



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union



КЛІМАТИЧНІ РИЗИКИ ФУНКЦІОНУВАННЯ ГАЛУЗЕЙ ЕКОНОМІКИ УКРАЇНИ В УМОВАХ ЗМІНИ КЛІМАТУ

Одеса
ТЕС
2018

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

КЛІМАТИЧНІ РИЗИКИ ФУНКЦІОНУВАННЯ ГАЛУЗЕЙ
ЕКОНОМІКИ УКРАЇНИ
В УМОВАХ ЗМІНИ КЛІМАТУ

*За редакцією доктора фізико-математичних наук,
професора С. М. Степаненка, доктора географічних наук,
професора А. М. Польового*

561975-EPP-1-2015-1-FI-EPPKA2-CBHE-JP

Одеса
ТЕС
2018

УДК 551.58:33
К-49

Друкується за рішенням вченої ради Одеського державного екологічного університету
(протокол № 9 від 26.10. 2018 р.)

Р е ц е н з е н т и:

С. І. Сніжко, доктор географічних наук, професор;

В.П. Карпенко, доктор сільськогосподарських наук, професор

К - 49 Кліматичні ризики функціонування галузей економіки України в умовах зміни клімату: монографія / за ред. С. М. Степаненка, А. М. Польового. Одеський державний екологічний університет. Одеса: ТЕС, 2018. 548 с.
ISBN 978-617-7711-22-2

В монографії розглядаються очікувані зміни клімату згідно з різними сценаріями викидів парникових газів та їх вплив на ефективність роботи різних галузей економіки. Проведено моделювання ризикових ситуацій, виявлення динаміки і частоти повторювання екстремальних гідрометеорологічних явищ та виконана кількісна оцінка кліматичних ризиків в галузях народного господарства України і пов'язаних з ними витрат за різних кліматичних сценаріїв.

Видання підготовлено в рамках проекту 561975-EPP-1-2015-1-FI-EPPKA2-CBHE-JP «Адаптивне навчальне середовище для забезпечення компетенцій в галузі впливу місцевих погодних умов, якості повітря та клімату на економіку та соціум». Підтримка Європейської Комісії видавництва цієї публікації не включає схвалення її змісту, який відображає тільки погляд авторів, і Європейська Комісія не може нести відповідальність за будь-яке використання інформації, що міститься в цьому виданні.

The monograph covers the expected climate change in accordance with diverse scenarios of greenhouse gas emissions, and its impact on the efficiency of various economic sectors in Ukraine. Simulation of risk situations is carried out, the dynamics and iterative frequency of severe weather phenomena is revealed, and a quantitative assessment of climatic risks in the sectors of the national economy of Ukraine and the associated costs are performed under various climatic scenarios.

The publication is made in the framework of the project of 561975-EPP-1-2015-1-FI-EPPKA2-CBHE-JP 'Adaptive Learning Environment for Competence in Economic and Societal Impacts of Local Weather, Air Quality and Climate'. The European Commission support for the production of this publication does not constitute an endorsement of the contents which reflects the views only of the authors, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein.

ISBN 978-617-7711-22-2

© Одеський державний екологічний університет, 2018

ПЕРЕДМОВА

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 і подій, пов'язаних з екстремальними опадами, до підвищення рівня світового океану на 10–88 см, зменшення льодовиків, танення вічної мерзлоти. Більш тепла погода й довготривалі періоди спеки можуть змінити середовище проживання і 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 їх різноспрямованими наслідками. Активна господарська діяльність людини призводить до різкої глобальної зміни кругообігу речовин в біосфері, який фармувався тисячоліттями. 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, які потребують оцінки, аналізу і глибокого вивчення. Вони зумовлені масштабом прямої дії людської діяльності на довкілля. Викиди CO_2 в атмосферу в результаті спалювання органічного палива, вирубування лісів, заміна природних фітоценозів антропогенними, ерозія ґрунтів, різні джерела і багато іншого змінюють, деформують сталий хід природних процесів і, отже, змінюють умови життя і діяльності людей.

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

Особливості географічного положення та різноманіття синоптичних процесів, які зумовлюють погодні умови України і сприяють частому виникненню стихійних гідрометеорологічних явищ, надзвичайно ускладнюють розподіл їх у часі та просторі.

Врахуванню кліматично зумовлених природних ресурсів завжди надавалося великого 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 зумовлених природних ресурсів. Далі слід назвати паливний комплекс – тут в першу чергу важливі термічні ресурси території, які визначають режим опалювання,

роботу вентиляційних пристроїв і холодильних установок. Кліматично зумовлені природні ресурси відіграють помітну роль в енергетичному комплексі, визначаючи такі його компоненти як гідроенергетичні ресурси, вітрові і геліоресурси антропогенні. Важлива роль належить екологічній компоненті кліматично зумовлених природних ресурсів, що відбиває ту їх частину яка впливає на здоров'я і, навпаки, на ризики захворюваності населення. Слід відзначити також водні ресурси, врахування природних ресурсів в будівництві, в плануванні і експлуатації транспортних мереж, туризмі і рекреаційному використанні територій та ін.

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

Якою б не уявлялась картина цього майбутнього розвитку, розуміння цієї ситуації доводить необхідність вирішення проблеми спостережень, досліджень, аналізу і прогнозу зміни кліматично зумовлених природних ресурсів у зв'язку із змінами клімату.

Її вирішення потребує проведення комплексних досліджень, пов'язаних із залученням спеціалістів різних галузей знань: географічних, сільськогосподарських, біолого-грунтових, медико-біологічних, біофізичних, економічних, соціальних і політологічних. Для того, щоб забезпечити науково-обґрунтовану базу для прийняття адекватних рішень в галузі стійкого розвитку суспільства необхідно розробити механізм управління кліматичними ризиками та визначати їх кількісну оцінку.

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

Пропонована монографія є результатом продовження досліджень за впливом змін клімату на галузі економіки України і розробки моделювання ризикових ситуацій, яканується колективом викладачів і учених Одеського державного екологічного університету, співробітників Українського гідрометеорологічного центру, Селекційно-генетичного інституту - Національного центру насіннєзнавства та сортівивчення,

Автори розділів і окремих параграфів: передмова – С.М. Степаненко, А.М. Польовий; розділ 1 – С.М. Степаненко; 1.1, 1.2 – В.М. Хохлов, Н.С. Єрмоленко; 1.3 – І.Г. Семенова; 1.4. – С.М. Степаненко; розділ 2.1–2.3 – І.А. Хоменко; 2.4 – 2.6 – О.В. Волошина; розділ 3 – Г.О. Боровська; розділ 4 – В.Г. Волошин, В.Ю. Куришина; розділ 5 – Г.П. Катеруша, О.В. Катеруша, Т.П. Шаблій; розділ 6 – А.М. Польовий, Л.Ю. Божко, О.В. Шаблій; розділ 7 – А.М. Польовий; 7.1 – В.С. Антоненко, Л.І. Польова; 7.2 – Т.К. Костюкевич,

Н.В. Васалатій, В.Н. Ситов; 7.3– О.Л. Барсукова, Л.Ю. Божко, С.М. Мажура; 7.4 – Т.І. Адаменко; 7.5 – О.Л. Жигайло; 7.6– С.М. Свидерська; 7.7, 7.9 – О.В. Вольвач; 7.8 – В.В. Колосовська, Н.В. Данілова; 7.10–А.В. Толмачова, Н.В. Кирнасівська; 7.11–А.В. Круківська, І. П. Ковальчук; розділ 8 – Н.С. Лобода; післямова – С.М. Степаненко, А.М. Польовий.

Наукове керівництво: С.М. Степаненко, А.М. Польовий.

Підготовка рукопису до друку С.М. Мажура.

Автори висловлюють свою подяку колективам кафедр: метеорології та кліматології, агрометеорології та агроєкології, гідроекології та водних досліджень, колективу науково-дослідної частини за підтримку і допомогу при підготовці рукопису, а також О.Д. Соколенко за редагування рукопису.

1. ПРОЕКЦІЇ ЗМІН МАЙБУТНЬОГО РЕЖИМУ ТЕМПЕРАТУРИ ПОВІТРЯ Й ОПАДІВ В УКРАЇНІ

1.1. СЦЕНАРІЇ ВИКИДІВ ПАРНИКОВИХ ГАЗІВ І ЇХ ВПЛИВ НА ЗМІНИ КЛІМАТУ

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

Діяльність людини змінила і продовжує змінювати поверхню Землі і склад її атмосфери. Деякі з цих змін мають прямий або опосередкований вплив на енергетичний баланс Землі і, таким чином, є чинниками, що впливають на зміну клімату. Радіаційний вплив (РВ) є результатом зміни енергетичного балансу системи Земля як реакції на певні зовнішні фактори, при цьому позитивний РВ веде до потепління, а негативний РВ – до похолодання кліматичної системи. Крім глобального середнього радіаційного й енергетичного впливу, просторовий розподіл і часова еволюція впливу і зворотний кліматичний зв'язок також відіграють значну роль у визначенні можливого впливу різних факторів на клімат. Зміни поверхні суші можуть також впливати на локальний і регіональний клімат за допомогою процесів, які не є радіаційними за своєю природою [8].

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 [8]. Слово репрезентативний означає, що кожна RCP показує лише один з багатьох можливих сценаріїв, які призвели б до визначення конкретних характеристик радіаційного впливу.

Термін траєкторія підкреслює, що розглядаються не тільки рівні довгострокових концентрацій, але також і їх очікувана зміна, побудована в часі для визначення кінцевого результату. В усіх сценаріях RCP атмосферна концентрація CO₂ є вищою за сьогоднішній рівень унаслідок зростання сукупних викидів CO₂ протягом XXI сторіччя.

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

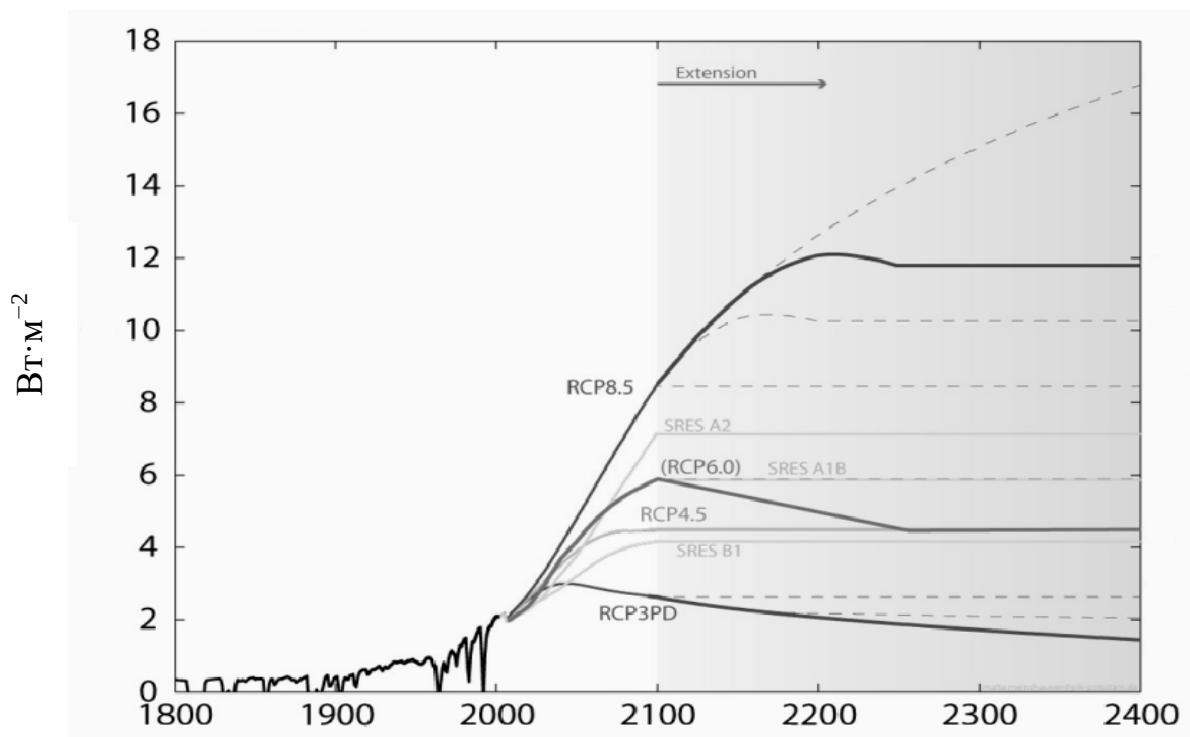


Рис. 1.1. Схематичне зображення радіаційного впливу (товсті лінії – рекомендовані траєкторії, пунктирні – траєкторії з врахуванням додаткових можливостей, визначених за альтернативними правилами) [16]

Таким чином, RCP можуть відображати результати цілого ряду заходів в області клімату в XXI сторіччі в порівнянні з їх відсутністю в Спеціальній доповіді про сценарії викидів (СДСВ), що використовувались в попередніх доповідях з питань зміни клімату [7]. Сценарії СДСВ були розроблені лише з використанням послідовного підходу, іншими словами, із залученням соціально-економічних, демографічних і технологічних факторів, які потім використовувались в простих кліматичних моделях для визначення концентрацій парникових газів.

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

Сценарії RCP ґрунтуються на комбінації комплексних оцінних моделей, простих кліматичних моделей та моделей атмосферної хімії і глобального вуглецевого циклу. Хоча RCP охоплюють широкий діапазон значень сукупних впливів, вони не включають весь спектр викидів, описаних в літературі, особливо що до аерозолів [5, 8].

В цій роботі при моделюванні прогностичних змін режиму температури й опадів використовувались дані експерименту CORDEX – Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment, створеного Всесвітньою програмою досліджень клімату для формування ансамблю прогностичних регіональних кліматичних моделей на всіх континентах в глобальному масштабі. Також CORDEX використовується для проектування клімату в регіональному масштабі, використовуючи статистичні та динамічні методи. Структура проектування клімату в межах CORDEX базується на новому наборі глобальних кліматичних моделей CMIP5. При проектуванні клімату CORDEX зосереджується на експериментах з використанням сценаріїв викидів – RCP4.5 і RCP8.5, які є сценаріями середнього і високого рівня викидів [10, 11].

Для досліджень використовувались дані гідрометеорологічних параметрів, реалізованих в регіональній кліматичній моделі RASMO2. Модель RASMO2 поєднує в собі фізичні схеми, розроблені Європейським центром середньострокових прогнозів погоди (ECMWF) [15], і динамічну основу від моделі HIRLAM [12]. Вона пристосована для використання на льодяних поверхнях і 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 Й ОПАДІВ ЗГІДНО ЗІ СЦЕНАРІЯМИ ВИКИДІВ RCP4.5 І RCP8.5 В УКРАЇНІ ПРОТЯГОМ 2021–2050 РР.

З метою оцінки очікуваних змін клімату в Україні використовувались прогностичні значення температури повітря й опадів згідно двох сценаріїв викидів – RCP4.5 та RCP8.5 протягом періоду 2021–2050 рр. [13].

Як зазначалось раніше, сукупні викиди CO₂ значною мірою визначають глобальні зміни клімату, зокрема збільшення середньої температури повітря. В даній роботі з метою порівняння впливу різного рівня викидів парникових газів на можливі зміни режиму опадів і температури повітря застосовувались дані для двох сценаріїв викидів – RCP4.5 і RCP8.5. За даними лінійного тренда розраховані величини зміни температури повітря й опадів протягом 2010–2050 рр. для території України. Обчислення виконувались для середньорічних значень температури повітря і річної суми опадів, а також для їх сезонних показників. Зокрема, у зв'язку зі збільшенням повторюваності так званих “хвиль” тепла та холоду і екстремальних проявів розподілу температури повітря й опадів, достатньо цікавою є перспектива дослідження саме внутрішньосезонної (літної і зимової) мінливості цих характеристик в залежності від можливого розвитку різних сценаріїв викидів.

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).

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

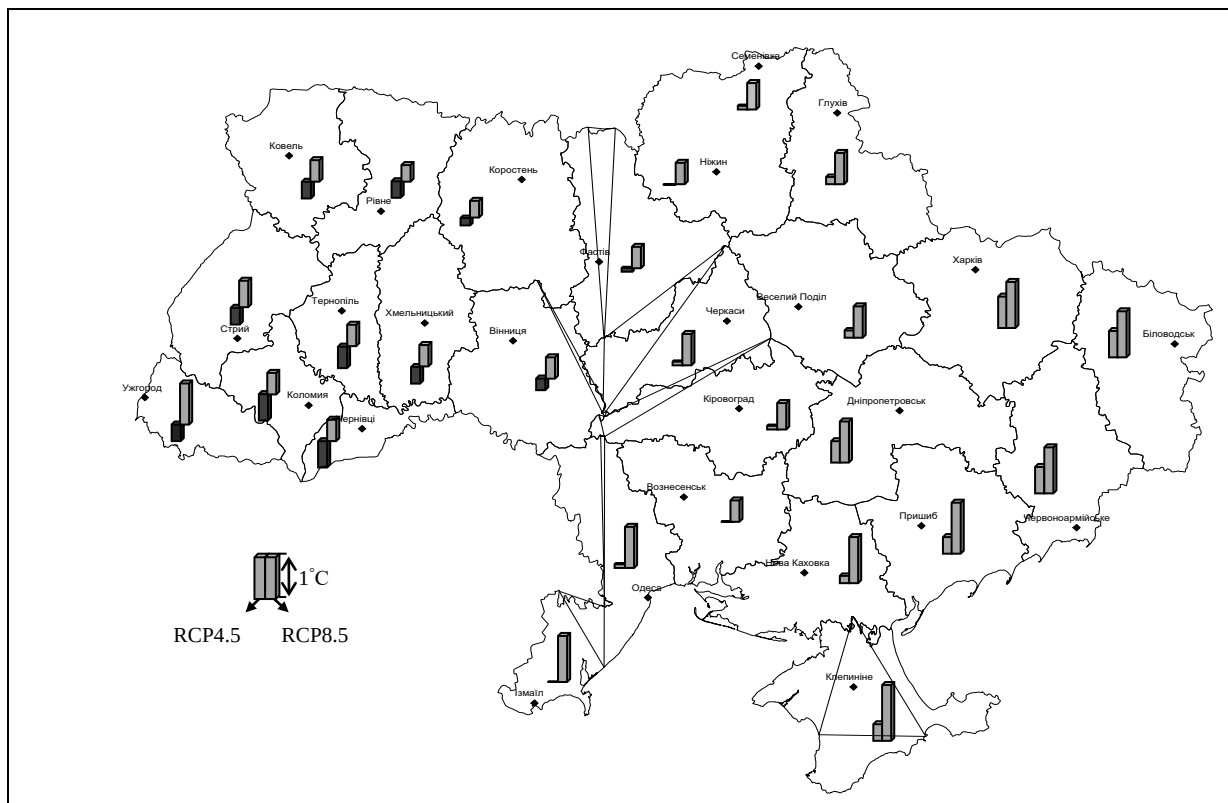


Рис. 1.2. Зміни середньорічної температури повітря в Україні відповідно до лінійних трендів (сірий – додатний тренд, чорний – від’ємний тренд) протягом 2021–2050 рр.

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 і в Закарпатті. При розвитку сценарію RCP8.5 найменші значення середньорічної температури також прогнозуються в зазначених районах, проте її величина досягатиме позначки 7 °С (рис. 1.3).

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

Для літніх температур практично, як і для середньорічних, відзначається їх поступове збільшення. Від’ємний тренд температури

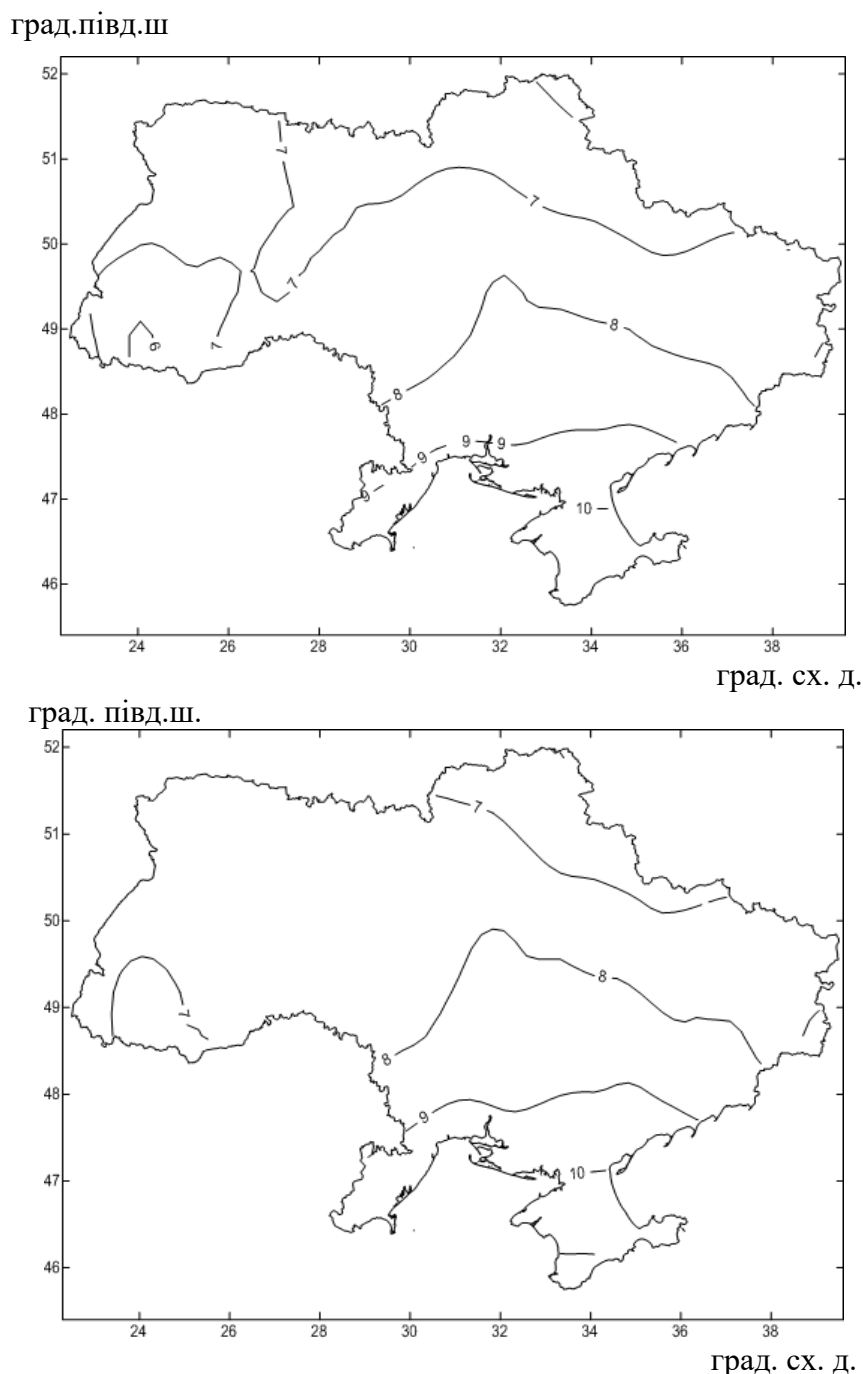


Рис. 1.3. Розподіл середньорічної температури повітря протягом 2021–2050 рр. для сценарію RCP4.5 (зверху) та RCP8.5 (знизу)

фіксується лише в Чернівецькій та Івано-Франківській областях й на півдні Одещини за сценарієм викидів RCP4.5. Для інших областей заходу і центру України очікується збільшення температури повітря в середньому за 30 років на 0,2-0,6 °C згідно з 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 і 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).

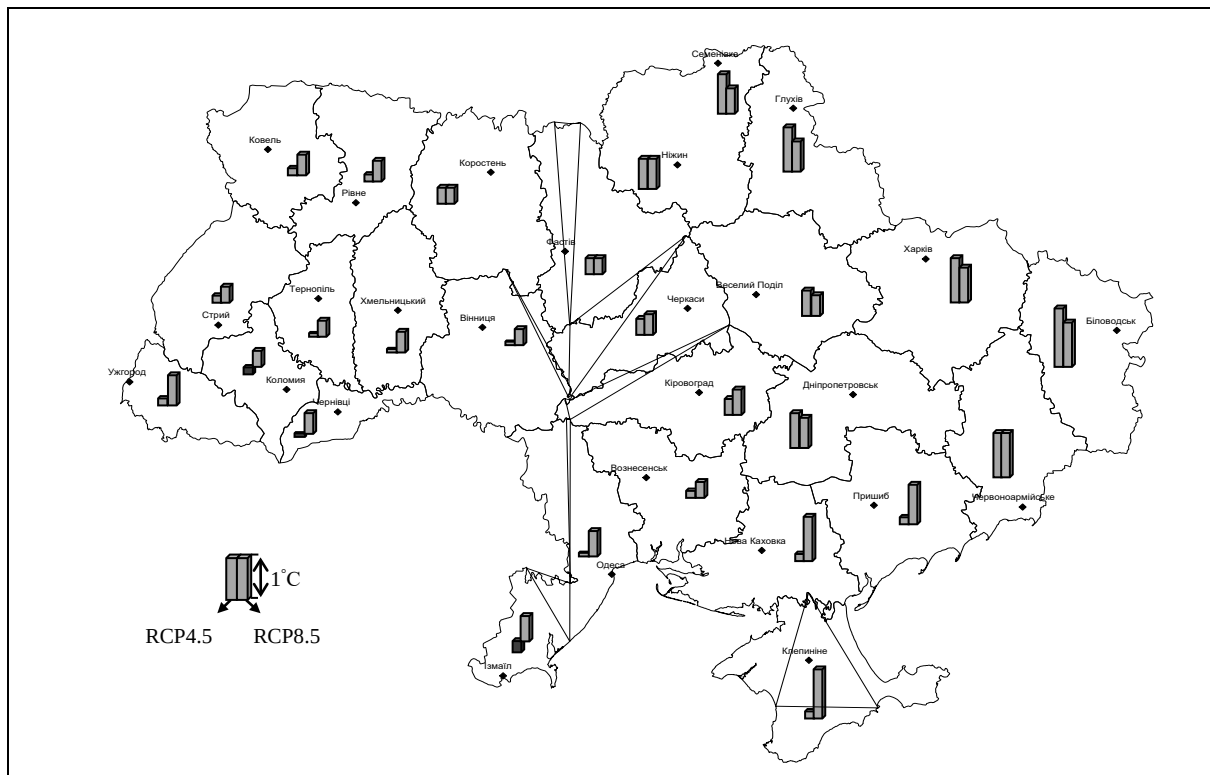


Рис. 1.4. Зміни середньосезонної літньої температури повітря в Україні відповідно до лінійних трендів (сірий – додатний тренд, чорний – від’ємний тренд) протягом 2021–2050 рр.

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

Оскільки за даними сценарію RCP4.5 практично по всій території України протягом 2021–2050 рр. прогнозується інтенсивне зменшення температури, в середньому на понад 2 °C за тридцятиріччя, це може

свідчити про можливе збільшення екстремальності зимових температур і повторюваності “хвиль” холоду.

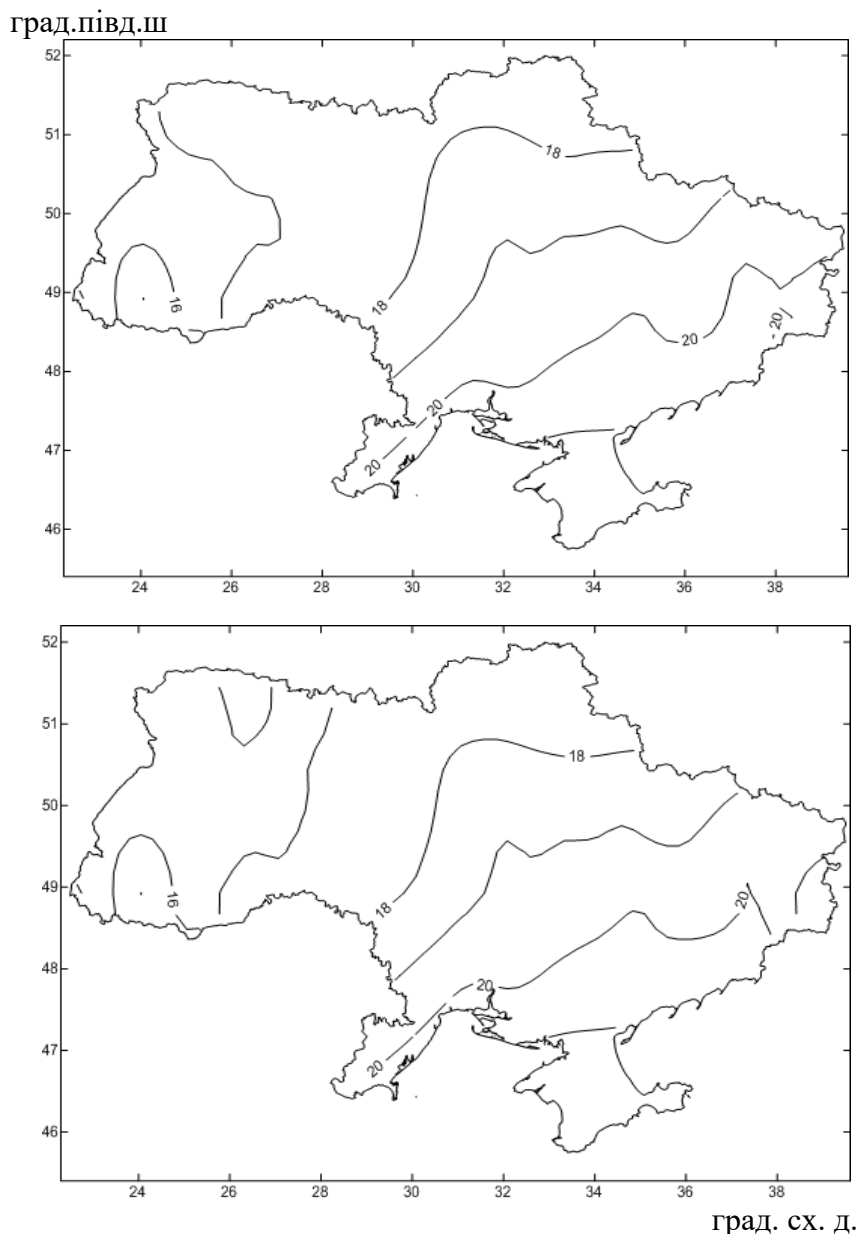


Рис. 1.5. Розподіл середньої температури повітря за літній сезон протягом 2021–2050 рр. для сценарію RCP4.5 (зверху) та RCP8.5 (знизу)

Найбільші значення від’ємного тренда температури очікуються на заході країни. В східних регіонах за даними RCP4.5 різких змін мінливості цієї гідрометеорологічної характеристики в межах періоду дослідження не очікується.

Абсолютно протилежна ситуація прогнозується за умови розвитку сценарію RCP8.5. Над всім простором країни відзначається інтенсивне збільшення зимових температур в середньому на 1,2-1,8 °C. Максимально

різке збільшення (понад 2 °C) відмічається на півдні Одеської області та в Закарпатті (рис. 1.6).

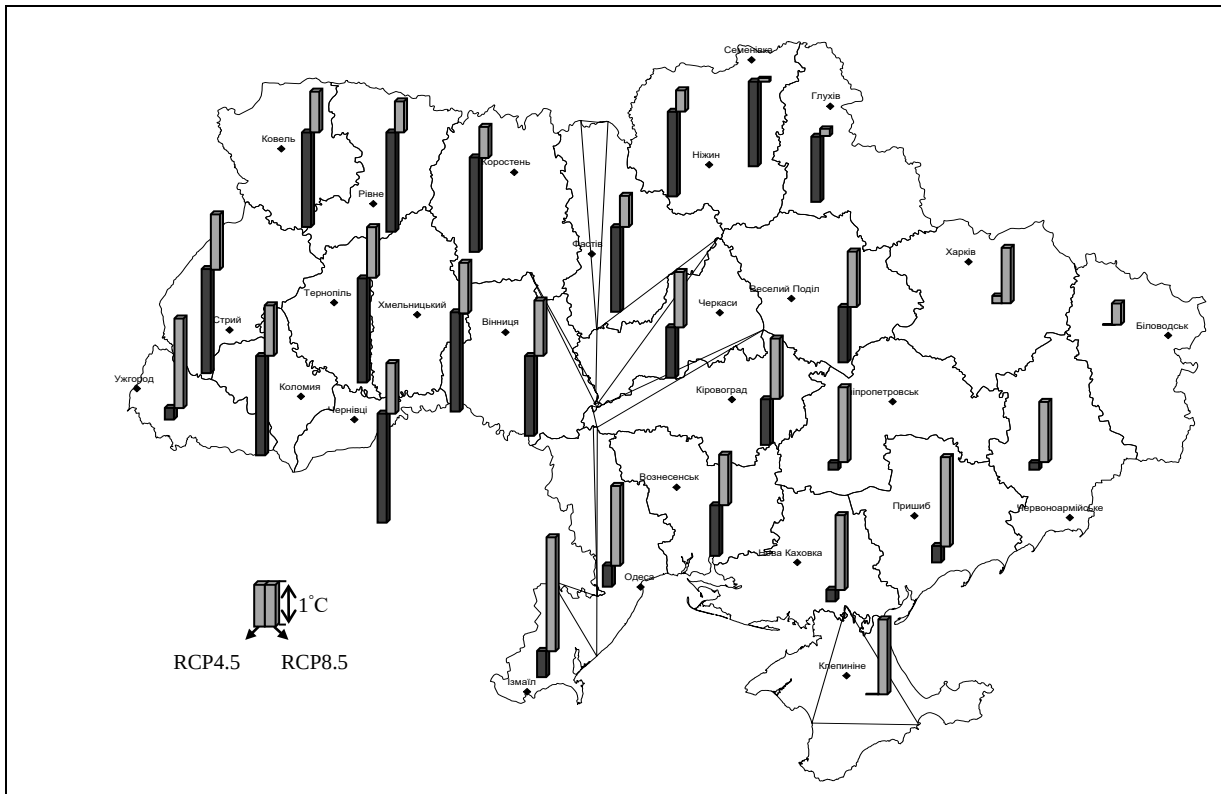


Рис. 1.6. Зміни середньосезонної зимової температури повітря в Україні відповідно до лінійних трендів (сірий – додатний тренд, чорний – від’ємний тренд) протягом 2021–2050 рр.

Просторовий розподіл середньосезонних зимових температур демонструє локалізацію осередків найбільш холодних температур на північному сході країни з поступовим їх підвищення в напрямку південного заходу. В Степовій зоні температури в середньому за зиму коливатимуться в межах від -2°C до 0°C , в Лісостеповій та Поліссі – близько -3°C в середньому за зиму. Цікаво також, що для RCP8.5 ізотерма -4°C в порівнянні з RCP4.5 зміщена на південь, і в цьому випадку осередок найбільш холодних зимових температур обмежується показником -5°C (рис.1.7).

