунок 6.96 – Динаміка накопичення сухої загальної маси посіву цукрового буряку у Лісостепу за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 у порівнянні з базовим періодом

Як видно з даних табл. 6.43, за базових умов загальна суха біомаса посіву цукрового буряку на кінець вегетаційного періоду становить 2564 г/м². За рахунок змін кліматичних умов сценарію RCP4.5 суха загальна біомаса на кінець вегетації збільшиться до 2735 г/м². З врахуванням зміни вмісту CO₂ в атмосфері це збільшення буде ще суттєвішим – до 3007 г/м². Тобто збільшення становить відповідно 171 та 443 г/м², або 7-17 %.

За рахунок змін кліматичних умов сценарію RCP8.5 суха загальна біомаса посіву на кінець вегетації у Лісостепу збільшиться до 3050 г/м². З

врахуванням зміни вмісту CO_2 в атмосфері це збільшення також буде ще суттєвішим - до 3310 г/м^2 . Тобто збільшення становить відповідно 486 та 746 г/м^2 , або 19-29 %.

Зростання рівня показників фотосинтетичної продуктивності посівів цукрового буряку в Лісостепу в умовах зміни клімату за рахунок підвищення рівня інтенсивності фотосинтезу та більшої величини фотосинтетичного потенціалу посівів обумовить і збільшення сухої маси коренеплоду, а також кінцевого урожаю коренеплодів при стандартній вологості (рис. 6.97, табл. 6.43).

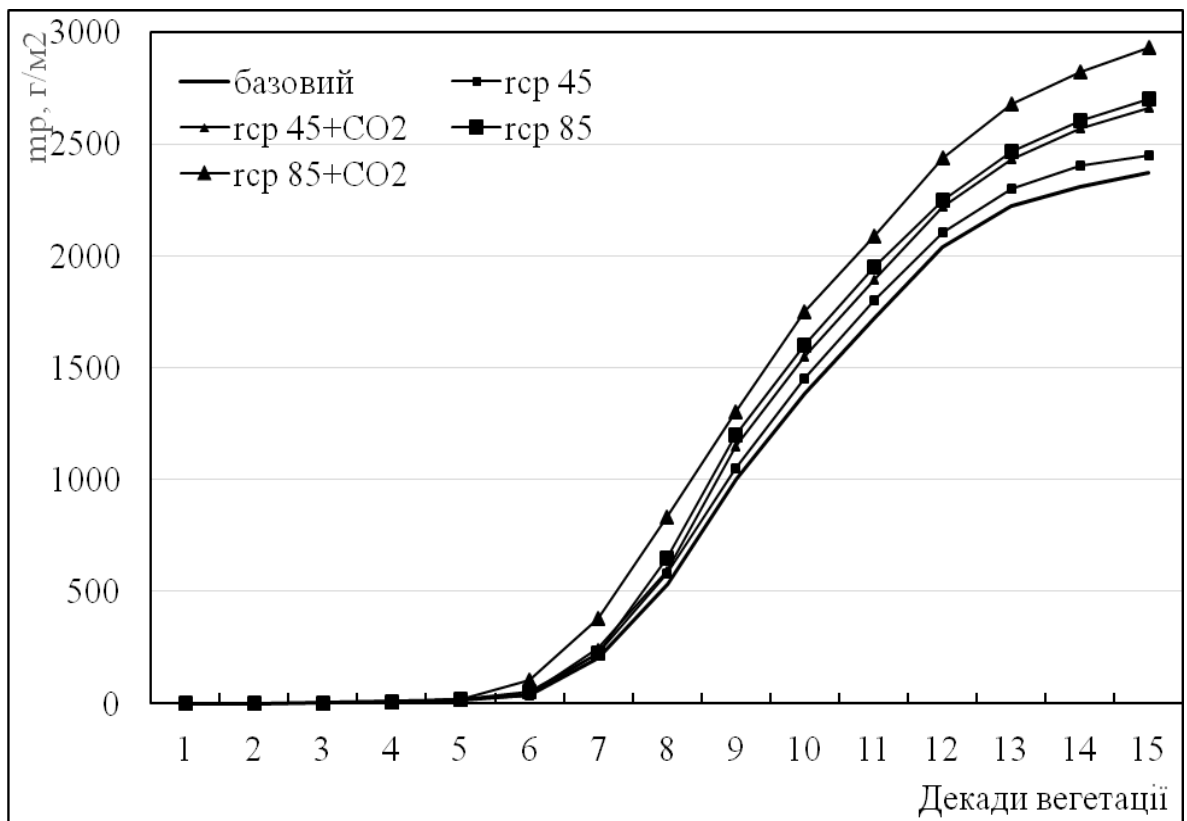


Рисунок 6.97 – Динаміка накопичення сухої маси коренеплоду цукрового буряку у Лісостепу за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 у порівнянні з базовим періодом

Можна бачити, що ріст маси коренеплоду найбільш інтенсивно проходить протягом 6-12 декад вегетації, наприкінці вегетаційного періоду темп росту дещо зменшується, у коренеплоді активно накопичується цукор. Така ж ситуація спостерігається і для всіх варіантів розрахунків у Поліссі.

За рахунок зміни кліматичних умов першого сценарію відбудеться підвищення сухої маси коренеплоду до 2450 г/м^2 (проти 2370 г/м^2 у базовий період). За умов збільшення CO_2 суха маса коренеплоду збільшиться до 2665 г/м^2 . За рахунок зміни кліматичних умов другого сценарію відбудеться підвищення сухої маси коренеплоду до 2700 г/м^2 (проти 2370 г/м^2 у базовий

період). За умов збільшення CO_2 суха маса коренеплоду збільшиться до 2928 г/м^2 .

За умов зміни клімату за сценарієм RCP4.5 у 2021-2050 рр. урожай коренеплодів у Лісостепу зросте порівняно з базовим періодом з 390 до 410 ц/га (на 20 ц/га або 5 %). Підвищення концентрації CO_2 в атмосфері обумовить відповідне зростання рівня урожаю цукрового буряку до 440 ц/га (на 50 ц/га або 13 %).

За умов зміни клімату за сценарієм RCP8.5 у 2021-2050 рр. урожай коренеплодів у Лісостепу зросте порівняно з базовим періодом більш суттєво: з 390 до 445 ц/га (на 55 ц/га або 14 %). Підвищення концентрації CO_2 в атмосфері обумовить відповідне зростання рівня урожаю цукрового буряку до 480 ц/га (на 90 ц/га або 23 %).

У цілому можна зробити висновок, що для бурякосійної території Полісся та Лісостепу України за умов реалізації сценаріїв RCP4.5 та RCP8.5 утворюються умови, вельми сприятливі для вирощування цукрового буряку та підвищення його урожайності. Таким чином слід очікувати підвищення врожаїв цукрового буряку протягом періоду до 2050 рр.

6.9.3 Оцінка очікуваних ризиків недобору врожаю цукрового буряку при реалізації сценаріїв RCP4.5 та RCP8.5

Згідно з методикою, представленою вище, були розраховані очікувані ризики недобору урожаю коренеплодів цукрового буряку за умов реалізації обох сценаріїв змін клімату. Результати розрахунків за сценарієм RCP4.5 представлені у табл. 6.44 та на рис. 6.98.

Як можна бачити з таблиці 6.46, за умов реалізації сценарію RCP4.5 на території Полісся, а також Івано-Франківської та Чернівецької областей очікуються вельми сприятливі умови для вирощування цукрового буряку. Тому ризики, що очікуються на цій території, будуть низькими і не перевищують 4 %.

Аналогічна ситуація очікується і на території областей Західного Лісостепу: Львівської, Тернопільської, Хмельницької та Вінницької. Тут також практично не очікується значних недоборів урожаю, у зв'язку з тим, що сценарні умови сприятимуть отриманню сталих та високих урожаїв цукрового буряку. На території Західного Лісостепу ризики також не перевищуватимуть 4 %.

На території Східного Лісостепу за умов реалізації сценарію RCP4.5, умови зволоження вегетаційного періоду цукрового буряку дещо погіршаться. Тому саме у південній частині Київської та Сумської областей, де вирощуються цукровий буряк, а також на території Черкаської та Полтавської областей ризики будуть середніми (до 15,5 %).

Таблиця 6.44 – Очікувані ризики недобору врожаю цукрового буряку
в 2021-2050 рр. за сценарієм RCP4.5
(0-5,9 % – низькі, 6-15,9 % – середні, 16-25% – високі,
>25% – значно високі)

№ п/п	Область	Ризики недобору врожаю		Середньорічний ГТК, відн. од.
		%	Оцінка	
Полісся				
1	Волинська	2,0	низькі	1,41
2	Житомирська	3,5	низькі	1,18
3	Рівненська	1,8	низькі	1,41
4	Чернігівська	3,9	низькі	1,08
Лісостеп				
5	Львівська	2,0	низькі	1,45
6	Тернопільська	1,7	низькі	1,45
7	Хмельницька	2,4	низькі	1,35
8	Вінницька	4,0	низькі	1,13
9	Київська	9,1	середні	0,95
10	Сумська	6,2	середні	1,02
11	Черкаська	13,5	середні	0,81
12	Полтавська	15,5	середні	1,10
13	Харківська	21,0	високі	0,69
Степ				
14	Кіровоградська	16,0	високі	0,76
15	Дніпропетровська	24,1	високі	0,65
16	Одеська	25,2	значно исокі	0,59
17	Миколаївська	27,0	значно исокі	0,55
Закарпаття та Прикарпаття				
18	Івано-Франківська	0	низькі	1,81
19	Чернівецька	1,0	низькі	1,53

Однак погіршення умов зволоження на території Харківської області призведе до високих очікуваних ризиків недобору урожаю – 21 %. Також високі ризики очікуються на території степових областей: Кіровоградської (16 %) та Дніпропетровської (24,1 %).

Найбільш несприятливі умови у відповідності до сценарію RCP4.5 очікуються на території двох степових областей Північного Причорномор'я: Одеської та Миколаївської. Тут очікуються значно високі ризики недобору урожаю (25-27 %), тому не має сенсу розміщувати виробничі посіви цукрового буряку на території цих областей. Результати розрахунків за сценарієм RCP8.5 представлені у табл. 6.45 та на рис. 6.99.

Як можна бачити з табл. 6.45 та рис. 6.99 за умов реалізації сценарію RCP8.5 на території Полісся, Івано-Франківської та Чернівецької областей, а також практично на всій території Лісостепу очікуються виключно

сприятливі умови для вирощування цукрового буряку. Тому ризики, що очікуються на цій території, будуть низькими і не перевищать 4,8 %.



Рисунок 6.98 – Карта-схема очікуваних ризиків недобору урожаїв цукрового буряку в Україні за умов реалізації сценарію зміни клімату RCP4.5



Рисунок 6.99 – Карта-схема очікуваних ризиків недобору урожаїв цукрового буряку в Україні за умов реалізації сценарію зміни клімату RCP8.5

Таблиця 6.45 – Очікувані ризики недобору врожаю цукрового буряку в 2021-2050 рр. за сценарієм RCP8.5

(0-5,9 % – низькі, 6-15,9 % – середні, 16-25% – високі, >25% – значно високі)

№ п/п	Область	Ризики недобору врожаю		Середньорі чний ГТК, відн. од.
		%	Оцінка	
Полісся				
1	Волинська	2,2	низькі	1,43
2	Житомирська	2,2	низькі	1,24
3	Рівненська	1,9	низькі	1,41
4	Чернігівська	2,9	низькі	1,17
Лісостеп				
5	Львівська	1,8	низькі	1,44
6	Тернопільськ а	1,5	низькі	1,44
7	Хмельницька	1,5	низькі	1,36
8	Вінницька	3,6	низькі	1,22
9	Київська	4,8	низькі	1,01
10	Сумська	4,1	низькі	1,06
11	Черкаська	9,8	середні	0,87
12	Полтавська	2,8	низькі	0,80
13	Харківська	15,2	середні	0,70
Степ				
14	Кіровоградсь ка	15,0	середні	0,82
15	Дніпропетро вська	15,9	середні	0,65
16	Одеська	21,0	високі	0,59
17	Миколаївськ а	22,5	високі	0,58
Закарпаття та Прикарпаття				
18	Івано- Франківська	0	низькі	1,79
19	Чернівецька	0	низькі	1,56

Лише умови, що очікуються за сценарієм RCP8.5 на території двох лісостепових областей України (Черкаської та Харківської), не будуть такими ж сприятливими, як на більшості території Лісостепу. Тому тут очікуються середні ризики недобору урожаю: 9,8 % для Черкаської області та більш суттєві (15,2 %) – для Харківської області.

Що стосується бурякосійної території Степу України, то умови, що очікуються за сценарієм RCP8.5 на цій території, будуть відрізнятися по сприятливості для вирощування культури. Так, на території Кіровоградської та Дніпропетровської областей умови зволоження за сценарієм RCP8.5 будуть краще за умови сценарію RCP4.5, тому ризики недобору урожаїв на цій території будуть середні. У той же час, на території Одеської та Миколаївської областей ризики втрати значної частини урожаю будуть високі (21 та 22,5 % відповідно). Тому на майбутнє слід зменшити території під цукровими буряками у цих двох областях, а також, за можливістю, організувати на цих територіях крапельне зрошення посівів цукрового буряку.

В цілому можна сказати, що за реалізації обох сценаріїв зміни клімату на всій бурякосійній території України очікуються суттєві зміни агрокліматичних умов росту, розвитку та формування продуктивності цукрового буряку. цінка коливань урожайності культури показала, що за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 на більшій частині України очікуються вельми сприятливі умови для вирощування цукрового буряку. При чому умови, що очікуються за сценарієм RCP8.5, будуть сприятливішими, ніж умови, що очікуються за сценарієм RCP4.5. Однак, на території Одеської та Миколаївської областей за неможливістю вирощування цукрового буряку на зрошенні рекомендується переглянути посівні площі культури та скоротити їх на користь культур, менш вибагливих до зволоження протягом вегетаційного періоду.

7 ПРОГНОЗ ЗМІН ВОД ВОДНИХ РЕСУРСІВ УКРАЇНИ ХХІ СТОРІЧЧЯ ЗА СЦЕНАРІЯМИ ЗМІН КЛІМАТУ (RCP8.5, RCP4.5) ТА ОЦІНКА РИЗИКІВ ДЛЯ ВОДНОГО ГОСПОДАРСТВА

7.1 Огляд сучасних досліджень з питань оцінки водних ресурсів України в умовах змін клімату

Оцінка змін водних ресурсів в результаті глобального потепління відбувається двома шляхами: на основі вивчення тенденцій змін характеристик клімату та стоку за даними спостережень, а також на базі математичного моделювання з використанням на вході у модель даних про зміни основних кліматичних чинників формування стоку, які беруться із кліматичних сценаріїв. Перший напрям для території України представлений роботами Вишневського В.І. [1], Гребіня В.В. [2], Хільчевського В.К. [3], Струтинської В.М. [4], Шакірзанової Ж.Р. [5], Овчарук В.А. [6]. Другий напрям спирається на побудову математичних моделей, серед яких значне місце посідають сучасні числові гідрологічні моделі, такі як SWAT, SWIM, MIKE11 та інші, які потребують значних об'ємів гідрологічної, метеорологічної інформації, детальної інформації про структуру землекористування у басейнах річок [7, 8, 9, 10, 11]. Крім того, використання такого роду чисельних моделей потребує сучасних потужних комп'ютерів. Для території України, у межах якої гідрометеорологічна мережа досить рідка для забезпечення чисельних моделей детальними даними, єдиним перспективним варіантом є використання водно-балансових гідрологічних моделей, серед яких найбільш часто використовується модель “клімат-стік”, розроблена в ОДЕКУ Є.Д. Гопченком та Н.С. Лободою [12, 13, 14] та водно-балансова модель Казмарека, модифікована С.І. Сніжком для умов України [15, 16].

Перші оцінки змін водних ресурсів України в умовах глобального потепління, виконувалися за прогнозними даними, розробленими по моделям ВМО для Південної та Східної Європи [17, 18]. Наприкінці минулого сторіччя використовувалися більш детальні дані кліматичних сценаріїв, в яких містилися матеріали про можливі зміни атмосферних опадів та температур повітря: GISS – модель Інституту Годдарда з космічних досліджень, чутливість до подвоєння двоокису вуглецю CO_2 - $4,2^\circ\text{C}$, рік розрахунків – 1982; GFDL – модель Лабораторії геофізичної гідродинаміки США, чутливість до подвоєння CO_2 - 4°C , рік розрахунків – 1989; CCCM – модель Канадського кліматичного центру, чутливість до подвоєння CO_2 - $3,5^\circ\text{C}$, рік розрахунків – 1989; UKMO – модель Метеорологічного бюро Об'єднаного Королівства, чутливість до подвоєння CO_2 - $3,5^\circ\text{C}$, рік розрахунків – 1989. Ці сценарії були адаптовані до різних географічних зон України [19]. На їх основі виконувалися оцінки змін стоку з великих водозбірних басейнів (Дніпра, Південного Бугу, Дністра та Дунаю) з метою

передбачення у майбутньому екологічного стану Північно-Західної частини Чорного моря [20, 21].