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

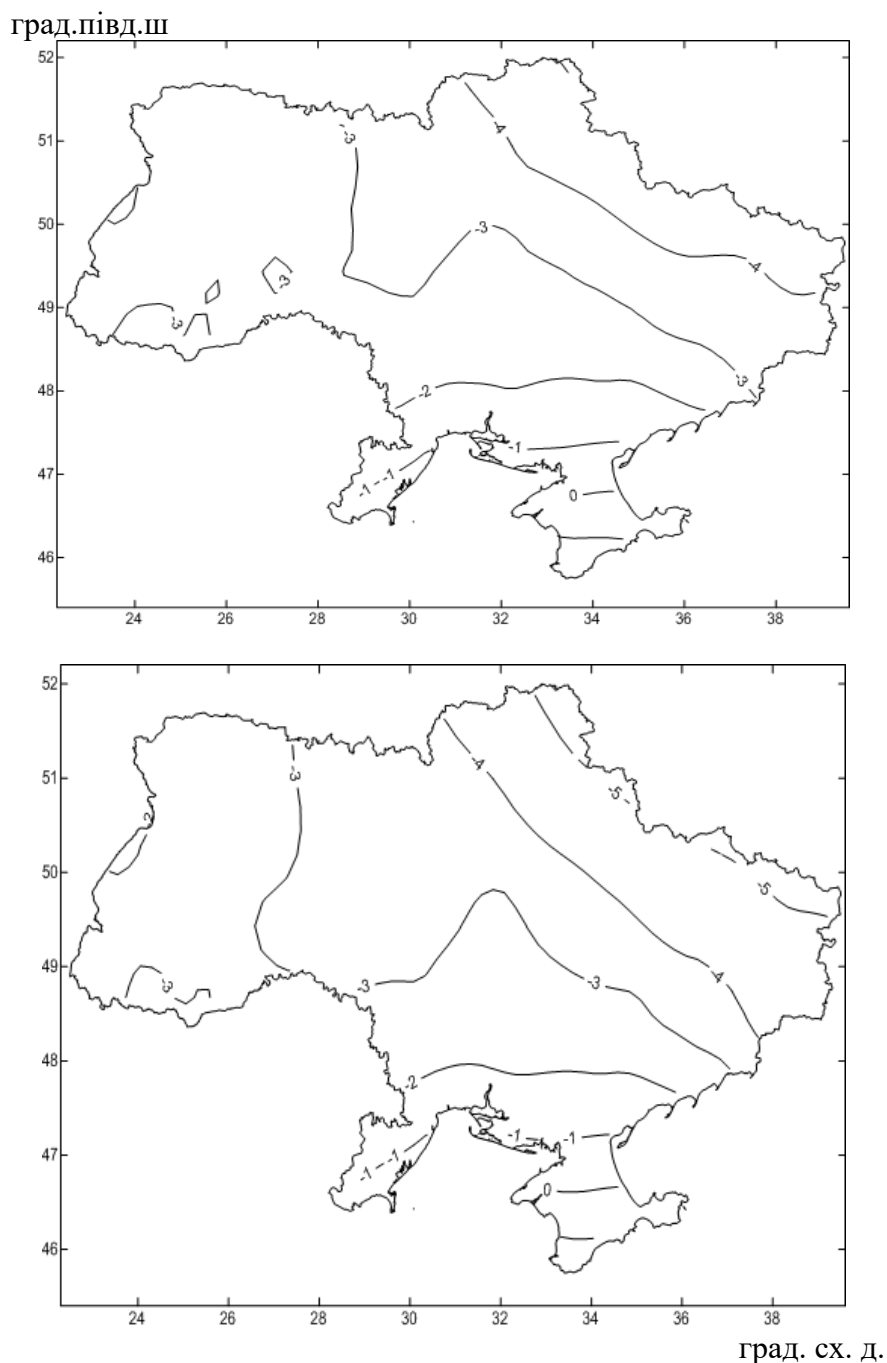


Рис. 1.7. Розподіл середньої за зимовий сезон температури повітря протягом 2021–2050 рр. для сценарію RCP4.5 (зверху) та RCP8.5 (знизу)

Достатньо цікаві результати отримані при вивченні майбутніх змін режиму опадів в Україні в період 2021–2050 рр. Першочергово треба зазначити, що режим опадів на відміну від майбутнього температурного розподілу, очевидно, не буде зазнавати суттєвих змін як залежно від сценарію викидів, так і регіону дослідження. Проте розглянемо загальні тенденції прогнозованих змін просторово-часового розподілу опадів протягом вказаного тридцятиріччя (рис.1.8). Для дослідження величини

зміни очікуваної кількості опадів в середньому за рік і окремо по сезонах за даними лінійного тренда обчислені значення прогностичних відхилень у відсотковому співвідношенні від загальної середньої за період суми опадів за рік і за відповідні літні й зимові сезони.

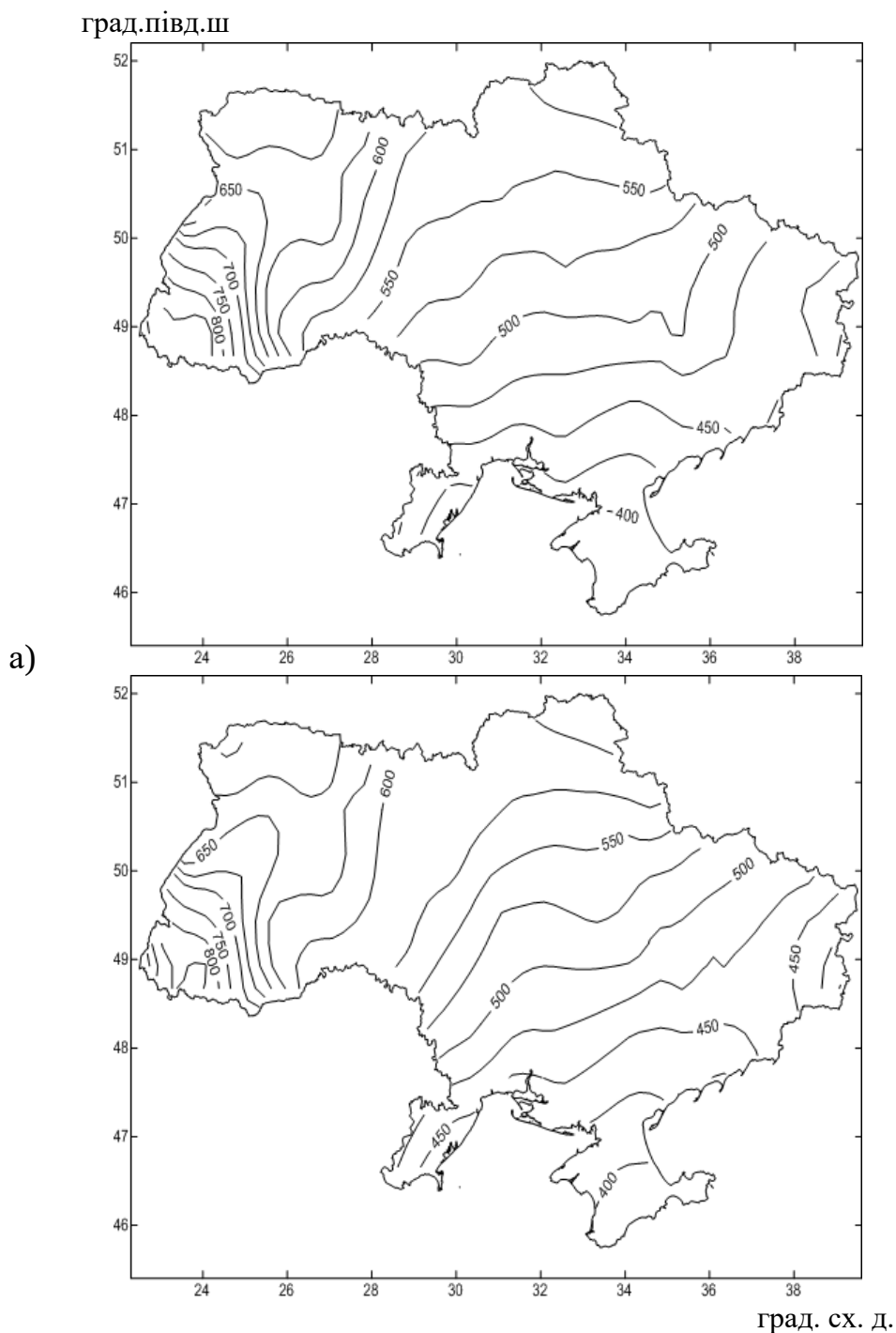


Рис. 1.8. Розподіл річної кількості опадів (а), суми опадів за літній (б) та зимовий (в) сезон протягом 2021–2050 рр. для сценарію RCP4.5 (зверху) та RCP8.5 (знизу), аркуш 1

град.півд.ш

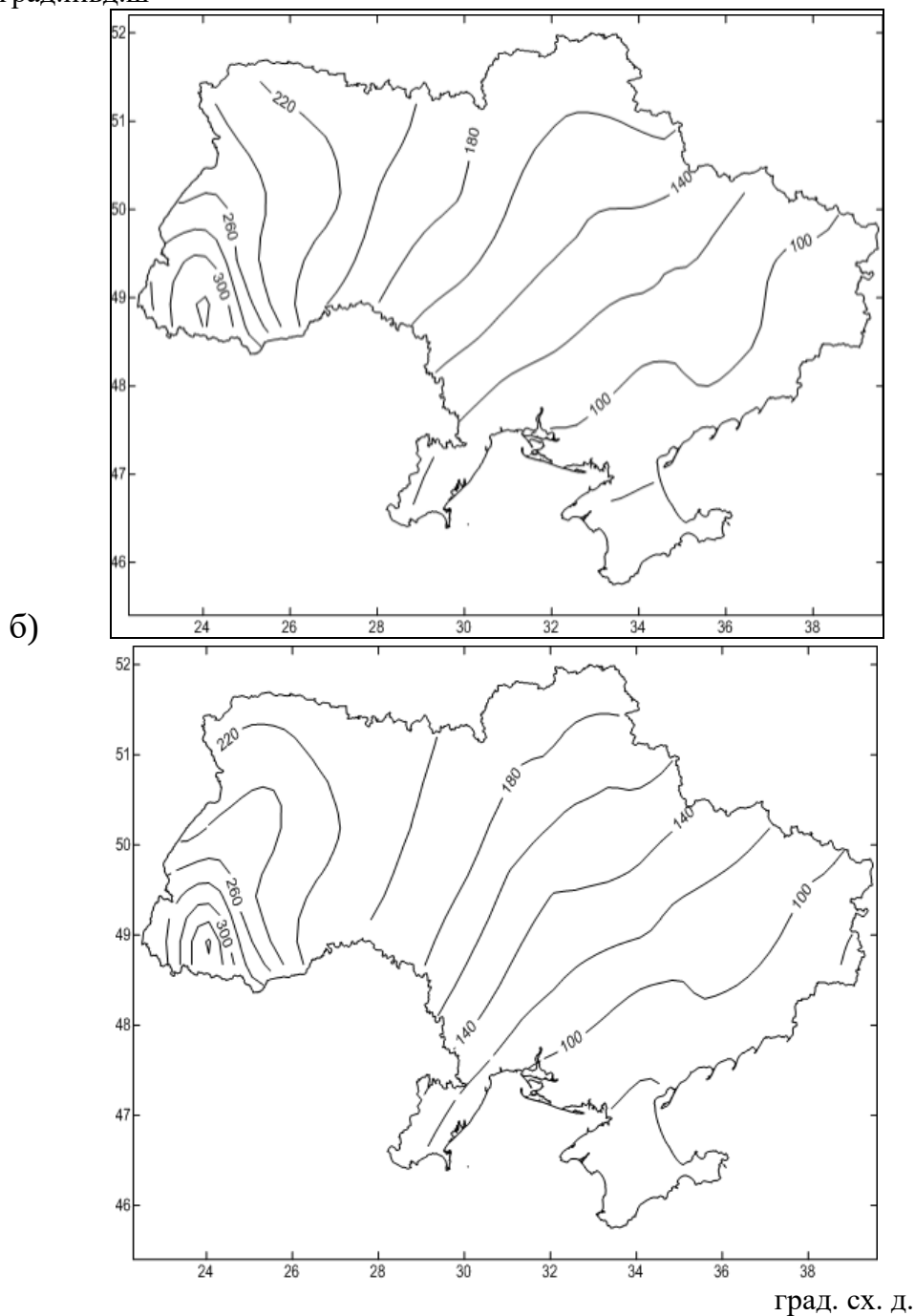


Рис. 1.8, аркуш 2

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 а).

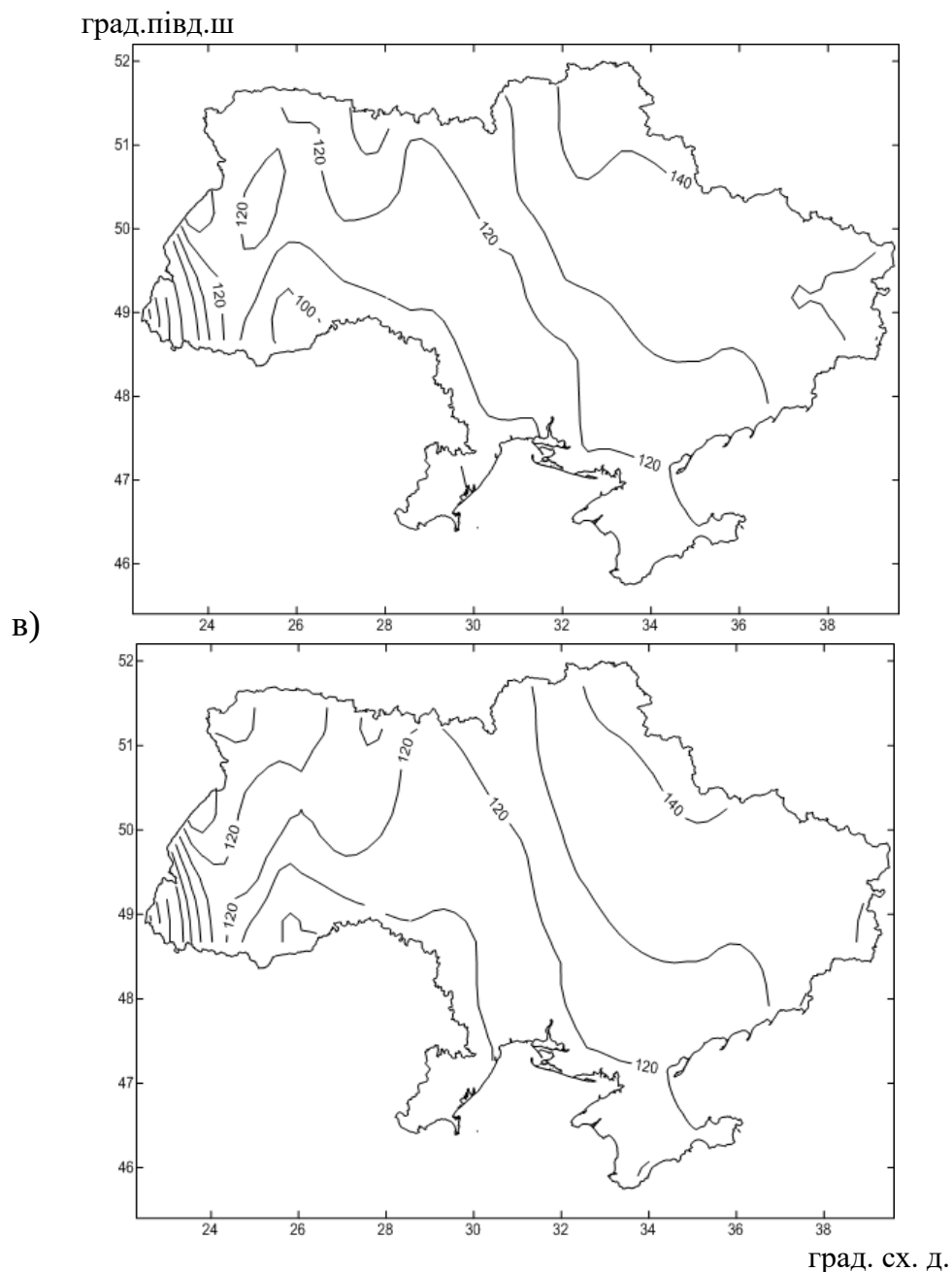


Рис. 1.8, аркуш 3

У випадку сезонних опадів, то просторова структура поля середньої за тридцятирічний період дослідження величини літньої та зимової кількості опадів практично повністю узгоджується з характером поля річних опадів. Варто зауважити, що для літнього сезону найбільша кількість опадів очікується також в західних областях з осередком максимуму понад 300 мм за сезон в Закарпатській області. Мінімальна сума опадів відзначається на півдні та південному сході України. В цих регіонах

показник кількості опадів за літо не перевищує 80 мм, що може свідчити про можливе збільшення повторюваності та інтенсивності літніх посух (рис.1.8 б).

Для зимових опадів 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 в).

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

Встановлено, що за даними RCP4.5 річна сума опадів практично не буде змінюватись, оскільки в більшості регіонів тренд на збільшення не перевищуватиме 0-15 %. А в окремих областях відзначається тенденція до зменшення опадів на 2-8 % (рис. 1.9).

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

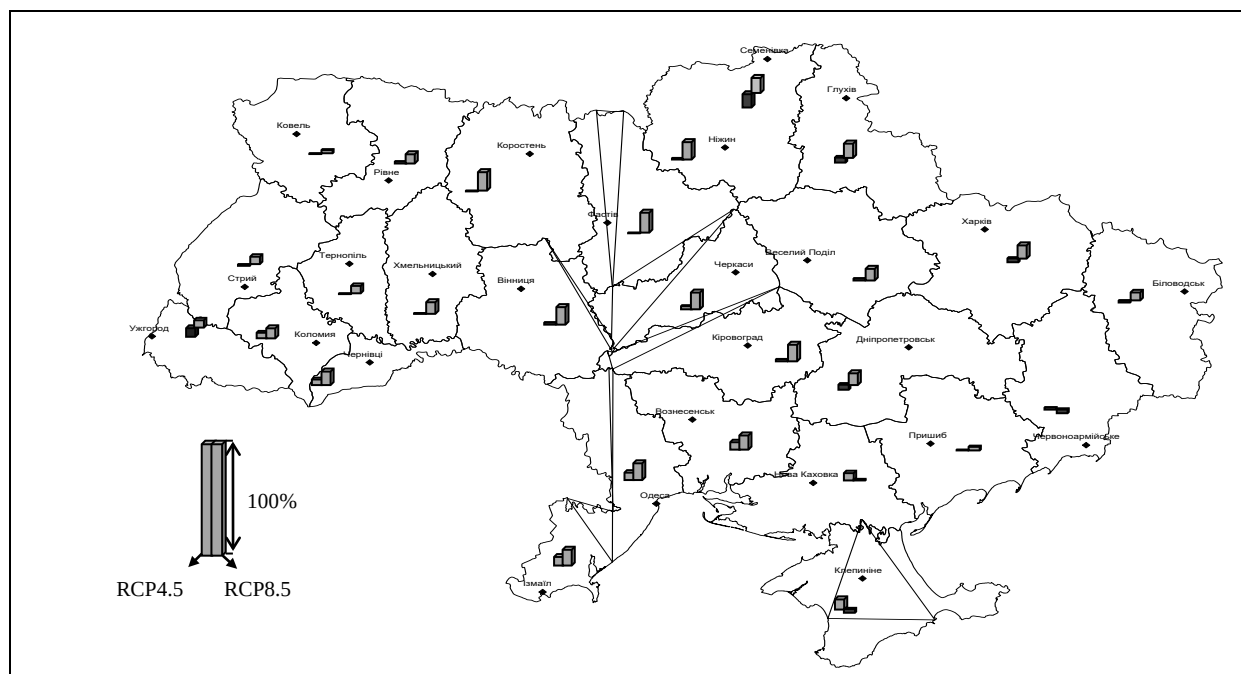


Рис. 1.9. Зміни річної кількості опадів в Україні відповідно до лінійних трендів (сірий – додатний тренд, чорний – від’ємний тренд) протягом 2021–2050 рр.

Для літніх сезонів року згідно з RCP4.5 очікується зменшення кількості опадів на 5-10 % – в західних областях та 15-20 % – в Чернігівській і Сумській областях. Для півдня України за даними цього сценарію прогнозується тренд на збільшення суми опадів за літо на 25-35%, а на півдні Одеської області до 65 %. На решті ж території країни суттєвих змін режиму опадів не прогнозується. За даними сценарію RCP8.5 на всій території України, окрім Закарпатської та Волинської областей, очікується збільшення кількості літніх опадів в середньому на 15-20 %. Практично незмінний режим опадів за вказаним сценарієм можливий на південному сході країни (рис. 1.10).

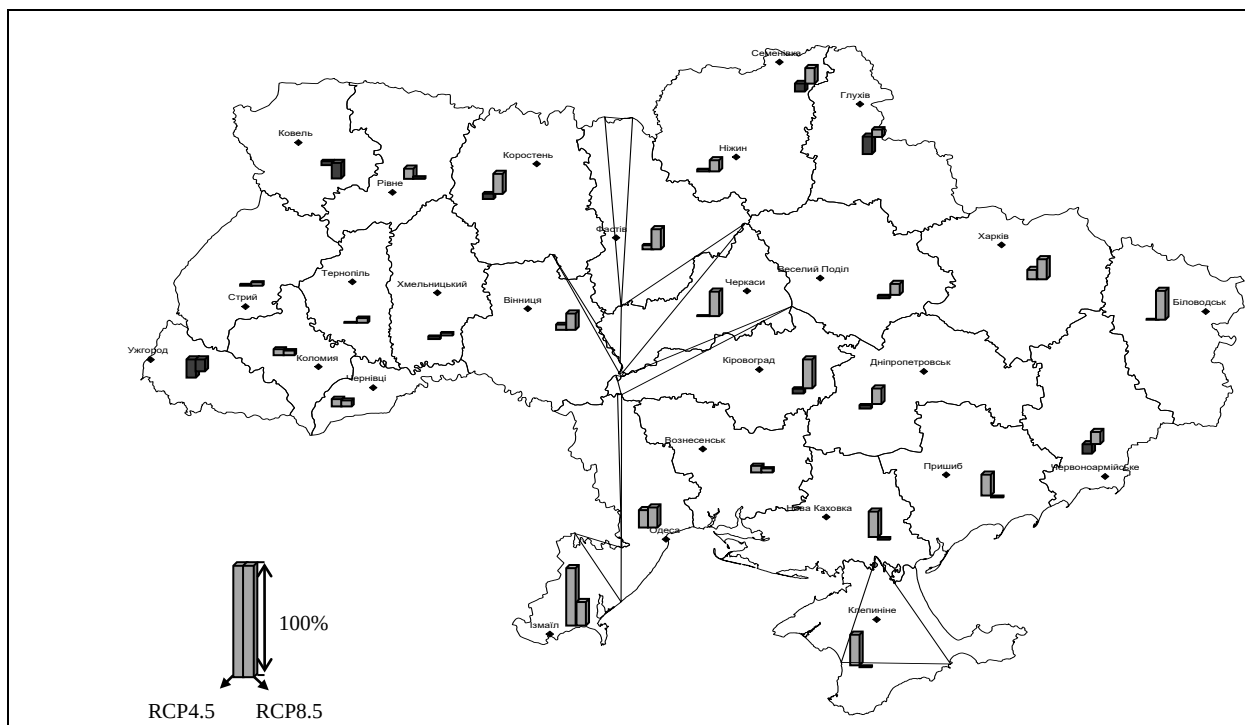


Рис. 1.10. Зміни кількості опадів за літо в Україні відповідно до лінійних трендів (сірий – додатний тренд, чорний – від’ємний тренд) протягом 2021–2050 рр.

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

Деяка інша ситуація можлива у випадку розвитку сценарію викидів RCP8.5. Оскільки в південно-східних областях відзначається від’ємний

тренд зимових опадів за тридцятирічний період дослідження, а в центральних і західних регіонах показник додатної тенденції не перевищує 5-15 % від загальної суми опадів за сезон (рис. 1.11).

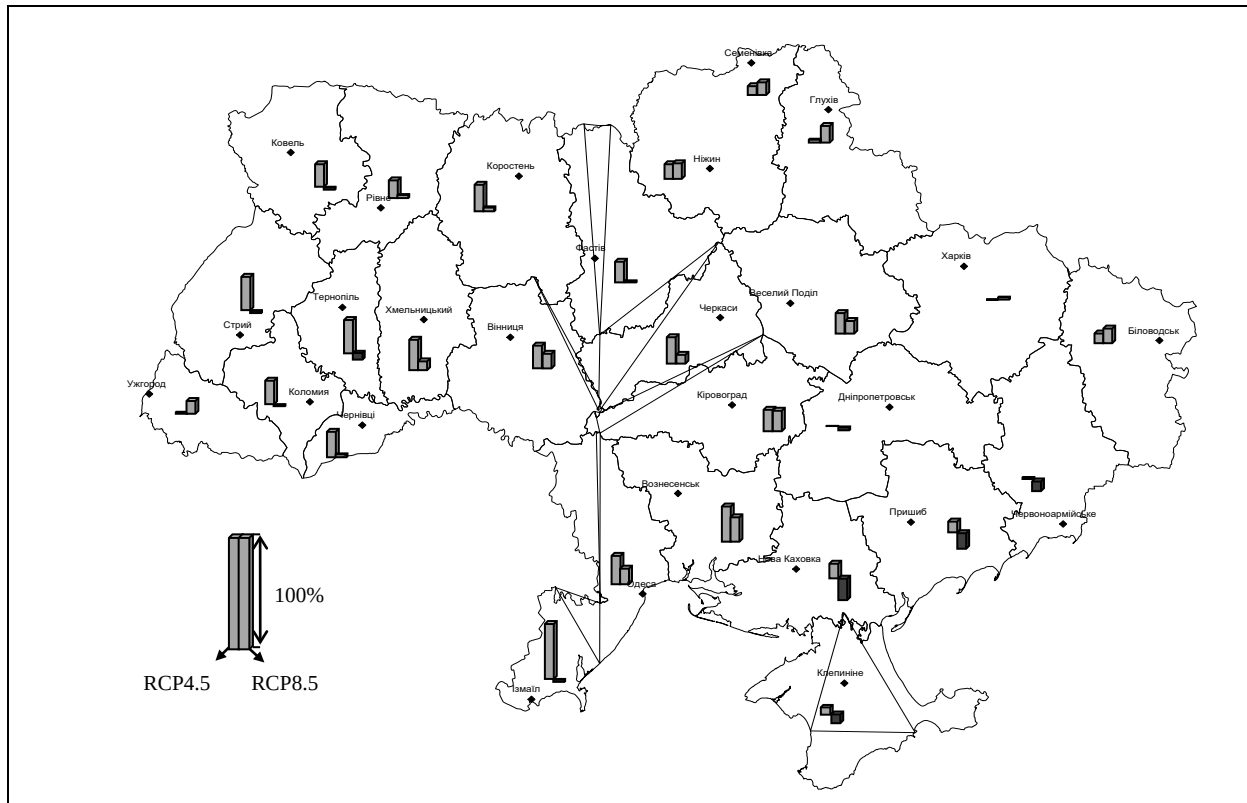


Рис. 1.11. Зміни кількості опадів за зиму в Україні відповідно до лінійних трендів (сірий – додатний тренд, чорний – від’ємний тренд) протягом 2021–2050 рр.

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 сезонах 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.

Агromетeорoлoгiчнi (сeзoннi) пoсухи виникaють нa тeритopії Укpaїни дoстe чacтo у бyдь-який сeзoн вeгeтaцiйнoгo пeрiодy, кoли чeрeз тривaлу нeстaчу aтмocфepних oпaдiв виникae гpyнтoвa пoсухa, щo пoєднyєтьcя з aтмocфepнoю i пeрeхoдить y нaйбiльш нeсприятливy для сiльськoгocпoдapських рoслин зaгaльнy пoсухy [1-2]. Чacтoтa пoяви пoсухи зaзнae пeвних кoливaнь в yмoвaх oкpeмих клiмaтичних пeрiодiв [4, 6]. В сyчacний клiмaтичний пeрiод в Укpaїнi пeрeвaжaють вeснянi тa лiтнi пoсухи, пoвтopювaнiстb oсiннiх дeщo мeншa. Сeрeдня пeрiодичнiстb пoяви пoсух бyдь-якoї iнтeнсивнoстi в кoжнoмy з трьoх сeзoнiв рoкy нaрaзi в Стeпy стaнoвить рaз нa 2-3 рoки, в Лiсoстeпy – рaз нa 4-6 рoкiв, в Пoлiссi – рaз нa 4-9 рoкiв.

Прoгнoзoвaний рoзпoдiл пoсух нa тeритopії Укpaїни пo сeзoнaх в дaнoмy дoслiджeннi визнaчeний нa пeрiод 2020-2050 рр. зa дoпoмoгoю стaндaртизoвaнoгo iндeкcy oпaдiв SPI, зaпpoпoнoвaнoгo y рoбoтaх МaкКi тa iн. [14] i рeкoмeндoвaнoгo ВМO для мoнiтopингy пoсух нaцioнaльними мeтeорoлoгiчними слyжбaми [17].

Рoзрaхyнoк iндeкcy SPI бaзyєтьcя нa викopистaннi чacових рядiв мiсячних сyм oпaдiв. Пpoцeдyрa рoзрaхyнкy включae пeрeтвopєння чacових рядiв oпaдiв iз зaстoсyвaнням гaмa-рoзпoдiлy, a пoтiм нopмyвaння oтpимaних ймoвiрнoстeй y стaндaртизoвaний iндeкc oпaдiв:

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

де G – iнтeгрaльнa фyнкцiя гaмa-рoзпoдiлy; R - кiлькiстb oпaдiв;
 F^{-1} – нopмoвaний гayciв рoзпoдiл.

Iнтeнсивнiстb пoсух визнaчaeтьcя зa вiд'ємними знaчeннями SPI: -0,99...0,00 – м'якa пoсухa, -1,49...-1,00 – пoмiрнa пoсухa, -1,99...-1,50 – сильнa пoсухa, $\leq -2,00$ – eкcтpeмaльнa пoсухa.

В дaнoмy дoслiджeннi iндeкc SPI рoзрaхoвaний з викopистaнням мyльтимoдeльних дaних ППCМ5 (П'ятoї фaзи Пpoєктy пopiвняння спiльних мoдeлeй) пo oпaдaх нa чacових мaштaбaх y тpи мiсяцi (SPI3), якi є хaрaктepними для aгpoмeтeорoлoгiчних пoсух. Oтжe для oцiнки вeснянo-лiтнiх (квiтeнь-чepвeнь) пoсух бyв зятий iндeкc SPI3 зa чepвeнь, для лiтнiх (чepвeнь-сepпeнь) пoсух – зa сepпeнь, для лiтнo-oсiннiх (сepпeнь-жoвтeнь) пoсух – зa жoвтeнь.

Вихiднi пoля мeтeорoлoгiчних вeличин пpeдстaвлeнi мyльтимoдeльними дaними (oсepeднєння пo 32 глoбaльних мoдeлeх ППCМ5) з кpoкoм рeгyлярнoї сiтки 2,5 гpaдyси. Дaнi зятi для двoх

граничних кліматичних сценаріїв у рамках репрезентативних траєкторій концентрацій (RCP) – м'якого RCP2.6 і жорсткого RCP8.5, визначення яких надано у матеріалах ППСМ5 Всесвітньої програми досліджень клімату [8]. Доступ до баз даних ППСМ5 здійснено за допомогою сервісу Climate Explorer (<http://climexp.knmi.nl>).

Згідно з виконаним аналізом просторово-часового розподілу аномалій приземної температури повітря [3], за обома кліматичними сценаріями на території України очікується підвищення температури повітря впродовж тридцяти років: за м'яким сценарієм до кінця періоду температура може підвищитись на 2,1°C, за жорстким сценарієм – на 2,8-3,1 °C відносно базового періоду 1981-2010 рр. Зростання температури буде супроводжуватись переважно збільшенням кількості опадів за жорстким сценарієм і 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). 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 %.

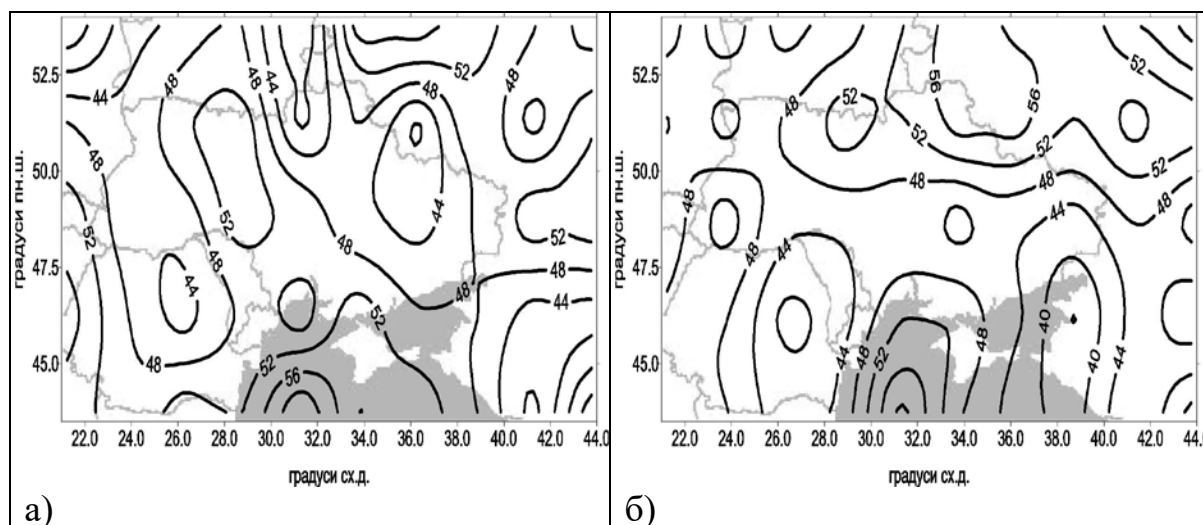


Рис. 1.12. Загальна повторюваність весняно-літніх посух (SPI < 0, %) за сценаріями RCP2.6 (а) та RCP8.5 (б) в період 2020-2050 рр.

М'які весняно-літні посухи переважають в сценарії RCP2.6 – вони прогножуються 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 припадає на центр 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 в районі Карпат і 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 очікується більше, максимальна їх кількість – 4-5 років, 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 припадає на Вінницьку, Черкаську, Одеську, Миколаївську та Кіровоградську області.

Повторюваність екстремальних весняно-літніх посух прогнозується в середньому не більше 1 разу на 31 рік за обома сценаріями (рис. 1.13, г, з). При цьому вони найбільш ймовірні в західних і 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.

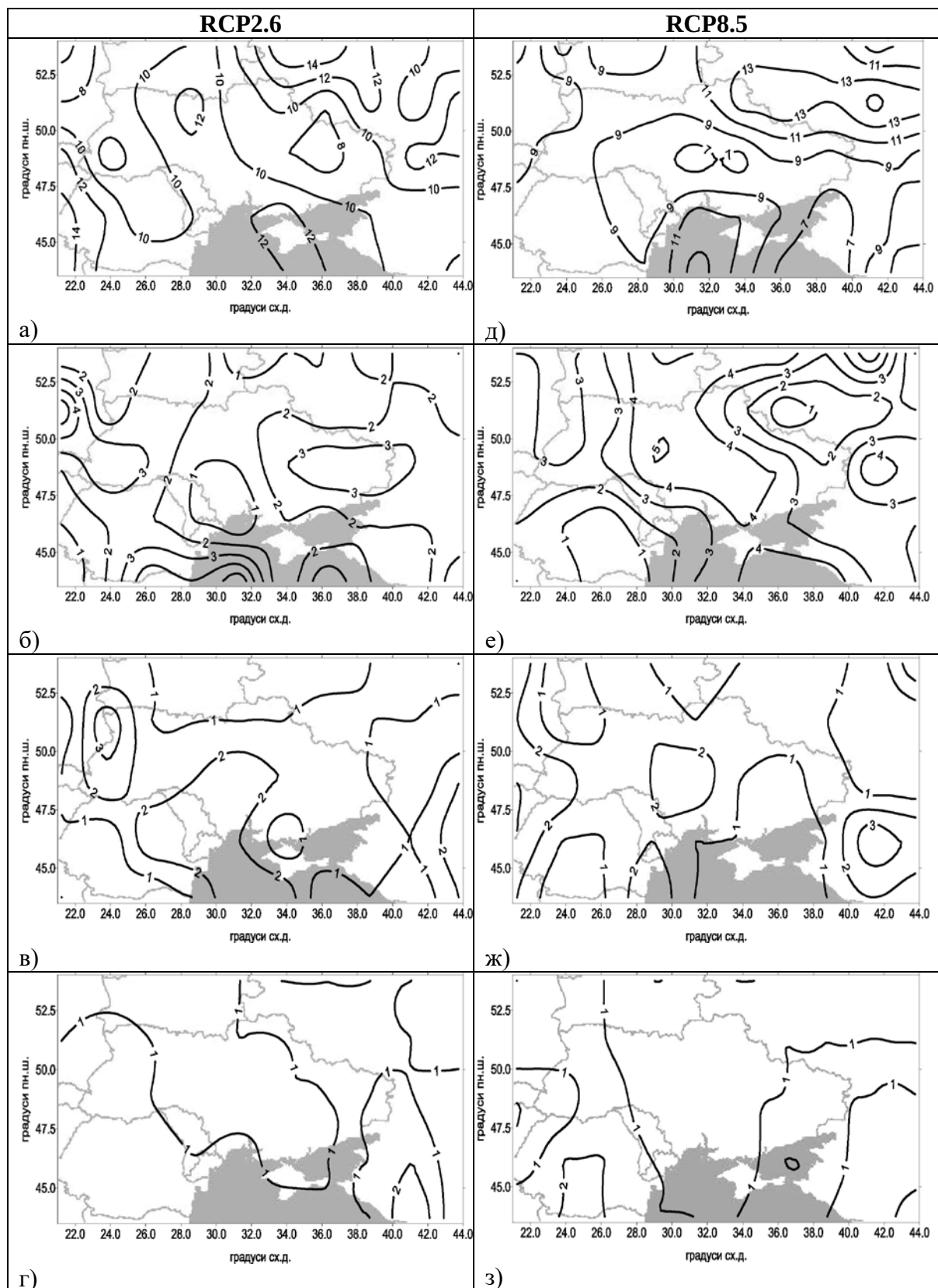


Рис. 1.13. Повторюваність весняно-літніх посух (кількість років) різної інтенсивності за кліматичними сценаріями RCP2.6 та RCP8.5 в період 2020-2050 рр.: (а), (д) – слабкі посухи; (б), (е) – помірні посухи; (в), (ж) – сильні посухи; (г), (з) – екстремальні посухи

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 і східній частинах країни повторюваність не перевищує 48% від всіх років, а в центрі та на півдні формується максимум, де повторюваність посух перевищує 50 %, при цьому найбільш посушливими будуть Херсонська область і західна частина Кримського півострова. Отже 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 становить близько 50%, а на крайньому сході та Буковині –підвищується до 54-56 %. Тобто, за цим сценарієм кожного другого року очікується поява літньої посухи.