У 2000 р. Міжурядовою групою експертів зі змін клімату опублікована «Спеціальна доповідь по сценаріях викидів» (СДСВ) [22], в якій кліматичні сценарії представлені як результат різних варіантів розвитку та взаємодії демографічних, економічних та науково-технічних факторів, що зумовлюють різні об'єми викидів парникових газів. В цих сценаріях розглядались чотири сюжетні лінії (A1, A2, B1 і B2) [23].

Дослідження виконані для різних частин Європи, дозволили установити, що найбільша відповідність фактичних та сценарних метеорологічних даних за ретроспективний період (1953-1989 рр.) на території Північно-Західного Причорномор'я має місце для сценарію M10 з гілки сценаріїв A1B [10]. Саме за цим сценарієм надавався прогноз стану водних ресурсів Куяльницького [24] й Тилігульського [25, 26] лиманів на XXI сторіччя. Результати досліджень по Тилігульському лиману були також складовою міжнародного дослідницького проекту 7-ої Рамкової Програми Європейського Співтовариства «Комплексне управління водними ресурсами і прибережною зоною в Європейських лагунах в умовах змін клімату» (LAGOONS), FP7-ENV-2011 № 283157 (2011-2014 рр.) [10]. Для визначення водних ресурсів Тилігульського лиману у майбутньому при виконанні цієї роботи використовувалася екогідрологічна модель SWIM [11], розроблена у Потсдамському інституті досліджень впливу клімату (PIK). Недоліком моделі SWIM в умовах України стала вимога до значної щільності розташування кліматичних станцій: не менше однієї станції на 100 км². Невиконання цієї вимоги призводило до труднощів у процесі калібрування та валідації моделі. Коли з'явилась можливість використання відкритих електронних ресурсів зарубіжжя, де можна знайти необхідні дані про підстильну поверхню, почали розроблятися нові методичні підходи до застосування сучасних чисельних моделей в умовах України [7, 8, 9].

Оцінки змін водних ресурсів України за даними сценаріїв A1B та A2 виконувалися за моделлю «клімат-стік», розробленою в ОДЕКУ [27, 28]. На базі рівняння водного балансу у модифікації, запропонованій польським гідрологом Kaszmarek (1993), проф. Сніжко С.І (Київський Національний Університет імені Тараса Шевченка) за сценарієм A1B (модель REMO) були наведені оцінки змін водних ресурсів України [16], які узгоджуються із даними, отриманими за моделлю «клімат-стік».

У 2013 р. Міжнародна група експертів зі змін клімату опублікувала П'яту «Спеціальну доповідь по сценаріях викидів» (СДСВ) [29], в якій були представлені нові кліматичні сценарії – так звані «характерні траєкторії змін концентрації» (Representative Concentration Pathways – RCP) парникових газів в атмосфері. Вони задають зміни середнього вмісту парникових газів в атмосфері Землі в часі в залежності від передбачуваної динаміки викидів парникових газів та інших факторів. Чотири описані в доповіді траєкторії RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 та RCP8.5 базуються на розгляді різниць додатного та від'ємного випромінювання в системі Земля-атмосфера до кінця XXI

сторіччя у порівнянні із допромисловим періодом, які становлять відповідно, 2.6, 4.5, 6.0, 8,5 Вт/м² для кожного сценарію [29]. Роботи, які містять у собі результати розрахунків за вказаними траєкторіями опубліковані авторами у роботах [30, 31, 32, 33].

7.2 Методи досліджень

У широкому значенні під водними ресурсами розуміють усі води планети Земля, тобто води поверхневого і підземного стоку, ґрунтові і підземні води, води озер, боліт, льодовиків і вікових снігів, океанічні, морські і атмосферні води, води штучних об'єктів (каналів, водосховищ) [34, 35]. У вузькому значенні водними ресурсами є запаси поверхневих і підземних вод, придатні для використання. У зв'язку із тим, що всі ці води в процесі кругообігу зв'язані із водами річок, при розгляді водних ресурсів під ними розуміють лише величину середнього багаторічного річного стоку річок досліджуваних територій [36].

Основним методом дослідження в даній роботі є модель «клімат-стік», розроблена в ОДЕКУ. Перша частина моделі включає до себе розрахунки характеристик річного природного стоку за метеорологічними даними. Ця складова моделі базується на рівнянні водно-теплогового балансу у модифікації В.С. Мезенцева [37], реалізація якого для території України виконана проф. Є.Д. Гопченком та проф. Н.С. Лободою [12, 13, 38]. На вході в модель використовуються дані про місячні та річні опади, температури та дефіцит вологості повітря. Друга частина моделі спирається на результати стохастичного моделювання побутового (перетвореного водогосподарською діяльністю) стоку [39]. Структура моделі дозволяє виконувати розрахунки кліматичного (зонального природного) стоку на основі даних кліматичних сценаріїв [18, 20], що відкрило можливості для надання та подальшого уточнення прогнозу змін водних ресурсів України по мірі розвитку кліматичних моделей [40, 41, 42].

Стік, визначений за рівнянням водно-теплогового балансу, відображає взаємодію ресурсів зволоження (X) та тепла (E_m) і може бути визначеним за даними сценаріїв зміни клімату [18]:

$$Y'_K = X' + (w_1 - w_2)' - E'_m \left[1 + \left(\frac{X' + (w_1 - w_2)'}{E'_m} \right)^{-n} \right]^{\frac{1}{n}}, \quad (7.1)$$

де \bar{Y}'_K – величина кліматичного стоку за розрахунковий період в умовах змін клімату, мм;

E'_m – величина максимально можливого випаровування за розрахунковий період в умовах змін клімату, мм;

X' – сума річних опадів за розрахунковий період в умовах змін клімату, мм;

n – параметр, який інтегрує фізико-географічні умови формування стоку;

$(w_1 - w_2)'$ – зміна запасів води у ґрунті за розрахунковий період в умовах змін клімату, мм. Для багаторічного періоду $(w_1 - w_2)' = 0$.

У моделі розглядається поняття “максимально можливого випаровування” E_m , яке розглядається через граничні ресурси енергії («теплоенергетичні ресурси клімату»), що забезпечують процес випаровування у заданих кліматичних умовах. «Теплоенергетичний еквівалент» або «максимально можливе випаровування» являє собою шар води, який міг би випаритися з поверхні суші, якби на процес випаровування були витрачені усі теплоенергетичні ресурси клімату LE_m і розраховується через прибуткові складові рівняння теплового балансу водної поверхні

$$E_m = \frac{R^+ + P^+ + (B_1 - B_2)}{L}, \quad (7.2)$$

де R^+ – позитивна (прибуткова) частина радіаційного балансу;

P^+ – позитивна складова турбулентного теплообміну або тепло, що приходить на ділянку суші в зв'язку з рухом повітря, тобто адвективне тепло;

$(B_1 - B_2)$ – зміна запасів тепла в діяльному шарі ґрунту (теплообмін у ґрунті ΔB);

L – приховане тепло пароутворення.

Така інтерпретація поняття «максимального можливого випаровування» надає йому однозначності на відміну від інших методів, в яких максимально можливе випаровування розглядалося як «випаровування зі зволоженої поверхні» (М.І. Будико); «випаровування з водної поверхні при тому ж комплексі метеорологічних умов, що й над сушею» (М.А. Багров); «випаровування для полів, вкритих рослинністю, коли вологість ґрунту близька до найменшої польової вологоємності» (А.Р. Константинов); «максимально можливе випаровування з оголеного ґрунту» (Л. Тюрк).

Для масових розрахунків максимально можливого випаровування використовуються залежності від температур повітря, які є непрямым показником надходження сонячної радіації до підстильної поверхні. Для території України розроблені регіональні регресійні рівняння виду

$$\bar{E}_m = 0,224 \sum T_{>10} + 226, r = 0,91; \quad (7.3)$$

$$\bar{E}_m = 0,209 \sum T_{>0} + 179, r = 0,87; \quad (7.4)$$

$$\bar{E}_m = 13,3 \sum_{V}^{IX} \bar{T}_M - 307, r = 0,94, \quad (7.5)$$

$$\bar{E}_m = 6.98 \sum_{IV}^{XI} \bar{T}_M + 128, r = 0,91, \quad (7.6)$$

$$\bar{E}_m = 13,3 \sum_V^{IX} \bar{T}_M - 307, r = 0,94, \quad (7.7)$$

де $\sum T_{>10}$ – сума добових температур повітря більше 10°C ;

$\sum T_{>0}$ – сума добових температур повітря більше 0°C ;

$\sum_{IV}^{XI} \bar{T}_M$ – сума середніх місячних температур повітря з квітня по листопад;

$\sum_V^{IX} \bar{T}_M$ – сума середніх місячних температур повітря з травня по вересень;

r – коефіцієнт кореляції.

Найчастіше для розрахунків залучається рівняння (7.7), оскільки воно описує залежність із високим коефіцієнтом кореляції і в цьому рівнянні використовуються середні місячні, а не добові температури повітря.

Середня багаторічна величина річного стоку може бути ототожненою із зональним стоком у природних умовах [12]. Річний стік, визначений за метеорологічними даними, дістав назву «кліматичного». За даними минулих років (до 1989 р.) були побудовані карти ізоліній норм річних опадів, максимально можливого випаровування та кліматичного стоку для рівнинних територій на топографічній основі 1:500000, а також регіональні залежності цих характеристик від висоти місцевості (Українські Карпати та Гірський Крим). Вплив підстильної поверхні для водозборів із нестійким підземним живленням ураховується за допомогою спеціально розроблених коефіцієнтів переходу [13,38].

Модель була калібрована та верифікована на матеріалах минулих років про стік річок різних географічних зон України, є чутливою до сучасних змін кліматичних чинників і дозволяє із задовільною точністю оцінювати зональний стік та вплив підстильної поверхні, включаючи водогосподарські перетворення [38]. Установлено, що точність визначення статистичних параметрів річного стоку за описаною моделлю знаходиться у межах точності розрахунків цих параметрів за даними гідрометричних спостережень і для норм річного стоку варіює у межах $\pm 10\%$.

Суттєве значення при оцінках змін кліматичних умов та норм річного кліматичного (зонального) стоку відіграє співвідношення ресурсів тепла та вологи, яке також розглядається як характеристика зволоженості (посушливості) клімату:

$$\beta_X = \frac{\bar{X}}{\bar{E}_m}, \quad (7.8)$$

де \overline{X} – середнє багаторічне значення річних опадів, мм;

\overline{Em} – середнє багаторічне значення максимально можливого випаровування, мм.

Зміна співвідношення β_X у просторі може характеризувати ступінь зволоження (посушливості) території [37, 43, 44]

$$\beta_X \geq 1,0 \text{ – зона надлишкового зволоження,} \quad (7.9)$$

$$0,8 < \beta_X < 1,0 \text{ – зона достатнього зволоження,} \quad (7.10)$$

$$0,5 \leq \beta_X < 0,8 \text{ – зона недостатнього зволоження,} \quad (7.11)$$

$$0,20 \leq \beta_X < 0,5 \text{ – напіваридна зона,} \quad (7.12)$$

$$0,03 \leq \beta_X < 0,2 \text{ – аридна зона,} \quad (7.13)$$

$$\beta_X < 0,03 \text{ – гіпераридна зона,} \quad (7.14)$$

Значення $\beta_X=0,5$ розглядається як межа між зоною недостатнього зволоження та напіваридною зоною. Зона недостатнього зволоження є зоною степу, верхня межа якої відповідає нормі річного зонального стоку $\overline{Y}_K=30$ мм.

Модель «клімат-стік» дозволяє виконувати оцінки середніх багаторічних величин кліматичного стоку, який для річок із сталим підземним живленням може розглядатися як зональний природний (непорушений водогосподарською діяльністю). За цією ж моделлю можна визначити коефіцієнт багаторічної мінливості (варіації) C_V річного стоку (в залежності від значення середньої багаторічної величини стоку) та коефіцієнт асиметрії (із районуваного за територією України співвідношення C_S / C_V [38]). Через статистичні параметри річного стоку за обраним законом розподілу випадкової величини можна установити значення річного стоку у маловодні роки (із забезпеченістю водності року P , яка дорівнює 75%, 95% та 99,9%). Таким чином, модель «клімат-стік» дозволяє виконувати прогноз всихання річок.

У роботі використані дані сценаріїв концентрацій парникових газів сімейства RCP (Representative Concentration Pathways – «характерні траєкторії змін концентрації»), а саме RCP4.5 та RCP8.5. Ці сценарії безпосередньо задають середній вміст парникових газів в атмосфері Землі в часі та в залежності від передбачуваної динаміки викидів парникових газів та інших чинників, на відміну від раніше досліджуваних сценаріїв, заснованих на вмісті емісій парникових газів та соціально-економічних показників (сценарні родини A1, A2, B1, B2). Найбільш екстремальним визнаний сценарій RCP8.5, який характеризується безперервним зростанням

радіаційного форсингу протягом XXI століття зі значеннями майже $8,5 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-2}$ у 2100 р. Для реалізації сценарію RCP4.5, який вважається помірним, глобальні викиди парникових газів повинні почати зменшуватись після 2040 р., зі значеннями радіаційного форсингу у 2100 р. близько $4,5 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-2}$ [29].

Обчислення проводилися для розрахункового періоду 2020-2050 рр. з використанням даних про середні місячні опади та температури повітря за сценаріями зміни глобального клімату RCP8.5 та RCP4.5 по 85 вузлам координатної сітки, які відповідають розташуванню станцій метеорологічних спостережень і є рівномірно розподіленими по території України. Для оцінки змін характеристик клімату та стоку виконувалося їх порівняння із відповідними характеристиками, визначеними за даними до 1989 р. [2]. Цей рік розглядається як «переламний» у хронологічному ході температур повітря над територією України. Після 1989 р. наслідки впливу змін клімату на водні ресурси набули статистичної значущості [2, 42].

7.3 Оцінка водних ресурсів України XXI сторіччя за сценарієм змін клімату (RCP4.5)

За сценарієм RCP4.5 на території України у першій половині XXI сторіччя очікується зменшення ресурсів зволоження (середніх багаторічних величин опадів) на 13-14% (табл.7.1).

Ресурси тепла змінюватимуться незначно (табл.7.2), на півдні України положення ізолінії $\bar{E}_m=1000 \text{ мм}$, відповідатиме умовам до 1989 р. [15]. Ця обставина відрізняє сценарій RCP4.5 від сценарію A1B [39], за яким максимально можливе випаровування зростало на фоні майже незмінних опадів.