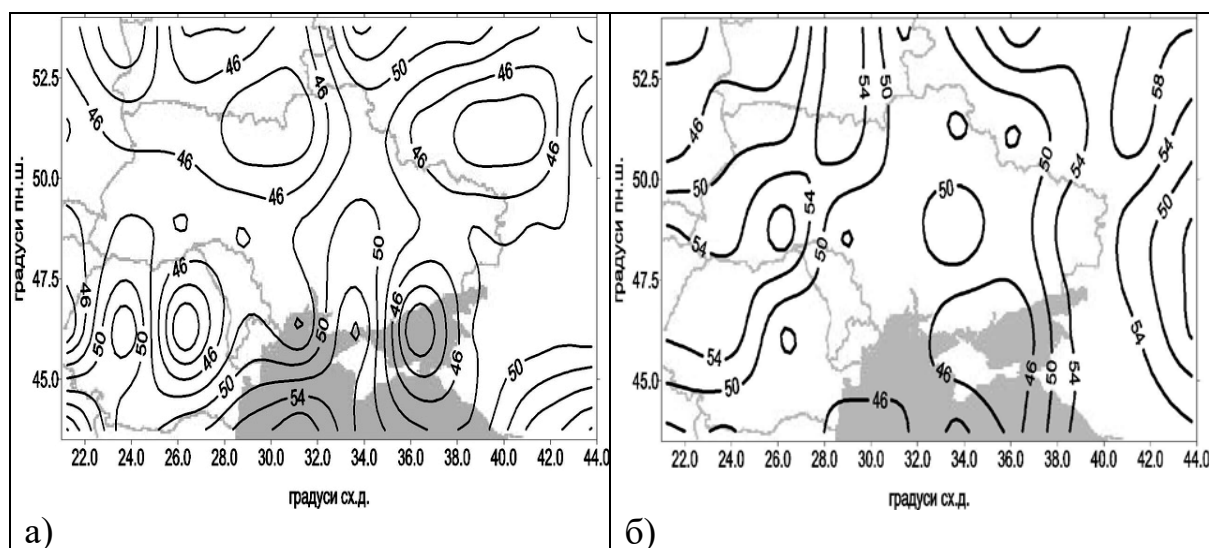


Рис.1.14. Загальна повторюваність літніх посух ($SPI < 0$, %) за сценаріями RCP2.6 (а) та RCP8.5 (б) в період 2020-2050 рр.

М'які літні посухи переважатимуть в Україні за сценарієм RCP8.5: у західних, центральних, північних областях і на сході їх кількість очікується в межах 10-12 випадків (рис. 1.15, б). В Харківській, Дніпропетровській, Херсонській, Миколаївській, Одеській областях і в 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 і сході й мінімумом в Київській та Одеській областях (рис. 1.15, а).

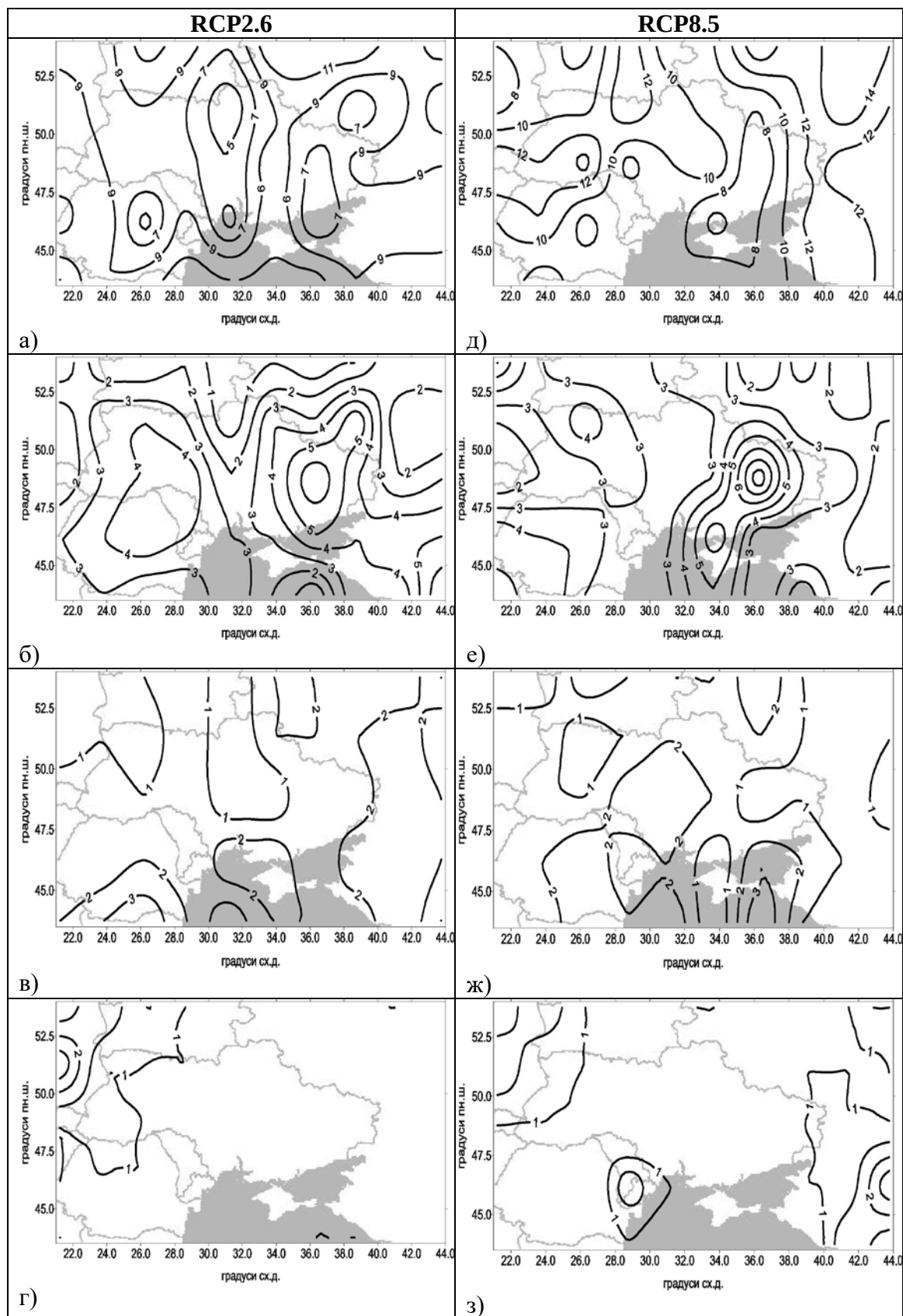


Рис. 1.15. Повторюваність літніх посух (кількість років) різної інтенсивності за кліматичними сценаріями RCP2.6 та RCP8.5 в період 2020-2050 рр.: (а), (д) – слабкі посухи; (б), (е) – помірні посухи; (в), (ж) – сильні посухи; (г), (з) – екстремальні посухи

Просторовий розподіл помірних посух влітку за обома сценаріями є схожим: простежуються два максимуми повторюваності – в західній половині країни з 3-4 випадками і 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 і південно-західних областях, а також в 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, Рівненській, Волинській і 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 й 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 %.

За жорстким сценарієм RCP8.5 розподіл осередків повторюваності має меридіональний характер, внаслідок чого зони підвищеної повторюваності осінніх посух (понад 50 %) займають західні й східні області, а в центрі країни повторюваність знижується до 46 % і менше

(рис. 1.16, б). Таким чином, осінні посухи за обома сценаріями можуть спостерігатись в Україні кожен другий рік, а в деяких областях й частіше.

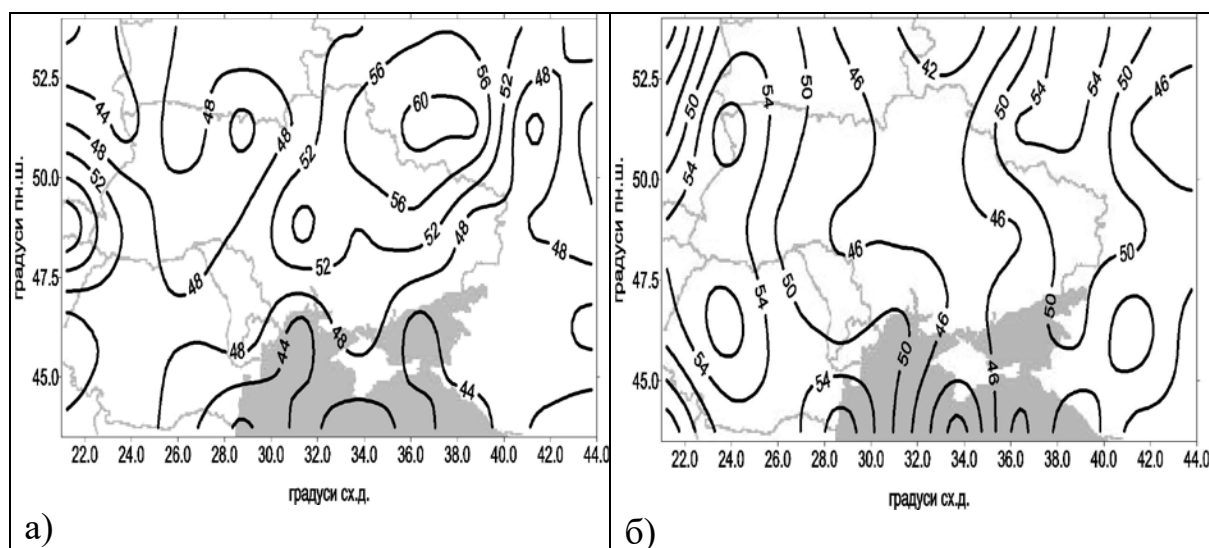


Рис. 1.16. Загальна повторюваність літньо-осінніх посух ($SPI < 0$, %) за сценаріями RCP2.6 (а) та RCP8.5 (б) в період 2020-2050 рр.

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 становить 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.

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).

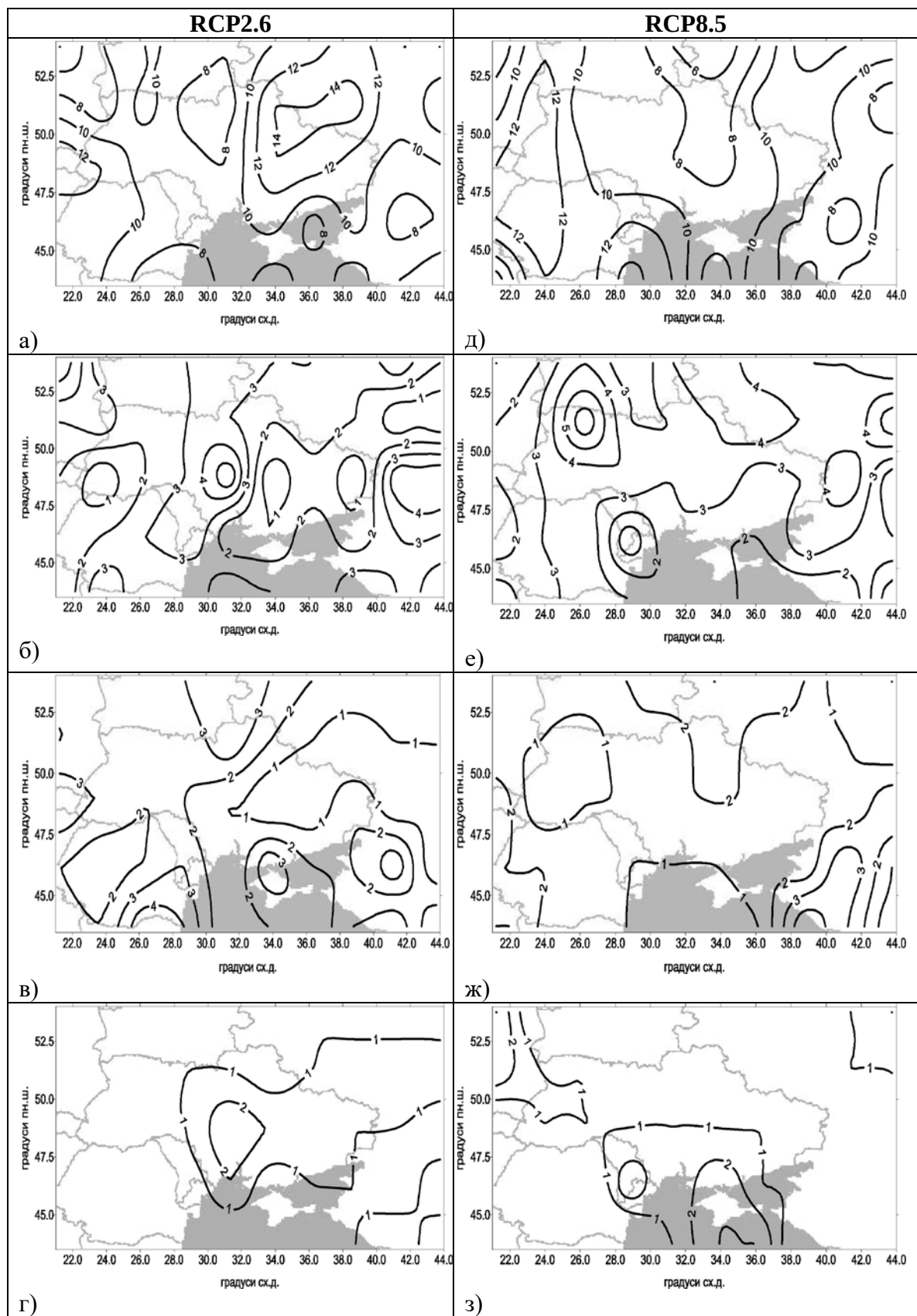


Рис. 1.17. Повторюваність літньо-осінніх посух (кількість років) різної інтенсивності за кліматичними сценаріями RCP2.6 та RCP8.5 в період 2020-2050 рр.: (а), (д) – слабкі посухи; (б), (е) – помірні посухи; (в), (ж) – сильні посухи; (г), (з) – екстремальні посухи

Кількість років з екстремальними посухами за обома сценаріями коливається в межах 1-2 випадки, 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 й АР Крим (рис. 1.17, з). Поява вторинного максимуму повторюваності очікується в західних областях.

Отже за сценарієм RCP2.6 в період 2020-2050 рр. м'які літньо-осінні посухи будуть спостерігатись кожні 2-3 роки, помірні – не більше 1 разу на 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 випадки в більшості областей України.

Таким чином, виконаний аналіз прогнозованої повторюваності посух різної інтенсивності та в різні сезони протягом вегетаційного періоду показав, що за м'яким і 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 і 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 за умов сучасного клімату не є дуже посушливою. Збільшення повторюваності відбуватиметься за рахунок, переважно, 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.

1.4. КЛІМАТИЧНІ РИЗИКИ. ВИЗНАЧЕННЯ ТА ОЦІНКА

Наука про ризики сформувалася в останній чверті минулого століття і зараз бурхливо розвивається в зв'язку з необхідністю ефективного вирішення завдань щодо зниження несприятливих наслідків реалізації небезпек різної природи - від техногенних, харчових, радіаційних і т.д. до природних (Барінов А.В., 2003; Давыдов Б.И., Ушаков Б.Н., 2005;

Лисиченко Г.В. та ін., 2008; Меньшиков В.В., Швыряев И.А., 2004; Оцінка, 2010; Пономарьов П.Х., Сирохман І.В., 1999; Шевчук О.І., 2009 та ін.).

Концепція оцінки ризику в наш час розглядається як головний механізм розробки і прийняття управлінських рішень як на міжнародному, державному чи регіональному рівнях, так і на рівні окремої галузі або виробництва (Медведева С.А., 2016). Стрімкий розвиток техносфери, однією з основних функцій якої є зменшення впливу навколишнього природного середовища на людську спільноту, призводить, навпаки, до все більшої вразливості окремої людської особистості, до дедалі більшої кількості небезпек, які нас оточують.

Однією з найбільш серйозних загроз як на загальнопланетарному, так і на регіональному масштабі останнім часом стала проблема швидких змін в кліматичній системі Землі, які несуть з собою нові небезпеки і нові ризики. Так, в П'ятій доповіді Міжурядової групи зі зміни клімату (ІРСС, 2014 (а)) вказується *«Забезпечення сталого розвитку та рівності є основою для оцінки кліматичної політики і наголошує на необхідності розгляду ризиків зміни клімату»*.

При цьому, саме поняття «ризик», незважаючи на уявну простоту, не має усталених, всіма прийнятих наукових визначень, а має місце розрізненість наукових уявлень і практичних рекомендацій (Дмитриев В.Г., 2014; Терминологический словарь, 2009; Suter II G.W., 2008).

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

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

Таким чином, загальним для всіх визначень ризику є його імовірнісний характер і зв'язок з поняттям «небезпеки» або «загрози», тому дотримуючись (Карлин Л.Н., Абрамов В.М., 2006), будемо визначати **ризик як ймовірність реалізації небезпеки, яка призводить до несприятливих наслідків (збитку)**. При цьому сама **небезпека** визначається як явища, процеси, об'єкти, що виникають з ймовірністю,

відмінною від нуля, і здатні завдавати збитків розглядуваній системі безпосередньо або побічно.

При цьому сам ризик може оцінюватися в одиницях ймовірності, в одиницях економічного (фінансового) збитку, а також в одиницях шкоди здоров'ю людини або екосистемі. При цьому, в визначення ризику багато авторів пропонують включати до його складу збитки, а в інших підходах їх не включають у формулу розрахунку ризику. Тобто немає готових універсальних формул, за якими можна було б розрахувати ризик всіх видів. У роботі (Карлин Л.Н., Абрамов В.М., 2006) наведено приклади використовуваних формул визначення ризику як імовірнісної міри потенційних збитків

$$R = U \times q,$$

$$R = \sum_{i=N} U_i \times q_i,$$

$$R = \int U dF_A,$$

$$R = \int U f_A(U) dU.$$

(1.2)

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

Простий аналіз співвідношень (1.2) свідчить, що вони являють собою різні форми запису математичного очікування потенційних збитків:

$$R = M[U]. \quad (1.3)$$

В науковій літературі (наприклад, Порфирьев Б.Н., 2011; Assessing climate change-related risks in banking sector, 2016) існує й інший підхід до визначення ризику як потенційного результату будь-якої операції (наприклад, економічної) або події. У цьому випадку ризик може бути позитивний (фінансовий виграш в певній сумі) і негативний (програш в певній сумі). Тоді сам ризик є випадковою величиною і має свою функцію розподілу ймовірностей та імовірнісні характеристики, пов'язані з нею. Мірою ризику в таких випадках є обрана імовірнісна характеристика

ризика (Карлин Л.Н., Абрамов В.М., 2006). Такий підхід найчастіше використовується для визначення фінансових ризиків, оцінки економічних проектів і не знаходить свого застосування при оцінці природних або екологічних ризиків, тому що в першому випадку одні і ті ж причини можуть зумовлювати доходи і збитки, а в другому існують чітко виділені причини (небезпеки), які ведуть до потенційного збитку.

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

Як приклад наведемо запропоновані формули для визначення природних ризиків, а також ризиків, зумовлених небезпечними гідрометеорологічними явищами і кліматичними аномаліями (Осипов В.И., 2002; Кобышева Н.В. та ін., 2016):

$$R(\Delta t) = P \times U, \quad (1.4)$$

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

Або інше визначення для гідрометеорологічних ризиків (Дмитрієв В.Г. та ін., 2012)

$$P_Q = \sum_{s=1}^N P(Q|D_s) P(L|D_s) \quad (1.5)$$

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

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

Існує кілька способів класифікації небезпек (Музалевский А.А., Карлин Л.Н., 2011):

- за природою походження:
 - а) природні;

- б) технічні;
- в) антропогенні;
- г) екологічні;
- д) змішані;
- за локалізацією:
 - а) пов'язані з літосферою;
 - б) пов'язані з гідросферою;
 - в) пов'язані з атмосферою;
 - г) пов'язані з космосом;
- за наслідкам, заподіяними:
 - а) здоров'ю людини (стомлення, захворювання, травма, летальний результат);
 - б) стану екосистем (скорочення популяції, збільшення числа хворих особин в популяції, втрата ареалу проживання, вимирання і загибель біологічного виду, зникнення природних зон і т.п.);
 - в) стану елементів та об'єктів техносфери.

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

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

Відзначимо, що це визначення дозволяє більш точно виділити із загальної групи природних небезпек, джерелом яких може бути будь-який процес, що розвивається в геосферних оболонках і здатний негативно вплинути на людей (соціосферу), об'єкти техносфери і саме природне середовище (Осипов В.И., 2002), саме ті небезпеки, що розвиваються в кліматичній системі, і які оцінюються ймовірністю їх реалізації із зазначенням місця, часу і фізичних параметрів.

Розглянемо спочатку структуру виділеного класу кліматичних небезпек. По-перше, в гідрометеорології такого роду небезпеки визначаються як стихійні гідрометеорологічні явища (СГЯ) і небезпечні гідрометеорологічні явища (НГЯ) (Настанова, 2003; Класифікатор надзвичайних ситуацій, 2010). Оцінка ймовірності появи СГЯ і НГЯ в заданій просторовій області, а також оцінка інтенсивності цих природних явищ є предметом успішних досліджень гідрометеорології. Розроблені та успішно застосовуються в практичній діяльності гідрометеорологічних підрозділів методики ймовірнісного прогнозування реалізації такого роду **гідрометеорологічних небезпек** в тій чи іншій синоптичній ситуації.

У той же час, в умовах досить швидких сучасних змін в кліматичній системі змінюється як частота існуючих гідрометеорологічних небезпек,

притаманна конкретному регіону, так і виникають нові небезпеки, пов'язані з цими кліматичними змінами - в П'ятій доповіді Міжурядової групи експертів зі зміни клімату (IPCC, 2014(b)) введена така класифікація **небезпечних кліматичних змін**:

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

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

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

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

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

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

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

Одночасно, можна запропонувати ще один, так званий ресурсний підхід виділення кліматичних небезпек і пов'язаних з ними кліматичних ризиків. Як відомо, клімат відноситься до природних ресурсів, які визначаються як ресурси, що утворилися в природному середовищі в результаті природних процесів (Бобылев С.Н., Ходжаєв А.Ш., 2007; Пахомова Н.В та ін., 2003)..

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

Природні ресурси, в тому числі і клімат, є складовою частиною економічних ресурсів або, іншими словами, фактором виробництва (Бобылев С.Н., Ходжаєв А.Ш., 2007). Поряд з працею (робочою силою) і капіталом природні ресурси як самостійна субстанція використовуються в економіці для виробництва товарів і послуг, відчуючи на собі вплив перших двох чинників. Однак існує і зворотний вплив. Будь-капітал включає в себе вже використані, виражені в ньому природні ресурси. Відчуває на собі їх вплив і робоча сила.

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

Останнім часом при дослідженнях змін клімату та адаптації до них виділяють групу природних ресурсів, які зумовлені характеристиками клімату (Развитие и изменение климата, 2010; Шурда К.Е., 2012) - т.зв. *«клімато-зумовлені природні ресурси»* (далі - *кліматичні ресурси*):

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

До характеристик самого клімату, які визначають вище перераховані кліматичні ресурси того чи іншого регіону, будемо відносити в річному масштабі з урахуванням сезонної, місячної та внутрішньо-місячної мінливості, перш за все (Клімат України, 2003; Врублевська О.О. та ін., 2013):

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

Сучасні зміни характеристик клімату чинять суттєвий вплив на перераховані вище кліматичні ресурси (Степаненко С.М., 2013), що викликає серйозну стурбованість суспільства наскільки істотний цей вплив на розвиток економіки, життєдіяльність людини, стан екосистем, сталий

розвиток всієї цивілізації. Оцінка інтенсивності цього процесу і його часової динаміки є вкрай актуальною в широкому діапазоні просторових масштабів - від мікомасштабу (місто, окремих район) до регіонального масштабу (область, країна).

Для оцінки впливу змін характеристик клімату на кліматичні природні ресурси будемо використовувати, перш за все, поняття **вразливості** (*vulnerability*) техносфери і соціосфери на різних просторових масштабах по відношенню до характеристик кліматичних ресурсів і їх змін. При цьому, під вразливістю будемо розуміти (Осипов В.И., 2002) властивість об'єктів (систем) повністю або частково втрачати здатність до виконання своїх природних або заданих функцій в результаті впливу небезпечного процесу або явища, а також наявності людей, засобів до існування, екологічних послуг і ресурсів, інфраструктури або економічних, соціальних і культурних активів в місцях, які могли б зазнати збитків під впливом реалізованих кліматичних небезпек.

Таким чином, в нашому випадку вразливість можна трактувати як здатність елементів техносфери і соціосфери протистояти гідрометеорологічним небезпекам, а також небезпечним кліматичним змінам. Оцінка вразливості зазвичай дається в відносних одиницях або відсотках.

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

Співвідношення характеристик «ризик», «небезпека» і «вразливість» можна представити відомою діаграмою (Управление рисками экстремальных явлений и бедствий, 2012; IPCC, 2012) - див. рис. 1.18.

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

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

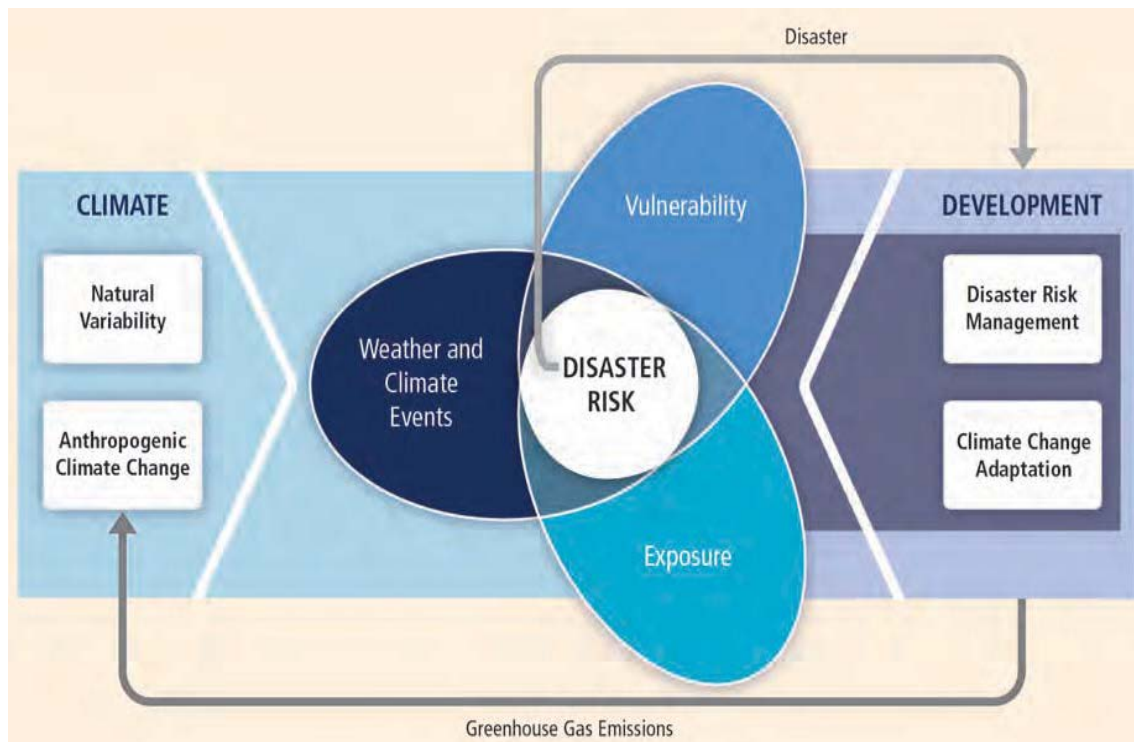


Рис. 1.18. Ключові концепції, пов'язані з управлінням ризиками стихійних лих і адаптацією до змін клімату, а також їх взаємодія зі сталим розвитком (IPCC, 2012)

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

Тоді, виходячи з формули (1.4), представимо кліматичний ризик (R) у вигляді співвідношення (Climate change adaptation and disaster risk reduction, 2010):

$$R = H \times \frac{V}{C}, \quad (1.6)$$

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

V – вразливість окремих елементів техносфери, соціосфери і біосфери;

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

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

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

За змістом заходи, спрямовані на збільшення опірності, будемо називати **адаптацією** до зростаючих кліматичних небезпек (*climate change adaptation*).

З урахуванням вищевикладеного формулу (1.6) можна записати у вигляді:

$$R = H \times \frac{V - M_V}{C + M_C} \quad (1.7)$$

Отже, найважливішими заходами, що забезпечують зменшення ризику потенційних збитків від реалізації кліматичних небезпек на регіональному рівні, поряд з адаптацією є заходи щодо пом'якшення уразливості окремих елементів техносфери, соціосфери і біосфери до кліматичних небезпек. Це є одним з головних постулатів регулярних доповідей Міжурядової групи зі зміни клімату, наприклад, в П'ятій доповіді (IPCC, 2014 (b)) стверджується, що «Пом'якшення впливів поряд з адаптацією до зміни клімату сприяє досягненню мети, сформульованої в статті 2 Рамкової конвенції ООН про зміну клімату та обмеження наслідків зміни клімату є необхідним для досягнення сталого розвитку і рівності...».

Таким чином, проблема оцінки та управління кліматичними ризиками є актуальною як для України в цілому, так і для окремих галузей економіки та регіонів зокрема (Трохимова І.В., 2011). Вона набуває особливого значення з урахуванням вимог статті 365 Угоди про асоціацію між Україною та ЄС, а також Цілі 13 «Вжиття невідкладних заходів щодо боротьби зі зміною клімату та його наслідками» Порядку денного в галузі розвитку на період до 2030 року, прийнятого на Саміті ООН у вересні 2015 року.

Аналізу загальної проблеми управління ризиками і конкретно, оцінки та управління кліматичними ризиками, присвячена значна кількість наукових публікацій (Буравльов Є.П. та ін., 2003; Дмитриев В.Г., 2014; Гончаров І.В., 2003; Guidance on Risk Assessment at Work 1996–2000; Закревский В.В., 2004; Карлин Л. Н., Абрамов В. М., 2006; Керування ризиком, 2015; Кобышева Н.В. та ін., 2015; Музалевский А.А., Карлин Л.Н., 2011; Сафонов В.С. та ін., 1996; Статюха Г.О. та ін., 2003; Управление рисками, 2012; Трохимова І.В., 2012; Фалько В.В., 2007; Хомяков та ін., 2005; A Guide for Assessing Climate Change Risks, 2015; Assessing the Risks

of Climate Change, 2016; Borrego C., Amorim J.H., 2007; Bowyer, P. та ін., 2014; Brundell J. та ін., 2011; Climate Change Impacts and Risk Management, 2006; Estrada F. та ін., 2012; Guide to Climate Change Risk, 2011; Guidance for Assessing Ecological Risks, 2008; Guideline on Climate change adaptation, 2014; Herron H. та ін., 2016; Higgins P.A.T., Steinbuck J.V., 2014; Kaspersen P.S., Halsnes K., 2017; King D. та ін., 2015; Landis W.G. та ін., 2013; Mehrotra S. та ін., 2009; Pollard S.J.T., 2002; Rak A. та ін., 2008; Suter II G.W., 2008; U.S. Environmental Protection Agency).

Детальний аналіз цієї проблеми виходить за рамки нашого дослідження, тому опишемо тільки загальні підходи до вирішення задачі управління кліматичними ризиками на регіональному масштабі.

На рис. 2 представлена адаптована узагальнена з різних джерел (Гончаров І.В., 2003; Документи ЕС, 1996-2000; Керування ризиком, 2015; Лисиченко Г.В. та ін., 2008; Меньшиков В.В., Швыряев И.А., 2004; Assessing the Risks of Climate Change, 2016; Brundell J. та ін., 2011; Climate change adaptation and disaster risk reduction, 2010; Climate Change Impacts and Risk Management, 2006; Estrada F. та ін., 2012; Guide to Climate Change Risk Assessment for NSW Local Government, 2011; Guidance for Assessing Ecological Risks, 2008; Guideline on Climate change adaptation and risk assessment, 2014; Guidelines for Ecological Risk Assessment, 1998; Herron H. та ін., 2016; Higgins P.A.T., Steinbuck J.V., 2014) схематична процедура управління кліматичними ризиками.

Ця процедура включає два блоки – оцінка кліматичних ризиків в досліджуємому районі та заходи щодо адаптації до цих ризиків та пом'якшення наслідків при реалізації кліматичних небезпек.

Вихідним етапом в процесі оцінки ризику на регіональному масштабі є визначення досліджуваного району, його клімато-географічних особливостей і ідентифікація кліматичних небезпек, які вже спостерігалися в досліджуємому районі та які ймовірно можуть з'явитися внаслідок регіональних кліматичних змін. Цей етап можна визначити як *«ідентифікація потенційної кліматичної небезпеки»*, під час цієї ідентифікації виконується збір та аналіз даних про гідрометеорологічні небезпеки, що спостерігаються в досліджуємому районі, аналізується їх надійність, просторовий розподіл та часова динаміка, виявляються ймовірні небезпечні кліматичні зміни. При необхідності розроблюється та впроваджуються заходи по поліпшенню системи моніторингу, яка дозволяє виявляти випадки реалізації існуючих та потенційно можливих кліматичних загроз.

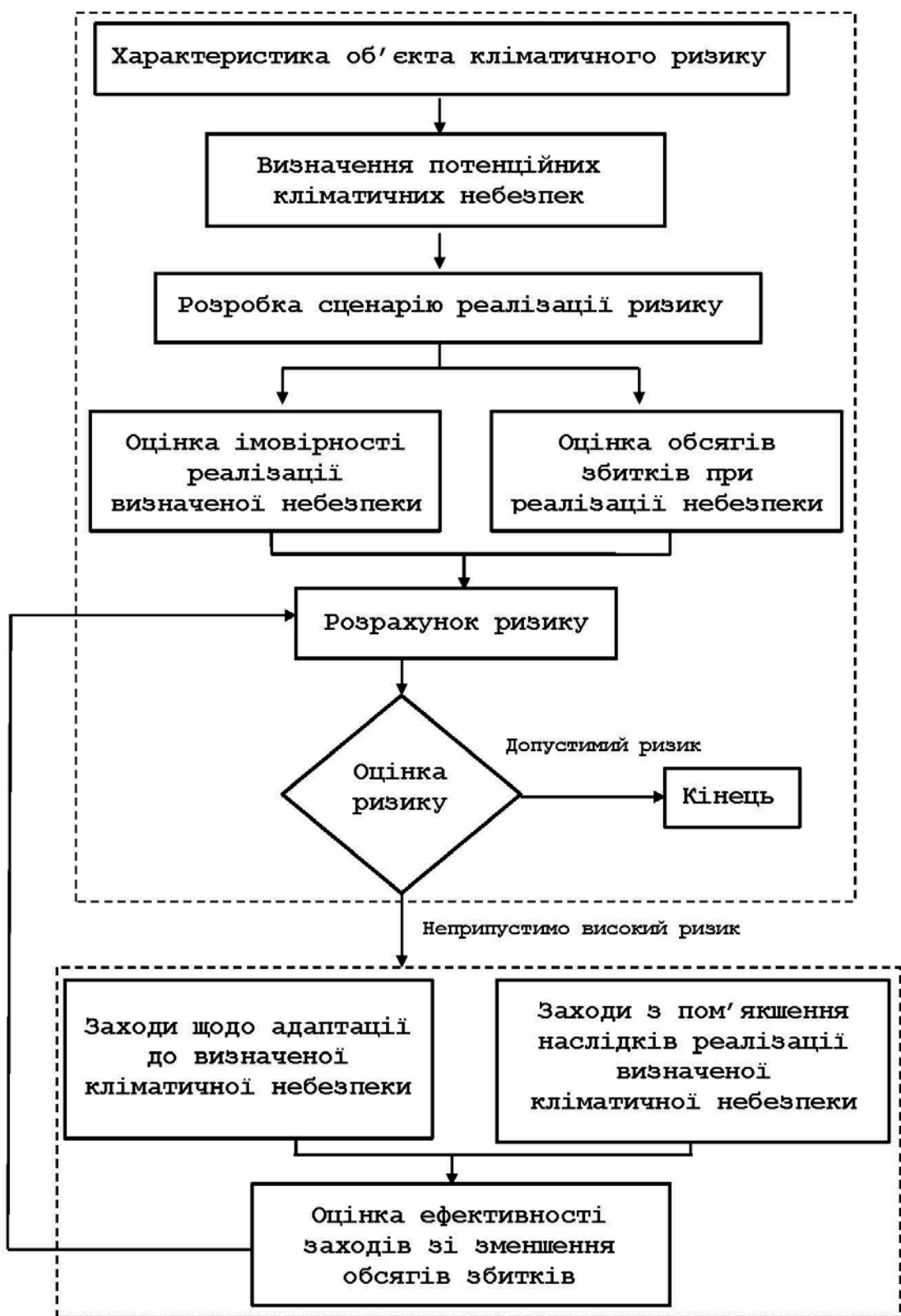


Рис. 1.19. Адаптована узагальнена процедура управління кліматичними ризиками на регіональному масштабі

Також здійснюється експертний відбір (за участю представників органів місцевого самоврядування та органів державної влади – далі: *особи, що приймають рішення*) переліку кліматичних небезпек, що суттєво впливають на стан кліматичних природних ресурсів району дослідження та потенційно несуть загрозу значних збитків. При цьому обирається концептуальна модель ризику, згідно з якою проводиться ця експертна оцінка.

На наступному етапі блоку оцінки кліматичних ризиків потрібно розрахувати просторовий та часовий розподіл імовірності реалізації визначених на попередньому етапі кліматичних небезпек по території обраного регіону, а також здійснити оцінку обсягів збитків при реалізації цих небезпек. Остання робота має виконуватися за участю осіб, що приймають рішення, фахівців з різних галузей економіки та міського господарства за допомогою як існуючих кількісних методик (наприклад, Авалиани С.Л. та ін., 1996; Аникиєв В.В., Захарова П.В., 2002; Дмитриєв В.Г., 2014; Дмитриєв В.Г. та ін., 2012; Доценко С.Ф., Іванов В.А., 2010; Кобышева Н.В. та ін., 2015; Коробов Р. та ін., 2010; Лисиченко Г.В. та ін., 2008; Медведева С.А., 2016; Методика визначення ризиків, 2002; Методичні рекомендації МР 2.2.12–142–2007; Оцінка, 2010; Польовий А.М., 2013; Руденко С.В., 2007; Статюха Г.О. та ін., 2003; Степаненко С.Н. та ін., 2012; Шевчук О.І., 2009; Assessing climate change-related risks in banking sector, 2016; A Guide for Assessing Climate Change Risks, 2015; Assessing the Risks of Climate Change, 2016; Climate Change Impacts and Risk Management, 2006; Climate-related risk in Agriculture, 1998; Guideline on Climate change adaptation and risk assessment, 2014; Herron H. та ін., 2016; Higgins P.A.T., Steinbuck J.V., 2014 та ін.).

На завершальному етапі оцінки кліматичних ризиків розраховуються кількісні характеристики просторового регіонального розподілу кліматичних ризиків та виділяються райони з неприпустимо високим ризиком. Критерій розділення ризиків на припустимий та неприпустимо високий здійснюється сумісно фахівцями з оцінки кліматичних ризиків та особами, що приймають рішення. Саме такий підхід, на наш погляд, дозволить сконцентрувати зусилля та актуалізувати задачі для кожної громади.

Для районів з неприпустимо високим кліматичним ризиком необхідно складати та реалізовувати плани заходів по адаптації до кліматичних небезпек та пом'якшенню їх наслідків (див., наприклад, Шокин Ю.І., 2010). Перелік цих заходів з відповідними джерелами фінансування повинні бути затверджені органами місцевого самоврядування та органами державної влади.

Розробка таких планів зараз є вкрай актуальним завданням з огляду на результати досліджень з впливу змін клімату на галузі економіки України, що виконуються, в т.ч. в Одеському державному екологічному

університеті протягом останнього десятиліття (Оцінка впливу кліматичних змін на галузі економіки України, 2011; Кліматичні зміни та їх вплив на сфери економіки України, 2015) та представлених у цій монографії.

Литература

Авалиани С.Л., Андрианова М.М., Печенникова Е.В., Пономарева С.Л. Окружающая среда. Оценка риска для здоровья (мировой опыт) – М.: 1996. 158 с.

Алымов В.Т., Тарасова Н.П. Техногенный риск. Анализ и оценка: Учеб. пособие. – М.: Академкнига, 2004. 118 с.

Аникиев В.В., Захарова П.В. Интегральный критерий экологической безопасности // Геоинформатика, 2002, №1. С. 18-24.

Баринов А.В. Чрезвычайные ситуации природного характера и защита от них. – М.: Владос-Пресс, 2003. 496 с.

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

Буравльов Є.П., Дроз І.П., Коваль Г.М. Класифікація і управління техногенними ризиками // Екологія і ресурси. Зб. наукових праць УІНСіР, 2003, № 7. С. 17-25.

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

Гончаров І.В. Ризик та прийняття управлінських рішень. – Х.: НТУ «ХПІ», 2003. 150 с.

Давыдов Б.И., Ушаков Б.Н. Ядерный и радиационный риск: человек, общество и окружающая среда. – М.; СПб., Фолиант, 2005. 234 с.

Демин В.Ф. Риски и универсальные нормы безопасности // Энергия. Экономика, техника, экология, 2005, № 10. С. 35-39.

Державний класифікатор надзвичайних ситуацій. ДК 019-2001. – К.: Держстандарт України, 2002. 16 с.

Дмитриев В.Г. Оценка экологического риска. Аналитический обзор публикаций. // Арктика и Север, 2014, № 14. С. 126-147.

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

Документы Европейского Содружества «Guidance on Risk Assessment at Work 1996–2000». – Режим доступа: <http://osha.lv/en/publications/docs/2.2.rus.pdf>.

Доценко С.Ф., Иванов В.А. Природные катастрофы Азово-Черноморского региона. – Севастополь.: МГИ НАН Украины, 2010. 174 с.

Закон України «Про об'єкти підвищеної небезпеки» (Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2245-14>).

Закон України «Про стандарти, технічні регламенти та процедури оцінки відповідності» (від 1 грудня 2005 року № 3164-IV)// Офіційний вісник України, 2005. № 52. Ст. 3246.

Закревский В.В. Безопасность пищевых продуктов и биологически активных добавок к пище. Практическое руководство. – СПб.: ГИОРД, 2004. 280 с.

Карлин Л.Н., Абрамов В. М. Управление энвиронментальными и экологическими рисками. – СПб.: РГГМУ, 2006. 332 с.

Качинський А.Б. Екологічна безпека України: системний аналіз перспектив покращення. – К.: НІСД, 2001. 312 с.

Керування ризиком. Методи загального оцінювання ризику (ІЕС/ІСО 31010:2009, ІДТ). ДСТУ ІЕС/ІСО 31010:2013. К.: Мінекономрозвитку України, 2015. 80 с.

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

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

Кліматичні зміни та їх вплив на сфери економіки України (відп. редактори С.М. Степаненко, А.М. Польовий). Одеса, Екологія, 2015. 520 с.

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

Коробов Р., Тромбицкий И., Сыродоев Г., Андреев А. Уязвимость к изменению климата: Молдавская часть бассейна Днестра. – Киш.: Есо-Tiras, 2014.

Лисиченко Г.В., Забулов Ю.М., Хміль Г.А. Природний, техногенний та екологічний ризики. Аналіз, оцінка, управління. – К.:, 2008. 540 с.

Массей Е.Е. Досвід Європейського Союзу в адаптації до зміни клімату та застосування його в Україні. - Бюро Координатора з економічної та довкільної діяльності ОБСЄ, 2012. 39 с.

Медведева С.А. Экологический риск. Общие понятия, методы оценки. // XXI век: Техносферная безопасность. 2016. № 1. С. 67-79.

Меньшиков В.В., Швыряев И.А. Проблемы анализа риска для населения и окружающей среды при загрязнении атмосферного воздуха. – М.: МГУ, 2004. 202 с.

Методика визначення ризиків та їх прийнятних рівнів для декларування безпеки об'єктів підвищеної небезпеки, затв. Мінпраці та соцполітики України від 04.12.2002 р. № 268.

Методичні рекомендації МР 2.2.12–142–2007. «Оцінка ризику для здоров'я населення від забруднення атмосферного повітря». Затв. наказом МОЗ України від 13.04.2007 № 184. – К., 2007. 40 с.

Мостенська Т.Л., Скопенко Н.С, Білан Ю.В. Екологічний та природно-кліматичний ризику у системі забезпечення продовольчої безпеки країни // Актуальні проблеми економіки, 2015, № 6. С. 258-267

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

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

Оцінка регіональних еколого-ресурсних та еколого-техногенних загроз національній безпеці України. Аналітичний огляд. – К.: НІСД, 2010. 32 с.

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

Оцінка впливу кліматичних змін на галузі економіки України (відп. Редактори С.М. Степаненко, А.М. Польовий). Одеса: Екологія, 2011. 696 с.

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

Пафнутова Ю.А. Опасные метеорологические явления на равнинной территории Российской Федерации и риски, создаваемые ими. Автореф. канд. дис. по спец. 25.00.30 – СПб.: 2008. 18 с.

Польовий А.М. Вплив антропогенних змін клімату на сільське господарство. – О.: Екологія, 2013. 108 с.

Пономарьев П.Х., Сирохман І.В. Безпека харчових продуктів та продовольчої сировини. – К.: Лібра, 1999. 272 с.

Порфирьев Б.Н. Природа и экономика: риски взаимодействия (Эколого-экономические очерки). – М.: Анкил, 2011. 352 с.

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

Руденко С.В. Екологічна безпека техногенно навантажених урбанізованих екосистем. Автореф. доктр. дис. по спец. 21.06.01 – Мик.: 2007. 35 с.

Сафонов В.С., Одишария Г.Э., Швыряев А.А. Теория и практика анализа риска в газовой промышленности. – М.: НУМЦ Минприроды России, 1996. 208 с.

Статюха Г.О., Бойко Т.В., Бендюг В.І. Розробка методики оцінки небезпечних видів діяльності промислових підприємств // Екологія і ресурси. Зб. наукових праць УІНСіР, 2003, № 7. С. 46-55.

Степаненко С.М. Динаміка та моделювання клімату /Підручник. – О.: Екологія, 2013. 214 с.

Степаненко С.Н., Волошин В.Г., Курышина В.Ю., Головатюк Н.Д. Учет метеорологических факторов при расчетах многолетних полей концентраций загрязняющих веществ для оценки экологических рисков здоровью населения // Геофизический журнал, 2012, №1. С. 105-114.

Управление рисками экстремальных явлений и бедствий для содействия адаптации к изменению климата. Специальный доклад Межправительственной группы экспертов по изменению климата. – Cambridge University Press, 2012. 594 с.

Терминологический словарь UNISDR по снижению риска бедствий. – ООН, 2009. 38 с.

Трохимова І.В. Адаптація до змін клімату: наслідки, вразливість, ризики // Екологічна безпека та природокористування, 2011. С. 128-135

Фалько В.В. Основные направления в проблеме оценки экологического риска // Вісник СумДУ. Технічні науки, 2007, № 1. С. 100-112.

Хомяков П.М., Кузнецов В.И., Алферов А.М., Беляков А.А. и др. Влияние глобальных изменений климата на функционирование экономики и здоровье населения России. – М.: ЛЕНАНД, 2005. 424 с.

Шевчук О.І. Екологічна безпека житлового будівництва регіону. – Уж.: Ліга-Прес, 2009. 180 с.

Шокин Ю.И. Методика оценки антропогенных рисков территорий и построение картограмм рисков с использованием геоинформационных систем. // Вычислительные технологии, 2010. Том 15, № 1. С. 120 – 131.

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

A Guide for Assessing Climate Change Risks. Washington, DC: Urban Land Institute, 2015. 32 pp.

Assessing climate change-related risks in banking sector. Synthesis of the project report submitted for public consultation with regard to Article 173 (V°) of the 2015 French Energy Transition Act. – French Treasury (In collaboration with the Banque de France and the Autorite de Controle Prudentiel et de Resolution). 2016. 15 pp.

Assessing the Risks of Climate Change. Policy Brief by the Scientific Advisory Board of the UN Secretary-General. 2016. 8 pp.

Borrego C., Amorim J.H. (2007): Risk and emergency modelling for environmental security: general aspects. In Air, Water and Soil Quality Modelling for Risk and Impact Assessment. Ed. by Ebel A. and Davitashvili/ - Springer, P. 1-14.

Bowyer, P., Bender, S., Rechid, D., Schaller, M. (2014): Adapting to Climate Change: Methods and Tools for Climate Risk Management. Climate Service Center, Germany, 124 pp.

Brundell J., Cobon D., Stone G., Cliffe N., 2011. Climate change risk management matrix: a process for assessing impacts, adaptation, risk and

vulnerability. Workbook. – Queensland Climate Change Centre of Excellence, Department of Environment and Resource Management. 20 pp.

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

Climate Change Impacts and Risk Management. A Guide for Business and Government. (2006). – Published by the Australian Greenhouse Office, in the Department of the Environment and Heritage. 74 pp.

Climate-related risk in Agriculture. A note prepared for the IPCC Expert Meeting on Risk Management Methods by René Gommès (1998). – Toronto, AES, Environment Canada. 11 pp.

Environmental health Criteria 210: Principles for the Assessment of Risk to Human Health from Exposure to Chemicals // WHO / IPCS. – Geneva, 1999. 322 pp.

Environmental health Criteria 214: Human Exposure Assessment // WHO / IPCS. – Geneva, 2000. 422 p.p

Estrada F., Gay C., Conde C. (2012): A methodology for the risk assessment of climate variability and change under uncertainty. A case study: coffee production in Veracruz, Mexico // Climatic Change. № 113. P. 455–479.

Guide to Climate Change Risk Assessment for NSW Local Government – State of NSW and Office of Environment and Heritage. 2011. 36 pp.

Guidance for Assessing Ecological Risks Posed by Chemicals: Screening Level Ecological Risk Assessment. HWB Guidance Document. Revision 2.0 / New Mexico Environment Department Hazardous Waste Bureau. 2008. 116 pp.

Guideline on Climate change adaptation and risk assessment in the Danube macro-region. SEERISK 2014. 108 pp.

Guidelines for Ecological Risk Assessment. United States Environmental Protection Agency. EPA/630/R-95/002F. 1998.
<http://www.epa.gov/raf/publications/pdfs/ECOTXTBX.PDF>

Herron H., Bohn B., Roy S., Evans W. (2016): Climate Change Data and Risk Assessment Methodologies for the Caribbean. Prepared for Inter-American Development Bank Environmental Safeguards Unit by Tetra Tech, Inc. Technical Note № IDB-TN-633. 55 pp.

Higgins P.A.T., Steinbuck J.V. (2014): A Conceptual Tool for Climate Change Risk Assessment // Earth Interactions, Vol. 18, No. 21. P. 1-15.

IPCC, 2012: Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA. 582 pp.

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

IPCC, 2014 (b): Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel and J.C. Minx (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 1454 pp.

ISO 31000:2009. "Risk management Principles and guidelines" [електронний ресурс]. http://www.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=76874

Fox D. R. and Burgman M. (2008): Ecological risk assessment / In Melnick, E. and Everitt, B. (eds), Encyclopedia of Quantitative Risk Assessment and Analysis. pp. 1600-1603. John Wiley & Sons Ltd, Chichester, UK.

Kaspersen P.S., Halsnes K. (2017): Integrated climate change risk assessment: A practical application for urban flooding during extreme precipitation. Clim. Ser., <http://dx.doi.org/10.1016/j.cliser.2017.06.012>

King D., Schrag D., Dadi Z., Qi Ye, Ghosh A., 2015. Climate Change: A Risk Assessment. Available from <http://www.csap.cam.ac.uk/media/uploads/files/1/climate-change-a-risk-assessment-v11.pdf>

Kliejunas J.T. (2011): A Risk Assessment of Climate Change and the Impact of Forest Diseases on Forest Ecosystems in the Western United States and Canada. - Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-236. Albany, CA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Southwest Research Station. 70 p.

Landis W.G., Durda J.L., Brooks M.L., Chapman P.L., Menzie C.A., Stahl Jr. R.G., Stauber J.L. (2013): Ecological Risk Assessment in the Context of Global Climate Change // Environmental Toxicology and Chemistry, Vol. 32, No. 1, P. 79–92.

Mehrotra S., Natenzon C.E., Omojola A., Folorunsho R, Gilbride J., and Rosenzweig C. (2009): Framework for City Climate Risk Assessment. – Fifth Urban Research Symposium 2009. 82 pp.

Pollard S.J.T. (2002): Ecological and public health risks: analysis and management / UNESCO Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS). P. 219-235.

Rak A. et al. A guide to screening level ecological risk assessment / TSERAWG TG-090801. 2008. 26 pp.

Suter II G.W. (2008): Ecological Risk Assessment in the United States Environmental Protection Agency: A Historical Overview // Integrated Environmental Assessment and Management. Vol. 4, № 3. P. 285-289.

U.S. Environmental Protection Agency (EPA). Integrated Risk Information System (IRIS). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.epa.gov/iris>.

2. ВПЛИВ КЛІМАТИЧНИХ ЗМІН НА ТРАНСПОРТНУ Й ЕНЕРГЕТИЧНУ СИСТЕМИ УКРАЇНИ

2.1. ВРАЗЛИВІСТЬ ТРАНСПОРТНОЇ СИСТЕМИ ДО ПОГОДНИХ УМОВ

На безперебійну роботу транспортної системи впливає перш за все клімат. Дорожні споруди проектуються і зводяться з урахуванням ландшафту, гідрогеологічних особливостей місцевості, принципів землекористування. Вони функціонують не тільки під впливом транспортних навантажень, але і багатьох погодно-кліматичних факторів. На дороги впливають температура повітря, сонячна радіація, атмосферні опади, вітер, туман, ожеледиця та інші природні явища. Тому необхідно з урахуванням цих явищ знаходити інженерні рішення, які б забезпечували спорудам необхідні технічні та експлуатаційні якості, й рекомендувати організаціям, що мають відношення до експлуатації доріг, низку заходів, які забезпечують здоров'я та життєдіяльність з урахуванням особливостей погодно-кліматичних чинників в умовах екстремальних природних явищ. Тобто залізниці, порти, дамби, автотраси, магістралі, мости тощо мають бути оптимізовані для того, щоб витримати очікуваний діапазон погодних умов [7].

Коли погодні умови стають більш екстремальними, то транспортна інфраструктура стає менш надійною і безпечною. Наприклад, підвищені температури повітря кривлять залізничні шляхи й дорожнє покриття [13].

Небезпечні для автомобільного транспорту метеорологічні явища можна умовно розділити на 3 групи [10]:

- ті, що погіршують стан дорожнього покриття, тобто зчеплення коліс з дорогою;
- ті, що погіршують видимість на дорозі;
- решта явищ, які часто призводять до перебоїв в русі (можливість замітання снігом, розмиття насипу), але зрідка є причиною аварії та лише тільки в поєднанні з першими двома чинниками спричиняють аварію.

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

днів з ожеледно-паморозевими явищами, підвищитись кількість безморозних днів тощо.

В табл. 2.1 наведено характеристики погоди, які найбільше впливають на транспортну систему, та негативні наслідки, які вони спричиняють.

Таблиця 2.1. Характеристики погоди, класифікація погодніх інформаційних повідомлень (зведень) на підставі цих характеристик та їх вплив на транспорт [13]

Характеристика погоди	Категорія	Вплив
Елементи опадів	Замерзаючі опади, відклади снігу, рідкі опади, вміст водяної пари, яка може осаджуватись в якості опадів, вологість ґрунту, повені, глибина водоймищ, пожежонебезпечна погода	Втрата тяги та контролю, затримки, напруження компонентів транспортного засобу, мокре дорожнє покриття, слабке і непевне гальмування, пом'якшення дорожнього покриття, розмивання дорожнього покриття, посухи через дим і порошок спричиняють ризик погіршення видимості
Температура	Температура повітря і 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	Погіршення видимості через тумани, серпаноку, імлу 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 і характеристики, які, в основному, погіршують стан дорожнього покриття, та їх зміни щодо двох сценаріїв RCP4.5 та RCP8.5.

2.2. БАЗА ДАНИХ І ЗАГАЛЬНА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

База даних містила ряди максимальної, мінімальної і середньодобової температури, кількості твердих, змішаних або рідких опадів, 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 стале зростання радіаційного форсингу протягом XXI століття зі значенням у 2060 р. близько 4.5 кВт/м^2 і подальшу стабілізацію цього значення після 2060 р. Сценарій RCP8.5 представляє собою найекстремальнішу траєкторію, в якій передбачається безперервне зростання радіаційного форсингу протягом XXI століття зі значенням 8.5 кВт/м^2 майже у 2100 р. [11]

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 становить 673 км (рис. 2.1).

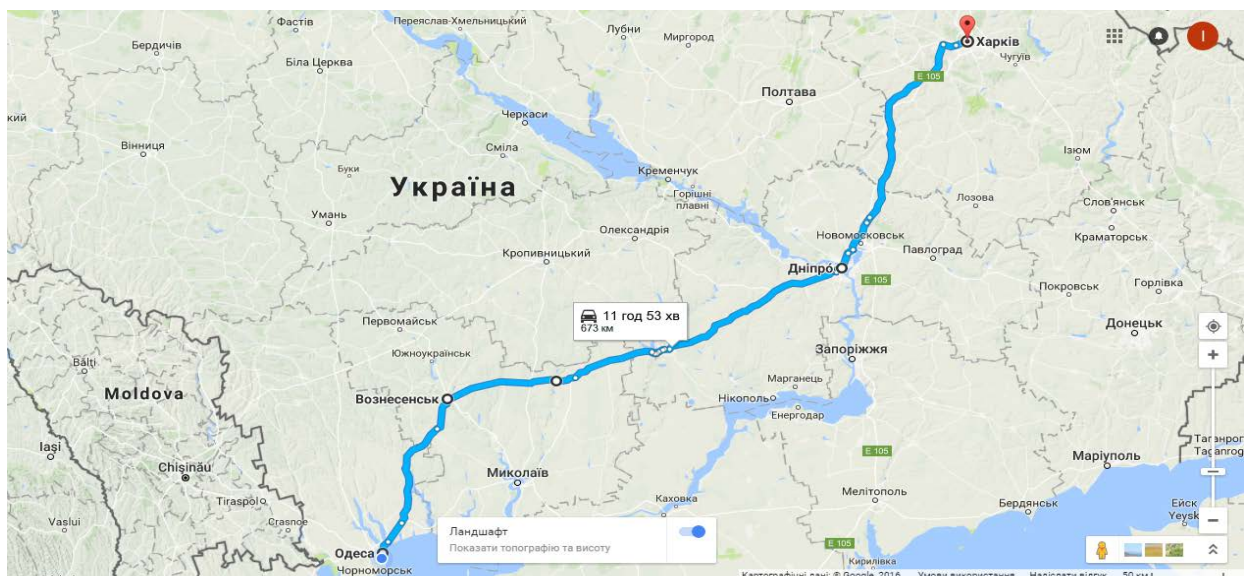


Рис. 2.1. Схема автошляху "Одеса – Вознесенськ – Дніпропетровськ – Харків"

Від м. Одеса до м. Вознесенськ шлях є частиною територіальної дороги, тобто дороги місцевого значення, Р55. Загальна довжина цієї частини шляху становить 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 і м. Харків є частиною магістралі, тобто автошляху європейського значення Е105 «Кіркенес (Норвегія) – Санкт-Петербург (Росія) – Москва (Росія) – Харків (Україна) – Ялта (Україна)». Протяжність цієї ділянки становить 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 в східному напрямках. Тобто континентальність клімату зростатиме, якщо просуватись уздовж автошляху в напрямку від Одеси до Харкова. Це означає, що виникає ризик зростання температури влітку і зниження температури взимку до екстремальних значень.

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

Розглядуваний автошлях, розпочинається в м. Одеса, яке знаходиться на відміну від решти пунктів під впливом не континентального, а морського клімату. В цьому випадку спостерігатимуться менші контрасти температур, проте, зростатиме ризик випадіння сильних і частих опадів внаслідок підвищеної вологості, а також можуть мати високу повторюваність небезпечні швидкості вітру.

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

Від м. Вінниця до м. Тернопіль шлях є частиною автостради Е50, яка починається у Бресті (Франція) і походить через Париж, Ужгород, Донецьк, Ростов та закінчується у Махачкалі. Між м. Тернопіль і м. Стрий

автострада E50 збігається з міжнародним шляхом M12, а між м. Стрий і м. Ужгород – з двома автошляхами міжнародного значення E471 та M06 і 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).

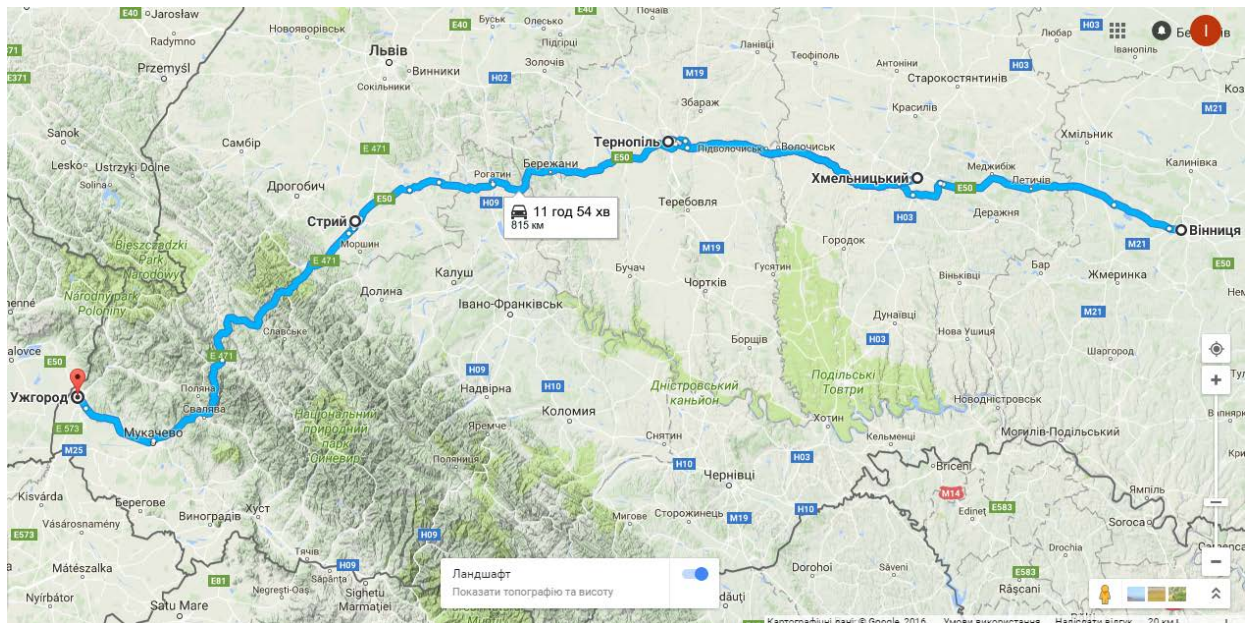


Рис. 2.2. Схема автошляху "Вінниця – Хмельницький – Тернопіль – Стрий – Ужгород"

Автотраса пролягає через лісостепову (Подільська височина) зону, зону широколистяних лісів і Карпатські гори. Кожна з цих зон має свої кліматичні умови. Клімат у лісостеповій і широколистолисовій зонах – помірно континентальний. Його континентальність збільшується у східному напрямку. В зоні широколистяних лісів опадів випадає найбільше серед рівнинних територій України (600 мм– 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 і 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, більша його частина співпадає з трасами міжнародного і національного значення E85/M19 (шлях E85 проходить з півночі на південь від Клайпеди до

Александрополіса по території Литви, Білорусі, України, Румунії, Болгарії та Греції) та Н22, який з'єднує Устілуг, Луцьк і Рівне.

Автотраса пролягає через три природні зони – степову, лісостепову та полісся. Рельєф місцевості на протязі шляху змінюється від рівнинного (Полтавська рівнина) до гірського (Придніпровська та Волинська височини). Найбільша частина шляху пролягає 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 очікуватись у степовій зоні, на сході України, де різко виражений континентальний клімат, спостерігаються досить часто екстремальні температури.

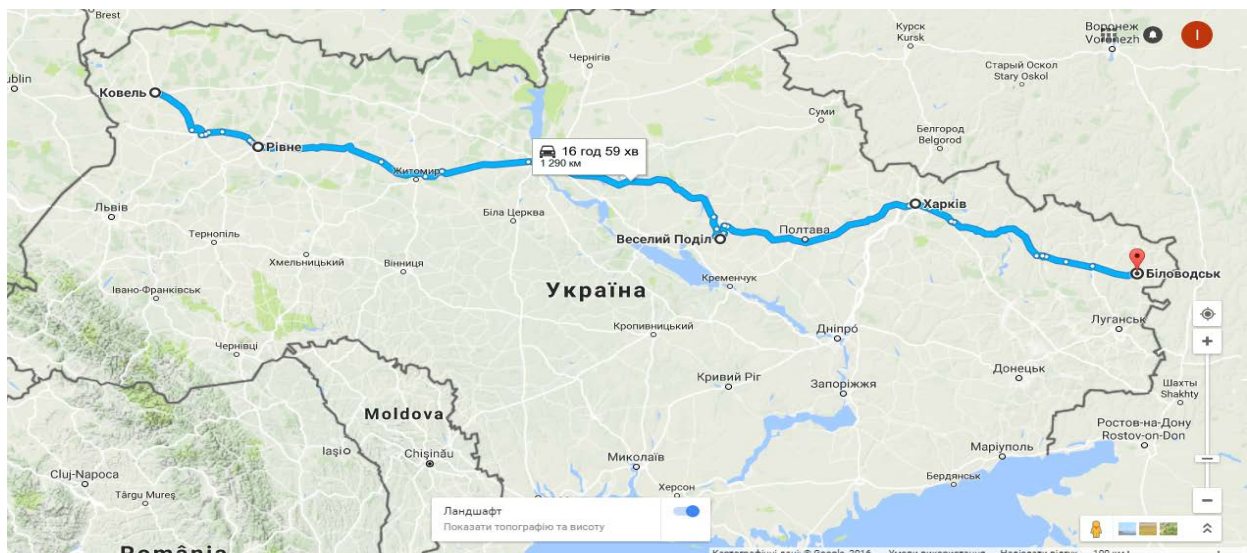


Рис. 2.3. Схема автошляху "Ковель – Рівне – Веселий Поділ – Харків – Біловодськ"

Четвертий автошлях "Семенівка – Ніжин – Черкаси – Бобринець – Одеса – Ізмаїл" (рис. 2.4) перетинає територію України з півночі на південний захід і складається з декількох шляхів різного державного й місцевого значення. Загальна його протяжність становить 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 і 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.

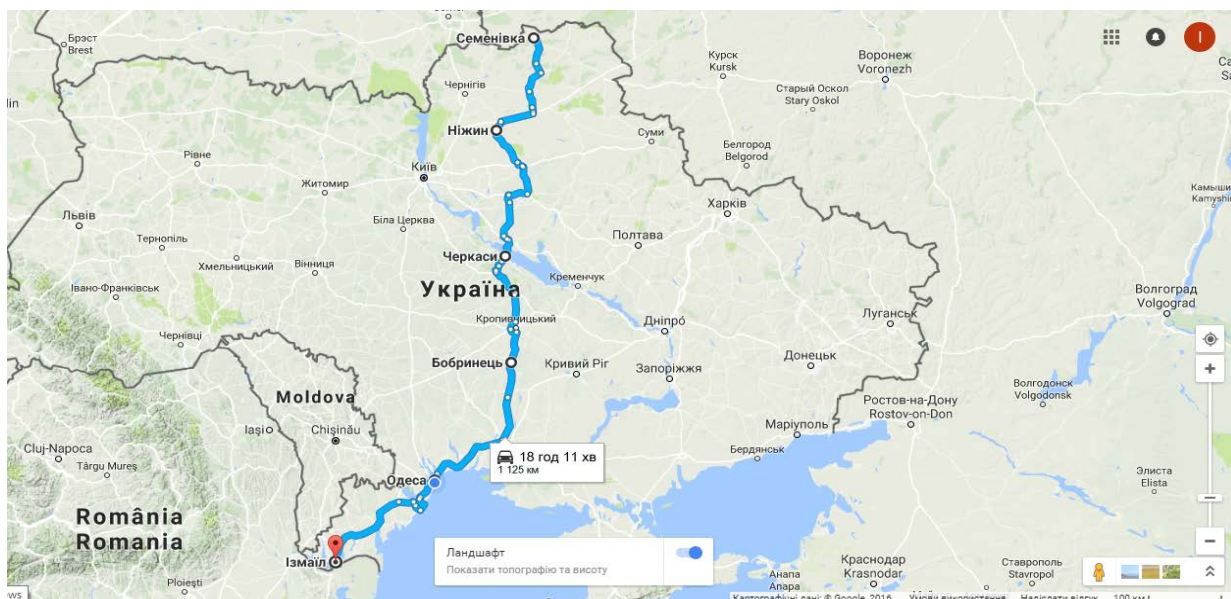


Рис. 2.4. Схема автошляху "Семенівка – Ніжин – Черкаси – Бобринець – Одеса – Ізмаїл"

Автошлях, що розглядається, проходить через три природні зони України, а його напрямок з півночі на південь зумовлює сильніший вплив погодних умов на транспортну систему на півдні влітку, 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.

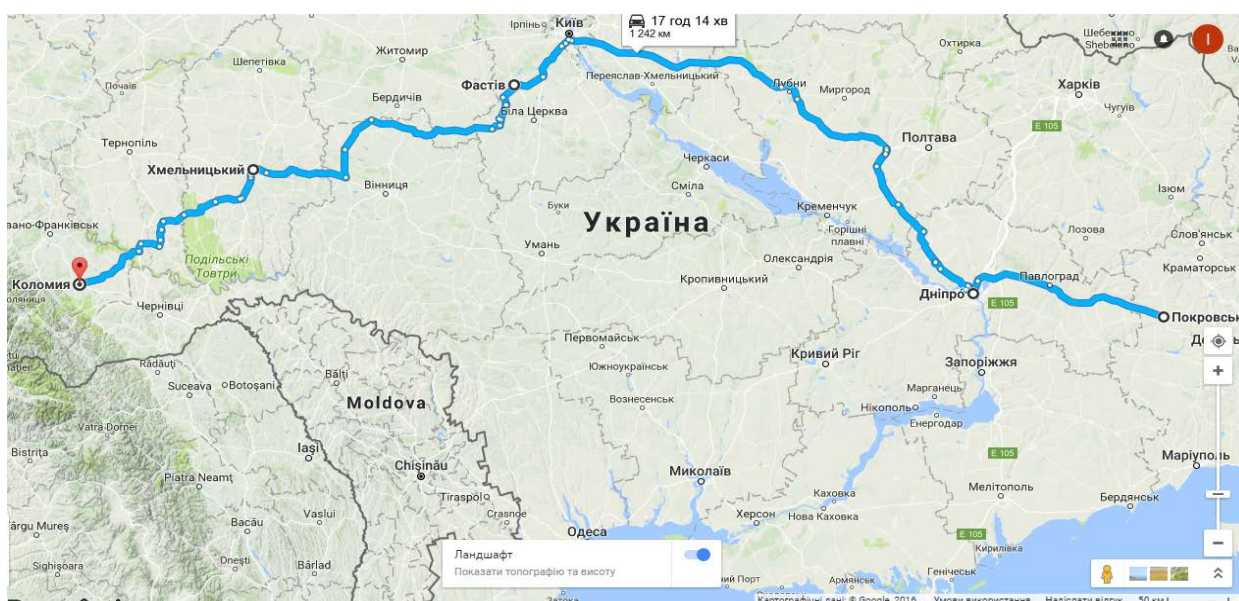


Рис. 2.5. Схема автошляху "Покровськ – Дніпро – Фастів – Хмельницький – Коломия"

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 і 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) і 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, 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).