Таблиця 7.1 – Зміни ресурсів вологи \bar{X} на території України за сценарієм RCP4.5 у порівнянні із даними до 1989 року

Метеостанція	Опади \bar{X} , мм				
	до 1989 року	2011-2050 рр.	δ , %	2021-2050 рр.	δ , %
1	2	3	4	5	6
Семенівка	700	603	-13,9	600	-14,3
Чернігів	658	575	-12,6	562	-14,6
Любешов	678	602	-11,2	600	-11,5
Головно	685	621	-9,3	620	-9,5
Глухов	661	601	-9,1	590	-10,7
Ковель	690	607	-12,0	601	-12,9

Продовження табл. 7.1					
1	2	3	4	5	6
Володимир-Волинський	696	646	-7,2	643	-7,6
Луцьк	682	643	-5,7	642	-5,9
Олевськ	741	641	-13,5	640	-13,6
Коростень	690	583	-15,5	577	-16,4
Ніжин	675	574	-15,0	564	-16,4
Сарни	666	610	-8,4	609	-8,6
Дубно	620	644	3,9	643	3,7
Ромни	625	567	-9,3	555	-11,2
Суми	652	579	-11,2	571	-12,4
Рава-Руська	736	638	-13,3	631	-14,3
Броди	785	677	-13,8	675	-14,0
Рівне	702	637	-9,3	637	-9,3
Новоград-Волинський	660	615	-6,8	609	-7,7
Шепетівка	680	643	-5,4	641	-5,7
Житомир	686	574	-16,3	564	-17,8
Фастів	635	559	-12,0	547	-13,9
Баришівка	656	560	-14,6	548	-16,5
Прилуки	635	559	-12,0	543	-14,5
Гадяч	633	546	-13,7	543	-14,2
Теребовля	621	616	-0,8	610	-1,8
Бережани	760	688	-9,5	685	-9,9
Тернопіль	695	611	-12,1	607	-12,7
Хмельницький	680	603	-11,3	594	-12,6
Білопіль	631	556	-11,9	541	-14,3
Миронівка	611	533	-12,8	520	-14,9
Золотоноша	574	533	-7,1	527	-8,2
Черкаси	570	516	-9,5	508	-10,9
Веселий Подол	559	525	-6,1	516	-7,7
Полтава	600	514	-14,3	503	-16,2
Долина	970	899	-7,3	900	-7,2
Чортків	642	604	-5,9	591	-7,9
Кам'янець-Подільський	640	559	-12,7	537	-16,1
Вінниця	637	559	-12,2	541	-15,1
Умань	606	527	-13,0	513	-15,3
Крижопіль	642	511	-20,4	492	-23,4
Старобельськ	568	477	-16,0	467	-17,8
Кобеляки	580	519	-10,5	509	-12,2
Ужгород	892	1005	12,7	1003	12,4
Берегово	735	768	4,5	761	3,5
Коломия	703	714	1,6	699	-0,6
Селятин	780	865	10,9	858	10,0

Продовження табл. 7.1					
1	2	3	4	5	6
Чернівці	740	660	-10,8	644	-13,0
Первомайск	553	483	-12,7	469	-15,2
Кіровоград	580	491	-15,3	476	-17,9
Бобринець	541	480	-11,3	464	-14,2
Затишшя	516	464	-10,1	439	-14,9
Любашівка	540	485	-10,2	465	-13,9
Вознесенськ	507	451	-11,0	433	-14,6
Баштанка	513	451	-12,1	439	-14,4
Пришиб	520	440	-15,4	434	-16,5
Гуляйполе	540	448	-17,0	443	-18,0
Мелітополь	510	400	-21,6	394	-22,7
Лошкарьовка	537	453	-15,6	440	-18,1
Волноваха	550	444	-19,3	440	-20,0
Маріуполь	560	444	-20,7	440	-21,4
Красноармійськ	547	483	-11,7	481	-12,1
Одеса аеропорт	476	430	-9,7	406	-14,7
Миколаїв	500	419	-16,2	401	-19,8
Нова Каховка	490	406	-17,1	394	-19,6
Ізмаїл	495	420	-15,2	400	-19,2
Сарата	482	413	-14,3	389	-19,3
Херсон	485	396	-18,4	384	-20,8
Бехтери	453	406	-10,4	395	-12,8
Асканія-Нова	450	395	-12,2	387	-14,0
Клепиніно	576	385	-33,2	376	-34,7
Харків	630	480	-23,8	476	-24,4
Боходухов	633	529	-16,4	521	-17,7
Губиниха	588	510	-13,3	505	-14,1
Лозова	603	487	-19,2	482	-20,1
Ізюм	593	457	-22,9	453	-23,6
Сватово	566	452	-20,1	449	-20,7
Біловодськ	547	435	-20,5	434	-20,7
Дніпропетровськ	580	480	-17,2	473	-18,4
Синельниково	530	477	-10,0	471	-11,1
Луганськ аеропорт	527	412	-21,8	408	-22,6
Луганськ місто	508	414	-18,5	412	-18,9
Дебальцеве	550	474	-13,8	471	-14,4
Дар'івка	650	459	-29,4	468	-28,0
Середнє	617	544	-13,1	539	-14,6

Таблиця 7.2 – Зміни ресурсів тепла (середніх багаторічних величин максимально можливого випаровування) \bar{E}_m на території України за сценарієм RCP4.5 у порівнянні із даними до 1989 року

Метеостанція	Максимально можливе випаровування \bar{E}_m , мм				
	до 1989 року	2011-2050 рр,	δ , %	2021-2050 рр,	δ , %
1	2	3	4	5	6
Семенівка	747	713	-4,6	728	-2,5
Чернігів	780	747	-4,2	762	-2,3
Любешов	753	731	-2,9	745	-1,1
Головно	755	714	-5,4	727	-3,7
Глухов	770	714	-7,3	730	-5,2
Ковель	760	723	-4,9	736	-3,2
Володимир-Волинський	749	715	-4,5	728	-2,8
Луцьк	758	717	-5,4	730	-3,7
Олевськ	720	714	-0,8	728	1,1
Коростень	750	734	-2,1	749	-0,1
Ніжин	794	768	-3,3	783	-1,4
Сарни	764	735	-3,8	748	-2,1
Дубно	760	713	-6,2	726	-4,5
Ромни	805	759	-5,7	775	-3,7
Суми	800	757	-5,4	772	-3,5
Рава-Руська	725	695	-4,1	707	-2,5
Броди	750	712	-5,1	725	-3,3
Рівне	749	724	-3,3	737	-1,6
Новоград-Волинський	730	725	-0,7	739	1,2
Шепетівка	745	712	-4,4	726	-2,6
Житомир	775	732	-5,5	748	-3,5
Фастів	785	756	-3,7	773	-1,5
Баришівка	810	800	-1,2	816	0,7
Прилуки	810	785	-3,1	801	-1,1
Гадяч	825	787	-4,6	802	-2,8
Теребовля	750	704	-6,1	717	-4,4
Бережани	730	676	-7,4	689	-5,6
Тернопіль	740	690	-6,8	703	-5,0
Хмельницький	752	712	-5,3	728	-3,2
Білопіль	749	738	-1,5	754	0,7
Миронівка	835	797	-4,6	813	-2,6
Золотоноша	859	824	-4,1	840	-2,2
Черкаси	860	858	-0,2	874	1,6

Продовження табл. 7.2					
1	2	3	4	5	6
Веселий Подол	851	836	-1,8	853	0,2
Полтава	862	841	-2,4	858	-0,5
Долина	600	579	-3,5	590	-1,7
Чортків	775	715	-7,7	728	-6,1
Кам'янець-Подільський	818	776	-5,1	792	-3,2
Вінниця	753	741	-1,6	758	0,7
Умань	818	792	-3,2	807	-1,3
Крижопіль	816	781	-4,3	797	-2,3
Старобельськ	928	834	-10,1	854	-8,0
Кобеляки	895	855	-4,5	872	-2,6
Ужгород	724	742	2,5	753	4,0
Берегово	900	817	-9,2	829	-7,9
Коломия	760	666	-12,4	679	-10,7
Селятин	700	436	-37,7	447	-36,1
Чернівці	804	726	-9,7	740	-8,0
Первомайск	895	867	-3,1	883	-1,3
Кіровоград	865	840	-2,9	857	-0,9
Бобринець	898	861	-4,1	877	-2,3
Затишшя	896	886	-1,1	905	1,0
Любашівка	869	860	-1,0	877	0,9
Вознесенськ	937	913	-2,6	930	-0,7
Баштанка	926	927	0,1	944	1,9
Пришиб	975	947	-2,9	962	-1,3
Гуляйполе	921	911	-1,1	927	0,7
Мелітополь	990	983	-0,7	998	0,8
Лошкарівка	955	911	-4,6	927	-2,9
Волноваха	955	895	-6,3	911	-4,6
Маріуполь	990	932	-5,9	947	-4,3
Красноармійськ	921	970	5,3	986	7,1
Одеса аеропорт	946	952	0,6	969	2,4
Миколаїв	990	960	-3,0	977	-1,3
Нова Каховка	1000	980	-2,0	995	-0,5
Ізмаїл	981	991	1,0	1007	2,7
Сарата	955	950	-0,5	968	1,4
Херсон	1000	986	-1,4	1002	0,2
Бехтери	1020	966	-5,3	981	-3,8
Асканія-Нова	1000	987	-1,3	1002	0,2
Клепиніно	975	985	1,0	1000	2,6
Харків	900	849	-5,7	866	-3,8
Боходухов	832	787	-5,4	804	-3,4
Губиниха	897	873	-2,7	890	-0,8

Продовження табл. 7.2					
1	2	3	4	5	6
Лозова	893	864	-3,2	881	-1,3
Ізюм	903	887	-1,8	906	0,3
Сватово	940	869	-7,6	888	-5,5
Біловодськ	929	885	-4,7	904	-2,7
Дніпропетровськ	910	904	-0,7	921	1,2
Синельниково	918	888	-3,3	904	-1,5
Луганськ аеропорт	933	912	-2,3	931	-0,2
Луганськ місто	935	927	-0,9	946	1,2
Дебальцеве	930	859	-7,6	877	-5,7
Дар'ївка	940	885	-5,9	895	-4,8
Середнє	843	813	$\pm 4,3$	828	$\pm 3,1$

Аналізуючи зміни у просторовому розподілі ізоліній β_X у часі (рис.7.1), можна зробити висновок, що межа аридності (ізолінія $\beta_X=0,5$) буде «підніматися» до півночі і відбудеться розширення напіваридної зони. Область зони недостатнього зволоження ($\beta_X \geq 0,8$) просунеться на північний захід. Область надлишкового зволоження ($\beta_X \geq 1,0$) на заході (Карпати) дещо «стиснеться» (рис. 7.2).

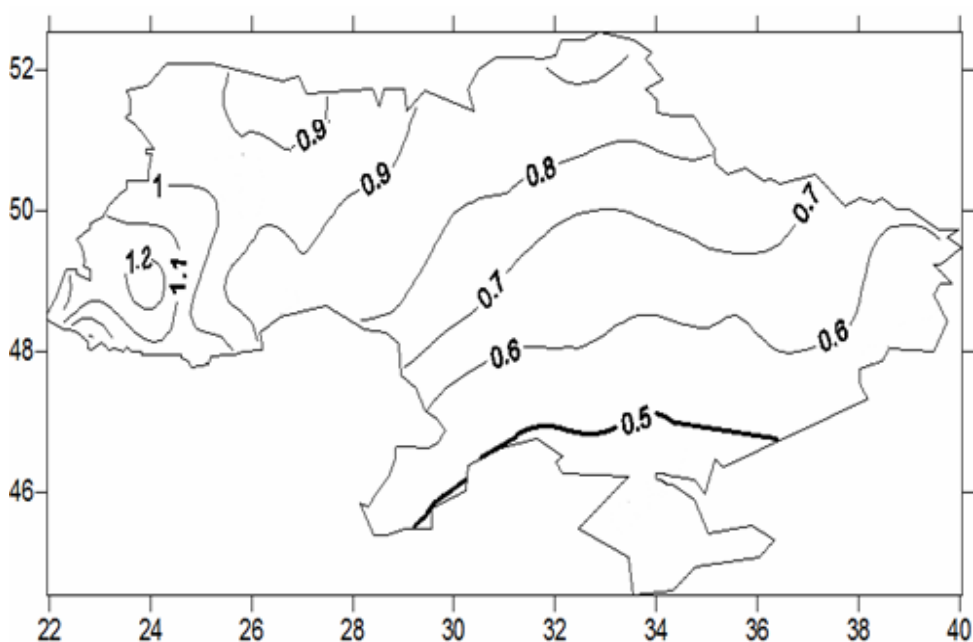


Рисунок 7.1 – Просторовий розподіл показника зволоженості β_X , визначеного за даними до 1989 року (до початку значущого впливу глобального потепління)

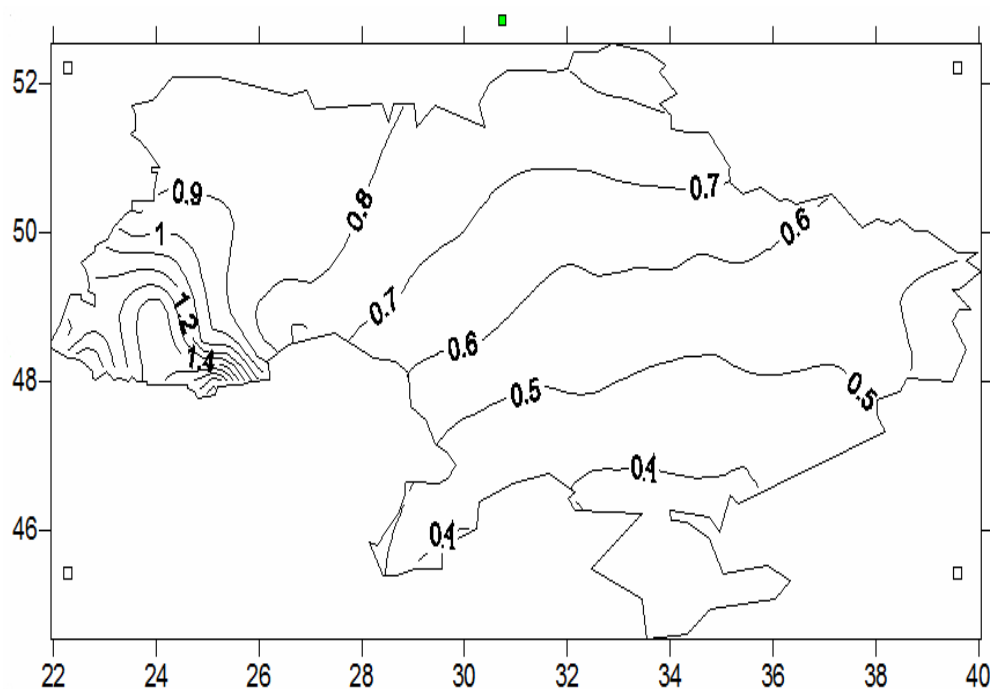


Рисунок 7.2 – Просторовий розподіл показника зволоженості β_x , визначеного за даними 2021-2050 рр., сценарій RCP4.5

У минулому сторіччі (до початку глобального потепління) на рівнинній частині України норми кліматичного річного стоку змінювалися від 140 мм на північному заході до 20 мм на півдні (рис. 7.3). У період 2021-2050 рр. за сценарієм RCP4.5 очікується розширення до півночі зони степу, яка обмежена ізолінією норми річного зонального стоку, рівною 30 мм (рис. 7.4).

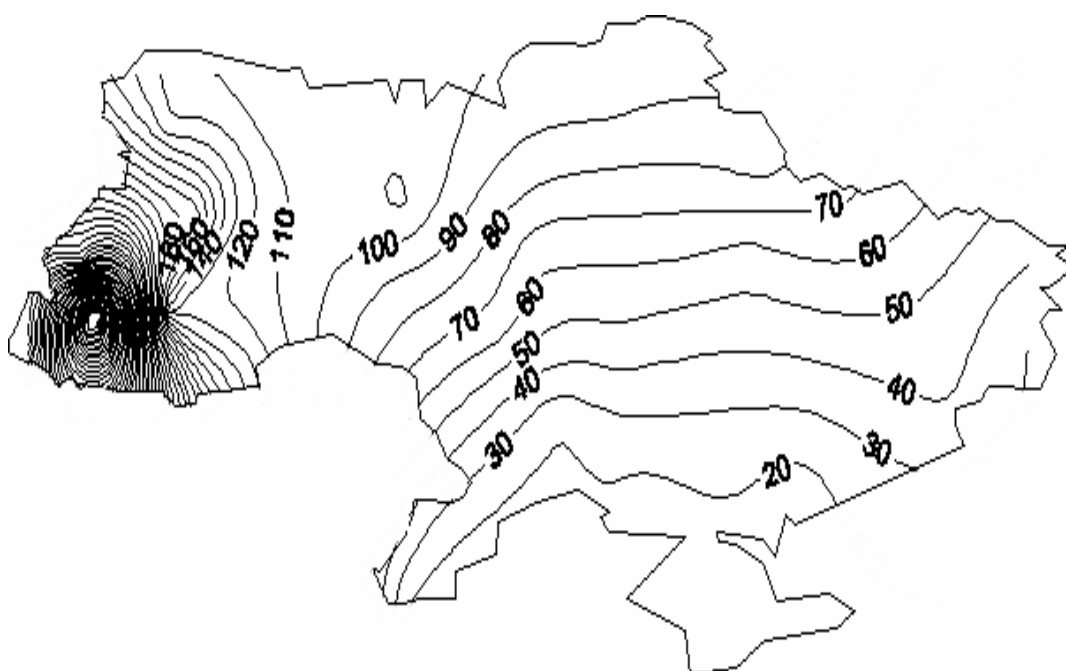


Рисунок 7.3 – Просторовий розподіл норм річного кліматичного стоку (мм), визначених за даними до 1989 р.