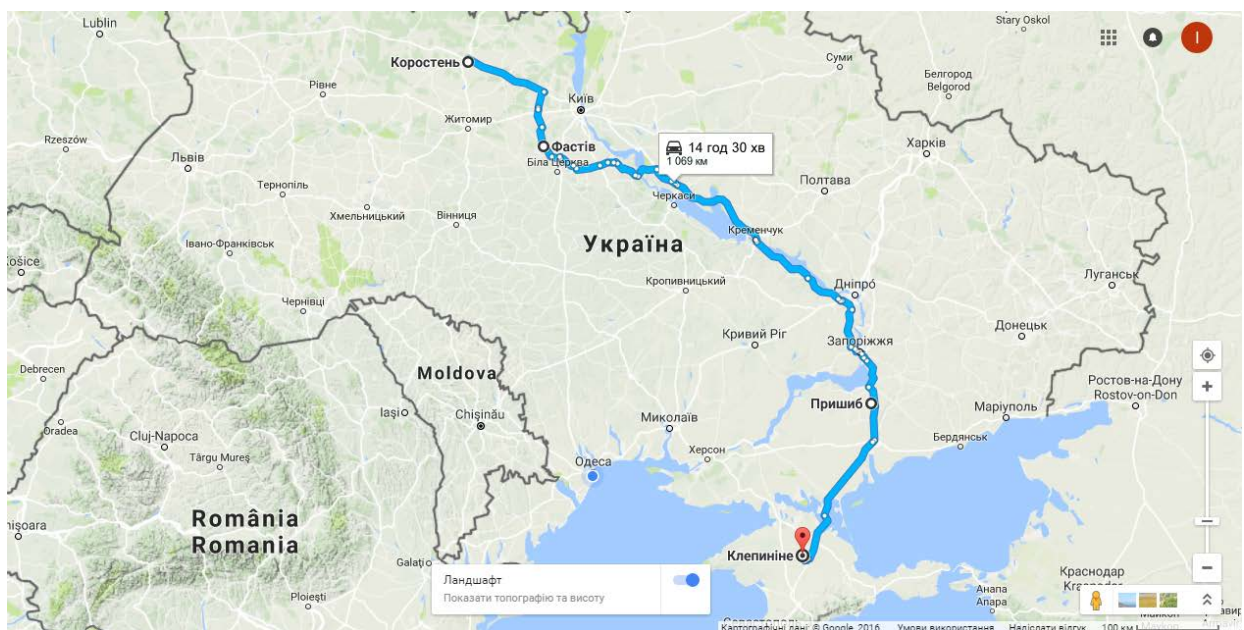


Рис. 2.6. Схема автошляху "Коростень – Фастів – Пришиб – Клепиніне"

Таким чином, автошлях проходить через три природні зони України і сягає степових районів Кримського передгір'я. Протяжність цього шляху становить 1069 км. Від м. Клепиніне до м. Запоріжжя автошлях є частиною міжнародної траси M18 (автомобільна дорога Харків – Сімферополь – Алушта – Ялта) і траси європейського значення E105 (це один з основних маршрутів, що проходить від Норвегії через Росію і 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 і 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: Е58 (від м. Нова Каховка до м. Миколаїв, це шлях, який зв'язує Австрію з Росією), Р06 (від м. Миколаїв до м. Великі Трояни), М05/Е95 (від м. Великі Трояни до м. Умань, М05 – є частиною автобану Київ–Одеса, а Е95 – це одна з основних доріг міждержавного значення, яка проходить через такі пункти як Санкт-Петербург, Гомель, Київ, Одеса, Самсун, Мерзіфон), Е50 (від м. Умань до м. Вінницькі Хутори, це одна з основних доріг Західно-Східного напрямку), М12 та М21 (від м. Вінницькі Хутори до м. Лука-Барська), Т0218, Т0610, Т2308 (від м. Лука-Барська до м. Круг) та Н03 (від м. Круг до м. Чернівці).

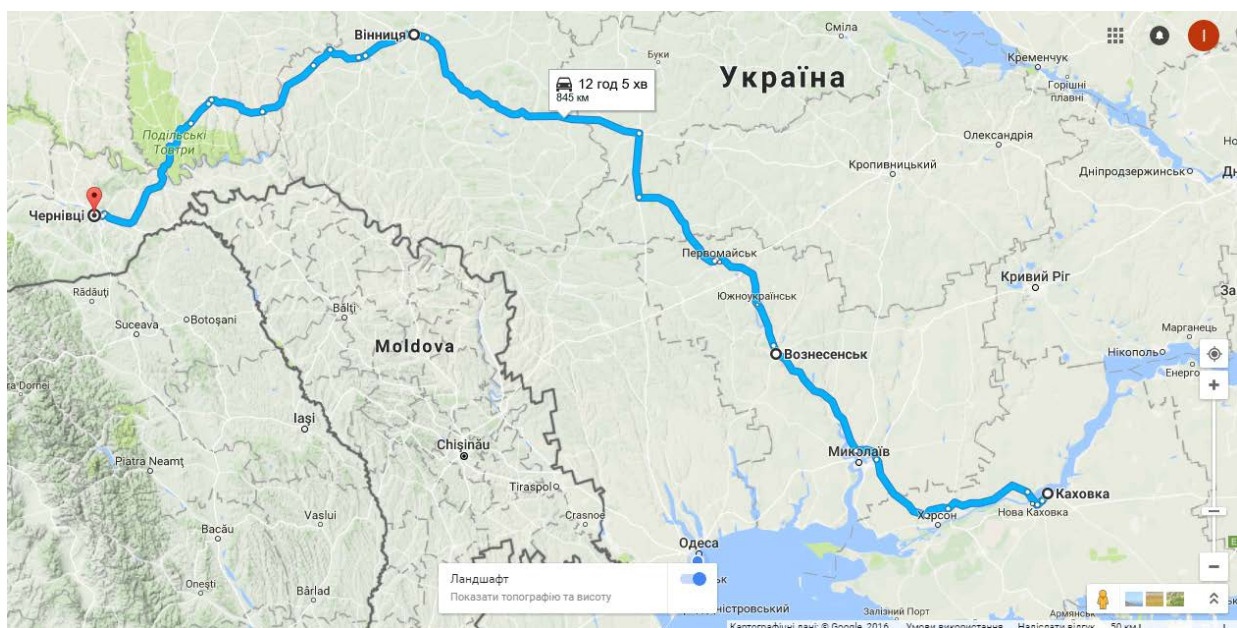


Рис. 2.7. Схема автошляху "Нова Каховка – Вознесенськ – Вінниця – Чернівці"

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 і 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—704 км.

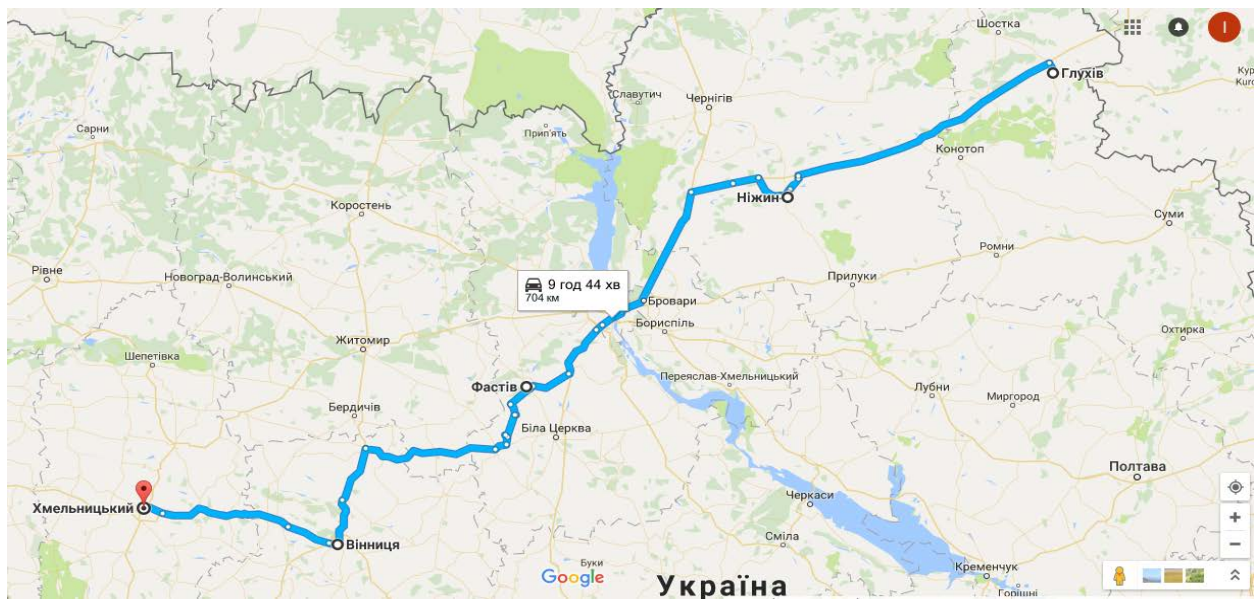


Рис. 2.8. Схема автошляху "Хмельницький – Вінниця – Фастів – Ніжин – Глухів"

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 розглядуваних автошляхів, 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 і 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 впродовж року;
- 3) температура із забезпеченістю 0,94 найбільш холодного та найбільш спекотного місяця;
- 4) кількість днів з екстремальними середньодобовими температурами: нижчими за -30, -35 і -40 °С та вищими за 25, 30, 35 °С;
- 5) кількість днів з від'ємними температурами нижчими від 0, -5, -10 та -15 °С;
- 6) повторюваність метеорологічних явищ, що погіршують стан дорожнього покриття, а саме: ожеледиця, сніговий накат, льодяний наліт, 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 [10]:

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 і танучий сніг 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 снігового накату можливо при відносній вологості повітря вищій за 90 %, коли сніг має достатню вологість для ущільнення.
3. Твердий, зернистий та льодяний наліт, ожеледь утворюються найчастіше:
 - при температурах повітря від +2 до -5,2 °С і відносній вологості повітря вищій ніж 90 %.
4. Мокре покриття утворюється внаслідок:
 - випадіння опадів при додатних температурах і 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 – Вознесенськ – 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 – Вознесенськ – Вінниця – Чернівці";
- шлях № 8 – "Хмельницький – Вінниця – Фастів – Ніжин – Глухів".

Для всіх міст України та автошляхів, які розглядаються в роботі, було розраховано соціальні й економічні ризики за методикою, запропонованою в [6]. 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 ризику, грн (частка ВРП на одну людину).

Середня тривалість небезпечного явища, t , і середня площа території, охопленої 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 взято відповідно до робіт [5] та [1] такими:

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 взято із сайтів державних установ [2, 14, 15].

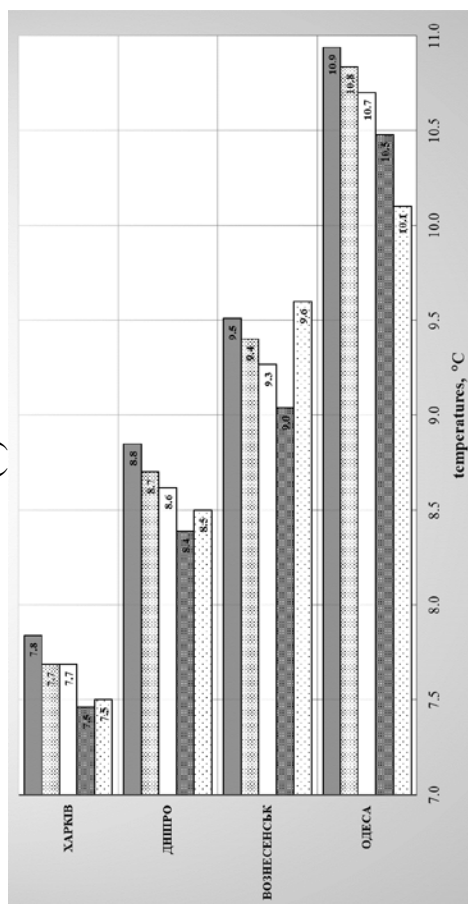
2.3. ЗМІНА КЛІМАТИЧНИХ РЕСУРСІВ ДЛЯ ТРАНСПОРТНОЇ СИСТЕМИ ЗА СЦЕНАРІЯМИ RCP4.5 І RCP8.5

2.3.1. Температура повітря

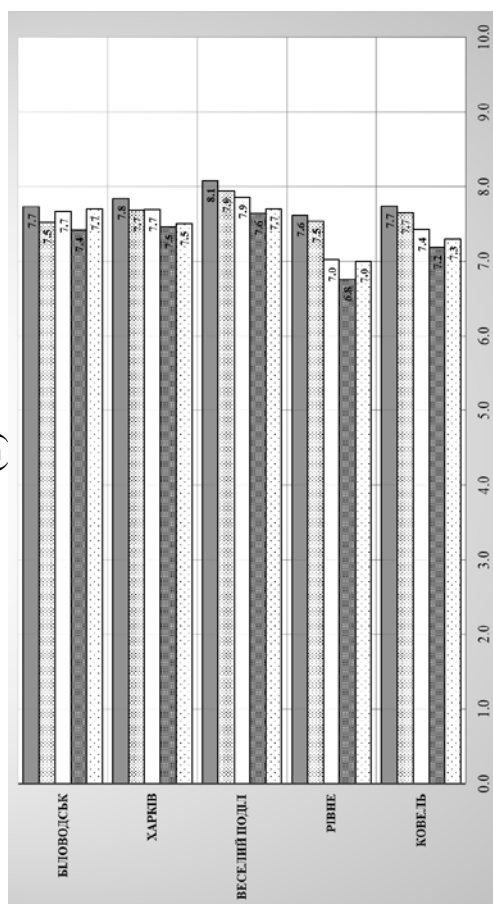
Середня температура повітря

За обома сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 було розраховано середні місячну і річну температури повітря. На рис. 2.9 і 2.10 представлено середні річні температури повітря, розраховані для різних автошляхів за періоди 1961-1990 рр., 2011-2050 рр. і 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 °C для обох періодів 2011-2040 рр. і 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., за винятком ст. Вознесенськ (Миколаївська область), Ужгород (Закарпатська область) і Коломия (Івано-Франківська область), де, навпаки, температура за сценаріями в подальші періоди підвищується, проте, все ж таки виявляється нижчою за кліматичну норму 1961-1990 рр. Тобто на цих станціях не відбувається очікуваного підвищення температури.

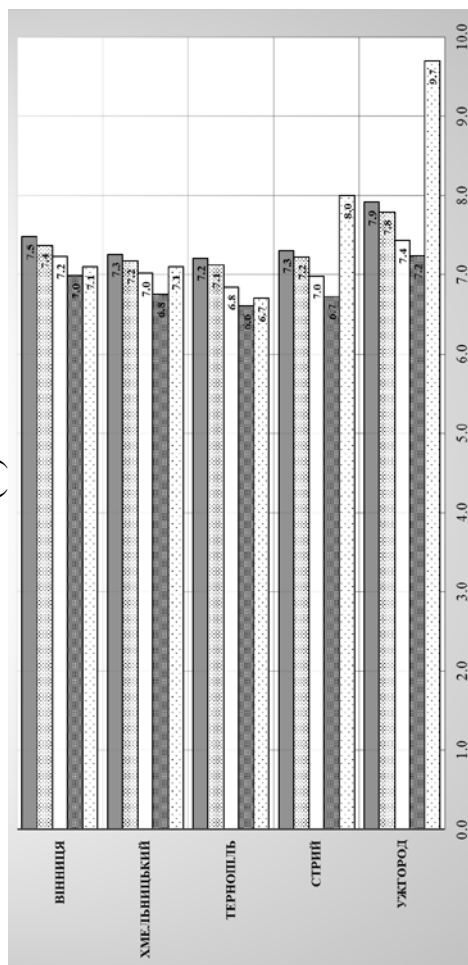
(а)



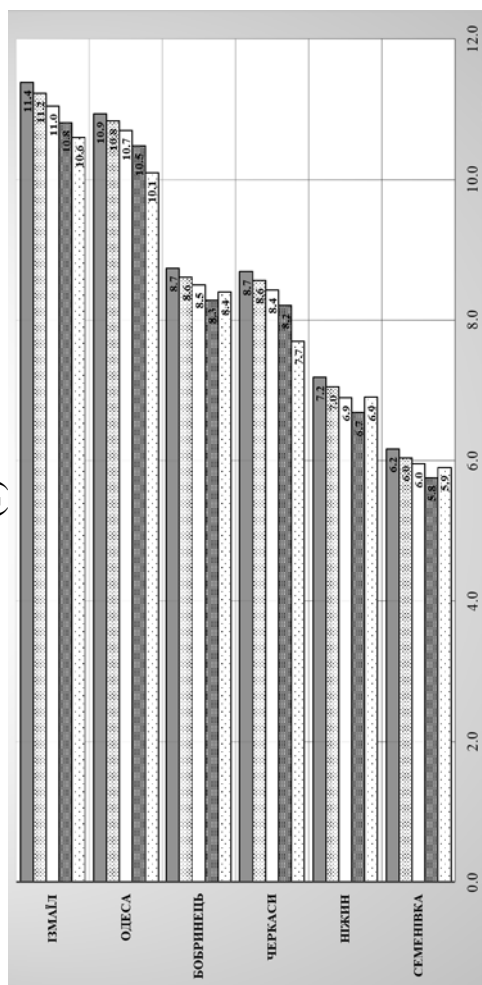
(б)



(в)



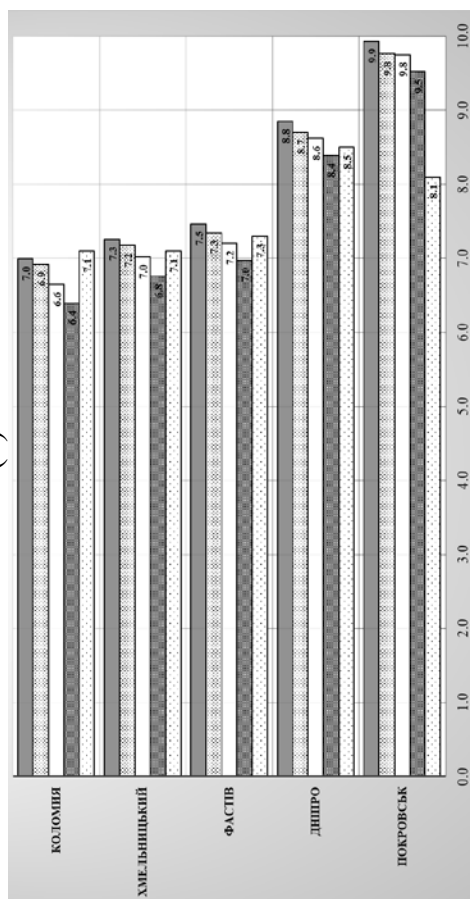
(г)



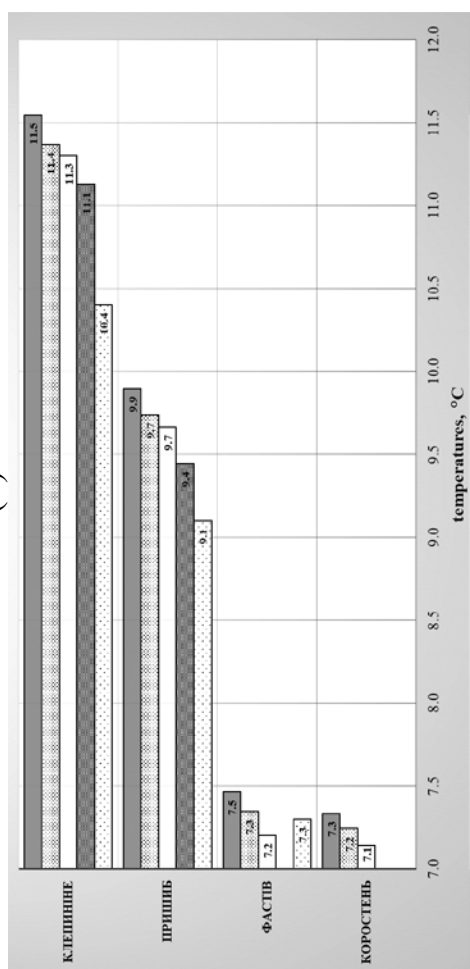
■ 2021-2050 RCP8.5 ▨ 2011-2050 RCP8.5 □ 1961-1990

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

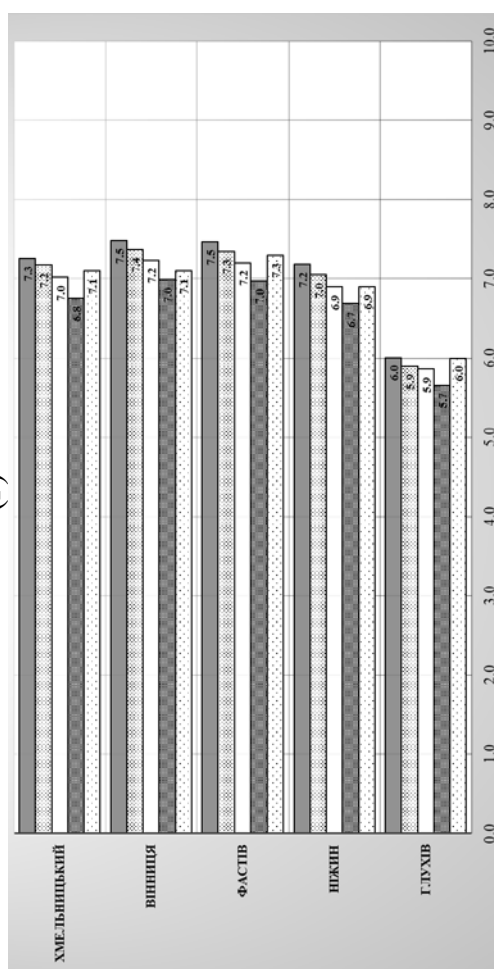
(а)



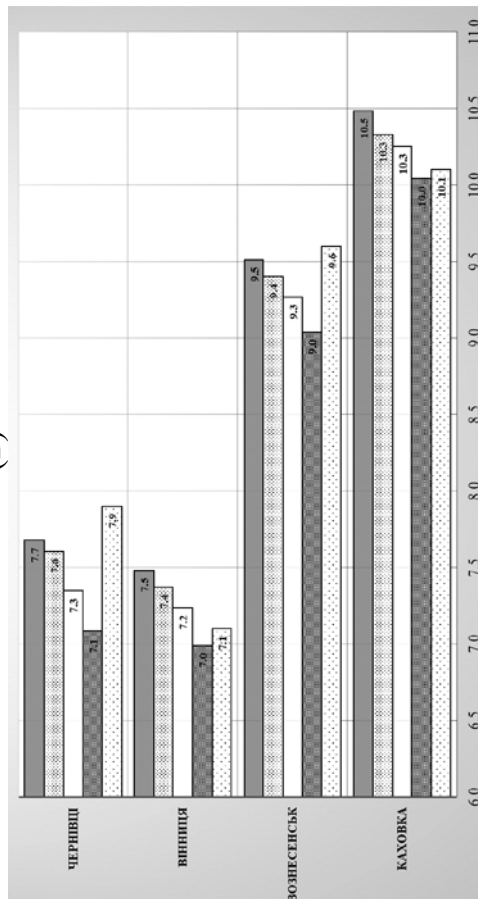
(б)



(г)



(в)



■ 2021-2050 RCP8.5 ▨ 2011-2050 RCP8.5 ■ 2011-2050 RCP4.5 □ 1961-1990

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

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 і 5 різниця у річних температурах уздовж траси сягає 3-5 °C і залишається однаковою для всіх періодів 2011-2050 рр., 2021-2050 рр. і 1961-1990 рр. На автошляхах № 6 і 7, навпаки, порівняно з кліматичною нормою різниця у річних температурах збільшується, що може призвести до більших перепадів температур і 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 зонально орієнтовані, а автотраса № 8, окрім того, пролягає лише в західних і північних областях.

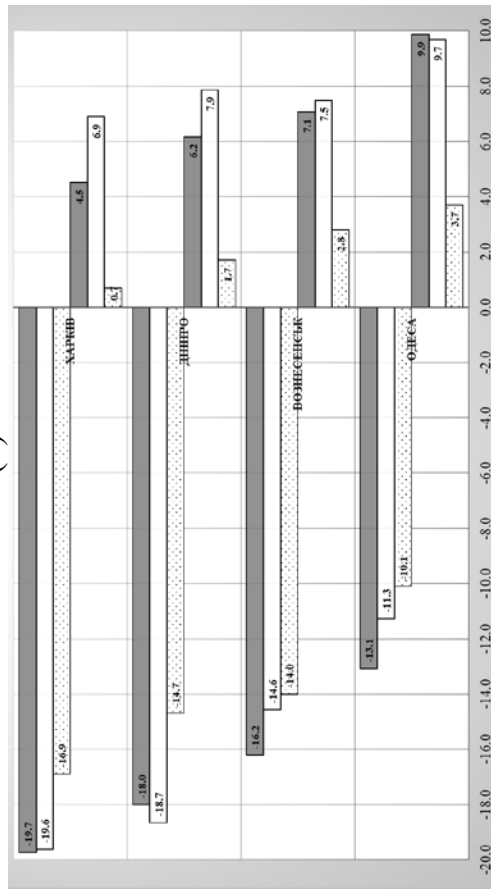
Отримані результати дають змогу зробити висновок щодо загального підвищення середніх багаторічних температур, проте, незважаючи на підвищення температури, континентальність не зменшується, а в деяких випадках, навпаки, збільшується.

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

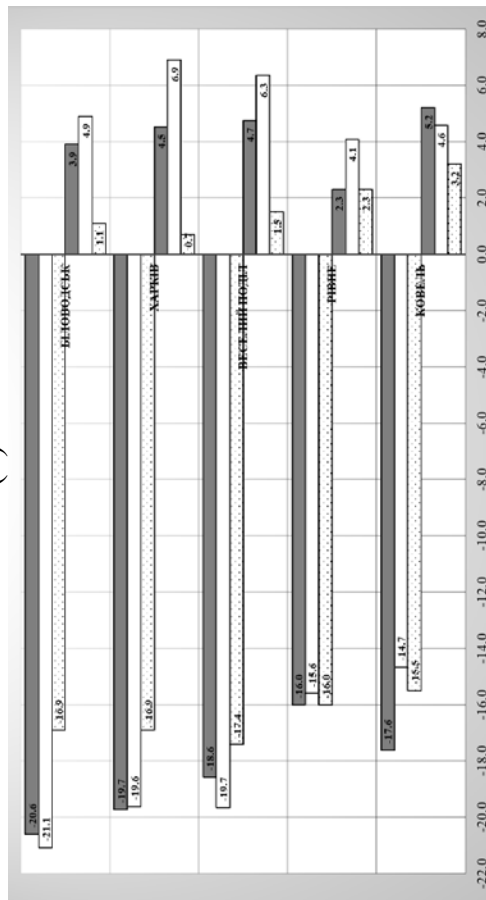
На рис. 2.11 і 2.12 представлено середньодобову температуру із забезпеченістю 1 і 99 % у січні за періоди 2021-2050 рр. та 1961-1990 рр.

Можна бачити, що уздовж всіх трас за обома сценаріями порівняно з кліматичною нормою 1961-1990 рр. амплітуда зміни середньої добової температури збільшується і відбувається зсув середньої добової температури у бік більш екстремальних значень. Наприклад, якщо в Ужгороді в січні у 1961-1990 рр. із забезпеченістю 1 % можна було очікувати температуру -11,5 °C, а із забезпеченістю 1 % – +2,7 °C, то за сценарієм RCP4.5 температури з такими забезпеченостями вже будуть іншими (більш екстремальними) +3,6 та -14,8 °C, відповідно, а за сценарієм RCP8.5 становитимуть +4,5 та -15,8 °C відповідно. Це означає збільшення ймовірності екстремальних температур і 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.

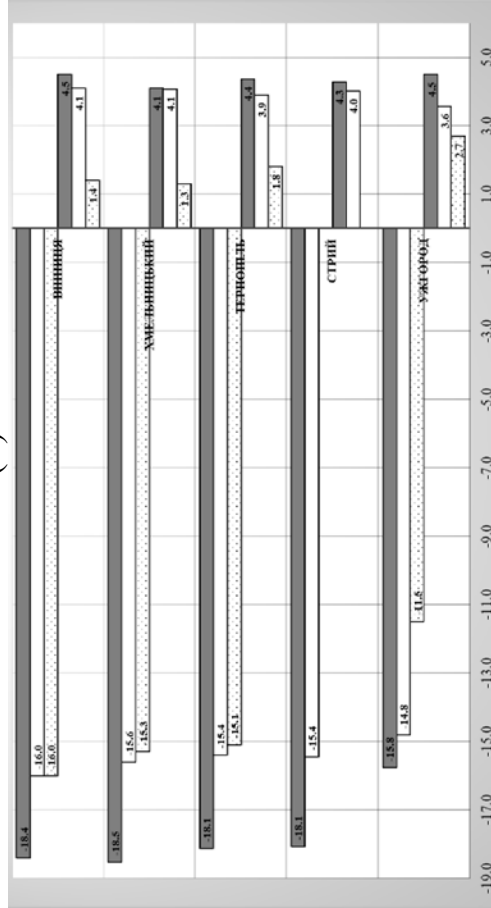
(а)



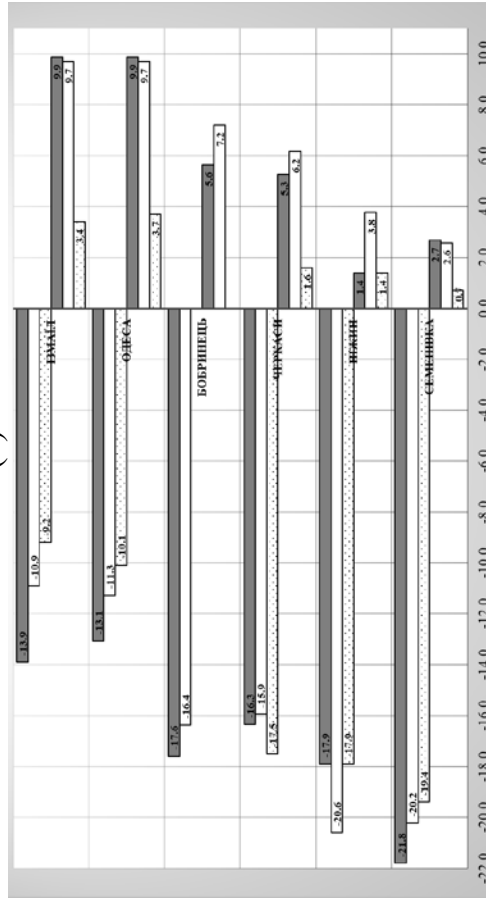
(в)



(б)



(г)



■ 2021-2050 RCP8.5 □ 1961-1990

Рис. 2.11. Процентилі «99» та «1» середньої температури січня 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).

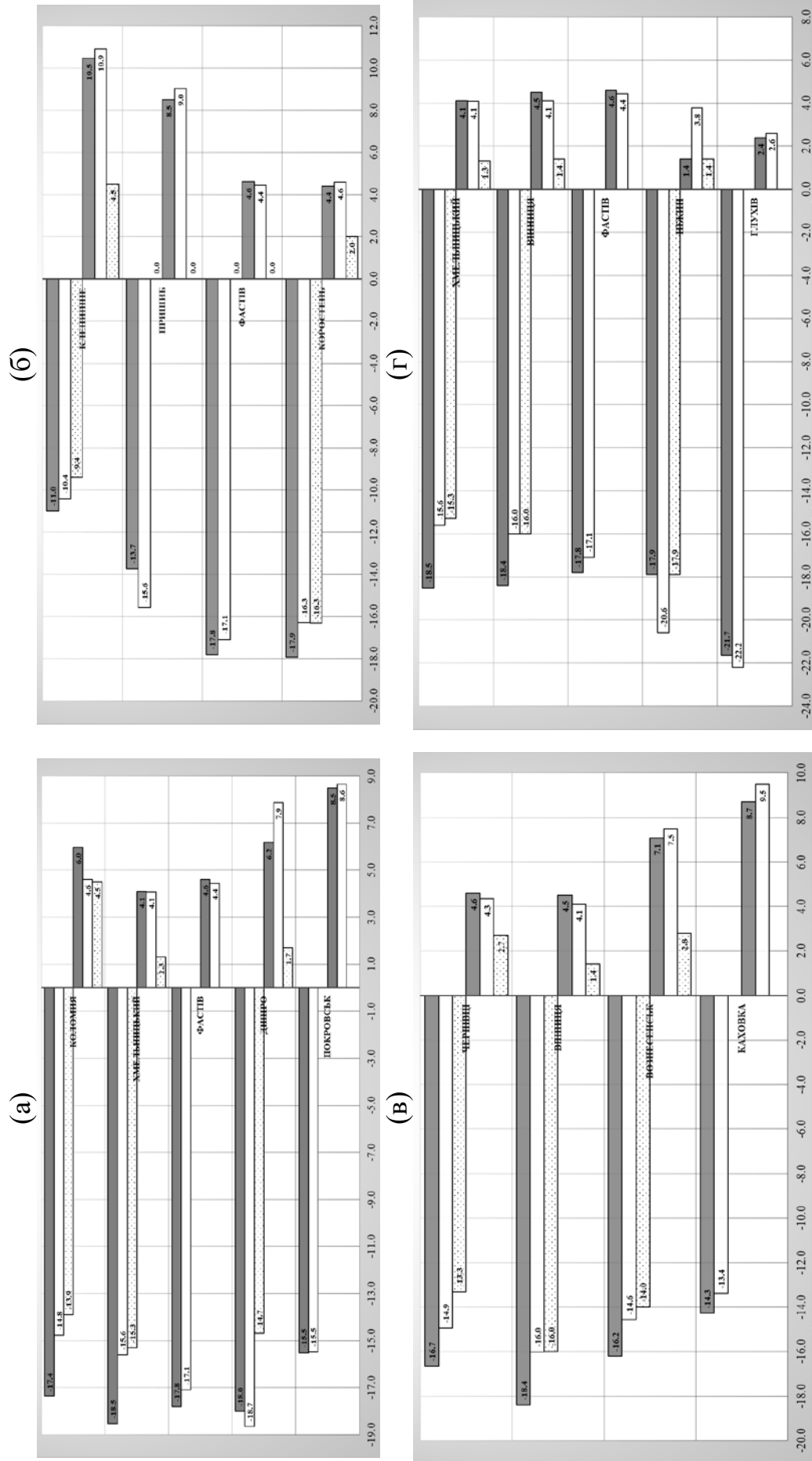


Рис. 2.12. Прогнози температури січня за періоди 1961-1990 і 2021-2050 для сценаріїв RCP4.5 та RCP8.5 вздовж автошляхів № 5 (а), № 6 (б), № 7 (в) та № 8 (г).

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 і просування середньої добової температури у бік більш екстремальних значень. Такі результати є характерними для південних станцій і 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 і заходу країни. Для північних і 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 (Запорожська область) і м. Біловодськ (Луганська область).

Для інших міст України 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 і південно-західних областях, а за сценарієм RCP4.5 в інших областях України.

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

Порівняно зі змінами середньої температури січня зміни середньої температури липня 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 більш інтенсивний. Причому, слід зазначити, що і в січні, і в липні амплітуда змін температури не залежить ні від широтної, ні від меридіональної орієнтації шляхів.