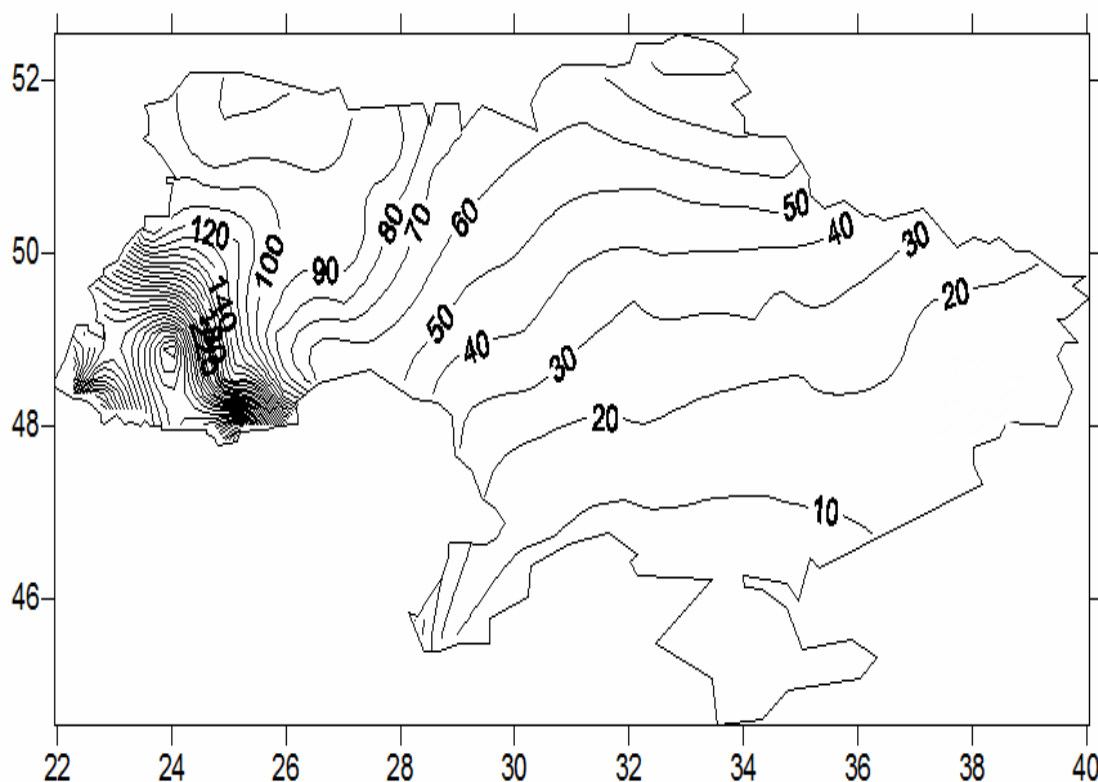


Рисунок 7.4 – Просторовий розподіл норм річного кліматичного стоку (мм), визначеного за даними 2021-2050 рр., сценарій RCP4.5

Більш повну уяву про зміни водних ресурсів України у просторі надають ізолінії відносних відхилень δ середніх багаторічних величин річного стоку минулого сторіччя та у період прогнозу (2021-2050 рр.)

$$\delta = \frac{\overline{Y_K}' - \overline{Y_K}}{\overline{Y_K}}, \quad (7.15)$$

де $\overline{Y_K}'$ – середня багаторічна величина річного кліматичного стоку, розрахована за даними сценарію, мм;

$\overline{Y_K}$ – середня багаторічна величина річного кліматичного стоку, розрахована за даними до 1989 р. (початку значущого впливу глобального потепління).

Зменшення водних ресурсів за період 2021-2050 рр. буде спостерігатися майже по всій території України (рис. 7.5) і на півдні та південному сході досягне –60%, у Північно-Західному Причорномор'ї – 50 % [33]. Зростання водних ресурсів буде спостерігатися лише в Карпатах [32].

Що стосується маловодних років (рис.7.6), то зменшення річного кліматичного стоку 75 % забезпеченості на півдні та південному сході може досягати 90 %. У західному напрямку тенденції до висихання річок уповільнюються і досягають лише 20-30 %.

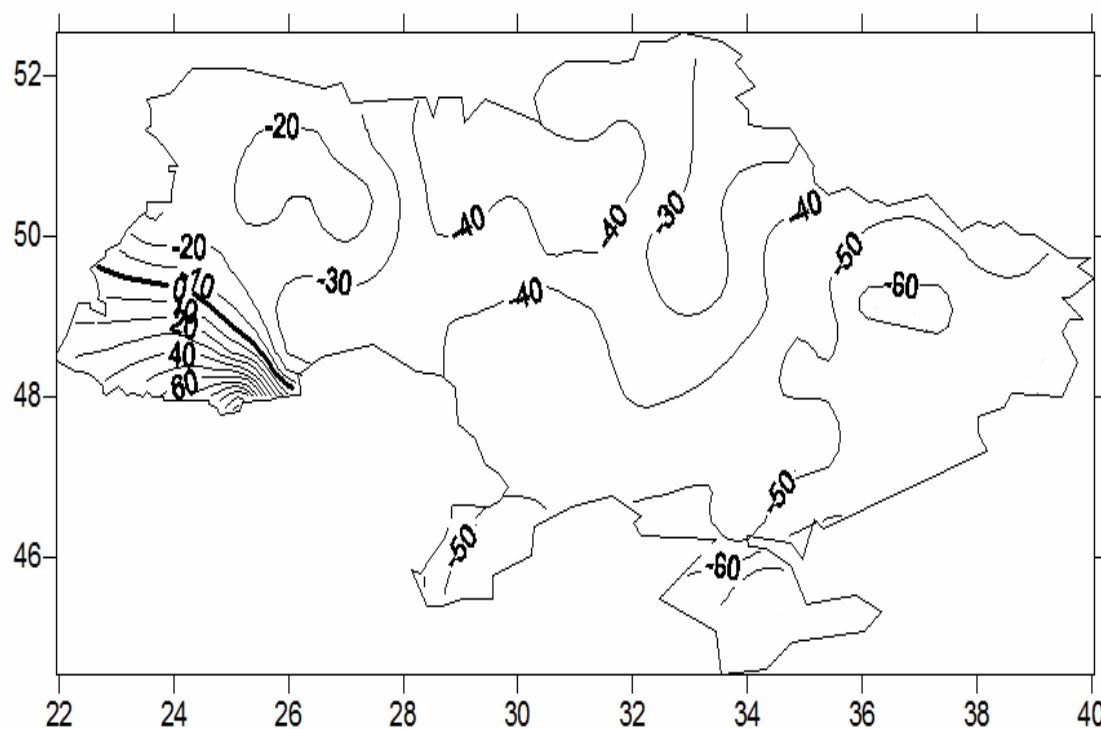


Рисунок 7.5 – Просторовий розподіл відносних відхилень (%) норм річного кліматичного стоку за період 2021-2050 рр. (сценарій RCP4.5) у порівнянні із базовими даними (до 1989 р.)

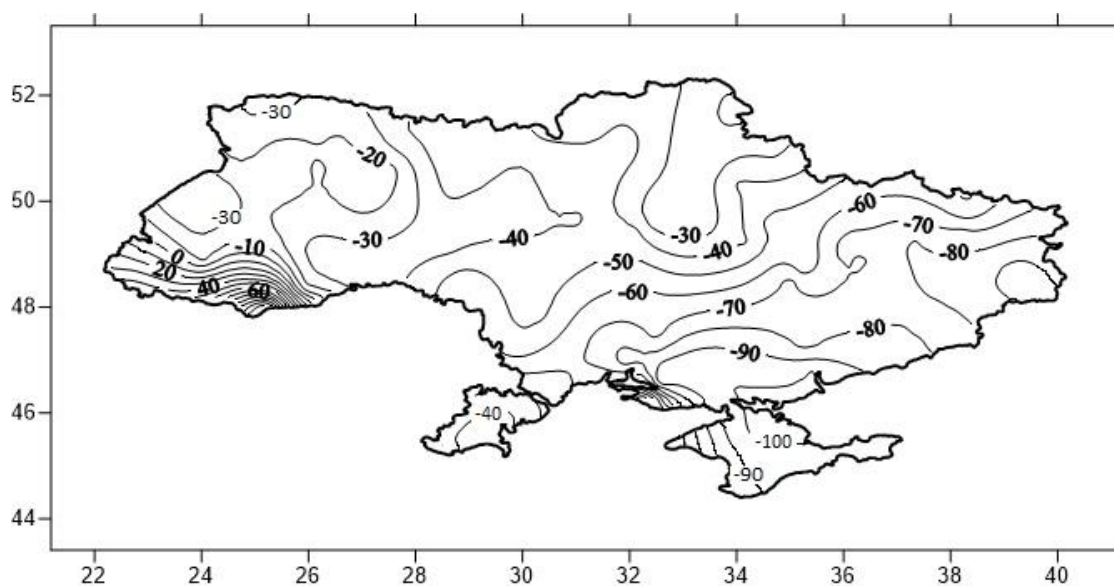


Рисунок 7.6 – Просторовий розподіл відносних відхилень (%) річного кліматичного стоку за період 2021-2050 рр. забезпеченістю 75% (сценарій RCP4.5) у порівнянні із базовими даними (до 1989 р.)

7.4 Оцінка водних ресурсів України XXI сторіччя за сценарієм змін клімату (RCP8.5)

Аналіз змін кліматичних чинників формування стоку у першу половину XXI сторіччя за сценарієм RCP8.5 показав, що по території України ресурси зволоження мають зменшуватися у середньому на 14-15 % (табл. 7.3). Найбільше зниження річних сум опадів очікує східну частину країни і досягатиме -30%. На відміну від попередніх сценаріїв (A1, A2, B1, B2) теплоенергетичні ресурси не будуть суттєво змінюватися (табл.7.4).

Таблиця 7.3 – Зміни ресурсів вологи \bar{X} на території України за сценарієм RCP8.5 у порівнянні із даними до 1989 року

Метеостанція	Опади \bar{X} , мм				
	до 1989 року	2011-2050 рр.	δ , %	2021-2050 рр.	δ , %
1	2	3	4	5	6
Семенівка	700	608	-13,1	622	-11,1
Чернігів	658	572	-13,1	588	-10,6
Любешов	678	578	-14,7	600	-11,5
Головно	685	582	-15,0	600	-12,4
Глухов	661	605	-8,5	620	-6,2
Ковель	690	578	-16,2	599	-13,2
Володимир-Волинський	696	616	-11,5	632	-9,2
Луцьк	682	624	-8,5	646	-5,3
Олевськ	741	626	-15,5	641	-13,5
Коростень	690	571	-17,2	586	-15,1
Ніжин	675	570	-15,6	584	-13,5
Сарни	666	591	-11,3	605	-9,2
Дубно	620	636	2,6	660	6,5
Ромни	625	557	-10,9	570	-8,8
Суми	652	578	-11,3	589	-9,7
Рава-Руська	736	598	-18,8	619	-15,9
Броди	785	654	-16,7	680	-13,4
Рівне	702	616	-12,3	638	-9,1
Новоград-Волинський	660	600	-9,1	614	-7,0
Шепетівка	680	623	-8,4	644	-5,3
Житомир	686	568	-17,2	586	-14,6
Фастів	635	560	-11,8	584	-8,0
Баришівка	656	549	-16,3	567	-13,6
Прилуки	635	547	-13,9	560	-11,8
Гадяч	633	537	-15,2	548	-13,4

Продовження табл. 7.3					
1	2	3	4	5	6
Теребовля	621	596	-4,0	621	0,0
Бережани	760	653	-14,1	677	-10,9
Тернопіль	695	592	-14,8	615	-11,5
Хмельницький	680	585	-14,0	612	-10,0
Білопіль	631	558	-11,6	582	-7,8
Миронівка	611	510	-16,5	530	-13,3
Золотоноша	574	516	-10,1	530	-7,7
Черкаси	570	498	-12,6	514	-9,8
Веселий Подол	559	520	-7,0	533	-4,7
Полтава	600	495	-17,5	506	-15,7
Долина	970	833	-14,1	868	-10,5
Чортків	642	578	-10,0	605	-5,8
Кам'янець-Подільський	640	534	-16,6	562	-12,2
Вінниця	637	560	-12,1	587	-7,8
Умань	606	504	-16,8	526	-13,2
Крижопіль	642	520	-19,0	547	-14,8
Старобельськ	568	485	-14,6	480	-15,5
Кобеляки	580	505	-12,9	515	-11,2
Ужгород	892	998	11,9	1017	14,0
Берегово	735	752	2,3	775	5,4
Коломия	703	665	-5,4	694	-1,3
Селятин	780	817	4,7	845	8,3
Чернівці	740	623	-15,8	659	-10,9
Первомайск	553	469	-15,2	487	-11,9
Кіровоград	580	466	-19,7	486	-16,2
Бобринець	541	452	-16,5	472	-12,8
Затишшя	516	439	-14,9	455	-11,8
Любашівка	540	474	-12,2	492	-8,9
Вознесенськ	507	423	-16,6	444	-12,4
Баштанка	513	434	-15,4	444	-13,5
Пришиб	520	428	-17,7	427	-17,9
Гуляйполе	540	421	-22,0	423	-21,7
Мелітополь	510	296	-42,0	394	-22,7
Лошкарівка	537	436	-18,8	441	-17,9
Волноваха	550	455	-17,3	458	-16,7
Маріуполь	560	421	-24,8	425	-24,1
Красноармійськ	547	461	-15,7	463	-15,4
Одеса аеропорт	476	407	-14,5	418	-12,2
Миколаїв	500	402	-19,6	416	-16,8
Нова Каховка	490	406	-17,1	412	-15,9
Ізмаїл	495	402	-18,8	403	-18,6

Продовження табл. 7.3					
1	2	3	4	5	6
Сарата	482	400	-17,0	407	-15,6
Херсон	485	397	-18,1	406	-16,3
Бехтери	453	410	-9,5	423	-6,6
Асканія-Нова	450	387	-14,0	392	-12,9
Клепиніно	576	368	-36,1	390	-32,3
Харків	630	466	-26,0	474	-24,8
Боходухов	633	521	-17,7	526	-16,9
Губиниха	588	480	-18,4	487	-17,2
Лозова	603	467	-22,6	476	-21,1
Ізюм	593	462	-22,1	469	-20,9
Сватово	566	456	-19,4	449	-20,7
Біловодськ	547	430	-21,4	423	-22,7
Дніпропетровськ	580	454	-21,7	461	-20,5
Синельниково	530	451	-14,9	460	-13,2
Луганськ аеропорт	527	393	-25,4	389	-26,2
Луганськ місто	508	395	-22,2	390	-23,2
Дебальцеве	550	450	-18,2	445	-19,1
Дар'ївка	650	436	-32,9	437	-32,8
Середнє	617	526	-15,7	542	-13,6

Таблиця 7.4 – Зміни ресурсів тепла \bar{E}_m на території України за сценарієм RCP8.5 у порівнянні із даними до 1989 року

Метеостанція	Максимально можливе випаровування \bar{E}_m , мм				
	до 1989 року	2011-2050 рр.	δ , %	2021-2050 рр.	δ , %
1	2	3	4	5	6
Семенівка	747	724	-3,1	738	-1,2
Чернігів	780	759	-2,7	772	-1,0
Любешов	753	749	-0,5	755	0,3
Головно	755	736	-2,5	742	-1,7
Глухов	770	725	-5,8	739	-4,0
Ковель	760	745	-2,0	750	-1,3
Володимир-Волинський	749	737	-1,6	743	-0,8
Луцьк	758	737	-2,8	743	-2,0
Олевськ	720	729	1,3	736	2,2
Коростень	750	748	-0,3	758	1,1
Ніжин	794	781	-1,6	794	0,0
Сарни	764	751	-1,7	757	-0,9

Продовження табл. 7.4					
1	2	3	4	5	6
Дубно	760	733	-3,6	740	-2,6
Ромни	805	773	-4,0	786	-2,4
Суми	800	770	-3,8	785	-1,9
Рава-Руська	725	720	-0,7	725	0,0
Броди	750	736	-1,9	742	-1,1
Рівне	749	742	-0,9	749	0,0
Новоград-Волинський	730	741	1,5	749	2,6
Шепетівка	745	732	-1,7	739	-0,8
Житомир	775	750	-3,2	759	-2,1
Фастів	785	772	-1,7	782	-0,4
Баришівка	810	814	0,5	827	2,1
Прилуки	810	798	-1,5	812	0,2
Гадяч	825	800	-3,0	813	-1,5
Теребовля	750	727	-3,1	733	-2,3
Бережани	730	727	-0,4	733	0,4
Тернопіль	740	701	-5,3	701	-5,3
Хмельницький	752	713	-5,2	719	-4,4
Білопіль	749	756	0,9	766	2,3
Миронівка	835	813	-2,6	823	-1,4
Золотоноша	859	837	-2,6	849	-1,2
Черкаси	860	873	1,5	884	2,8
Веселий Подол	851	849	-0,2	861	1,2
Полтава	862	856	-0,7	870	0,9
Долина	600	603	0,5	609	1,5
Чортків	775	738	-4,8	744	-4,0
Кам"янець-Подільський	818	798	-2,4	803	-1,8
Вінниця	753	760	0,9	769	2,1
Умань	818	811	-0,9	819	0,1
Крижопіль	816	796	-2,5	803	-1,6
Старобельськ	928	844	-9,1	862	-7,1
Кобеляки	895	868	-3,0	881	-1,6
Ужгород	724	765	5,7	771	6,5
Берегово	900	842	-6,4	847	-5,9
Коломия	760	693	-8,8	697	-8,3
Селятин	700	459	-34,4	467	-33,3
Чернівці	804	752	-6,5	756	-6,0
Первомайск	895	882	-1,5	891	-0,4
Кіровоград	865	856	-1,0	867	0,2
Бобринець	898	877	-2,3	887	-1,2
Затишшя	896	904	0,9	912	1,8
Любашівка	869	877	0,9	884	1,7

Продовження табл. 7.4					
1	2	3	4	5	6
Вознесенськ	937	931	-0,6	939	0,2
Баштанка	926	943	1,8	955	3,1
Пришиб	975	959	-1,6	974	-0,1
Гуляйполе	921	926	0,5	942	2,3
Мелітополь	990	994	0,4	1010	2,0
Лошкарівка	955	924	-3,2	939	-1,7
Волноваха	955	910	-4,7	927	-2,9
Маріуполь	990	943	-4,7	955	-3,5
Красноармійськ	921	982	6,6	999	8,5
Одеса аеропорт	946	970	2,5	979	3,5
Миколаїв	990	975	-1,5	986	-0,4
Нова Каховка	1000	993	-0,7	1007	0,7
Ізмаїл	981	1014	3,4	1025	4,5
Сарата	955	970	1,6	980	2,6
Херсон	1000	1000	0,0	1013	1,3
Бехтери	1020	980	-3,9	992	-2,7
Асканія-Нова	1000	1001	0,1	1016	1,6
Клепиніно	975	997	2,3	1013	3,9
Харків	900	861	-4,3	876	-2,7
Боходухов	832	800	-3,8	815	-2,0
Губиниха	897	889	-0,9	904	0,8
Лозова	893	877	-1,8	892	-0,1
Ізюм	903	898	-0,6	915	1,3
Сватово	940	878	-6,6	897	-4,6
Біловодськ	929	895	-3,7	915	-1,5
Дніпропетровськ	910	919	1,0	936	2,9
Синельниково	918	902	-1,7	917	-0,1
Луганськ аеропорт	933	927	-0,6	947	1,5
Луганськ місто	935	943	0,9	963	3,0
Дебальцеве	930	874	-6,0	893	-4,0
Дар'ївка	940	899	-4,4	919	-2,2
Середнє	843	829	$\pm 2,9$	840	$\pm 2,5$

Як і для сценарію RCP4.5, за сценарієм RCP8.5 відбуватиметься зростання посушливості клімату на більшості розглядуваної території: переміщення ізолій $\beta_X=0,5$ та $\beta_X=0,8$ до півночі та північного заходу стане ще більш вираженим (рис. 7.7). Цей процес буде обумовлений, головним чином, зменшенням опадів на фоні майже незмінних теплових ресурсів.

Зниження зволоження території України викличе значне зменшення водних ресурсів (рис. 7.8) на всій її рівнинній частині і досягне 30 % на півночі [31], 50 % у Північно-Західному Причорномор'ї [33] та 60 % на

південному сході [36]. На відміну від сценарію RCP4.5, зниження середнього багаторічного річного стоку на північному заході зросте до 30 %, а стоку маловодних років - до 40 % (рис.7.9). Не тільки на півдні, а й на південному сході величини річного кліматичного стоку $Y_{75\%}$ будуть зменшуватися на 90 %.

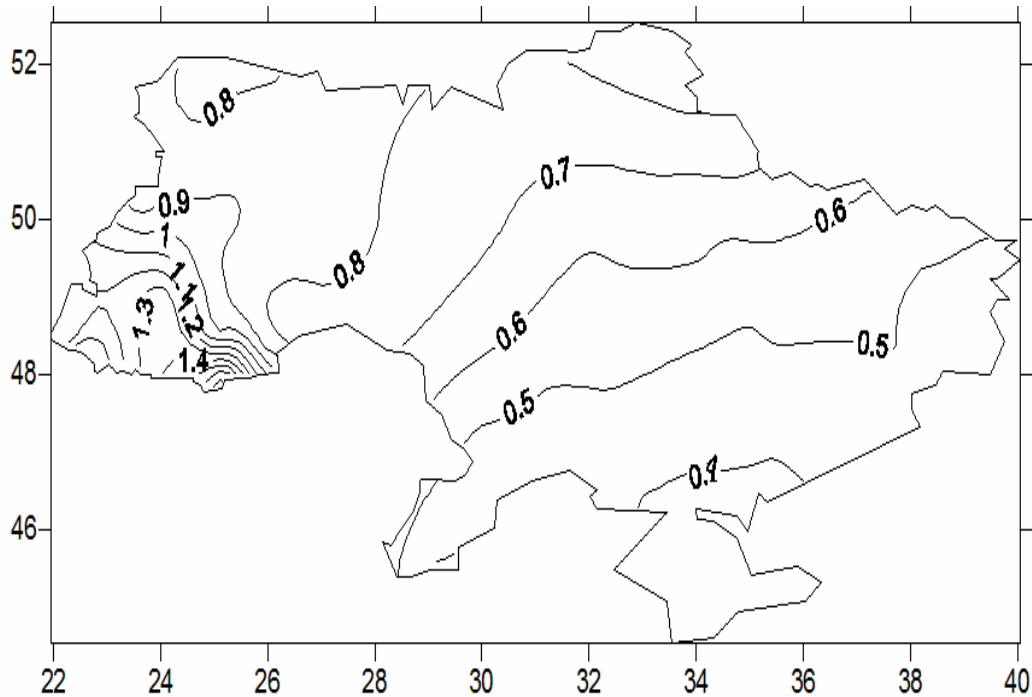


Рис. 7.7 – Просторовий розподіл показника зволоженості β_x , визначеного за даними 2021-2050 рр., сценарій RCP8.5

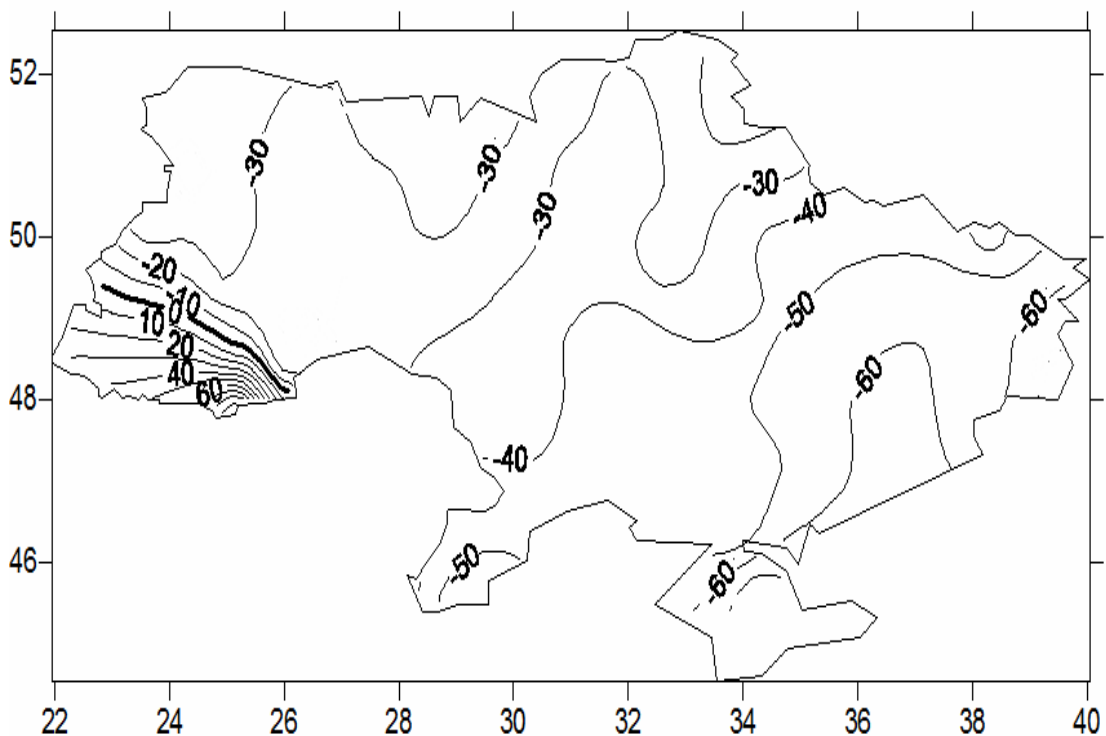


Рисунок 7.8 – Просторовий розподіл відносних відхилень (%) норм річного кліматичного стоку за період 2021-205 рр. (сценарій RCP8.5) у порівнянні із базовими даними (до 1989 р.)

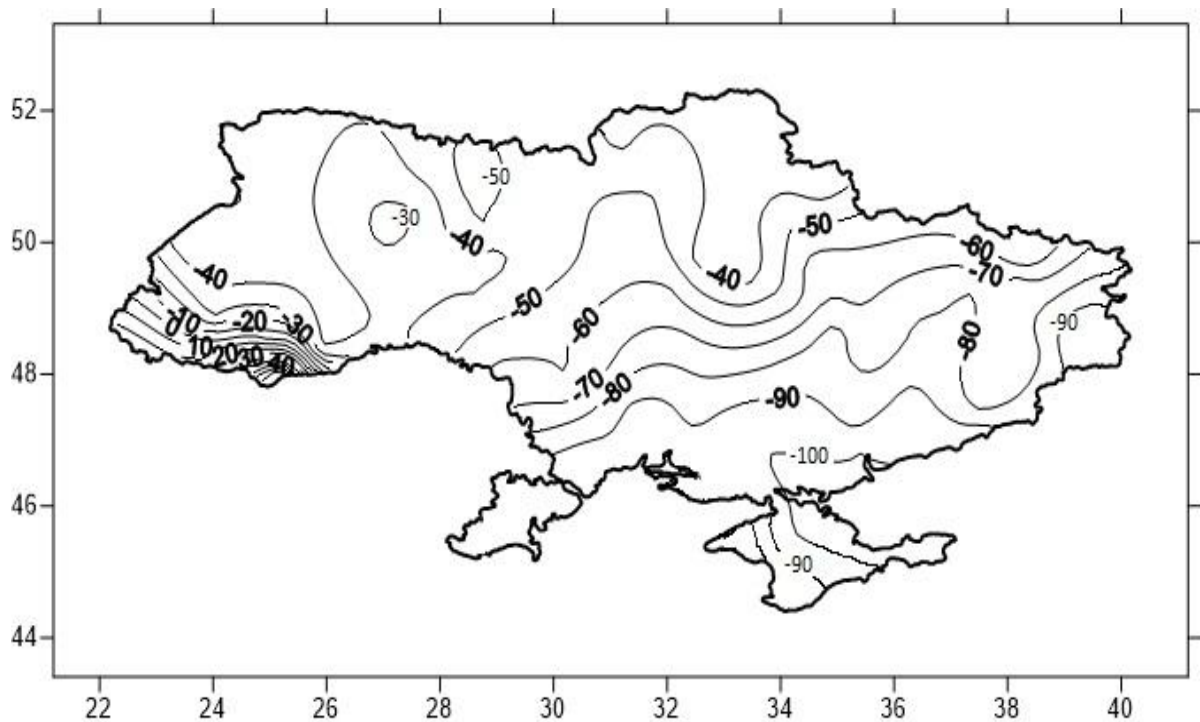


Рисунок 7.9 – Просторовий розподіл відносних відхилень (%) річного кліматичного стоку за період 2021-2050рр. забезпеченістю 75% (сценарій RCP8.5) у порівнянні із базовими даними (до 1989 р.)

7.5 Оцінка кліматичних ризиків у водному господарстві

Зміна клімату та відповідна зміна гідрологічних характеристик спричинює підвищений ризик для навколишнього природного середовища та його невід’ємної складової водних ресурсів. Виявлена у попередніх підрозділах тенденція до зменшення водних ресурсів може суттєво вплинути на стратегію адаптації України до наслідків глобального потепління.

Кліматичний ризик розглядається як добуток від ймовірності появи небезпечного явища на вразливість об’єкту

$$R_{кл.р} = p(H.Я.) \cdot V, \quad (7.16)$$

де $R_{кл.р}$ – кількісний показник кліматичного ризику;

$p(H.Я.)$ – ймовірність появи небезпечного явища;

V – вразливість об’єкту.

У свою чергу, вразливість розглядається як добуток від проценту пошкоджень, пов’язаних із наступом небезпечного явища, на втрати від цих пошкоджень

$$V = \Pi \cdot N, \quad (7.17)$$

де Π – процент пошкоджень;

N – збиток від пошкоджень.

За рекомендаціями ООН зменшення середньої багаторічної величини річного стоку на 10 % супроводжується *значущими змінами* водних ресурсів, зменшення на 50 % означає *руйнування* водних ресурсів, зменшення на 70% має призвести до *безповоротного руйнування* водних ресурсів. Ці цифри, представлені у даній роботі, позначені як Π – процент пошкоджень. Збиток від проценту руйнування та безповоротного руйнування водних ресурсів визначається як $N=N_jF$, де N_j – грошовий вираз для збитків, які припадають на 1 км² площі водозбору або на 1 км довжини річки. Під збитками від зменшення водних ресурсів слід розуміти затрати на відновлення водних ресурсів (необхідність перекиду стоку, розчищення русел річок, створення сховищ для збереження води, необхідність збільшення якості вод за допомогою очисних споруд та інше).

Ймовірність настання таких явищ *руйнування та безповоротне руйнування* водних ресурсів визначалась як відношення кількості випадків, коли розглядуване небезпечне явище спостерігалось, до загальної кількості випадків.

Для сценарію RCP4.5 кількість випадків, коли середня багаторічна величина річного стоку зменшиться більше ніж на 70 % дорівнює 3, більше ніж на 50 % - 21, більш ніж на 10 % - 56, у 7 випадках (головним чином у Закарпатті) відбулося зростання стоку. Отже, ймовірність появи небезпечного явища зменшується по мірі зростання розмірів пошкоджень (табл. 7.5). Найбільший коефіцієнт кліматичного ризику установлений для зменшення водних ресурсів на 50 %.

Таблиця 7.5 – Оцінка кліматичного ризику зменшення водних ресурсів для періоду 2020-2050pp. за сценарієм RCP4.5

p	Пошкодження при зменшенні водних ресурсів, %	Збиток, грн./км ²	Вразливість	Коефіцієнт кліматичного ризику
0,659	-10	N_{10} ,	$10N_{10}$	$6,59N_{10}$
0,247	-50	N_{50}	$50N_{50}$	$12,4N_{50}$
0,0353	-70	N_{70}	$70 N_{70}$	$2,47N_{70}$

Для сценарію RCP8.5 кількість випадків, коли середня багаторічна величина річного стоку зменшиться більше ніж на 70 % дорівнює 3, більше ніж на 50 % - 20, більш ніж на 10 % -57, у 8 випадках (головним чином у Закарпатті та Буковині) відбулося зростання стоку. Як і для сценарію RCP4.5 найбільший кліматичний ризик у сценарії RCP8.5 виникає при зменшенні водних ресурсів на 50 % (табл. 7.6).

Таблиця 7.6 – Оцінка кліматичного ризику зменшення водних ресурсів для періоду 2020-2050рр. за сценарієм RCP8.5

p	Пошкодження при зменшенні водних ресурсів, %	Збиток, грн./км ²	Вразливість	Коефіцієнт кліматичного ризику
0,670	-10	N_{10} ,	$10N_{10}$	$6,70N_{10}$
0,235	-50	N_{50}	$50N_{50}$	$11,74N_{50}$
0,0353	-70	N_{70}	$70 N_{70}$	$2,47N_{70}$

При розгляді річного кліматичного річного стоку маловодних років для всієї території України оцінювалася ймовірність їхнього зменшення стоку до нуля (на 100 %) у порівнянні із даними до 1989р. (табл. 7.7, табл. 7.8).

Таблиця 7.7 – Оцінка кліматичного ризику висихання річок (зменшення річного кліматичного стоку маловодних років на 100%) для періоду 2011-2050рр. за сценарієм RCP4.5

Забезпеченість водності року	p	Пошкодження річного стоку маловодних років, %	Збиток, грн./км ²	Вразливість	Коефіцієнт кліматичного ризику
Маловодний рік $P=75\%$	0,06	-100	N_{100} ,	$100N_{100}$	$6,0N_{10}$
Дуже маловодний рік $P=95\%$	0,30	-100	N_{100}	$100N_{100}$	$30,0N_{50}$
Вкрай маловодний рік $P=99.9\%$	0,25	-100	N_{100}	$100 N_{100}$	$25,0N_{100}$

У маловодні роки 75 % забезпеченості водності така ймовірність мала: p становить 0,06 для сценарію RCP4.5 та 0,13 для сценарію RCP8.5. Відповідно невеликим є і коефіцієнт кліматичного ризику. Найбільша ймовірність пересихання виникає у дуже маловодні роки ($P=95\%$): $p=0.30$ (RCP4.5) та $p=0.32$ (RCP8.5). У вкрай маловодні роки ($P=99.9\%$) ймовірність зменшення річного кліматичного стоку до нуля залишається на тому ж рівні, або дещо знижується. Останнє обумовлене особливостями кривої статистичного розподілу величин стоку у області великих забезпеченостей.