(a)

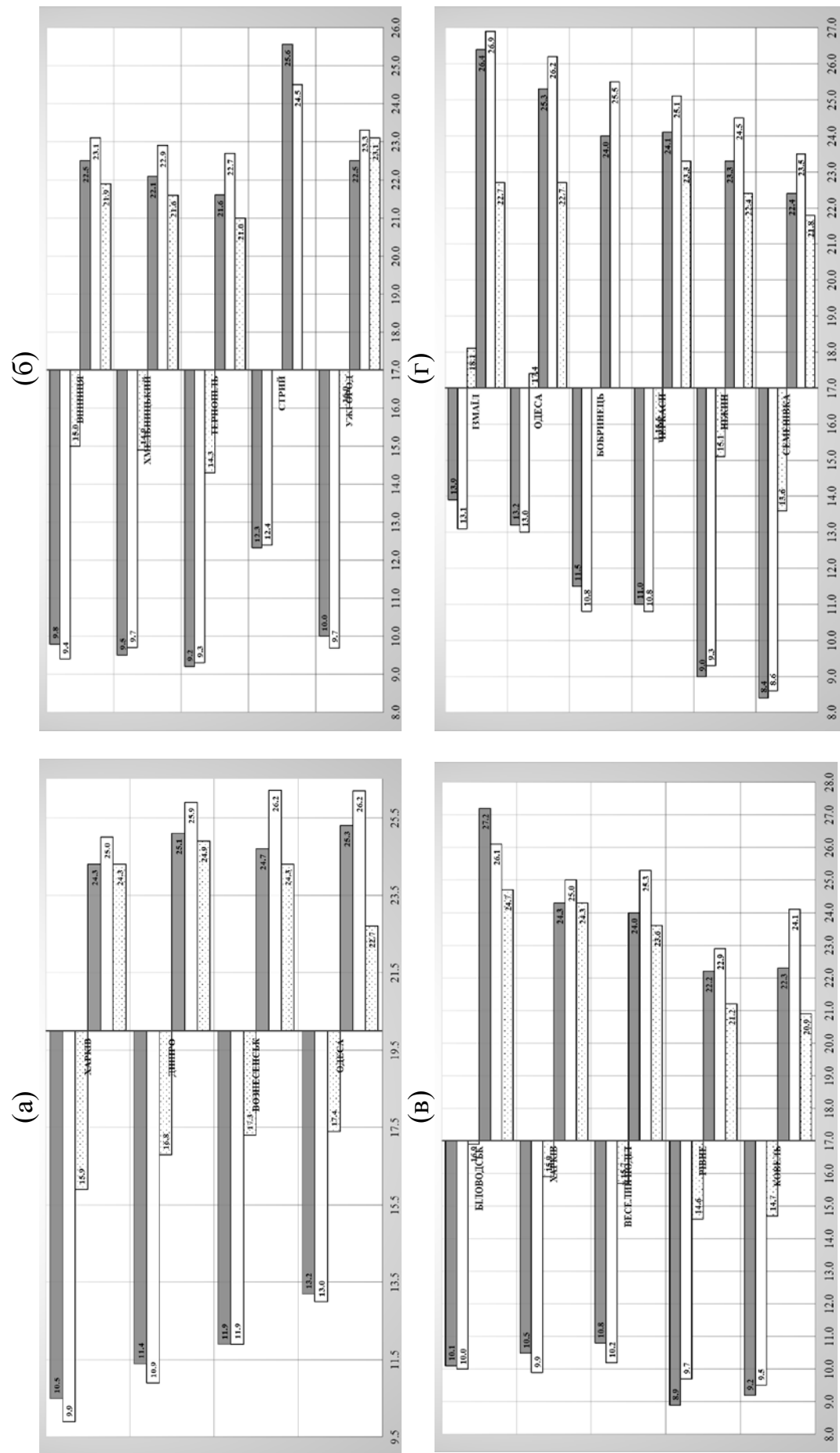


Рис. 2.13. Процентилі «99» та «1» середньої температури липня за періоди 1961-1990 і 2021-2050 для сценаріїв RCP4.5 та RCP8.5 вздовж автошляхів № 1 (а), № 2 (б), № 3 (в) та № 4 (г).

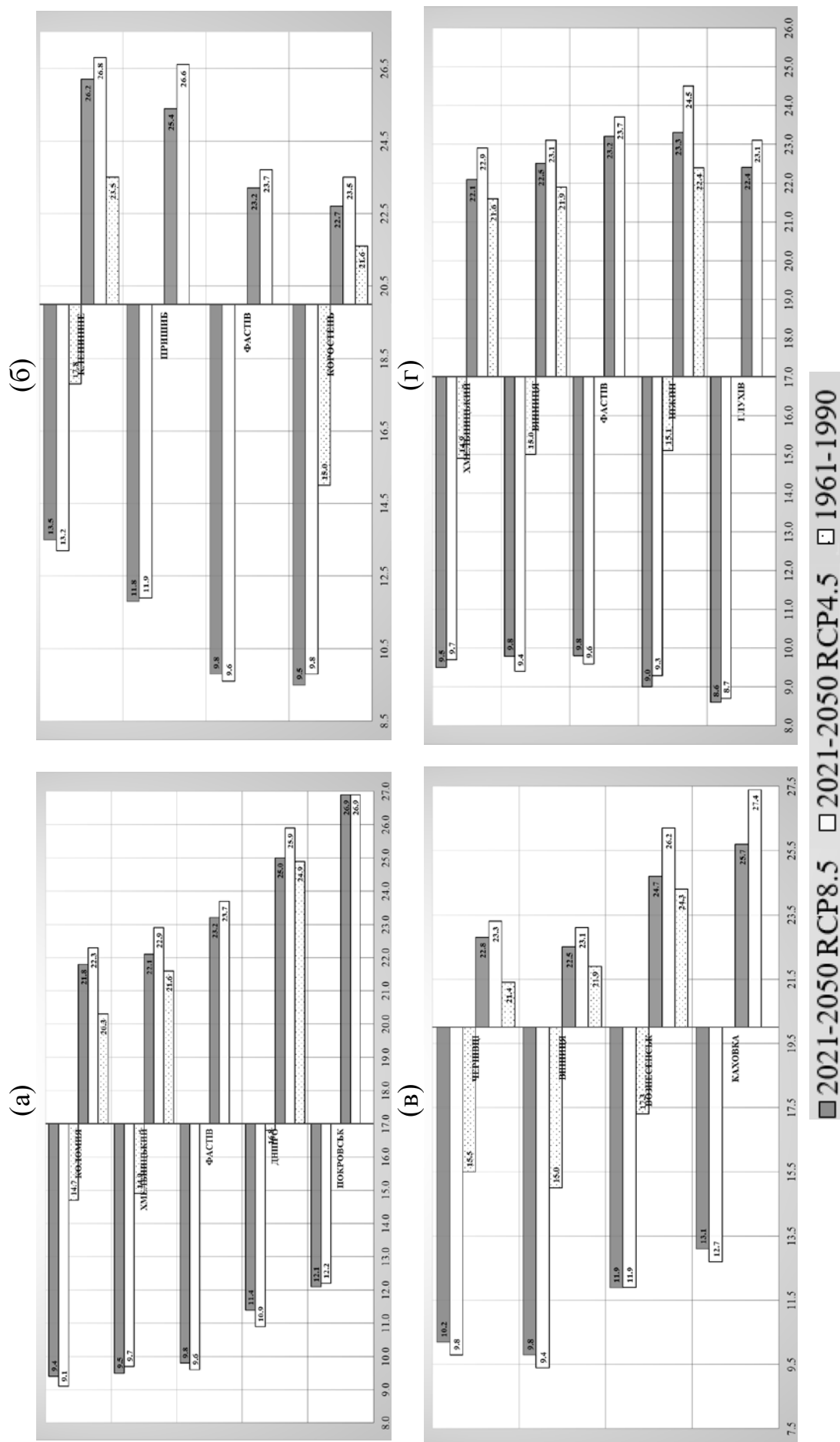


Рис. 2.14. Процентні «99» та «1» середньої температури липня за періоди 1961-1990 і 2021-2050 для сценаріїв RCP4.5 та RCP8.5 вздовж автошляхів № 5 (а), № 6 (б), № 7 (в) та № 8 (г).

Для автошляхів № 1, 5, 6 і 7 спостерігається загальна тенденція в зміні температури: найбільша амплітуда середньої добової температури і найбільший зсув у бік екстремальних значень відбувається для сценарію RCP4.5, в сценарії RCP8.5 мають місце такі ж зміни, проте, амплітуда змін є меншою. Станції автотраси № 5 розташовані в зональному напрямку, однак 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, за сценарієм RCP4.5.

Уздовж автотраси № 4 в північних районах (м. Семенівка та м. Ніжин) спостерігаються найнижчі значення процентиля 1 % за сценарієм RCP8.5, а найвищі значення процентиля 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 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 і 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.

На рис. 2.15 та 2.16 представлено середню температуру січня із забезпеченістю 50 %, а на рис. 2.17 та 2.18 – середню температуру липня 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 значень 50-ї процентиля середньої добової температури за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5. Оскільки можна вважати, що температура підлягає нормальному закону розподілу, то це означає, що підвищується і середнє значення, і модальне значення середньої багаторічної температури січня. Слід звернути увагу, що для всіх станцій відбувається найбільше зростання значень 50-ї процентиля середньої багаторічної температури за сценарієм RCP4.5. Порівняно з кліматичною нормою 1961-1990 рр. це зростання становить приблизно 3-4 °C.

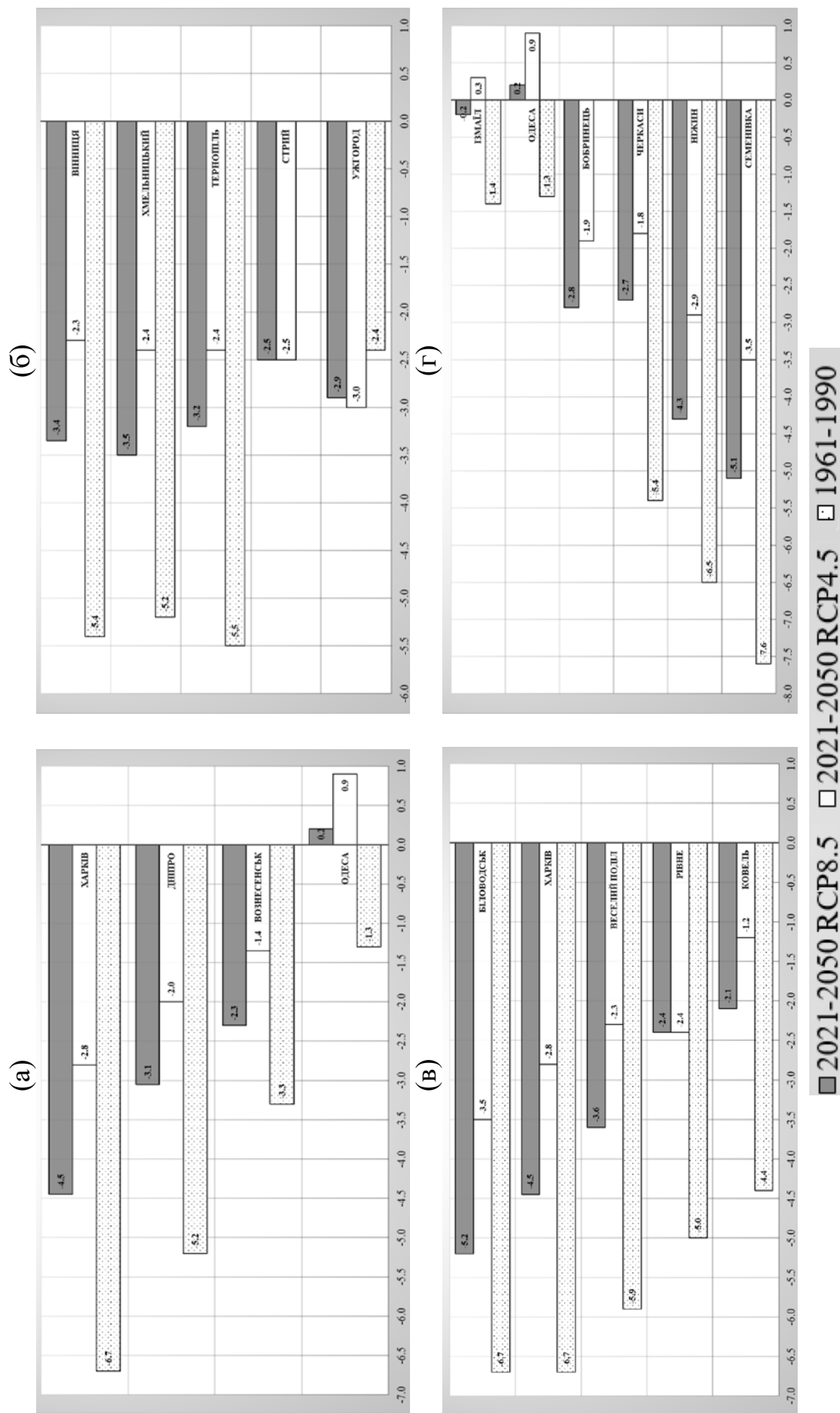


Рис. 2.15. Процентиль «50» середньої температури січня за періоди 1961-1990 і 2021-2050 для сценаріїв RCP4.5 та RCP8.5 вздовж автошляхів № 1 (а), № 2 (б), № 3 (в) та № 4 (г).

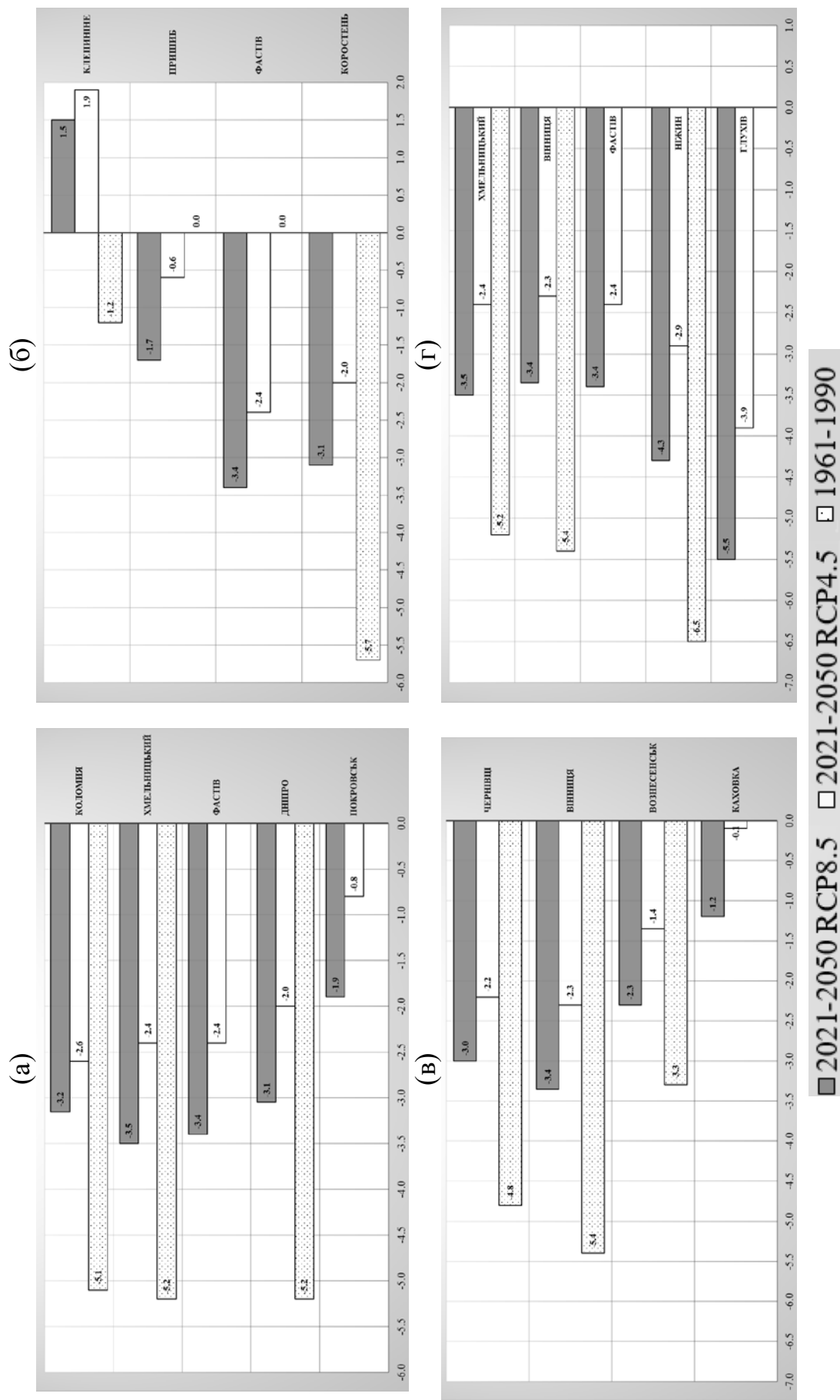


Рис. 2.16. Процентиль «50» середньої температури січня за періоди 1961-1990 і 2021-2050 для сценаріїв RCP4.5 та RCP8.5 вздовж автошляхів № 5 (а), № 6 (б), № 7 (в) та № 8 (г).

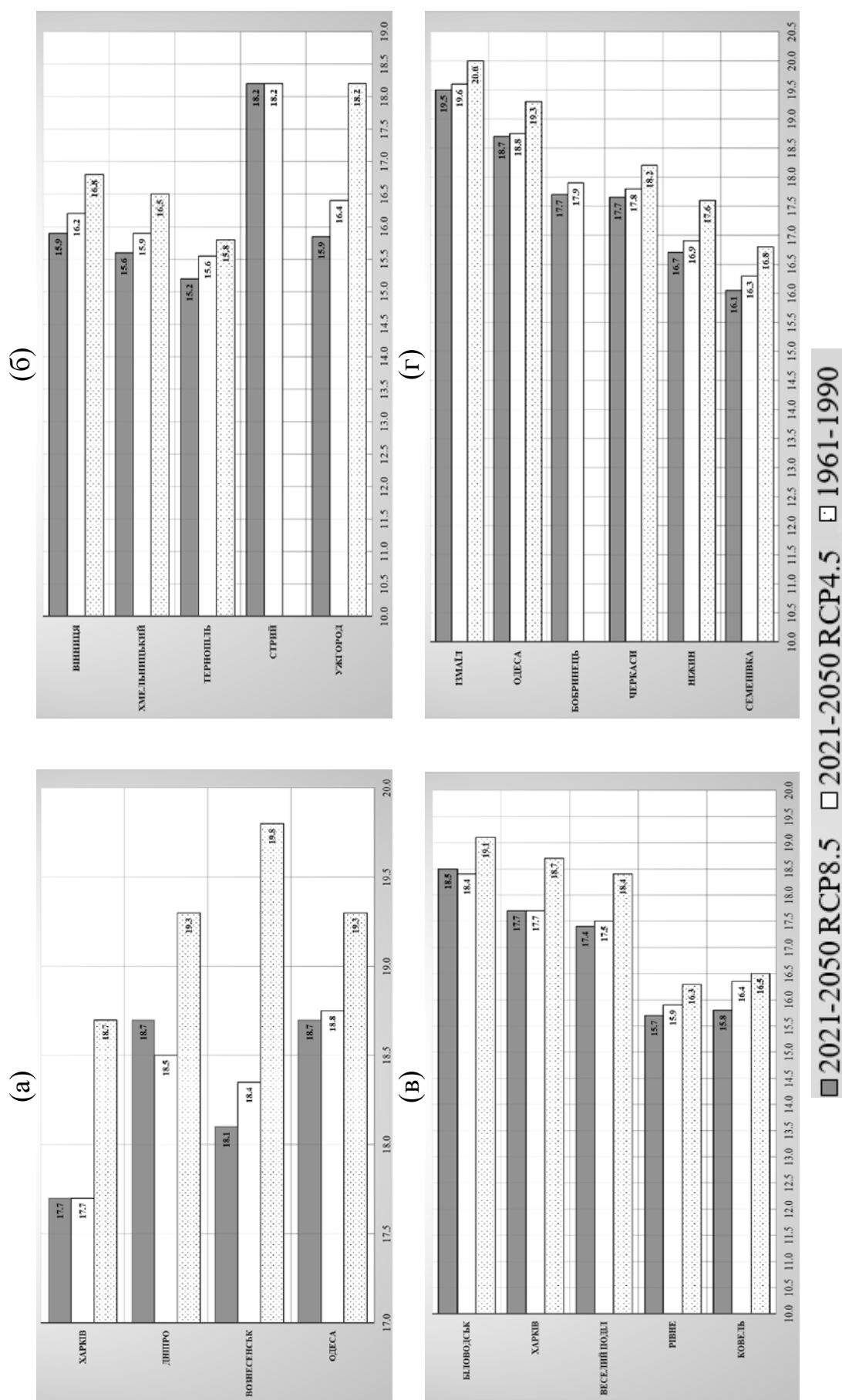


Рис. 2.17. Процентиль «50» середньої температури липня за періоди 1961-1990 і 2021-2050 для сценаріїв RCP4.5 та RCP8.5 вздовж автошляхів № 1 (а), № 2 (б), № 3 (в) та № 4 (г).

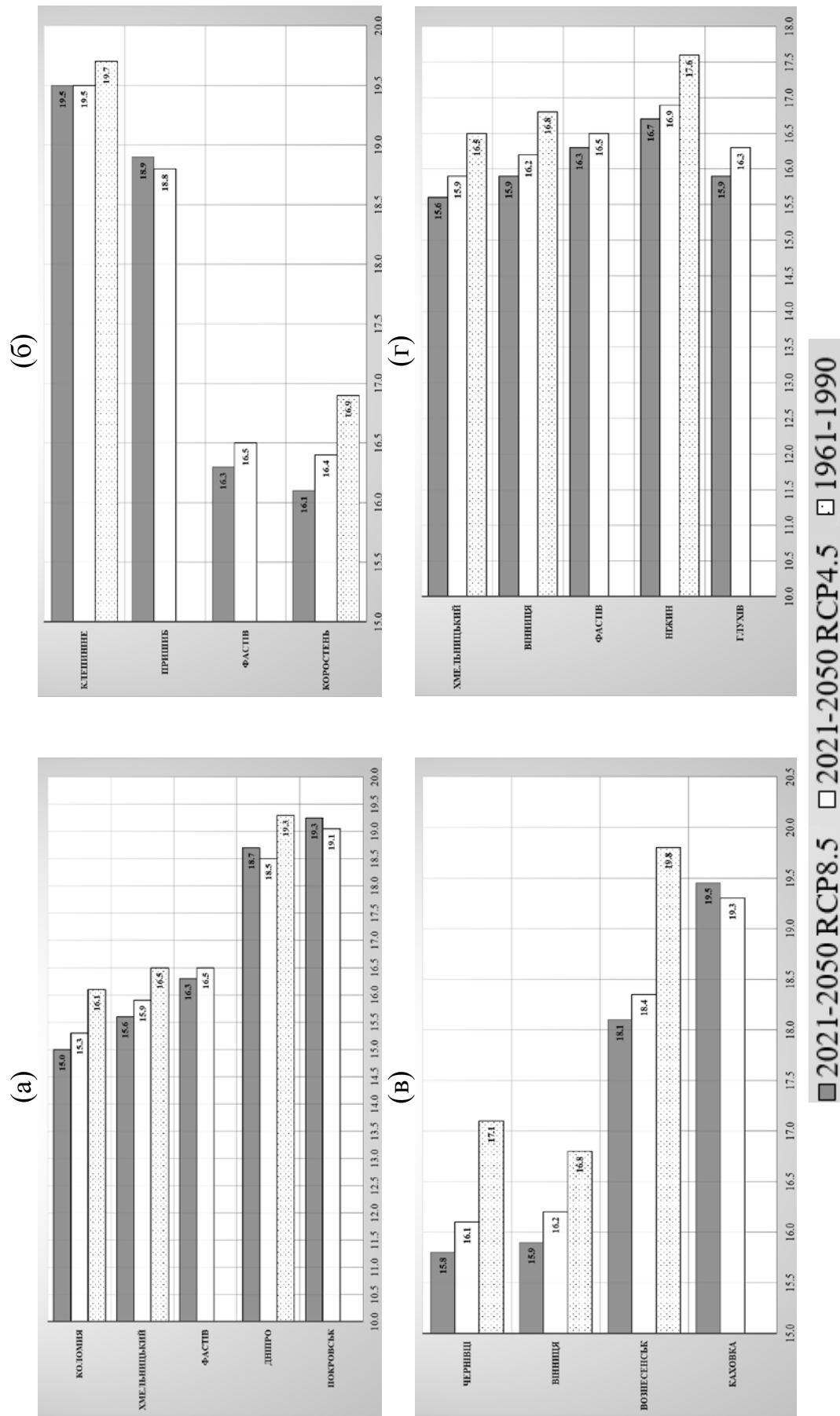


Рис. 2.18. Процентиль «50» середньої температури липня за періоди 1961-1990 і 2021-2050 для сценаріїв RCP4.5 та RCP8.5 вздовж автошляхів № 5 (а), № 6 (б), № 7 (в) та № 8 (г).

За сценарієм RCP8.5 зростання є не таким помітним і становить в більшості випадків 1-2 °C.

Слід зауважити, що для деяких південних станцій, розташованих в Криму та на морському узбережжі, значення 50-ї перцентилі 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-ї перцентилі середньої багаторічної температури зменшується. Найбільше зменшується за сценарієм RCP8.5, за винятком ст. Дніпро, Біловодськ, Пришиб, Покровськ та Каховка (станції східно-південної України). Для цих станцій, навпаки, більше зменшення значення 50-ї перцентилі відбувається за сценарієм RCP4.5. Для деяких станцій за обома сценаріями отримано однакові значення 50-ї перцентилі, а саме: м. Стрий, м. Харків, м. Клепиніне. До цієї ж групи можна віднести і станції південного регіону – м. Одеса і м. Ізмаїл.

Зменшення значення 50-ї перцентилі порівняно з кліматичною нормою становить приблизно 0,5-1,0 °C.

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

Максимальна температура повітря

На рис. 2.19 та 2.20 представлено зміну багаторічної максимальної температури повітря уздовж восьми автотрас України за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 за періоди 1961-1990 рр., 2011-2050 рр. і 2021-2050 рр. Для середніх багаторічних максимальних температур мають місце такі саме тенденції, як і для середніх багаторічних 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 становить від 3 до 7 °C.

Порівняно з кліматичною нормою 1961-1990 рр. відбувається зростання середньої багаторічної максимальної температури за обома сценаріями. Винятком 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, за винятком м. Семенівка та м. Глухів, проте,

для м. Семенівка спостерігається зростання середньорічної температури за сценарієм RCP8.5 і становить $+0,1^{\circ}\text{C}$, а для м. Глухів цього зростання взагалі не відбувається ($0,0^{\circ}\text{C}$).

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 підвищення 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 максимальними температурами, які перевищують певні порогові значення, за періоди 1961–1990 та 2021–2050 рр. За такі порогові значення було обрано ті, вище яких день вважається спекотним, тобто $+30^{\circ}\text{C}$, $+35^{\circ}\text{C}$ та $+40^{\circ}\text{C}$.

Можна бачити, що в зміні кількості спекотних днів немає загальної тенденції.

Уздовж автотраси №1, яка пролягає через південні та східні регіони, виявлено зростання кількості днів з максимальною температурою $\geq 30^{\circ}\text{C}$ порівняно з кліматичною нормою для спекотних днів, за винятком м. Дніпро. Для сценарію RCP4.5 зростання кількості днів є більшим порівняно з RCP8.5. Проте, для температур $\geq 35^{\circ}\text{C}$ збільшення кількості днів відбувається для всіх станцій і за сценарієм RCP8.5 є більшим, ніж за RCP4.5.

Уздовж шляху №2, який проходить через західні та центральні регіони України, порівняно з кліматичною нормою спостерігається зменшення кількості днів з температурами $\geq 30^{\circ}\text{C}$ і $\geq 35^{\circ}\text{C}$ за обома сценаріями, хоча за сценарієм RCP8.5 кількість спекотних днів є більшою, ніж сценарієм RCP4.5. Особливо різке зменшення кількості спекотних днів відбувається в містах Ужгород і Хмельницький.

Такі ж тенденції (зменшення кількості днів з температурами $\geq 30^{\circ}\text{C}$) зберігаються для автошляхів №3, 6, 8, які пролягають північними, центральними та західними областями України.

Вздовж автошляхів № 4, 5 і 7, які пов'язують східні та західні регіони (№ 5, 7) або північні й південно-західні райони України, має місце збільшення спекотних днів в східних і південних частинах шляху і, навпаки, зменшення – в північній та західній частинах. Це означає, що вздовж таких шляхів перепади температур будуть більшими, що негативно відбиватиметься на стані транспорту.

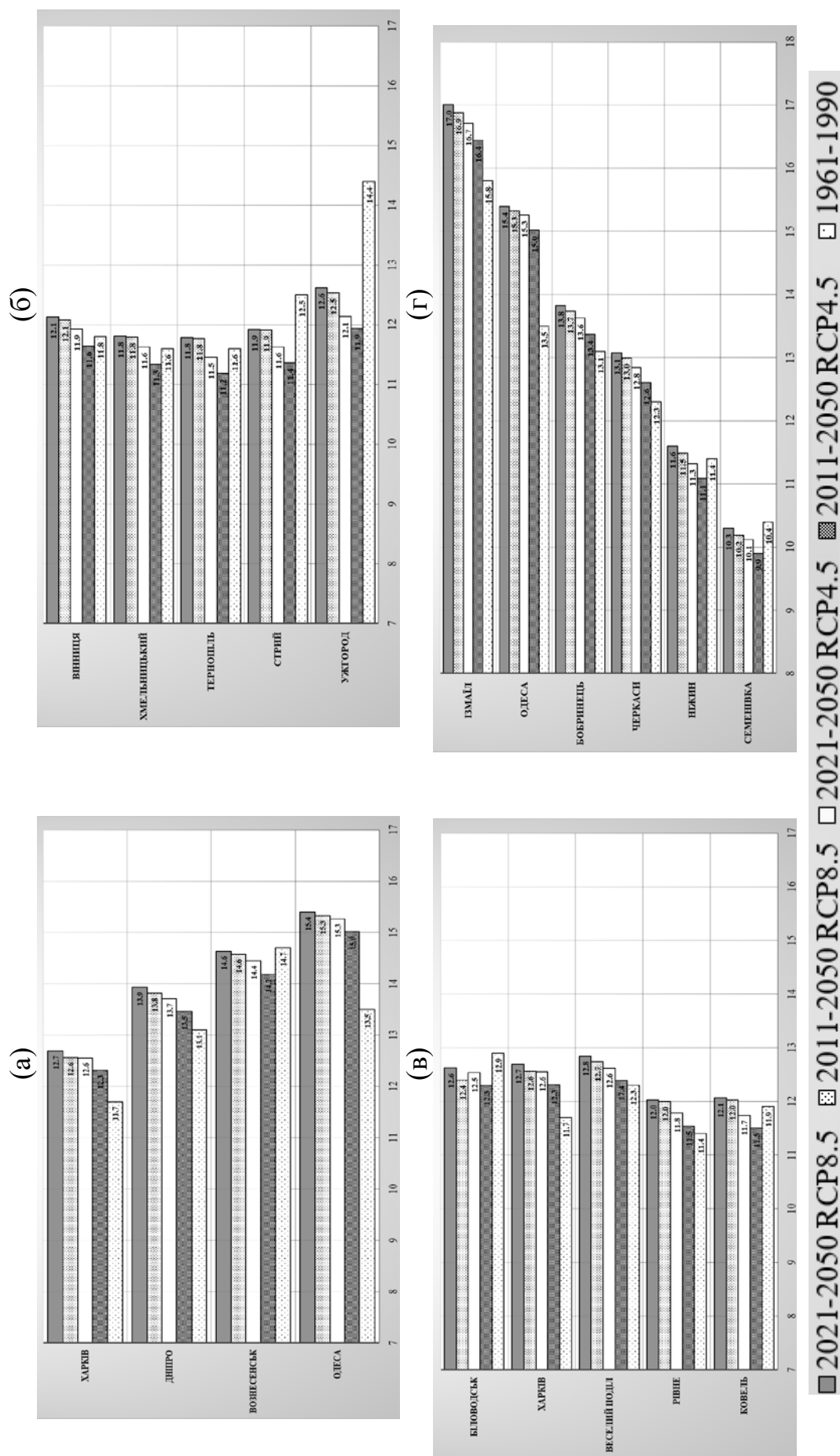
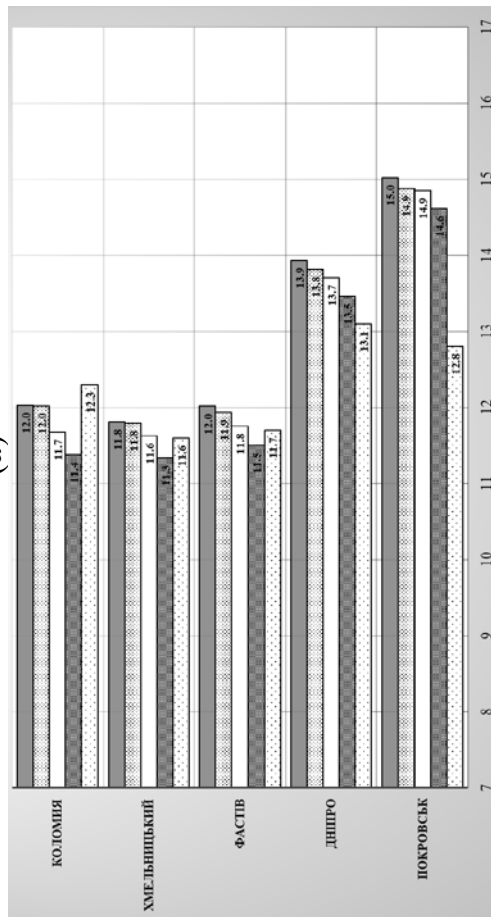
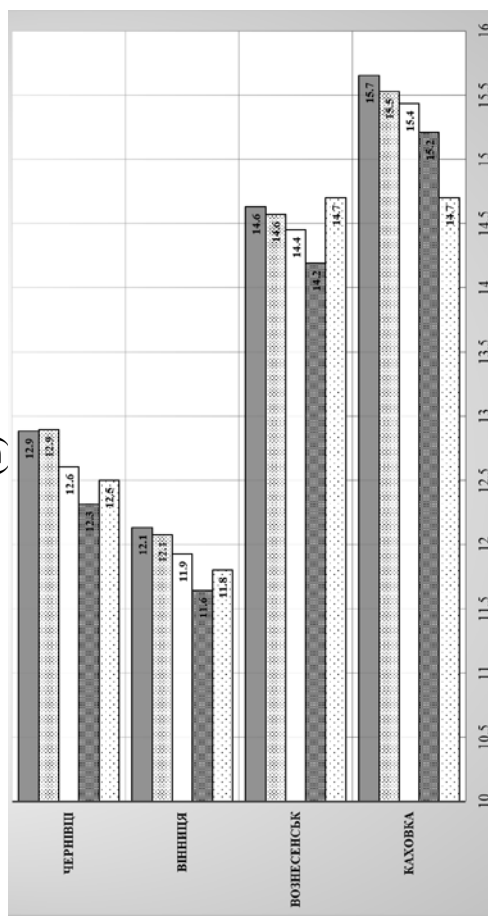


Рис. 2.19. Середня максимальна температура за періоди 1961-1990, 2011-2050 та 2021-2050 для сценаріїв RCP4.5 і RCP8.5 для автошляхів № 1 (а), № 2 (б), № 3 (в), № 4 (г).