Таблиця 7.8 – Оцінка кліматичного ризику висихання річок (зменшення річного кліматичного стоку маловодних років на 100%) для періоду 2011-2050pp. за сценарієм RCP8.5

Забезпеченість водності року	p	Пошкодження річного стоку маловодних років, %	Збиток, грн./км ²	Вразливість	Коефіцієнт кліматичного ризику
Маловодний рік $P=75\%$	0,13	-100	N_{100} ,	$10N_{10}$	$13,0N_{10}$
Дуже маловодний рік $P=95\%$	0,32	-100	N_{100}	$50N_{100}$	$32,0N_{100}$
Вкрай маловодний рік $P=99.9\%$	0,31	-100	N_{100}	$100 N_{100}$	$31,0N_{100}$

Висновки

Оцінки середніх багаторічних кліматичних чинників та стоку за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 у період 2021-2050 pp. показали, що на відміну від результатів, отриманих нами раніше для сценаріїв A1B та A2 зменшення водних ресурсів України буде відбуватися у межах усієї її рівнинної частини. Тільки у географічній зоні Українських Карпат можливе їх зростання (пов'язане із зменшенням ресурсів тепла з висотою та стабільністю ресурсів зволоження). Особливістю розглянутих сценаріїв є виражене зменшення опадів на фоні незначної зміни максимально можливого випаровування. Майбутнє південних областей країни за всіма розглянутими сценаріями (A1B, A2, B1, B2, RCP4.5 та RCP8.5) прогнозується до 2050 p. майже однаково: їх очікує зменшення водних ресурсів у межах 50-60 %.

У маловодні роки (75 % забезпеченості) на півдні та південному сході можливе зменшення річного стоку до 90 % за обома сценаріями. Вплив наслідків змін клімату зменшуватиметься у західному напрямку.

За рекомендаціями ООН зменшення середньої багаторічної величини річного стоку на 10% супроводжується значущими змінами водних ресурсів, зменшення на 50% означає руйнування водних ресурсів, зменшення на 70 % має призвести до безповоротного руйнування водних ресурсів.

Найбільший ризик від зміни клімату може виникнути при пошкодженні водних ресурсів на 50 % (коефіцієнти кліматичного ризику найбільші у цьому випадку). При розгляді маловодних та дуже маловодних років ризик

зменшення їх стоку до нуля (висихання) зростає у 5 раз.

Отримані результати вказують на необхідність збереження природних умов формування стоку гірської частини р. Дністер, верхів'їв р. Тиси та Пруту, оскільки саме вони найменше підлягають впливу змін клімату і будуть відігравати роль постачальника прісних вод для України. Що стосується таких великих річок як Дунай і Дніпро, то їх води, які формуються за межами України, можуть бути використані для перекиду стоку у південні та східні області України.

ВИСНОВКИ

1. З метою порівняння впливу різного рівня викидів парникових газів на можливі зміни режиму опадів та температури повітря застосовувались дані для двох сценаріїв викидів – RCP4.5 та RCP8.5. RCP визначаються приблизною сумарною величиною радіаційного впливу до 2100 року порівняно з 1750 р.: $4,5 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2}$ для РТК4.5 і $8,5 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2}$ для РТК8.5. Протягом 2021–2050 рр. зміни температурного режиму на території України матимуть нерівномірний характер. Найбільш інтенсивне збільшення середньорічної температури повітря можливе при розвитку сценарію викидів RCP8.5, за якого найбільш різкі зміни температури очікуються на півдні та сході країни. За даними сценарію RCP4.5 прогнозується суттєве зменшення сезонних зимових температур повітря. З іншого боку різких змін в розподілі опадів по території України не очікується. Найбільша кількість опадів в середньому за рік та по сезонам прогнозується для західних областей країни, а найменша – для південних.

2. Надано визначення посухи як комплексного явища, яке формується під дією відповідного температурно-вологісного режиму в умовах певних циркуляційних атмосферних процесів. Проведений аналіз повторюваності посух різної інтенсивності та в різні сезони протягом вегетаційного періоду показав, що за м'яким та жорстким кліматичними сценаріями в Україні протягом 2020-2050 рр. очікується невелике збільшення загальної кількості посух, при цьому відбуватиметься їх перерозподіл у межах теплого сезону. Прогнозується збільшення кількості літньо-осінніх посух та зменшення літніх, особливо за м'яким сценарієм RCP2.6, періодичність яких може досягнути раз на 2-3 роки по всіх областях країни. Окрім того, осередок максимальної повторюваності посух в усі сезони часто прогнозується на північному сході країни та в західних областях, тобто в Лісостеповій зоні, яка в сучасному кліматі не є дуже посушливою. Збільшення відбуватиметься за рахунок, в основному, м'яких посух. В Степу, навпаки, загальна кількість посух майже не змінюватиметься, при цьому зберігатиметься більш висока ймовірність настання сильних та екстремальних посух, ніж в інших агрокліматичних зонах.

3. Виконано контроль вихідних даних, які містять середньодобову швидкість приземного вітру та її складові, а також проведено їх підготовка для введення в обчислювальні програми. Розроблено алгоритми розрахунку небезпечних швидкостей вітру, які необхідні для оцінки екологічних ризиків. Виконано розрахунки статистичних характеристик приземних швидкостей і поривів вітру та швидкостей вітру на висотах 100, 200, 300 м. для 5-ти станцій України за періоди з 2011-2030 рр. та 2031-2050 рр за сценаріями RCP 4.5 и RCP 8.5. На основі отриманих результатів побудовані графіки мінімальних, максимальних та середніх місячних швидкостей приземного вітру за багаторічними значеннями, графіки ймовірностей швидкості і пориву приземного вітру та графіки рози вітрів для різних градацій швидкостей вітру за сценарієм RCP 4.5. Виконано порівняльний аналіз вітрових характеристик, отриманих за різними сценаріями: між

сценаріями RCP 4.5 і RCP 8.5 за періоди з 2011-2030 рр. та 2031-2050 рр та між аналогічними сценаріями A1B і A2 за тіж самі періоди.

4. Досліджено вплив мінливості клімату на характеристик тривалості опалювального періоду (ТОП) за період з 2011 по 2050 роки за сценаріями RCP-4,5 та RCP-8,5. Згідно сценарних даних ТОП на території України до 2050 року зменшується в середньому на 6-8 діб. Найбільш схильним до змін в ТОП: за сценарієм RCP-4,5 – західна Україна; за сценарієм RCP-8,5 – північна Україна. Розподіл ТОП та 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. Аналіз сценарних даних підтвердив збільшення ймовірності виникнення днів з екстремальними температурами, та зменшення періоду між переходом від відносно теплого до більш холодного ОП за кожним із сценаріїв.

5. В роботі було проаналізовано вплив кліматичних змін на режим роботи транспорту уздовж автошляху «Одеса–Вознесенськ–Дніпропетровськ–Харків», який поєднує три траси: регіональну, національну та міжнародну. База даних містила ряди середньодобових значень температури, кількості змішаних або рідких опадів, кількості опадів твердої фази, відносної вологості та швидкості вітру, отриманих за період 2011–2050 рр. за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 для м. Одеса, м. Вознесенськ, м. Дніпропетровськ та м. Харків. Результати дослідження показали, що за обома сценаріями відбувається значне потепління клімату, що супроводжується підвищенням повторюваності днів з екстремально високими температурами, тобто в майбутньому особливу увагу слід приділяти тому, щоб дорожнє покриття витримувало екстремально високі температури. Повторюваність зимових явищ, що погіршують стан дорожнього покриття, таких як ожеледь, снігова суга, сніговий накат та ожеледиця, є досить високою, в м. Дніпропетровськ та м. Харків. В м. Одеса серед зимових явищ частіше, ніж в інших містах, спостерігається ожеледиця. Через збільшення повторюваності зливових опадів в усіх містах досить часто спостерігається «мокре покриття», особливо в травні та червні. В м. Одеса та м. Харків спостерігається досить суттєве збільшення середньої місячної та середньої річної швидкості вітру порівняно з періодом 1961-1990 рр., що свідчить про збільшення повторюваності метеорологічних явищ, які можуть погіршувати ситуацію на дорогах.

6. Досліджено вплив проєкцій майбутніх змін клімату на показники біокліматичного режиму країни. А саме – проаналізовано часову зміну кількості жарких днів в окремі місяці (квітень-жовтень), суми таких днів за всі вказані місяці і за літній сезон за період з 2011 по 2050 роки на чотирьох станціях у різних регіонах України на основі даних по максимальній за добу температурі повітря за двома сценаріями rcp 45 і rcp 85. Крім того, вивчався характер розподілу у часі кількості днів з середньою добовою температурою повітря вище 25 °C у різних регіонах країни також за цими сценаріями.

Виконано порівняльний аналіз здобутих розрахунків за вказаними сценаріями.

Для виявлення особливостей клімату в зв'язку зі змінами клімату на території України застосовані комплексні показники, які відбивають тепловий стан людини, оскільки клімат і погода впливають, насамперед, на термічний режим організму і його функціональну діяльність, яка багато в чому залежить від умов теплообміну з навколишнім середовищем. Визначено, що сприятливий клімат є ключовою складовою для розвитку рекреаційно-туристичної діяльності, а тому наведені приклади, яким чином зміни клімату негативно впливають на цю діяльність у високогірних та прибережних регіонах України.

7. Часовий розподіл сумарної радіації протягом сторіччя на території України має коливальний характер. Базовий період (1986-2005 рр.) відрізняється найменшим фоном сумарної радіації. Згідно сценаріям у першій половині XXI ст. (до 2050 року) не слід очікувати подальше 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.

8. Надана характеристика показників радіаційних ресурсів вегетаційного періоду в розрізі ґрунтово-кліматичних зон: Поліссі, Лісостеповій зоні, Північному та Південному Степу. Отримано оцінки зміни агрокліматичних характеристик температурного режиму за базовий період та сценарний період за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5. Для оцінки були використані наступні показники: дати стійкого переходу температури повітря через 0, 5, 10, 15 °C навесні та восени; тривалість періоду з температурами повітря вище 0, 5, 10, 15 °C; суми позитивних температур повітря за період з температурами вище 0, 5, 10, 15 °C; середня температура повітря січня, липня та їхня амплітуда.

Проведена оцінка зміни агрокліматичних умов вирощування сільськогосподарських культур в умовах зміни клімату та відповідно вплив цих змін на фотосинтетичну продуктивність та формування урожаю озимого жита, ярого ячменю, кукурудзи, соняшника, картоплі, цукрового буряку, винограду. За сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 надано оцінки зміни урожаю в порівнянні з базовим періодом та побудовані карти-схеми розподілу кліматичних ризиків вирощування цих культур з врахуванням зміни клімату.

Так, для ярого ячменю у Поліссі очікується підвищення врожаю за сценарієм *rsp 45* на 17-22 % і становитиме він 35 – 37 ц/га. За сценарієм *rsp 85* підвищення врожаю у першому варіанті очікується до 37 ц/га, тобто на 22 % вище середнього за базовий період, а у другому варіанті підвищення буде відчутнішим і становитиме 41 ц/га, тобто на 29 % вище ніж середній багаторічний. В Західному Лісостепу підвищення врожаю очікується за

сценарієм *rsp 45* в обох варіантах до 43 та 45 ц/га, що вище середнього багаторічного на 30 – 35 % відповідно. За сценарієм *rsp 85* підвищення врожаю в цій зоні очікується до 45 ц/га у першому варіанті та до 49 ц/га у другому, що становитиме на 33 та 39 % вище середнього багаторічного відповідно. В Північному Степу очікуються найбільші прирости врожаїв: до 44 – 47 % більше середнього багаторічного за першим сценарієм та до 54 – 58 % -за другим. В Південному Степу за сценарієм *rsp 45* урожаї збільшаться в обох варіантах відповідно на 10 та 15 % і становитимуть 29 – 31 ц/га. За другим сценарієм в цій зоні урожаї в обох варіантах зростуть відповідно на 28 та 34 % в порівнянні з середнім багаторічним і становитимуть 36 та 39 ц/га відповідно.

Стосовно культури картоплі, за умов реалізації сценаріїв зміни клімату *гср 45* та *гср 85* виконана оцінка впливу зміни клімату на продуктивність картоплі. Встановлені оптимальні агрометеорологічні та агрокліматичні умови, при яких спостерігається максимальна продуктивність посадок картоплі. Проведено порівняння показників фотосинтетичної продуктивності картоплі, за середньо багаторічними даними та за сценаріями зміни клімату *гср 45* та *гср 85*. Проведено порівняння сухої біомаси бульб картоплі за середньо багаторічними даними та за сценаріями зміни клімату *гср 45* та *гср 85*.

9. Виконана оцінка водних ресурсів за моделлю “клімат-стік”, розробленою в ОДЕКУ. Показано, що посушливість клімату буде зростати через зменшення ресурсів зволоження, що призведе до переходу до напіваридного клімату на південній території України. Надано кількісну оцінку можливих змін водних ресурсів території України на 2020-2050 рр. на основі метеорологічних даних кліматичних сценаріїв (RCP8.5) та (RCP4.5).

Установлено, що зменшення водних ресурсів за розглянутими сценаріями буде спостерігатися на всій рівнинній території України: за RCP4.5 зменшення водних ресурсів буде відбуватися від -20% на північному заході до 50% на південному сході; за RCP8.5 – від -30% до -60%. Зростання можливе лише на території Українських Карпат. У маловодні роки (75% забезпеченості) на півдні та південному сході можливе зменшення річного стоку до 90% за обома сценаріями. Найбільший ризик від зміни клімату може виникнути при пошкодженні водних ресурсів на 50% (коефіцієнти кліматичного ризику найбільші у цьому випадку).

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

До розділу 1

1. 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.
2. Степаненко С.М. Динаміка та моделювання клімату: підручник / С.М. Степаненко. – Одеса: Екологія, 2013. – 204 с.
3. van Vuuren 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.
4. 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.
5. Evans J.P. CORDEX – An international climate downscaling initiative / J.P. Evans // 19th International Congress on Modelling and Simulation. – Perth (Australia), 2011. – P. 2705-2711.
6. 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.
7. Physical processes (CY23R4) / P.W. White // Technical report European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF), 2001.
8. HIRLAM-5 Scientific Documentation / P. Undén [et al.] // Technical report Swed. Meteorol. and Hydrol. Inst. – Norrköping, Sweden, 2002.
9. 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).
10. IS-ENES climate4impact portal [Електронний ресурс] // Режим доступу: <http://climate4impact.eu>.
11. Бучинский И.Е. Засухи и суховеи / И.Е. Бучинский. – Л.: Гидрометеиздат, 1976. – 214 с.
12. Клімат України / За ред. В.М. Ліпінського, В.А. Дячука, В.М. Бабіченко. – К.: Вид. Раєвського, 2003. – 343 с.
13. Семёнова И.Г. Оценка пространственно-временного распределения засух на Украине в вегетационный период / Семёнова И.Г. // Труды ГГО им. А.И. Воейкова. – 2014. – Вып. 571. – С. 134-146.
14. Хохлов В.М. Просторово-часова мінливість посух в Східноєвропейському секторі в умовах глобальних змін клімату / В.М. Хохлов, Н.С. Єрмоленко // Український гідрометеорологічний журнал. - 2012. - №11 – С. 128-134.
15. МГЭИК, 2013 г. [Електронний ресурс]: Изменение климата, 2013 г.: Физическая научная основа. Вклад Рабочей группы I в Пятый оценочный

доклад Межправительственной группы экспертов по изменению климата / Под ред. Т.Ф. Стокер [и др.]. – Режим доступу: <http://www.ipcc.ch/report/ar5/index.shtml>.

16. McKee T.B. The relationship of drought frequency and duration to time scales / T.B. McKee, N.J. Doesken, J. Kliest // *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology*. – Anaheim, USA, 1993. – P. 179-184.
17. WMO (2009). Experts agree on a universal drought index to cope with climate risk [Електронний ресурс] // *Press Release*. – 2009. – No. 872. – Режим доступу: http://www.wmo.int/pages/mediacentre/press_releases/pr_872_en.html.
18. Семенова І.Г. Просторово-часовий розподіл посух в Україні в умовах майбутньої зміни клімату / І.Г. Семенова // *Фізична географія та геоморфологія*. – 2015. – Вип. 1 (77). – С. 144-151.