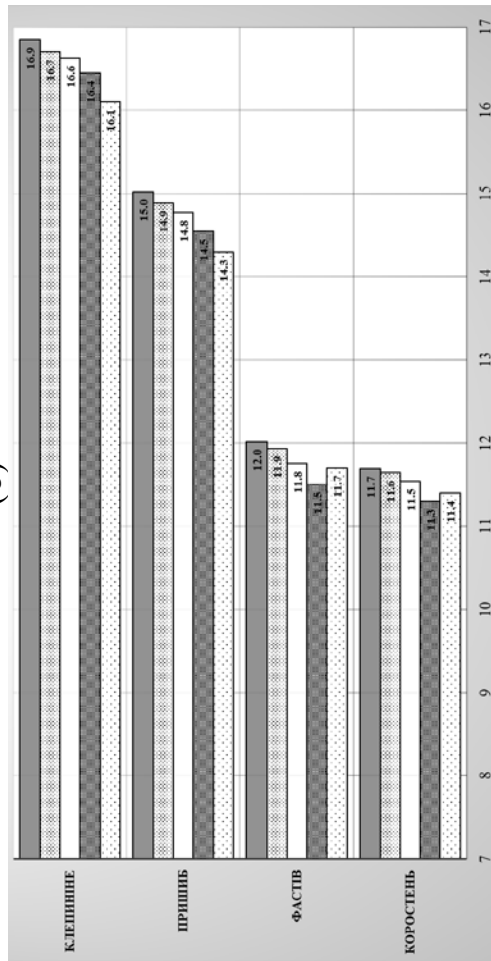
(а)



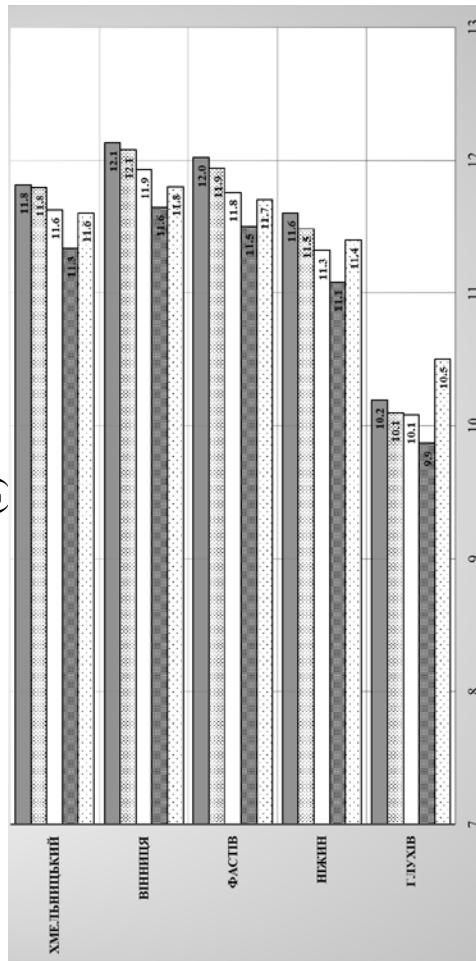
(б)



(в)



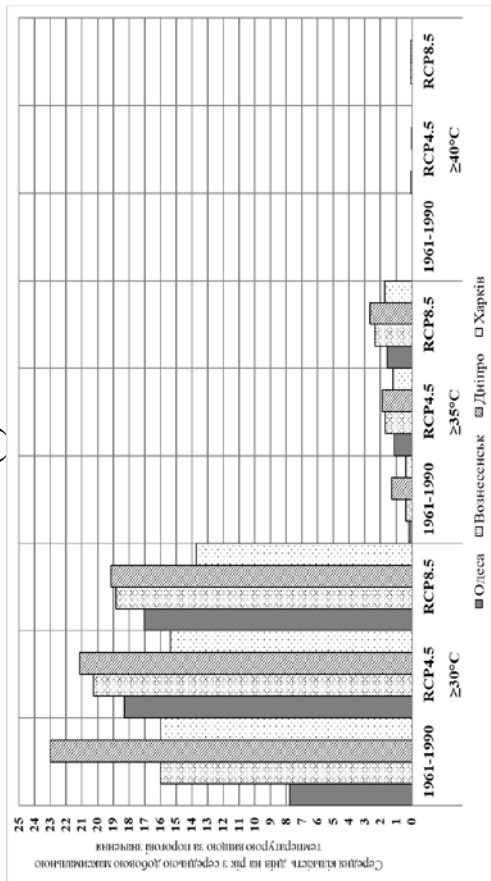
(г)



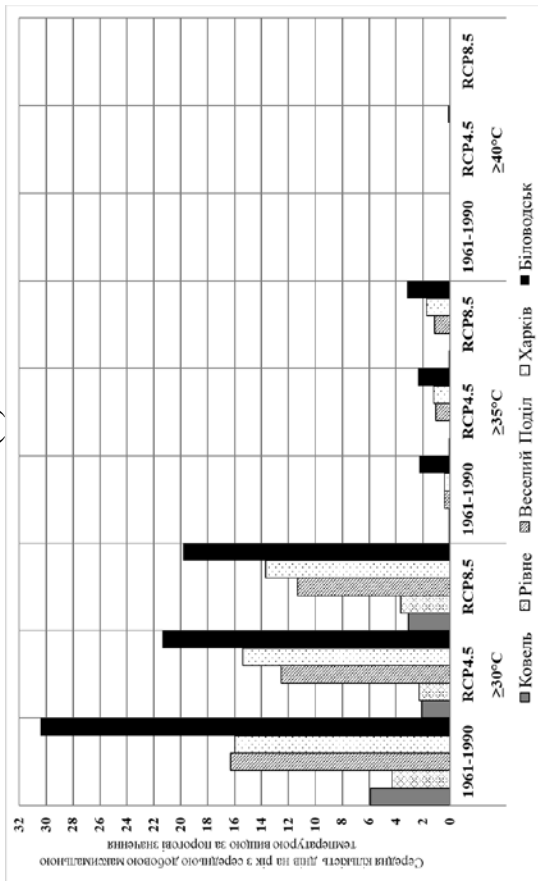
■ 2021-2050 RCP8.5 ■ 2011-2050 RCP8.5 ■ 2021-2050 RCP4.5 □ 1961-1990

Рис. 2.20. Середня 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).

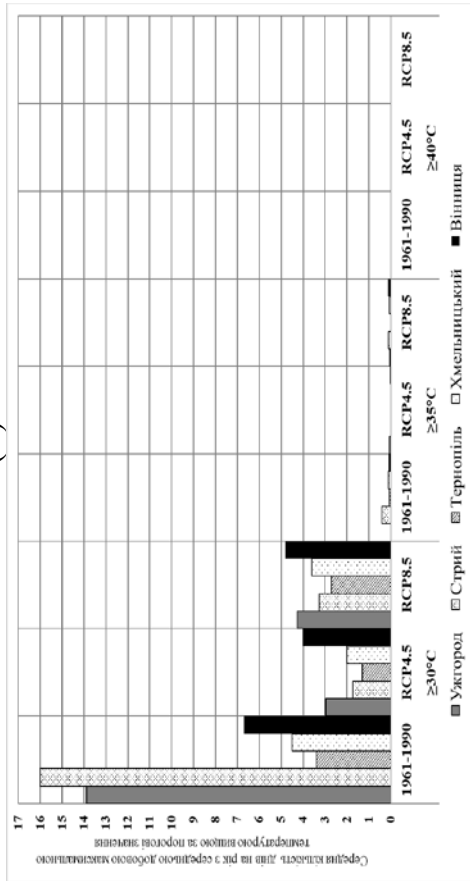
(а)



(Б)



(б)



(Г)

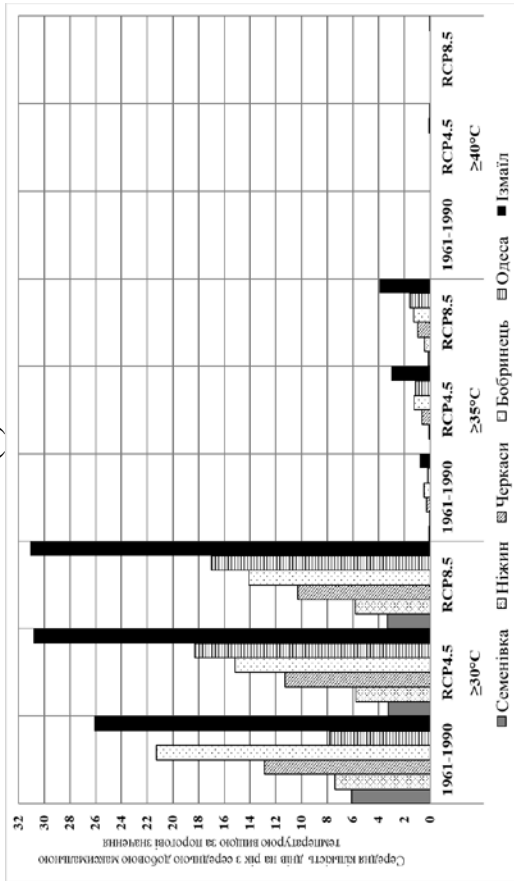


Рис.2.21. Кількість днів з вищими за певні межі максимальними температурами за періоди 1961–1990 рр. і 2021–2050 рр. для автошляхів № 1 (а), № 2 (б), № 3 (в), № 4 (г).

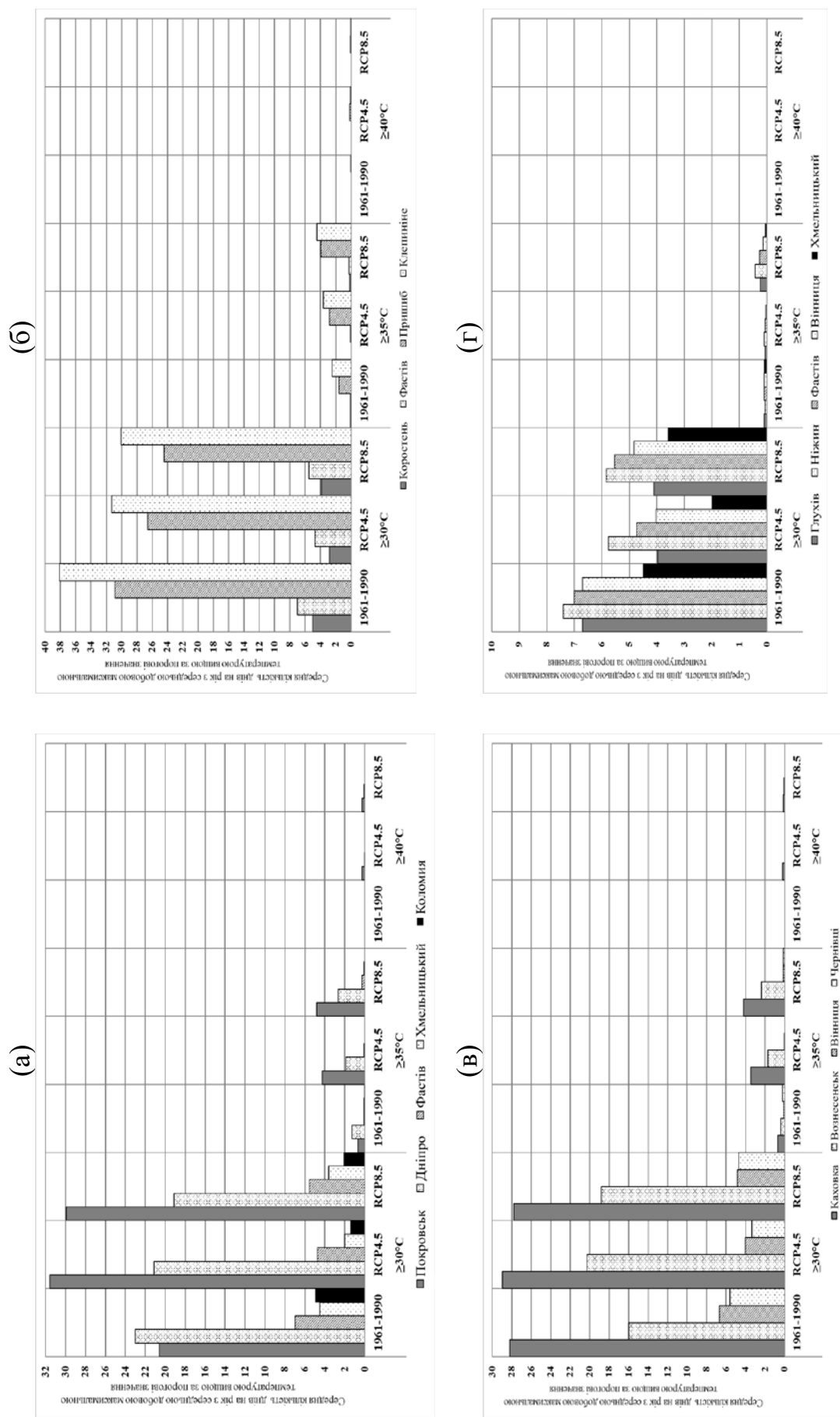


Рис. 2.22. Кількість днів з вищими за певні межі максимальними температурами за періоди 1961–1990 рр. і 2021–2050 рр. для автошляхів № 5 (а), № 6 (б), № 7 (в), № 8 (г).

Збільшення кількості днів з максимальною температурою ≥ 30 °C на більшу величину відбувається за сценарієм RCP8.5 для 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 межовим значенням для визначення спекотних днів в цих регіонах, то можна вважати для цих районів сценарій RCP8.5 є більш екстремальним, ніж сценарій RCP4.5. Для решти станцій більш екстремальним можна вважати сценарій RCP4.5.

Зростання кількості днів з максимальною температурою ≥ 35 °C порівняно з кліматичною нормою спостерігається в усіх регіонах України. За сценарієм RCP8.5 зростання є більшим, ніж за сценарієм RCP4.5 також для всієї території України. Найбільш інтенсивне зростання кількості днів з максимальною температурою ≥ 35 °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.

Для південних і східних станцій незначно зростає кількість днів з температурами ≥ 40 °C, а це означає, що на автотрасах №1, 4, 5, 6, 7 можуть спостерігатись влітку особливо небезпечні погодні умови.

Мінімальна температура повітря

На рис. 2.23 та 2.24 представлено зміну середньої багаторічної 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 середня багаторічна мінімальна температура збільшується, причому найбільше зростання температури відбувається за сценарієм RCP8.5 для періоду 2021-2050 рр. Виходячи з того, що за обома сценаріями середня багаторічна 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.

Однак, слід зауважити дуже цікаву тенденцію, яка не спостерігається для зміни середньої багаторічної максимальної температури та середньої багаторічної температури: практично для всіх пунктів, що розглядаються, підвищення мінімальної температури не перевищує кліматичну норму, за винятком ст. Ужгород, Ковель, Ізмаїл, Семенівка, Покровськ, Клепиніне та Глухів.

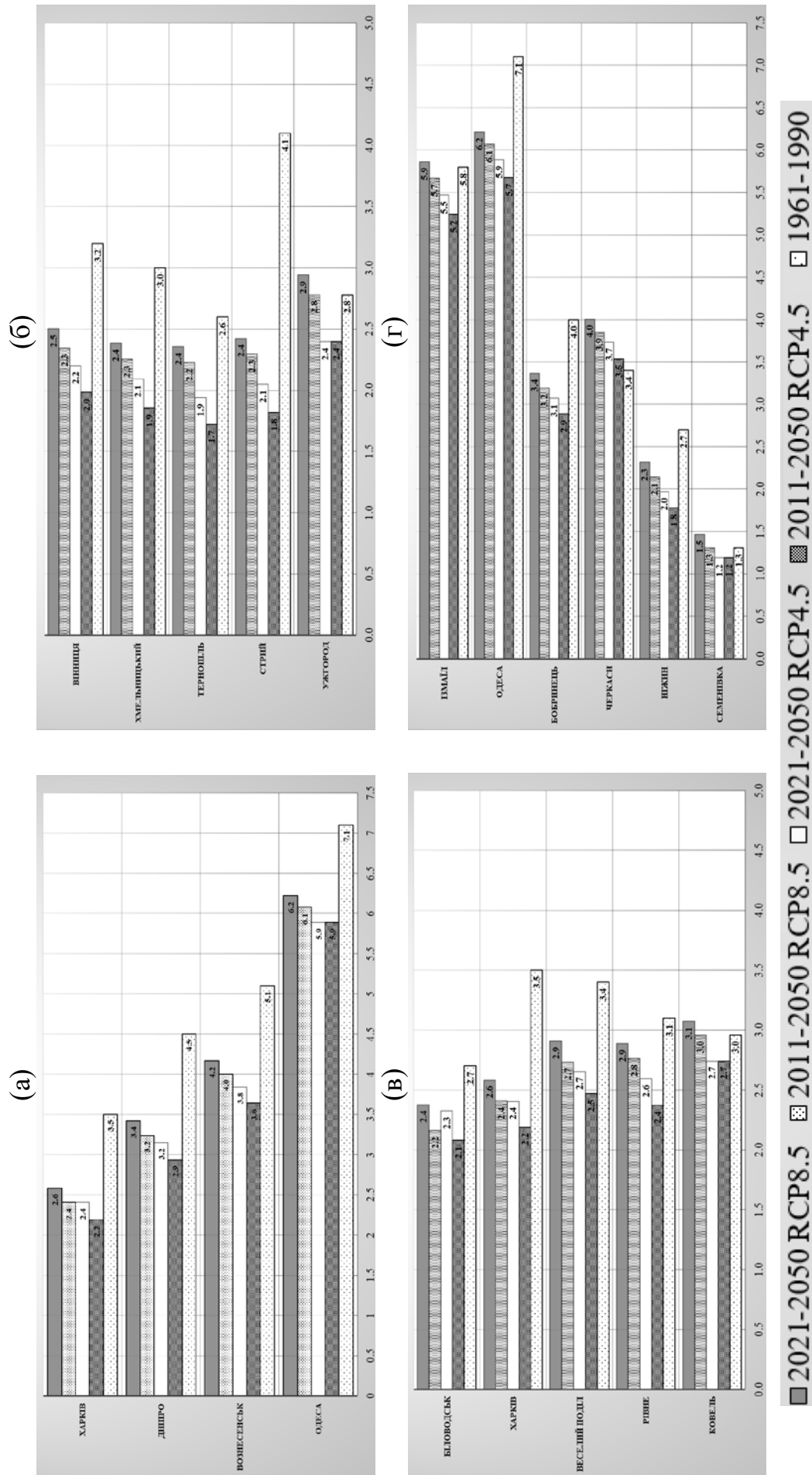


Рис. 2.23. Середня мінімальна температура за періоди 1961-1990, 2011-2050 та 2021-2050 для сценаріїв RCP4.5 і RCP8.5 для автошляхів № 1 (а), № 2 (б), № 3 (в), № 4 (г).

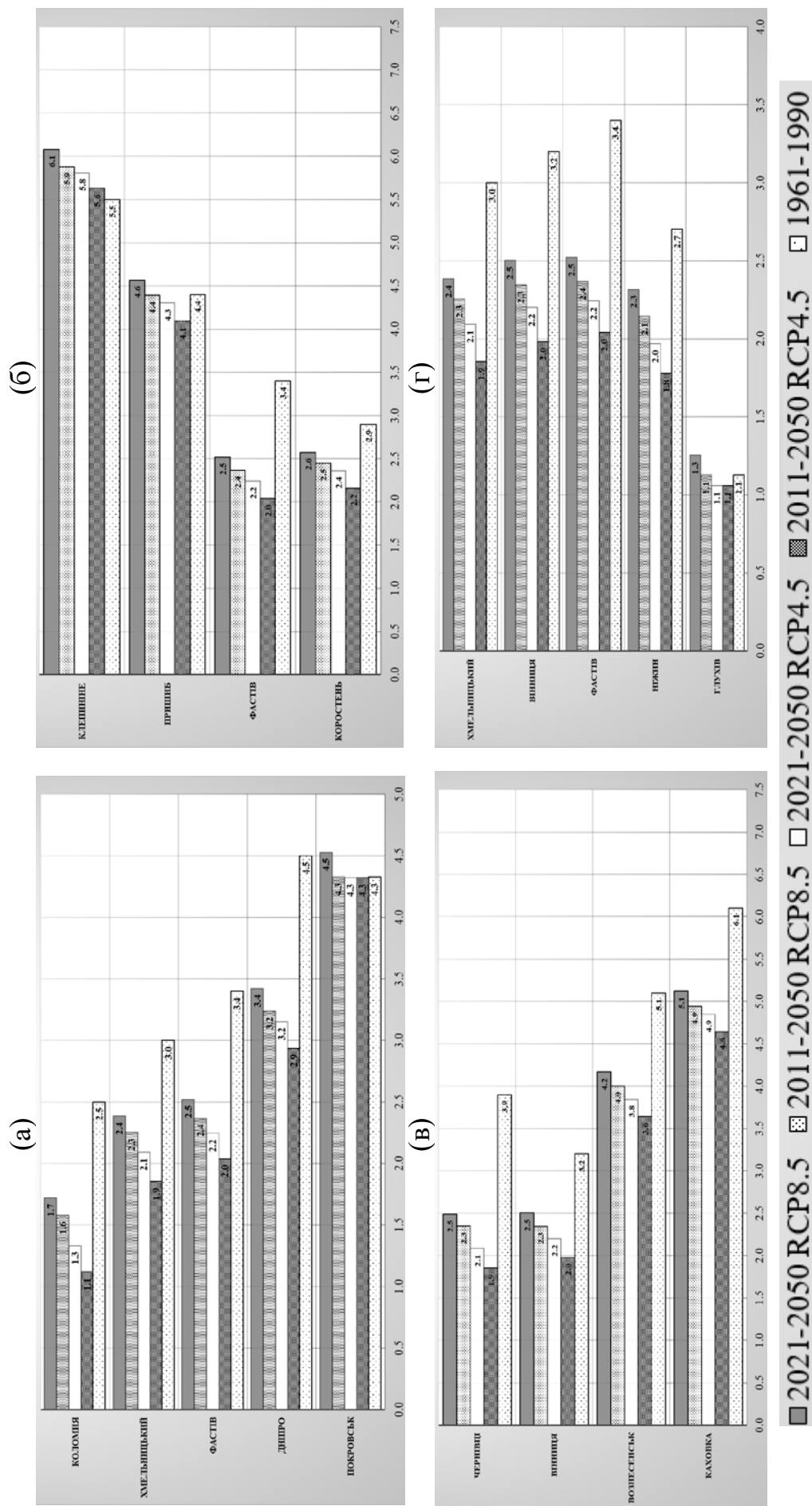


Рис. 2.24. Середня мінімальна температура за періоди 1961-1990, 2011-2050 та 2021-2050 для сценаріїв RCP4.5 і RCP8.5 для автошляхів № 5 (а), № 6 (б), № 7 (в), № 8 (г).

Різниця між найбільшим і найменшим значеннями середньої багаторічної мінімальної температури за обома сценаріями становить приблизно 0,5-1,0 °C. В той самий час перевищення кліматичної норми над значеннями річної мінімальної температури за періоди 2011-2050 і 2021-2050 рр. може сягати 1,0-2,0 °C.

Зміна мінімальної температури є найбільшою для автотрас, спрямованих у меридіональному напрямку, і найменшою, напрям яких є зональним.

На рис. 2.25 та 2.26 представлено динаміку кількості днів з 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 нижчою або дорівнює -30 °C, за винятком м. Глухів, для якого кількість таких днів на рік за сценарієм RCP8.5 становить 0,1. Досить маленький відсоток днів з температурою ≤ -25 °C має місце в північних і центральних регіонах України, в основному, за сценарієм RCP8.5.

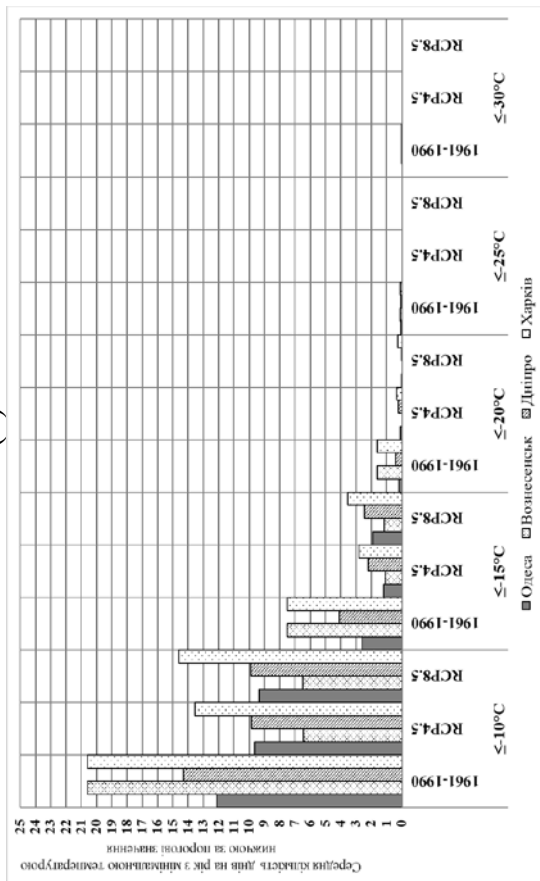
Мінімальні температури ≤ -15 °C та ≤ -10 °C спостерігаються уздовж всіх шляхів України, однак, кількість днів з такими температурами зменшується порівняно з кліматичною нормою.

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 ≤ -15 °C та ≤ -10 °C за сценарієм RCP8.5, ніж за сценарієм RCP4.5. Для м. Глухів і м. Каховка за сценарієм RCP8.5 збільшується кількість днів з температурами ≤ -15 °C, а кількість днів з температурами ≤ -10 °C зменшується порівняно зі сценарієм RCP4.5.

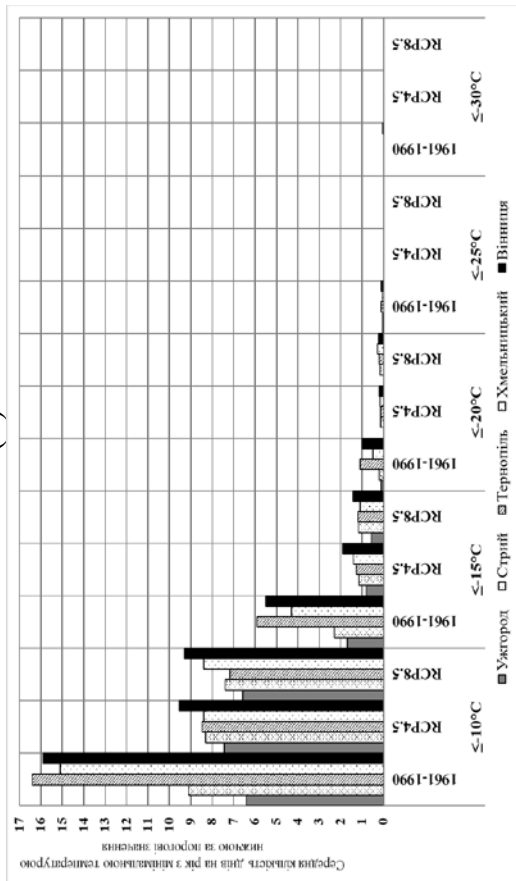
Для всіх інших станцій кількість днів з мінімальними температурами ≤ -15 °C та ≤ -10 °C за сценарієм RCP4.5 більша, ніж за сценарієм RCP8.5.

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

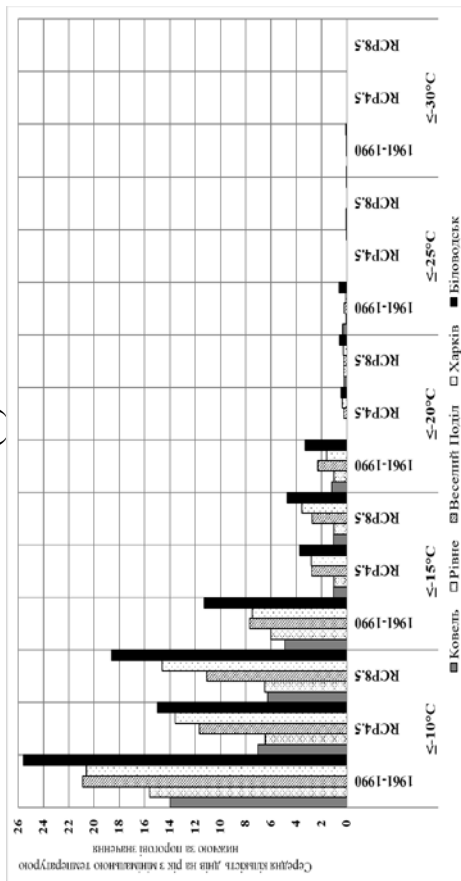
(а)



(б)



(в)



(г)

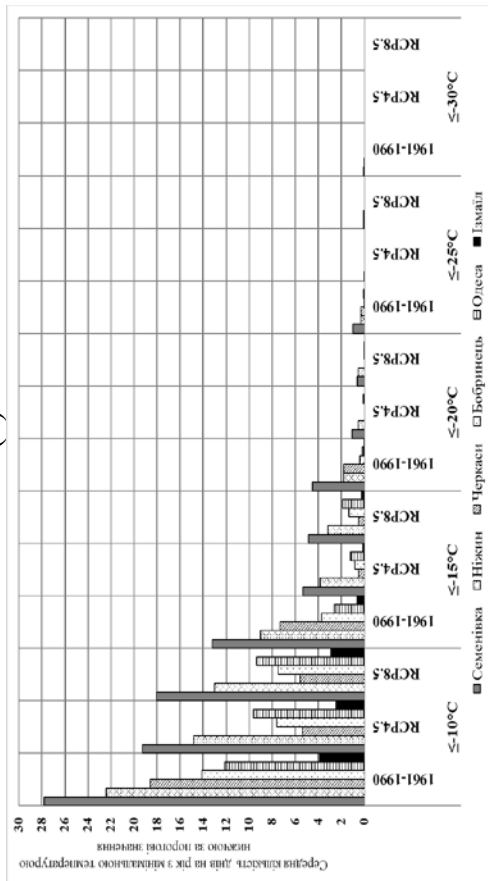


Рис. 2.25. Кількість днів з нижчими за певні межі мінімальними температурами за періоди 1961-1990 рр. і 2021-2050 рр. для автошляхів № 1 (а), № 2 (б), № 3 (в), № 4 (г).

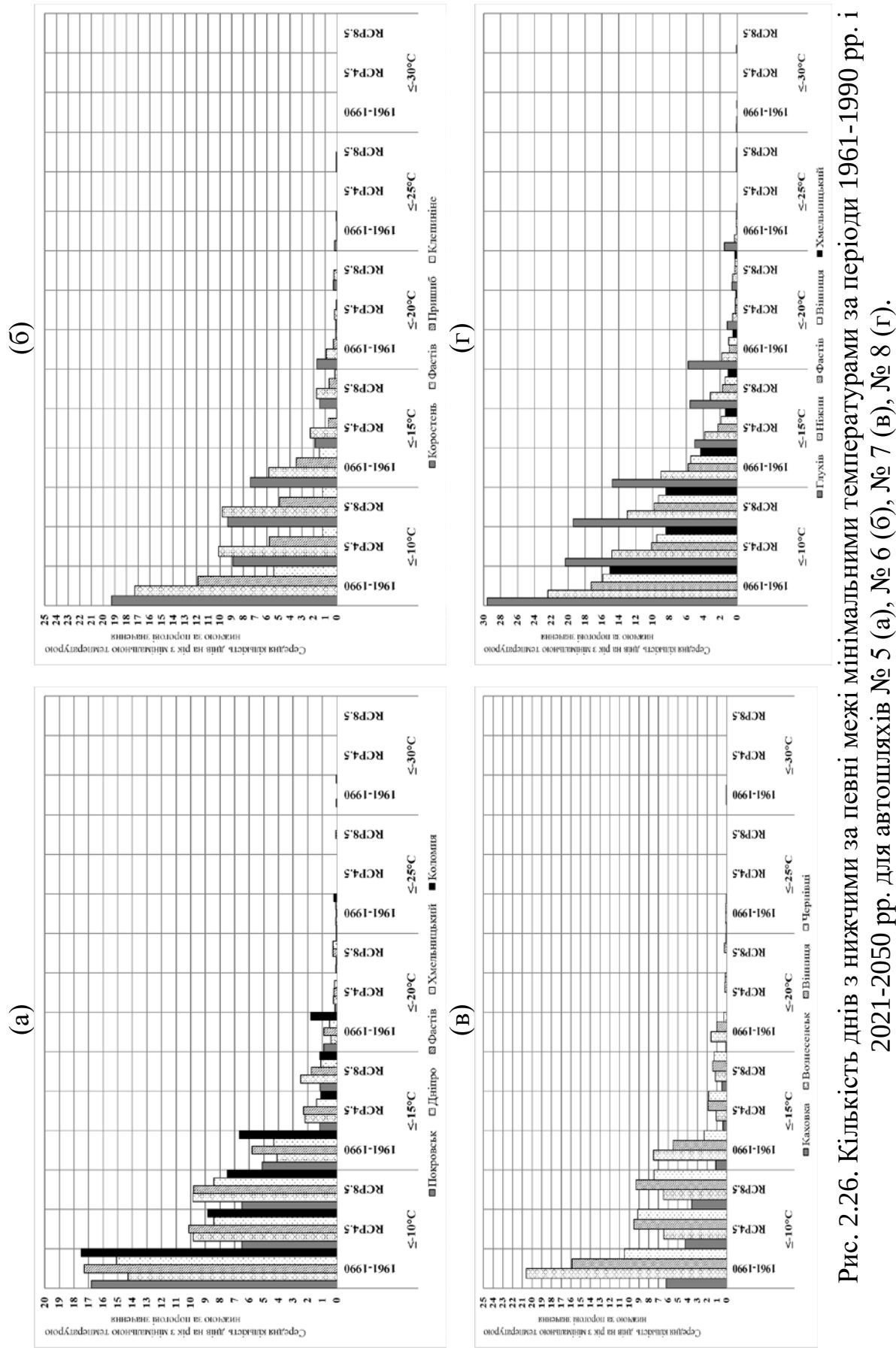


Рис. 2.26. Кількість днів з нижчими за певні межі мінімальними температурами за періоди 1961-1990 рр. і 2021-2050 рр. для автошляхів № 5 (а), № 6 (б), № 7 (в), № 8 (г).

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 з найнижчими температурами має місце саме за цим сценарієм.

2.3.2. Атмосферні опади

В табл. 2.2 та 2.3 представлена кількість опадів за холодний, теплий періоди та за рік для 1961-1990 рр. та 2021-2050 рр. за сценаріями RCP4.5 і RCP8.5.

Рисунки 2.27 і 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 і 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 і 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/д, тобто з незначною кількістю опадів. Починаючи зі значення 5,0 мм/д кількість днів порівняно з кліматичною нормою зменшується, проте, екстремальна кількість опадів (≥ 30 мм/д) має місце. За сценарієм RCP8.5 спостерігається менша кількість днів з незначними опадами, проте, більша кількість днів з суттєвими опадами ($\geq 5,0$ мм/д).

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.

Таблиця 2.2. Середня кількість опадів за холодний і 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		RCP 4.5		RCP 1961-1990		RCP4.5 8.5		RCP 1961-1990	
XI-II		204		187		179		177		209		210	
IV-X		260		231		253		267		304		263	
рік		464		418		432		444		513		475	
АВТОШЛЯХ № 2													
Ужгород				Тернопіль				Хмельницький				Вінниця	
1961-90		RCP4.5		1961-90		RCP4.5		1961-90		RCP4.5		1961-90	
XI-III		282		430		176		175		173		184	
IV-X		466		587		433		437		434		409	
рік		748		1017		609		612		607		593	
АВТОШЛЯХ № 3													
Ковель				Рівне				Веселий Поділ				Харків	
1961-90		RCP4.5		1961-90		RCP4.5		1961-90		RCP4.5		1961-90	
XI-III		179		165		198		185		216		207	
IV-X		414		428		438		326		301		329	
рік		593		592		637		511		516		475	
АВТОШЛЯХ № 4													
Семенівка				Ніжин				Черкаси				Бобринець	
1961-1990		RCP4.5		1961-1990		RCP4.5		1961-1990		RCP4.5		1961-1990	
XI-III		205		234		410		215		223		217	
IV-X		433		366		593		393		341		367	
рік		638		599		1004		608		564		584	
АВТОШЛЯХ № 5													
Біловодськ				Бобринець				Одеса				Ізмаїл	
1961-1990		RCP4.5		1961-1990		RCP4.5		1961-1990		RCP4.5		1961-1990	
XI-III		205		234		410		215		223		217	
IV-X		433		366		593		393		341		367	
рік		638		599		1004		608		564		584	

Таблиця 2.3. Середня кількість опадів за холодний і теплий періоди і рік відповідно до кліматичної норми і сценаріїв RCP4.5 та RCP8.5 для автошляхів № 5, 6, 7, 8

Автошлях № 5												
Покровськ		Дніпро		Фастів		Хмельницький		Коломия				
1961-90	RCP4.5	RCP4.5	1961-90	RCP4.5	1961-90	RCP4.5	1961-90	RCP4.5	1961-90	RCP4.5	1961-90	RCP4.5
XI-III	220	233	240	209	210	211	213	197	195	184	190	177
IV-X	314	247	223	304	263	250	427	350	389	474	409	522
рік	534	480	462	513	473	461	640	546	584	669	612	699
Автошлях № 6												
Коростень		Фастів		Пришиб		Клепиніне						
1961-90	RCP4.5	RCP4.5	1961-90	RCP4.5	1961-90	RCP4.5	1961-90	RCP4.5	1961-90	RCP4.5	1961-90	RCP4.5
XI-III	191	193	191	213	191	197	195	200	198	165	178	176
IV-X	445	383	395	427	350	350	389	278	233	228	263	198
рік	636	576	586	640	546	546	584	477	433	427	428	376
Автошлях № 7												
Каховка		Вознесенськ		Вінниця		Чернівці						
1961-90	RCP4.5	RCP4.5	1961-90	RCP4.5	1961-90	RCP4.5	1961-90	RCP4.5	1961-90	RCP4.5	1961-90	RCP4.5
XI-III	166	183	191	187	187	179	177	203	173	173	177	178
IV-X	275	211	220	330	330	253	267	341	413	487	467	480
рік	441	394	411	517	432	432	444	638	544	586	660	644
Автошлях № 8												
Глухів		Ніжин		Фастів		Вінниця		Хмельницький				
1961-90	RCP4.5	RCP4.5	1961-90	RCP4.5	1961-90	RCP4.5	1961-90	RCP4.5	1961-90	RCP4.5	1961-90	RCP4.5
XI-III	198	233	235	215	223	217	213	197	195	203	173	184
IV-X	402	357	385	393	341	367	427	350	389	439	413	409
рік	600	589	620	608	564	584	640	546	584	638	544	593

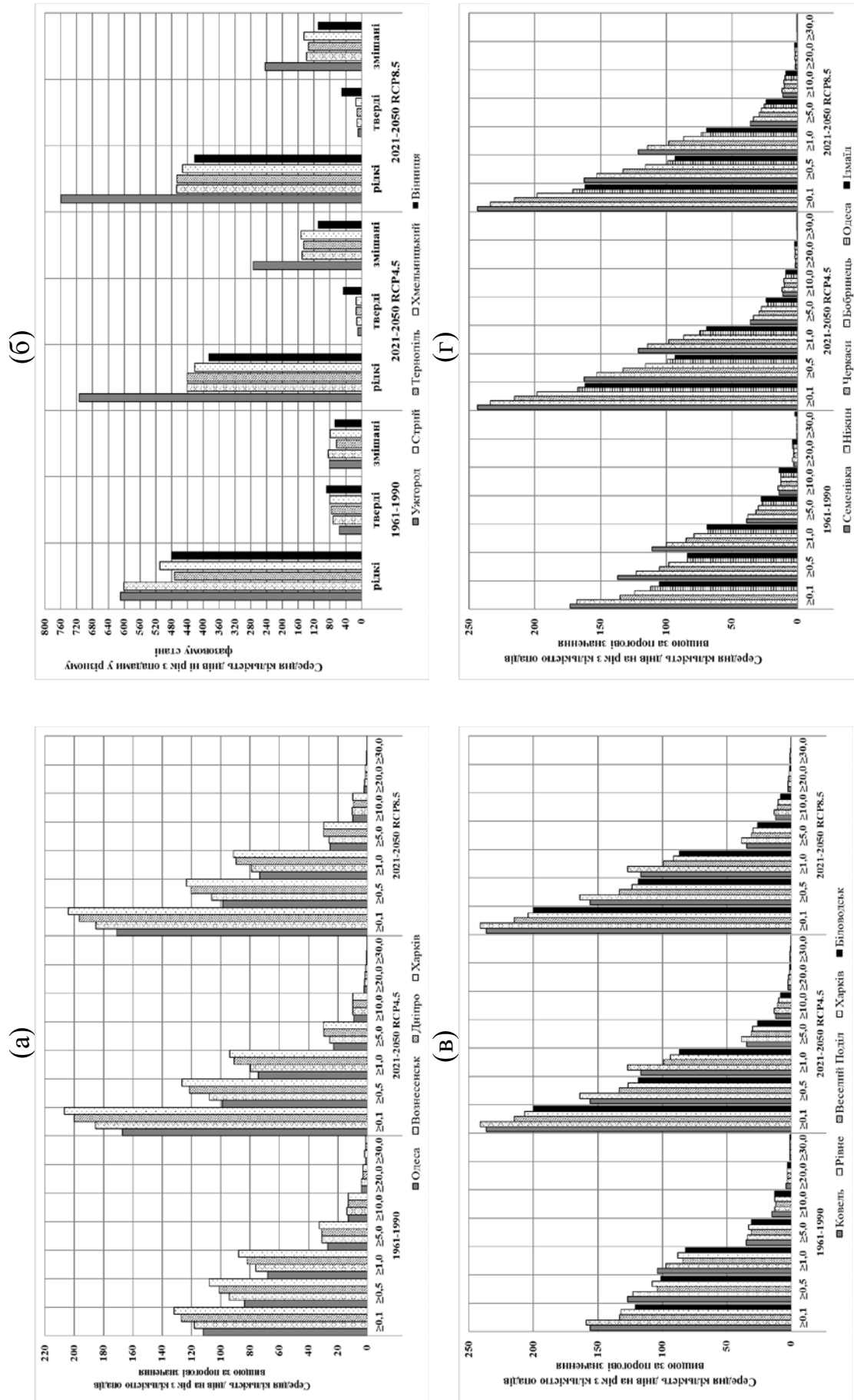


Рис. 2.27. Середня кількість днів з кількістю опадів вищою за певні межі за періоди 1961-1990 рр. та 2021-2050 рр. для автошляхів № 1 (а), № 2 (б), № 3 (в), № 4 (г).