До розділу 2

1. Леонович І.І. Дорожня кліматологія. Минск, БНТУ, 2007. – 340 с.
2. Meteorological services for transportation. WMO Bulletin. Weather-Climate-Water. Vol. 58 (2) - April 2009. p. 80-136.
3. Руководство по специализированному обслуживанию экономики климатической информацией, продукцией и услугами/ Под ред. проф., д.геогр.н. Кобышевой Н.В. – ГУ «ГГО». – Санкт-Петербург, 2009, 334 с.
4. IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex та P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom та New York, NY, USA, 1535 pp.
5. Степаненко С.М. Динаміка та моделювання клімату. ОДЕКУ – РДГМУ, 2012. – 266 с.
6. Кліматичний кадастр України (стандартні кліматичні норми за період 1961–1990 рр.)/ Державна гідрометеорологічна служба та ін. – УНДГМІ – ЦГО, Київ, 2006. Електронний ресурс.
7. Клімат України. За редакцією В.М. Ліпинського, В.А. Дячука, В.М. Бабіченко/ Видавництво Раєвського. – Київ, 2003. – 343 с.
8. Кобышева Н.В., Акентьева Е.М., Галюк Л.П. Климатические риски и адаптация к изменениям и изменчивости климата в технической сфере. – С.-П., 2015, 146 с.
9. Волкова М.А., Чередыко Н.Н., Ивашкова О.А. Особенности формирования и социально-экономические последствия температурных рисков в Томской области. – *Вестник Томского государственного университета*, 2013, № 374, С. 180–187.
10. http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2016/ds/kn/kn_u/kn0716_u.html
11. <http://www.ukrstat.gov.ua/>

12. Государственная служба статистики Украины. Статистический сборник "Регионы Украины". Часть 1-я. Киев 2014. Ответственный за выпуск Н.С. Власенко
13. Дерев'яга О.О., Хоменко І.А. Динаміка хвиль тепла на території України в контексті сучасних змін клімату. Матеріали науково-практичної конференції з підведення підсумків II туру Всеукраїнського конкурсу наукових студентських робіт з напрямку „Гідрометеорологія”, 21-23 березня 2016 р., с. 36–39.
14. Моделирование глобальных климатических изменений в XX_XXIII веках при новых сценариях антропогенных воздействий/ И. И. Мохов, А. В. Елисеев/ Доклады академии наук, 2012, том 443, № 6, с. 732–736;
15. https://en.wikipedia.org/wiki/Representative_Concentration_Pathways;
16. Прикладна кліматологія/ Конспект лекцій за ред. О.О.Врублевська, Г.П.Катеруша- ОДЕКУ; 2005р.; с.-133;

До розділу 3

1. 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>.]
2. Закон України «Про альтернативні джерела енергії». [Електронний ресурс]. – Режим доступу до стор. : <http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/555-15>.]
3. Сокольский А.К. Нетрадиционные и возобновляемые источники -энергии. Учебное пособие. -М.: РГОТУПС, 2006. с 46-69.].
4. 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.]
5. Аналітична записка [Електронний ресурс] // Національний інститут стратегічних досліджень при Президенті України. – Режим доступу: www.niss.gov.ua/articles/1174.
6. Аналіз сучасного стану альтернативної енергетики та рекомендації по екологізації паливноенергетичного комплексу України [Електронний ресурс] // Промислова екологія. – Режим доступу: www.eso.com.ua.
7. Сонячна енергія. Чому це вигідно для України [Електронний ресурс] // – Режим доступу: <http://teplovam.com/index.php/opalennya/4-soniachni-systemy?showall=&start>
8. Сонячна радіація і радіаційний баланс. [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://geografica.net.ua/publ/galuzi_geografiji/meteorologija/
9. Використання сонячної енергії для теплопостачання – перший крок до енергетичної незалежності [Електронний ресурс] // Режим доступу: http://pda.Aratta-ukraine.com/text_ua.php?id=1639
10. Гелету́ха Г. Україна: нетрадиційні та відновлювані джерела енергії /Г. Гелету́ха, С. Кудря // Зелена енергетика.– 2005. – № 2. – С. 8–10.

11. Петрук В. Г. Енергетичний потенціал альтернативної енергетики в Україні / В. Г. Петрук, С. С. Коцюбинська, Д. В. Мацюк // Вісн. Вінниц. політехн. ін-ту. – 2007. – № 4. – С. 90–93.
12. 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.
13. Будівельна кліматологія. ДСТУ-Н Б В. 1.1 –27:2010. – К.: Мінрегіонбуд, 2011 — 123 с.
14. Атлас енергетичного потенціалу нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії в Україні. — К., 2010. — 41 с]
15. Нормативно-правова база альтернативної енергетики.[Електронний ресурс]. – Режим доступу до стор. : <http://www.sae.gov.ua/uk/activity/vidnovlyuvana-enerhetyka/normatyvno-pravova-baza.>]
16. Концепция развития солнечной энергетики в Украине [електронний ресурс] // – Режим доступу: <http://www.gazanet.com.ua/content/view/30/41>
17. Щодо перспектив використання альтернативних джерел енергії на Сході України.. Аналітична записка [електронний ресурс] // – Режим доступу:<http://www.niss.gov.ua/articles/1174>
18. Україна без традиційних джерел енергії: неминучий ризик чи економічна вигода? [електронний ресурс] // Режим доступу: http://www.vgolos.com.ua/articles/ukraina_bez_tradytsiynyh_dzherel_energii_nemynuchyuy_ryzyk_chy_ekonomichna_vygoda_107337.html?print
19. Використання сонячної енергії для теплопостачання – перший крок до енергетичної незалежності[електронний ресурс] // Режим доступу: http://pda.Aratta-ukraine.com/text_ua.php?id=1639
20. 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.
21. 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
22. Дзензерский В. А. Перспективы развития солнечной электроэнергетики в Украине / В. А. Дзензерский // Наука та інновації. – 2007. – Т. 3, № 3. – С.36-42.
23. Коптев Д. А. Перспективы солнечной энергетики в Украине / Д. А. Коптев // Интегрированные технологии та энергосбережения. – 2016. – № 1. – С. 3-6.
24. Кулик Н. Жити під сонцем : [відновлюв. енергетика в Україні] / Н. Кулик // Освіта України. –2015. - 8 черв. – № 23. – С. 12-13.
25. 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

26. Рибченко Л.С., Савчук С.В. Потенціал геліоенергетичних кліматичних ресурсів сонячної радіації в Україні. Український географічний журнал - 2015, № 4 С. 16-23
27. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации М.: Росгидромет, 2014. – 1008 с
28. <https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/grid.cgi?uid=3030> .
29. Рибченко Л.С. Зміна температурного і радіаційного режиму в містах України / Л.С. Рибченко, С.В. Савчук // Укр. географ. журнал. – 2008. – № 2. – С. 14-19.
30. Оцінка впливу кліматичних змін на галузі економіки. За ред. С.М.Степаненка, А.М.Польового. – Одеса: «Екологія», 2011. – 694 с.
31. Клімат України / За ред. В.М. Липінського, В.А. Дячука, В.М. Бабіченко. – К.: Вид-во Раєвського, 2003. – 343 с.
32. Кобышева Н.В, Аксентьева Е.М., Галюк Л.П. Климатические риски и адаптация к изменениям и изменчивости климата в технической сфере. Санкт-Петербург, 2015. – С.-58-71.

До розділу 4

1. Кононова Н.К. Динамика циркуляции атмосферы в XX – начале XXI века. URL: <http://www.atmospheric-circulation.ru> (дата обращения:11.02.2013). 10. Наставление по краткосрочным прогнозам погоды общего назначения. Обнинск : ИГ-СОЦИН, 2009. 62 с.
2. Кононова Н.К. Классификация циркуляционных механизмов Северного полушария по Б.Л. Дзедзеевскому / отв. ред. А.Б. Шмакин. М. :Воентехиниздат, 2009. 372 с.
3. Казаков О.Л. Звіт про науково-дослідну роботу «Кількісні характеристики циркуляційного та турбулентного режиму граничного шару атмосфери Північного причорномор'я для цілей вітроенергетики»./Наук. Кер. Казаков О.Л. – Одеса, 2011 р.
4. Клімат України. Під ред. Липінського В.А. – Київ, 2003.
5. Hegerl G. and Coauthors. Detectability of anthropogenic changes in annual temperature and precipitation extremes // J. Climate. – 2004: – 17. – PP. 3683-3700
6. <http://www.iiasa.ac.at/webapps/tnt/RcpDb>
7. Говоркова В.А., В.М.Катцов, В.П.Мелешко, Т.В.Павлова, И.М. Школьник, 2008: Часть 2. Оценка пригодности моделей СМІР3 для расчетов будущих изменений климата // Метеорология и гидрология. – №8. С. 5-19.
8. Мелешко В.П., В.М.Катцов, В.М.Мирвис, В.А.Говоркова, Т.В.Павлова, 2008б: Климат России в XXI веке. Часть 3. Будущие изменения климата, рассчитанные с помощью ансамбля моделей общей циркуляции атмосферы и океана СМІР3 // Метеорология и гидрология. – №8. С. 5-19.
9. Степаненко С.М. Динаміка та моделювання клімату. Одеса: Екологія, 2013. – 203 с.

10. Гидрометеорологические риски / Л.Н. Карлин [и др.]; под. ред. проф. Л.Н. Карлина. СПб.: Изд-во РГГМУ, 2008. – 282 с.
11. Кобышева Н.В., Галюк Л.П., Панфутова Ю.А. Методика расчета социального и экономического рисков, создаваемых опасными явлениями погоды // Труды ГГО. – 2008. – Вып. 558. – С. 162-171.
12. Быков А.А., Акимов В.А., Фалеев М.И. Нормативно-экономические модели управления риском // Деловой экспресс. – 2004. – Т.1, № 2. – С. 125-137.
13. Кобышева Н.В., Кобышев Е.А. Районирование территории России по степени опасности смерчей // Природные опасности России. Гидрометеорологические опасности. 2001. – Т.5. – С. 165-167.
14. 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.
15. <http://www.myshared.ru/slide/310613/>
16. Панфутова Ю.А. Опасные метеорологические явления и климатические аномалии на территории России. // Труды XII съезда русского географического общества. – С.-Пб., 2005. – Т.5. – 360 с.
17. <http://index.minfin.com.ua/index/gdp/>;
18. <https://ru.wikipedia.org/wiki>
19. <http://news.online.ua/105531/vyplaty-nask-oranta-po-vozmeshcheniyu-ushcherba-ot-stihiynogo-bedstviya-v-zapadnoy-ukraine-mozhet-sostavit-bolee-10-mln-grn/>

До розділу 5

1. Скляр Г.П. Рекреаційно-туристична привабливість регіону: екологічний та інвестиційний аспекти./ Г.П. Скляр, Н.М. Карпенко// Науковий вісник Полтавського університету економіки і торгівлі. – 2012. - № 2 (53). – С. 23-28.
2. Шевченко О.Г. Вплив погодно-кліматичних чинників на туристичну галузь / О.Г. Шевченко// Географія та туризм. – 2012. – Вип. 23. – С. 35-41.
3. Endler Ch., Matzarakis A. Climatic potential for tourism in the Black Forest, Germany// Winter Season Intrnational Journal of Biometeorology . – 2011. - Vol. 55. – 339–351 pp.
4. Фоменко Н.М. Рекреаційні ресурси та курортологія: навч. посіб. / Н.М. Фоменко. – К.: Центр навч. л-ри, 2007. – 312 с.
5. Ветрова Н.М. Рекреационная специализация региона: экологические параметры / Н.М. Ветрова // Экономика и управление. – 2011. – № 3. – С. 21–24.
6. Кузик С.П. Географія туризму: навчальний посібник/ С.П. Кузик. - К.: Знання, 2011. – 271 с.
7. Amiranashvili A.G., Matzarakis A., Kartvelishvili L.G. Tourism climate index in Batumi // Modern problems of using of health resort resources – collection of scientific works of international conference, Sairme, June 10-13. – 2010. – 116-

- 121 pp.
8. Mieczkowski Z. The tourism climate index: A method for evaluating world climates for tourism// *The Canadian Geographer* . – 1985. – Vol. 29. – pp. 220-233.
 9. Endler Ch., Matzarakis A. Climatic potential for tourism in the Black Forest, Germany - winter season// *Intrnational Journal of Biometeorology* . – 2011. - Vol. 55. – 339–351 pp.
 10. Ходаков В.Е. Влияние природно-климатических факторов на социально-экономические и производственные системы/ В.Е. Ходаков, Н.А. Соколова, С.Г. Чёрный – Херсон: Гринь Д.С., 2012. – 354 с.
 11. Гандин Л.С. Объективный анализ метеорологических полей/ Л.С. Гандин. – Л.: Гидрометеиздат, 1963. – 286 с.
 12. Дідух Я.П. Екологічні аспекти глобальних змін клімату: причини, наслідки, дії/ Я.П. Дідух // *Вісник Національної академії наук України*. – 2009. – №2. – С. 33-44.
 13. Середя К. Изменение климата (Украина): ожидания, прогнозы, перспективы/ К. Середя // [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://awsassets.panda.org/downloads/kirill_sereda.pdf
 14. Іванюта С.П. Адаптація до змін в Україні: проблеми і перспективи. Аналітична записка. / С.П. Іванюта// [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.niss.gov.ua/articles/2223>
 15. IS-ENES climate4impact portal// [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <http://climate4impact.eu>
 16. Оцінка впливу кліматичних змін на галузі економіки України: [монографія]/ колектив авт.: С.М. Степаненко, А.М. Польовий, Є.П. Школьник та ін.; за ред. С.М. Степаненка, А.М. Польового. – Одеса: Екологія, 2011. – 696 с.
 17. Бейдик О.О. Рекреаційно-туристські ресурси України: методологія та методика аналізу, термінологія, районування: монографія/ О.О. Бейдик. – К.: ВПЦ «Київський університет», 2001. – 395 с.
 18. Climate Change 2007 – The Physical Science Basis. Working Group I Contribution to the Fourth Assessment Report of the IPCC Intergovernmental Panel on Climate Change – Cambridge University Press, 2007. – 994 pp.
 19. **HadCRUT3 annual time series**, Hadley Research Centre, 2008.
 20. Hajat S, O'Connor M, Kosatsky T. Health effects of hot weather: from awareness of risk factors to effective health protection. *Lancet* 2010; 6: 375 (9717): 856–63.
 21. Литвицкий П.Ф. Патофизиология. Т. 1. М.: ГЭОТАР-МЕД, 2003. – 752 с.
 22. Keatinge WR et al. Increased platelet and red cell counts, blood viscosity, and plasma cholesterol level during heat stress, and mortality from coronary and cerebral thrombosis. *Am J Med* 1986, 81: 795–800.
 23. O'Connor M, Kosatsky T. Systematic review: How efficacious and how practical are personal health protection measures recommended to reduce morbidity and mortality during heat episodes? For Ouranos (the Consortium on Regional Climatology and Adaptation to Climate Change) and the National

- Collaborating Centre for Environmental Health (NCCEH) 2008.
24. Page L, Hajat S, Kovats S. Suicide and Homicide in Hot Weather. 19th Conference of the International Society for Environmental Epidemiology. Mexico 2007: 365.
 25. Ревич Б.А. и др. Воздействие высоких температур атмосферного воздуха на здоровье населения в Твери. Гигиена и санитария. 2005; 2: 20–4.
 26. Новожилов Г.Н., Ломов О.П. Гигиеническая оценка микроклимата. – Л.: Медицина, 1987.
 27. Губернский Ю.Д., Корневская Е.И. Гигиенические основы кондиционирования микроклимата жилых и общественных зданий. – М.: Медицина, 1978.
 28. Stafoggia M, Forastiere F, Agostini D et al. Vulnerability to heat-related mortality: a multicity, population-based, case-crossover analysis. Epidemiology 2006; 17: 315–23.
 29. Vandentorren S, Bretin P, Zeghnoun A et al. August 2003 heat wave in France: risk factors for death of elderly people living at home. Eur J Public Health 2006; 16: 583–91.
 30. Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://climate2008.igce.ru/v2008/pdf/resume_ob.pdf.
 31. Ильясов Ш.А., Шабает О.Н. Изменение климата и здоровье населения. Вестник КРСУ, № 6. 2003.
 32. Хайнес А., Коватс Р.С., Кемпбелл-Лендрум Д., Корвалан К. Изменение климата и здоровье человека — воздействия, уязвимость и адаптация [Текст] // Труды Всемирной конференции по изменению климата, Москва, 29 сентября–3 октября 2003 г., М.: Новости, 2004. — с. 307–322.
 33. Ревич Б.А. Изменение здоровья населения России в условиях меняющегося климата. Проблемы прогнозирования, 2008- №3- С. 140–150.
 34. INVS (Impact sanitaire de la vague de chaleur d'aout 2003 en France. Bilan et perspectives), 2003. Health impact of the heat wave in August 2003 in France. Institut de Veille Sanitaire, Saint-Maurice, 120 p.
 35. Plan Canicule. Dossier de presentation. Ministere de la Sante et de la protection sociale, 2004. — 46 p.
 36. Smoyer K. E. A comparative analysis of heat waves and associated mortality in St. Louis, Missouri — 1980 and 1995, Int. J. Biometeorol., 1998. No. 1, pp. 44–50.
 37. Ревич Б.А. Волны жары, качество атмосферного воздуха и смертность населения европейской части России летом 2010 г.: результаты предварительной оценки // Экология человека. 2011. № 3.].
 38. Ревич Б.А. Волны жары, качество атмосферного воздуха и смертность населения Европейской части России летом 2010 // Экология человека. 2011. № 7.

- 39.Ревич Б.А., Малеев В.В. Изменения климата и здоровье населения России: анализ ситуации и прогнозные оценки. – М.: ЛЕНАНД, 2010. С.208.
- 40.Medina-Ramon M., Zannobetti A., Cavanagh Dp., and Schwartz J. Modifiers of the effect of extreme temperatures on mortality: A multi-city case-only analysis // Int. Conf. on Environmental Epidemiology and Exposure, ISEE/ISEA (Paris, Sept. 2-6, 2006). – Paris, 2006. – P. 34-39.
- 41.Kalkstein L. S., Smoyer K. E. The impact of climate change on human health: Some international implications//Experiencia. 1993. № 49. P. 469-479.
- 42.McGeehin M. A., Mirabelli M. The potential impacts of climate variability and change on temperature_related morbidity and mortality in the United States//Environmental Health Perspectives. 2001. Vol. 109. Suppl. 2. P. 185—189.
- 43.Обиход А. Человек и жара: оптимизация взаимодействия «Зеркало недели. Украина» №26, 3 августа 2012.
- 44.Ревич Б.А., Шапошников Д.А., Семутникова Е.Г. Климатические условия и качество атмосферного воздуха как факторы риска смертности населения Москвы в 2000-2006 гг. //Медицина труда и промышленная экология. 2009. – С. 29-35.
- 45.Diaz J, Lopez Santiago C (2003). Health impact of thermal extremes in Iberia: analysis and trends. cCASHh Workshop on Vulnerability to Thermal Stresses, 5–7 May, Freiburg, Germany.
- 46.Alberdi et al., 1998 Alberdi JC et al. (1998). Daily mortality in Madrid Community (Spain) 1986–1991: relationship with atmospheric variables. *European Journal of Epidemiology*, 14:571–578.
- 47.Diaz J et al. (2002). Heat waves in Madrid, 1986–1997: effects on the health of the elderly. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 75:163–170.
- 48.Ревич Б.А., Шапошников Д.А. Климатические условия, качество атмосферного воздуха и смертность населения Москвы в 2000-2006 гг.//Климат, качество атмосферного воздуха и здоровье москвичей/Под ред. Б.А.Ревича. – М., 2006. С. 102-141.
- 49.База данных «Здоровье для всех» Европейского бюро ВОЗ в [Периоды сильной жары: угрозы и ответные меры. Серия «Здоровье и глобальное изменение окружающей среды» №2. ВОЗ. 2005. – С.122.
- 50.Клімат України / За ред.В.М. Ліпінського, В.А.Дячука, В.М.Бабіченко. – Київ: Вид. Раєвського, 2003. – 343 с.
- 51.Taiwan. Int. Conf. on Environmental Epidemiology and Exposure, ISEE/ISEA, Paris, 2006, Sept. 2-6. P. 406.
- 52.Гюингла Р.М., Маскаренхас А. Управление в условиях климатических рисков на западе Южной Америки: осуществление успешной информационной системы // Бюллетень ВМО. Женева : Секретариат ВМО, 2009. Т. 58, № 3. С. 188–196.
- 53.Кобышева Н.В., Галюк Л.П., Панфутова Ю.А. Методика расчета социального и экономического рисков, создаваемых опасными явлениями погоды // Труды ГГО. 2008. Вып. 558. С. 162–171.

54. Быков А.А., Акимов В.А., Фалеев М.И. Нормативно-экономические модели управления риском // Деловой экспресс. 2004. Т. 1, № 2. С. 125–137.
55. Кобышева Н.В., Кобышев Е.А. Районирование территории России по степени опасности смерчей // Природные опасности России. Т. 5 : Гидрометеорологические опасности, 2001. С. 165–167.
56. Волкова М.А., Чередыко О.А., Ивашкова О.А. Особенности формирования и социально-экономические последствия температурных рисков в Томской области // Вестник Томского университета. 2013. № 374. С. 180–187.

До розділу 6

1. Оцінка впливу кліматичних змін на галузі економіки України./ За ред.. С.М. Степаненка та А.М. Польового. Одеса.: «Екологія», 2011. – 94 с.
2. Кліматичні зміни та їх вплив на сфери економіки України./ За ред. С.М. Степаненка, А.М. Польового. – Одеса. Вид. «ТЕС», 2015. – 520 с.
3. Антропогенные изменения климата // Под ред. М.И. Будыко. Ю.А. Израэля. –Л.: Гидрометеиздат, 1987. – 405 с.
4. Волощук В.М., Скрипник М.П. Глобальний парниковий ефект і кліматичні умови України. // Вісник АН України. - 1993. - №3. – С. 38-44.
5. Гребенюк Н., Корж Т., Яценко А. Нове про зміну глобального та регіонального клімату в Україні на початку ХХІ ст. // Водне господарство України. – 2002 – № 5-6. – С. 56-62.
6. Глобальные и региональные изменения климата и их природные и социально-экономические последствия / Под ред. В.М. Котлякова. М.: «Геос». – 2000. – 262 с.
7. Тооминг Х.Г. Солнечная радиация и формирование урожая. –Л.: Гидрометеиздат, 1977. – 200 с.
8. Будаговский А.И., Росс Ю.К. Основы количественной теории фотосинтетической деятельности посевов. // В кн.. Фотосинтезирующие системы высокой продуктивности. –М.: Наука, 1966. – С. 51 – 58.
9. Полевой А.Н. Прикладное моделирование и прогнозирование продуктивности посевов. –Л.: Гидрометеиздат, 1988. – 318 с.
10. Польовий А.М. Сільськогосподарська метеорологія. – Одеса. «ТЕС», 2012. – 612с.
11. Авраменко С. Новітні аспекти вирощування жита озимого / С.Авраменко, М. Цехмейструк, О. Глибокий, В.Шелякін // Агробізнес сьогодні, - 2011.- № 17(216). Режим доступу: agro-business.com.ua.
12. Шарифуллин Л.Р. Интенсивная технология возделывания озимой ржи / Л.Р. Шарифуллин, А.Х. Кольцов, Г.С. Марьин. М.: Агропромиздат, 1989.- 128 с.
13. Урбан Э. П. Озимая рожь в Беларуси: селекция, семеноводство, технология возделывания / Э. П. Урбан. – Минск: Беларус навука, 2009. – 269 с.
14. Алпатьев С.М. Водопотребление и режим орошения

- сельскохозяйственных культур / С.М. Алпатыев // Мелиорация на Украине. – Киев: Урожай, 1986. – С. 201-207.
15. Физиология сельскохозяйственных растений/ Том VI, Зернобобовые растения. Многолетние травы. Хлебные злаки (рожь, ячмень, овес, просо) и гречиха// - гл.ред. Б.А. Рудин и др.. – Из-во Московского университета, 1970. – 654 с.
 16. Витченко А. Н. Оценка продуктивности сельскохозяйственных культур для целей рационального природопользования // Почвенно-земельные ресурсы: оценка, устойчивое использование, геоинформационное обеспечение: Материалы междунар. науч.-практич. конф., 6–8 июня 2012 г, г. Минск – Минск, БГУ, 2012., С. 43–45.
 17. Шульгин А.М. и др. Влияние спектрального состава, интенсивности радиации, продолжительности фотопериодов на развитие, рост и морфогенез растений /А.М.Шульгин, Ф.М.Куперман, С.Н. Мерцалова // Вестн. с.-х. науки.-1963, №4.-С.21-33.

До розділу 7

- 1 Вишневецький В.І. Вплив кліматичних змін і господарської діяльності на термічний та льодовий режим річок // Наук. ПраціУкрНДГМІ. – 2002. – Вип.250. – С.190-202.
- 2 Гребінь В.В. Сучасний водний режим річок України (ландшафтно-гідрологічний аналіз). –К.: Ніка-центр, 2010. -316 с.
- 3 Хільчевський В.К., Ромась І.М., Ромась І.М., Гребінь В.В., Шевчук І.О., Чунарьов О.В. Гідролого-гідрохімічна характеристика мінімального стоку річок басейну Дніпра. – К.:Ніка-Центр, 2007.- 184 с.
- 4 Струтинська В.М., Гребінь В.В. Термічний та льодовий режими річок басейну Дніпра з другої половини ХХ століття. – К.:Ніка-Центр, 2010. – 196 с.
- 5 Шакірзанова Ж.Р. Визначення основних факторів весняного водопілля річок лівобережжя Дніпра при довгострокових прогнозах його характеристик // Український гідрометеорологічний журнал. – 2013. – №.16. - С.99-109.
- 6 Гопченко Є.Д., Овчарук В.А., Шакірзанова Ж.Р. Дослідження впливу сучасних змін клімату на характеристики максимального стоку весняного водопілля на річках Полісся // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2010. – Т.3(20). – С. 50-59.
- 7 Дідовець Ю., Сніжко С. Технологія підготовки даних та калібрування чисельної моделі SWIM для довгострокового прогнозування водного стоку річок // Українська географія: сучасні виклики. Зб.наук. праць. – К.: Прінт-Сервіс, 2016. – Т. III. – С.50-52.
- 8 Лялько В., Сахацький О., Жоболак Г. та ін. Оцінка впливу регіональних змін клімату на екосистеми та визначення ризиків їх негативних наслідків з використанням даних дистанційного зондування та наземних

- гідрометеорологічних вимірів // Українська географія: сучасні виклики. Зб.наук. праць. – К.: Прінт-Сервіс, 2016. – Т. III. – С.93-95.
- 9 Книжко С.И., Куприков И.В., Шевченко О.Г., Павельчук Е.М., Дидовец Ю.С. Использование водно-балансовой модели Турка и численной региональной модели REMO для оценки водных ресурсов местного стока в Украине в XXI веке. // Вестник Брянского государственного университета. -2014. - №4(2014). – С.191-201.
 - 10 Coastal Lagoons in Europe: Integrated Water Resource Strategies / Ana I. Lillebø, Per Stalnacke, Geoffrey D. Gooch (Eds). – London: IWA Publishing, 2015. – 256 p.
 - 11 Krysanova, V., Wechsung, F., SWIM (Soil and Water Integrated model) User Manual. - 2000. – 239 p.
 - 12 Гопченко Є.Д., Лобода Н.С. Оцінювання природних водних ресурсів України за методом водно-теплогового балансу // Наук. Праці УкрНДГМІ. – 2001. – Вип.249. – С.106-120.
 - 13 Гопченко Е.Д., Лобода Н.С. Водные ресурсы северо-западного Причерноморья (в естественных и нарушенных хозяйственной деятельностью условиях). – Київ: КНТ. – 2005. – 188 с.
 - 14 Гопченко Є.Д., Лобода Н.С., Овчарук В.А. Гідрологічні розрахунки: підручник. – Одеса: ТЕС, 2014. - 484с.
 - 15 Купріков І., Сніжко С. Прогноз водності басейну р. Тиси на найближчу і середню перспективу в умовах кліматичних змін // Українська географія: сучасні виклики. Зб.наук. праць. – К.: Прінт-Сервіс, 2016. – Т. III. – С.86-88.
 - 16 Сніжко С., Куприков И., Шевченко О. Оценка изменения водного стока рек Украины на основе водно-балансовых моделей // Фізична географія та геоморфологія. – 2012. – Вип.2 (66). – С. 157-161.
 - 17 Гопченко Е.Д., Лобода Н.С. Оценка возможных изменений водных ресурсов Украины в условиях глобального потепления // Гидробиологический журнал. - 2000. - Т.36(3). - С. 67 – 78.
 - 18 Loboda N.S. The assessment of present and future Ukrainian water resources on meteorological evidence // Climate and Water.-1998.-Vol.1.-P.1486-1494.
 - 19 Україна та глобальний парниковий ефект. Книга 2. Вразливість і адаптація екологічних та економічних систем до зміни клімату / За ред. В.В. Васильченко, М.В. Рапцун, І.В. Трофімова. – Київ, 1998. – 208 с.
 - 20 Лобода Н.С. Влияние изменений климата на водные ресурсы Украины (моделирование и прогнозы по данным климатических сценариев) // Глобальные и региональные изменения климата под ред. Шестопалова В.М., Логинова В.Ф.,Осадчего В.И. и др. – К.: Ніка-Центр, 2011. – С. 340-352.
 - 21 Лобода Н.С., Тучковенко Ю.С. Дослідження впливу змін річкового стоку за кліматичними сценаріями на гідроекологічний стан північно-західної частини Чорного моря // Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені ВолодимираГнатюка. Серія:біологія). - 2010. - № 3 (44)– С. 143-145.

- 22 IPCC (2000) Nebojsa Nakicenovic and Rob Swart (Eds.) Special Report In Emissions Scenarios (SRES). - University Press, UK, 2000. – 570 p.
- 23 IPCC (2007) Climate Change 2007: The Physical Science Basis - Summary for Policymakers. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. – Cambridge University Press, 2007. – 996 p.
- 24 Водний режим та гідроекологічні характеристики басейну Куяльницького лиману / Під ред. Н.С. Лободи, Е.Д. Гопченка. – Одеса: ТЕС, 2016. - 332 с.
- 25 Актуальные проблемы лиманов северо-западного Причерноморья / Под ред. Ю.С. Тучковенко, Е.Д. Гопченко. – Одесса:ТЕС, 2012 – 224с.
- 26 Водні ресурси та гідроекологічний стан Тилігульського лиману / Під ред. Ю.С. Тучковенко, Н.С. Лободи. – Одеса: ТЕС, 2014. – 276 с.
- 27 Лобода Н.С., Сербова З.Ф., Божок Ю.В. Вплив змін клімату на водні ресурси України у сучасних та майбутніх умовах (за сценарієм глобального потепління А1В) // Український гідрометеорологічний журнал. – 2014. – Вип. 15. - С.149-159.
- 28 Лобода Н.С., Сербова З.Ф., Божок Ю.В. Оцінка впливу змін клімату на водні ресурси України на основі моделі «клімат-стік» за сценарієм глобального потепління А2 // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2015. – Т.1(36). – С.8-17.
- 29 IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.
- 30 Лобода Н., Божок Ю. Зміни клімату та водних ресурсів України за сценаріями глобального потепління RCP4.5 та RCP8.5 // Українська географія: сучасні виклики. Зб.наук. праць. – К.: Прінт-Сервіс, 2016. – Т. III. – С.89-91.
- 31 Лобода Н.С., Божок Ю.В. Водні ресурси України ХХІ сторіччя за сценаріями змін клімату (RCP8.5 та RCP4.5) // Український гідрометеорологічний журнал. Одеса, ТЕС, №17, 2016. – С. 114-122.
- 32 Лобода Н.С., Божок Ю.В. Можливі зміни водних ресурсів Карпатського регіону у ХХІ сторіччя за сценаріями глобального потепління RCP4.5 та RCP8.5 // Матеріали міжнародної наукової конференції «Від географії до географічного українознавства: еволюція освітньо-наукових ідей та пошуків (до 140-річчя започаткування географії у Чернівецькому національному університеті ім. Ю.Федьковича», 11-13 жовтня 2016 р., м.Чернівці). – С. 163 -164.
- 33 Лобода Н.С., Божок Ю.В. Вплив кліматичних змін на водні ресурси Північно-Західного Причорномор'я у сценарних умовах (RCP8.5 та RCP4.5) // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – Київ, Київський Національний університет імені Тараса Шевченка, Том 2 (41), 2016. – С.48-58.

- 34 Мусієнко М.М., Серебряков В.В., Брайон О.В. Екологія. Охорона природи. Словник-довідник. – К.: Товариство Знання. КОО, 2002.-550 с.
- 35 Хільчевський В.К., Ободовський О.Г., Гребінь В.В. та ін. Загальна гідрологія: підручник.- Київ: ВПЦ “Київський університет”, 2008. -399 с.
- 36 Чеботарев А.И. Гидрологический словарь. – Л.: Гидрометеиздат, 1978. – 308 с.
- 37 Мезенцев В.С., Карнацевич И.В. Увлажненность Западно-Сибирской равнины - Л.: Гидрометеиздат, 1969. - 75с.
- 38 Лобода Н.С. Расчеты и обобщения характеристик годового стока рек Украины в условиях антропогенного влияния: монография. – Одесса: Екологія, 2005. – 208 с.
- 39 Лобода Н.С., Гопченко Є.Д. Стохастичні моделі у гідрологічних розрахунках. - Навчальний посібник.– Одеса: Екологія, 2006. – 200 с.
- 40 Оцінка впливу кліматичних змін на галузі економіки України / Під ред. Степаненко С.М., Польового А.М. – Одеса: Екологія, 2011. – 605 с.
- 41 Степаненко С.М. Динаміка моделювання клімату: піручник. – Одеса: Екологія, 2013. – 204 с.
- 42 Степаненко С.М., Польовий А.М., Лобода Н.С. та ін. Кліматичні зміни та їх вплив на сфери економіки України / За ред. С.М. Степаненка, А.М. Польового. –Одеса: ТЕС, 2015. – 520 с.
- 43 Дж.К.Родда Грани гидрологии: монография. – Л.:Гидрометеиздат, 1987. – Т.2. – 534 с.
- 44 Лобода Н.С., Божок Ю.В. Шляхи визначення можливої гідрологічної посухи за метеорологічними даними в умовах змін клімату для річок північно-західного Причорномор'я // Геополітика та екогеодинаміка регіонів: Науковий журнал – м. Сімферополь, 2014р. – Т.10. – Вип.1 – С. 281-289.