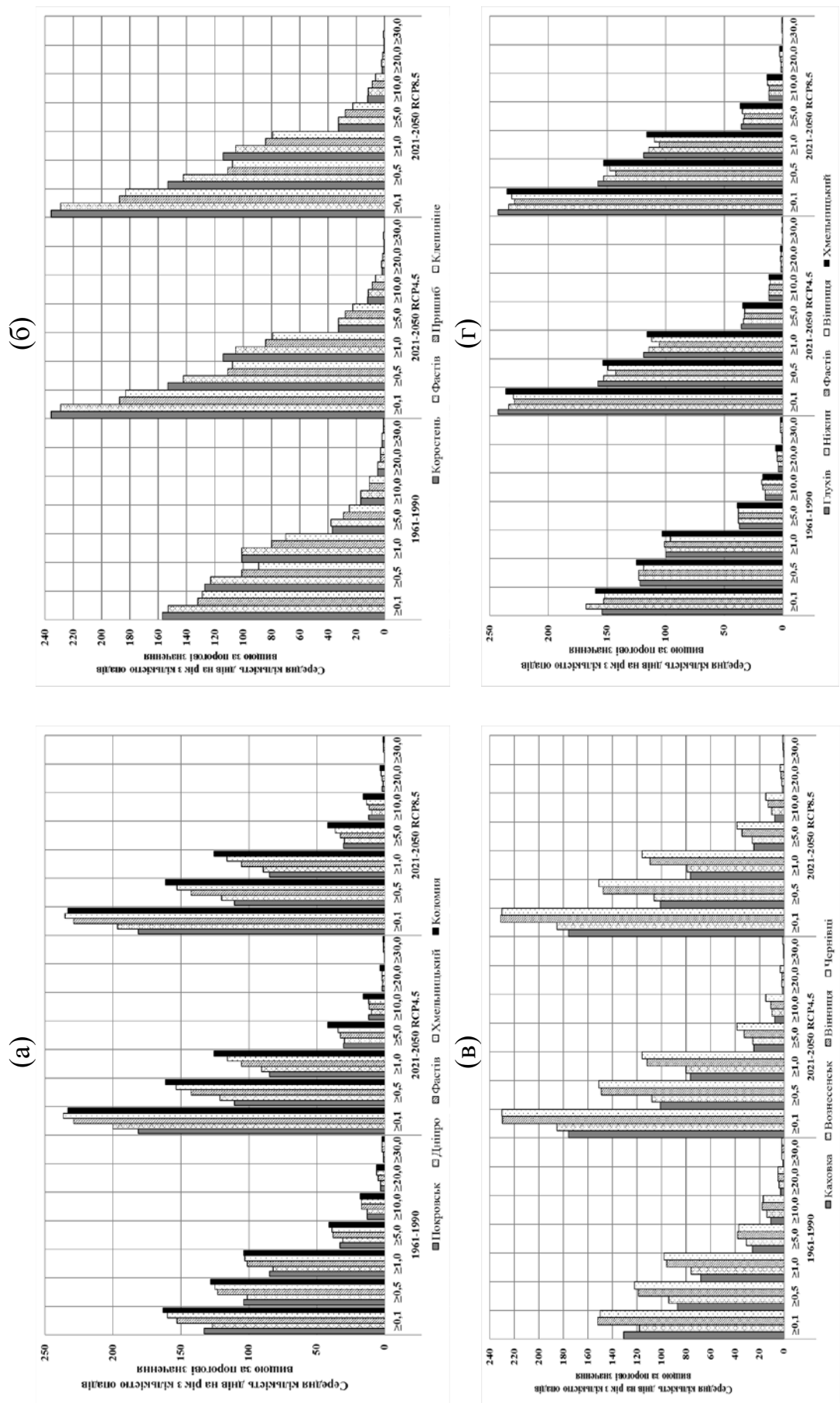


Рис. 2.28. Середня кількість днів з кількістю опадів вищою за певні межі за періоди 1961-1990 рр. та 2021-2050 рр. для автошляхів № 5 (а), № 6 (б), № 7 (в), № 8 (г).

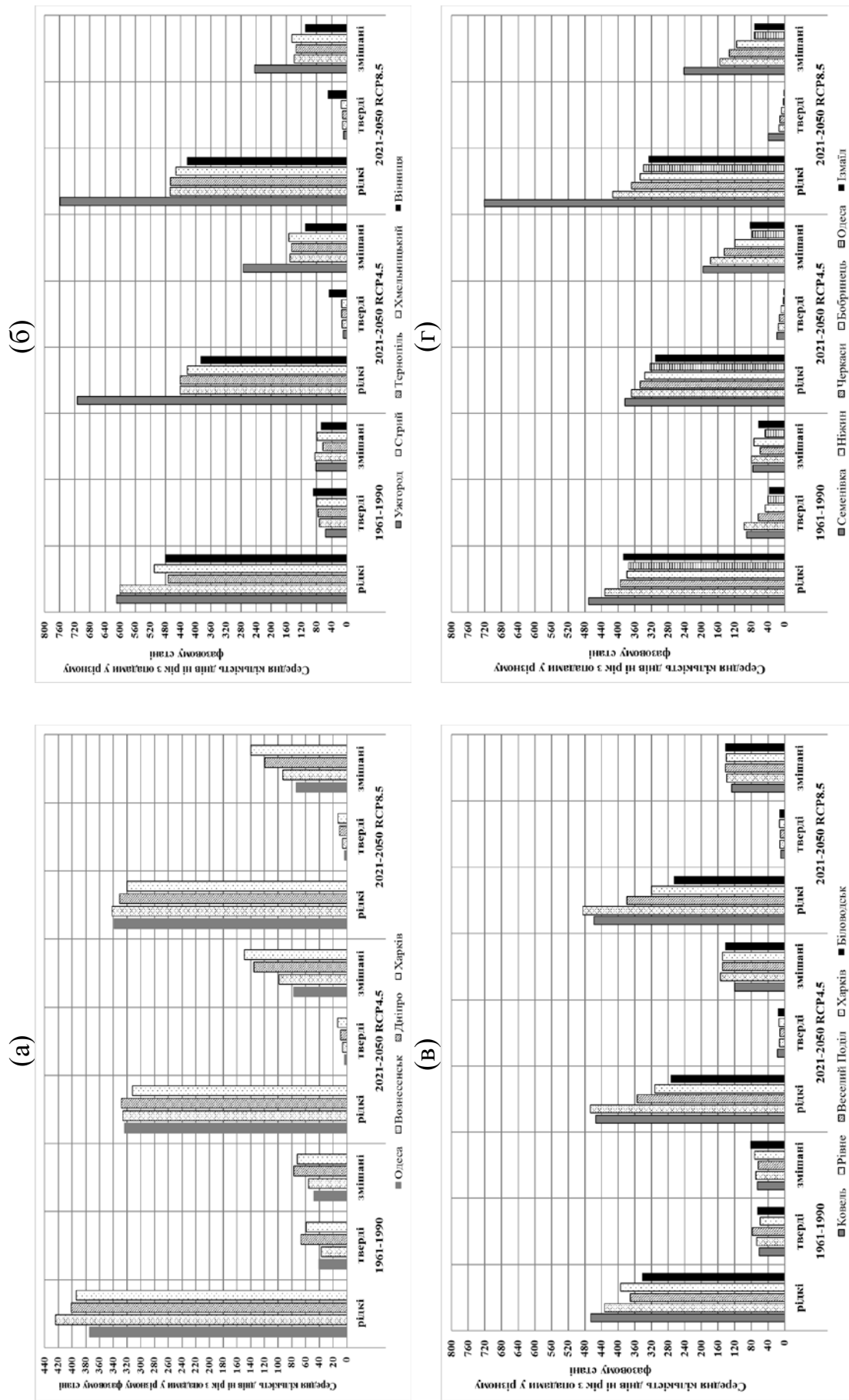
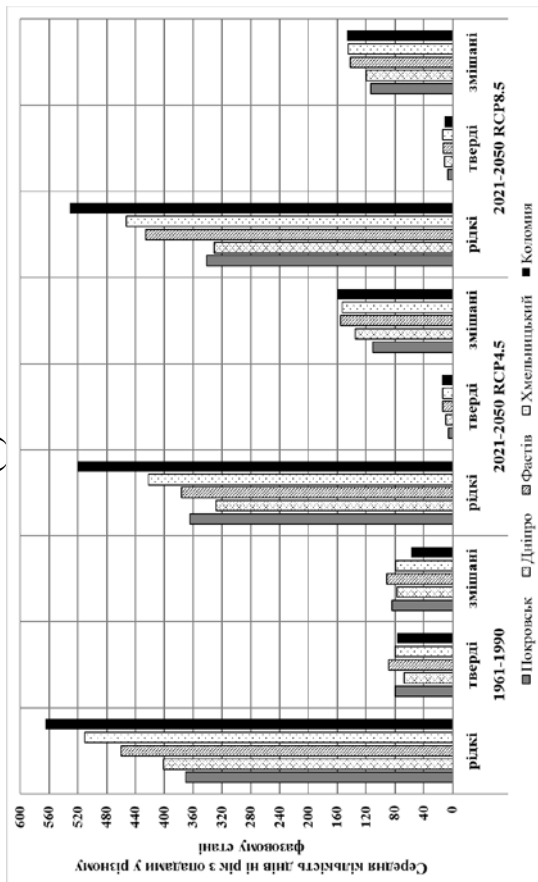
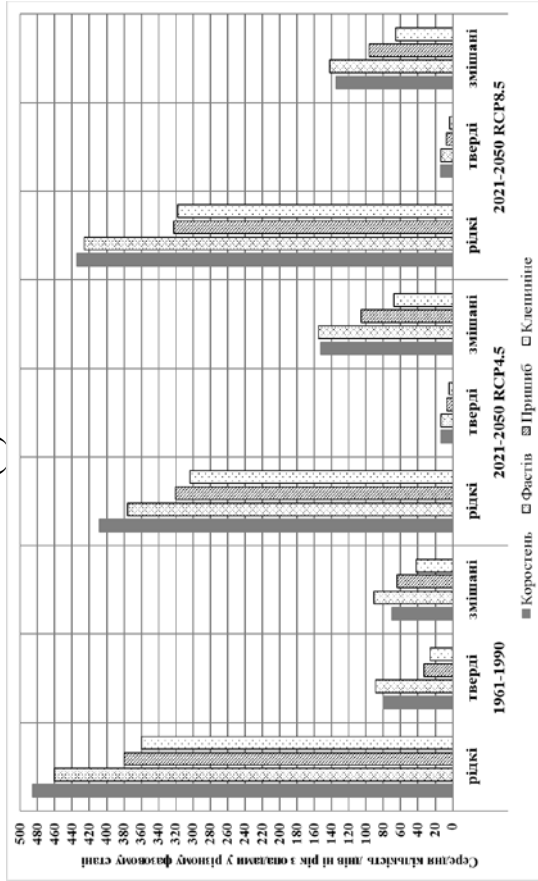


Рис. 2.29. Середня кількість днів на рік з опадами у різному фазовому стані для автошляхів № 1 (а), № 2 (б), № 3 (в), № 4 (г).

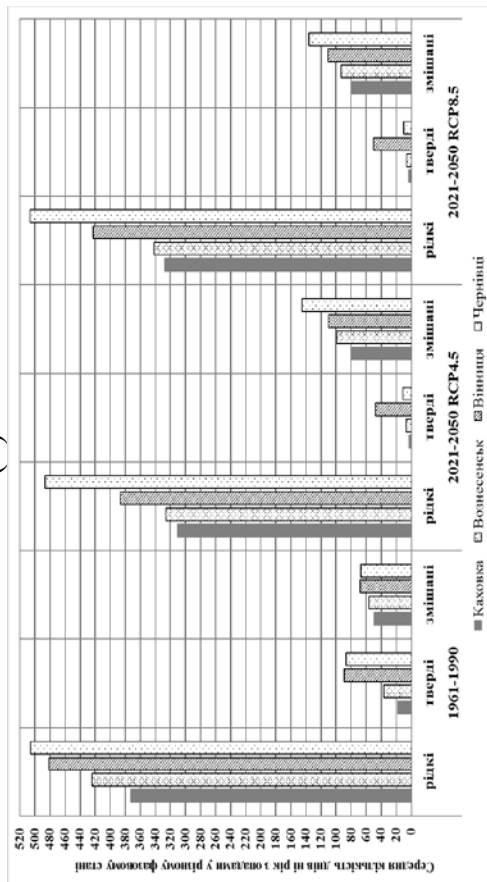
(а)



(б)



(в)



(г)

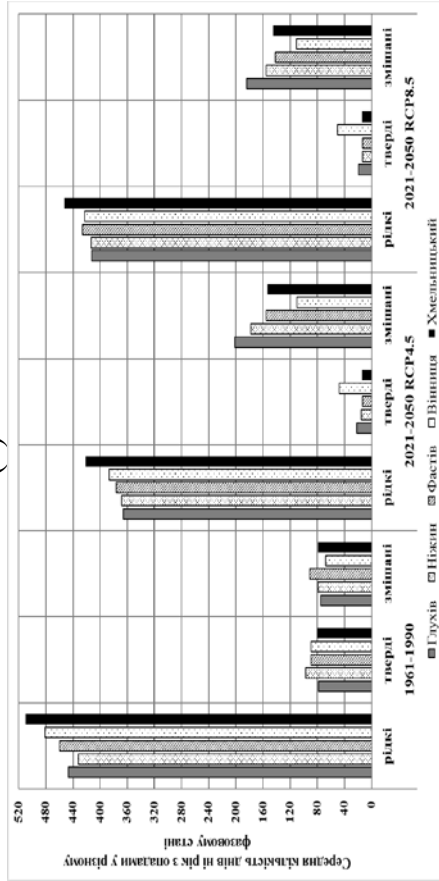


Рис. 2.30. Середня кількість днів на рік з опадами у різному фазовому стані для автошляхів № 5 (а), № 6 (б), № 7 (в), № 8 (г).

З табл. 2.2 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. Винятком є м. Ужгород, де спостерігається збільшення кількості опадів приблизно на 35% за обома сценаріями. Це означає, що ситуація для автошляху №2 складається небезпечна, оскільки збільшення опадів в Карпатських горах може спричинити 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/д збільшується в 1,5 рази, збільшується (не так суттєво) кількість днів і з опадами $\geq 0,5$ та $\geq 1,0$ мм/д. Для більш інтенсивних опадів ($\geq 5,0$ мм/д) спостерігається тенденція схожа з тенденцією для автошляху №1 – зменшення кількості днів, проте для опадів $\geq 10,0$ мм/д, $\geq 20,0$ мм/д та $\geq 30,0$ мм/д тенденція є протилежною: відбувається збільшення кількості днів, особливо для ст. Ужгород. Це підтверджує висновок про небезпечність цього шляху для транспорту

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

На автошляху №3 (табл. 2.2) 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 і м. Біловодськ зменшується на 10-14 %. Збільшення кількості опадів є більшим за сценарієм RCP8.5, хоча різниця є несуттєвою. Від річної кількості опадів 70 % припадає на теплий період для станцій Західної України, а для станцій Центральної та Східної України – 55-60 %.

Кількість днів з опадами $\geq 0,1$, $\geq 0,5$ та $\geq 1,0$ мм/д для автошляху №3 збільшується в 1,1-1,5 рази порівняно з кліматичною нормою за обома сценаріями. Особливо помітним збільшення є для м. Ковель і м. Рівне. Для кількості днів з більш інтенсивними опадами спостерігається зменшення, за винятком м. Веселий Поділ і 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. 2.2) 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 %, за винятком 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/д), особливо для кількості днів з опадами $\geq 0,1$ мм/д. 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/д) має місце.

Кількість днів з рідкими опадами лишається практично незмінною за обома сценаріями для всіх станцій, вилучаючи 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. 2.3 можна бачити зменшення річної кількості опадів за обома сценаріями для всіх станцій автошляху № 5 на 9-14 %, вилучаючи 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/д, вилучаючи кількість днів з опадами $\geq 1,0$ мм/д для ст. Покровськ, для цієї станції має місце навіть незначне зменшення такої кількості днів. Кількість днів з опадами $\geq 5,0$ мм/д для всіх станцій, за винятком 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/д) 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 і холодний періоди виражається як 70/30, а на ст. Пришиб і Клепиніне – 55/45.

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

Кількість рідких опадів для всіх станцій зменшується, особливо за сценарієм RCP4.5. Кількість днів з твердими опадами зменшується до 15 (для північних районів) і до 5 для (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 винятком 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 і холодним сезонами є нерівномірним: більша кількість опадів (60-70%) припадає на теплий період.

Для всіх станцій, крім м. Чернівці, має місце збільшення кількості днів з опадами $\geq 0,1$, $\geq 0,5$ та $\geq 1,0$ мм/д 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/д, а зменшення – для $\geq 10,0$, $\geq 20,0$ та $\geq 30,0$ мм/д.

За обома сценаріями повторюваність рідких опадів порівняно з періодом 1961-1990 рр. зменшується, але не значною мірою, особливо для м. Чернівці. Кількість днів зі змішаними опадами збільшується суттєво (приблизно в два рази), особливо за сценарієм RCP4.5. Тверді опади для міст Каховка, Вознесенськ і Чернівці зменшуються 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 і 51 день на рік.

Автошлях №8 характеризується за обома сценаріями для міст Фастів, Вінниця і Хмельницький зменшенням річної кількості опадів на 9-15% порівняно з періодом 1961-1990 рр. Для міст Глухів і 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/д, практично незмінна

кількість днів з опадами $\geq 5,0$ мм/д та зменшення кількості днів з більш інтенсивними опадами.

Крім ст. Вінниця, на всіх інших станціях відбувається значне зменшення повторюваності твердих опадів (в 7-8 разів) і 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, за винятком західних та деяких північних регіонів, 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/д), повторюваність інтенсивних опадів для всіх станцій зменшується, проте, екстремальні опади ($\geq 30,0$ мм/д) 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 одним 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, які 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 небезпечних 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, які погіршують стан дорожнього покриття, дуже висока. Їх сумарна повторюваність досягає 60-70 %.

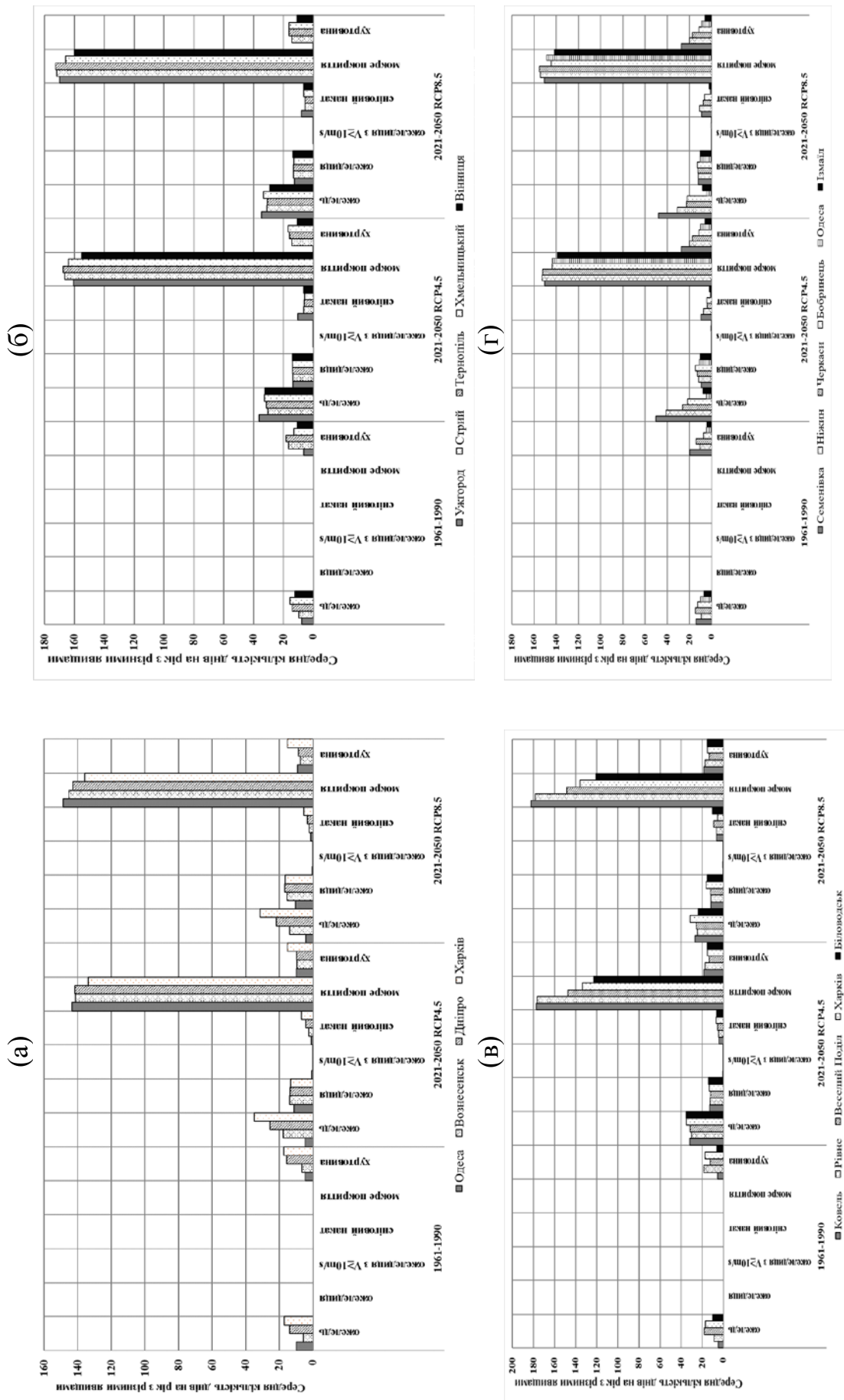


Рис. 2.31. Середня кількість днів за рік з різними явищами для автошляхів № 1 (а), № 2 (б), № 3 (в), № 4 (г).

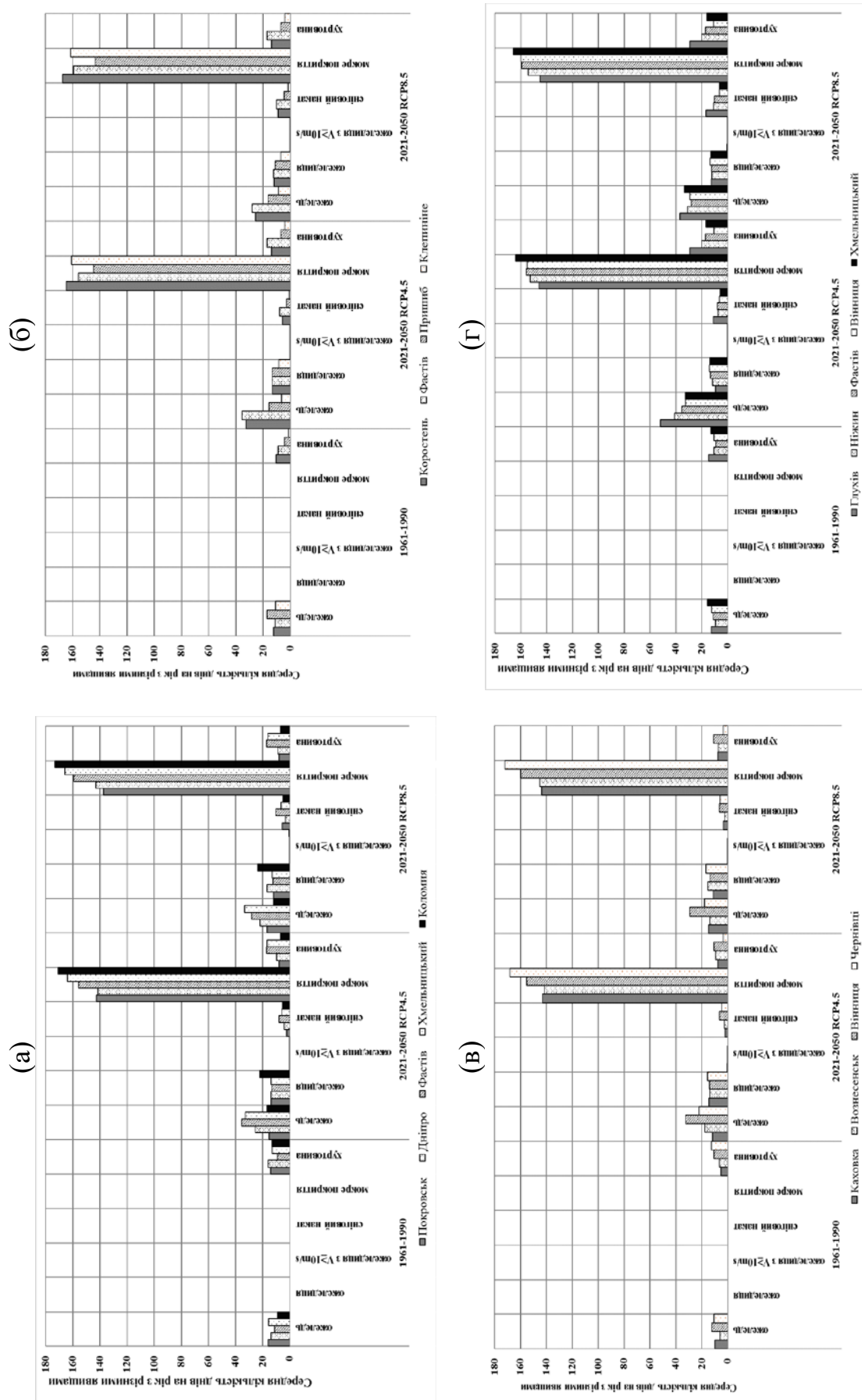


Рис. 2.32. Середня кількість днів за рік з різними явищами для автошляхів № 5 (а), № 6 (б), № 7 (в), № 8 (г).

В роботі досліджувалась повторюваність таких явищ, як ожеледь, снігова шуга, яка включає і зернисту, і льодяну шугу, сніговий накат та ожеледиця. Сніговий накат утворюється при наявності на дорожньому покритті снігу від снігопадів і 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, крім південних станцій, а саме, міст Одеса, і Клепиніне, на яких має місце зменшення кількості випадків ожеледі приблизно в 2 рази. Для міст Ізмаїл і 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 насамперед через погіршення видимості. 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 (крім м. Вінниця) відбувається збільшення повторюваності хуртовин. Це можна пояснити збільшенням швидкості вітру в зимовий період.

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

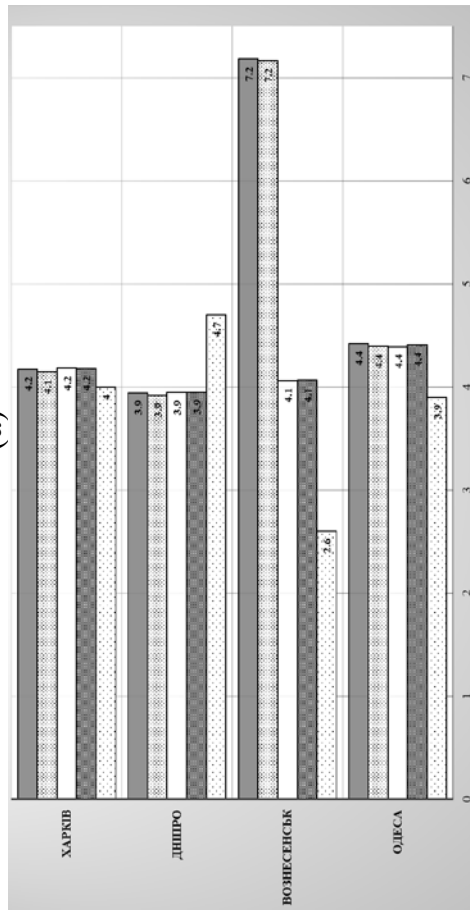
Для усіх явищ, за винятком ожеледі, сценарій RCP8.5 є найекстремальнішим, оскільки повторюваність явищ за цим сценарієм є більшою.

2.3.4. Середня і максимальна швидкість вітру

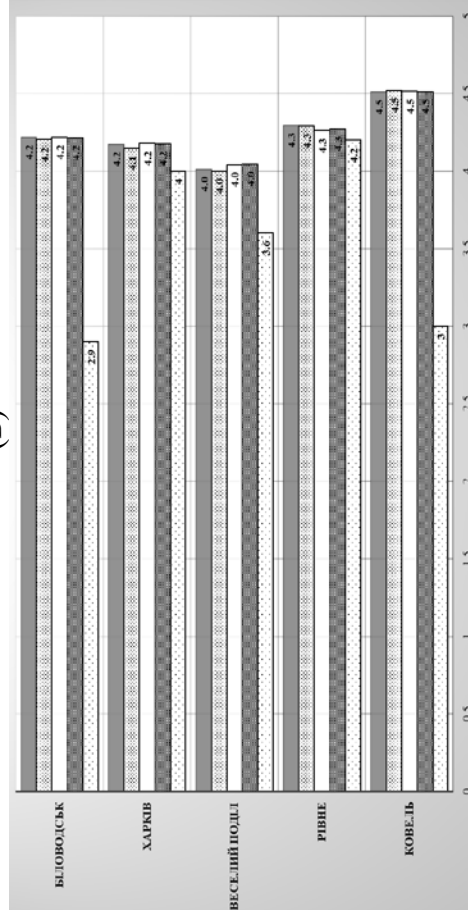
На рис. 2.33 і 2.34 представлено зміну багаторічної середньої швидкості вітру вздовж автотрас за періоди 1961–1990 рр. та 201–2050 рр., 2021–2050 рр. за сценаріями RCP4.5 і RCP8.5.

На рис. 2.35 і 2.36 представлено кількість днів з максимальною швидкістю вітру $\geq 10, 15, 25$ та 40 м/с за період 1961–1990 рр. та з максимальною швидкістю вітру $\geq 10, 15, 25$ і 40 м/с за період 2021–2050 рр. за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5. Слід зауважити, що кількість днів з максимальною швидкістю вітру, вищою за певні порогові значення, порівняно з кліматичною нормою суттєво зменшилась за обома сценаріями для всіх розглянутих станцій.

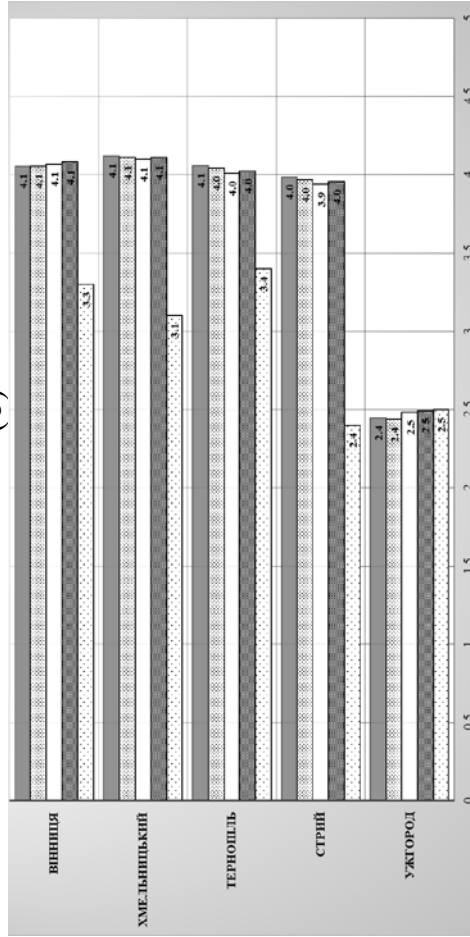
(а)



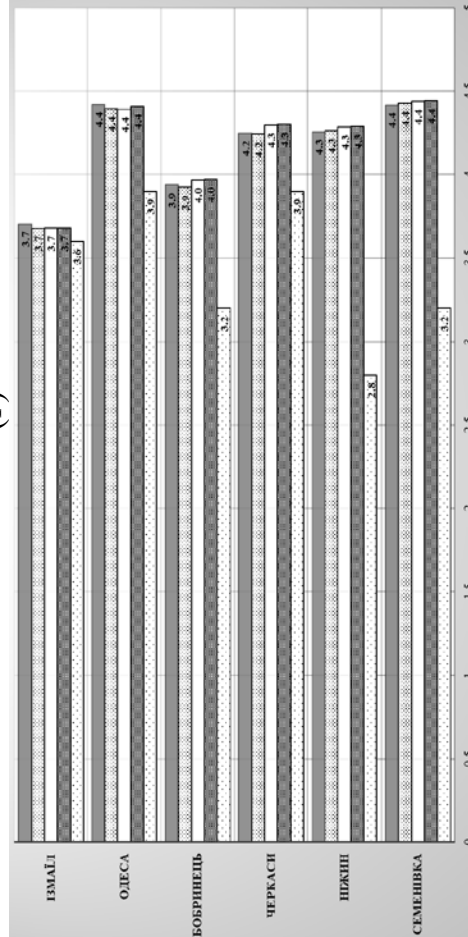
(б)



(в)



(г)



■ 2021-2050 RCP8.5 ■ 2011-2050 RCP8.5 □ 2021-2050 RCP4.5 □ 2011-2050 RCP4.5 □ 1961-1990

Рис. 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).

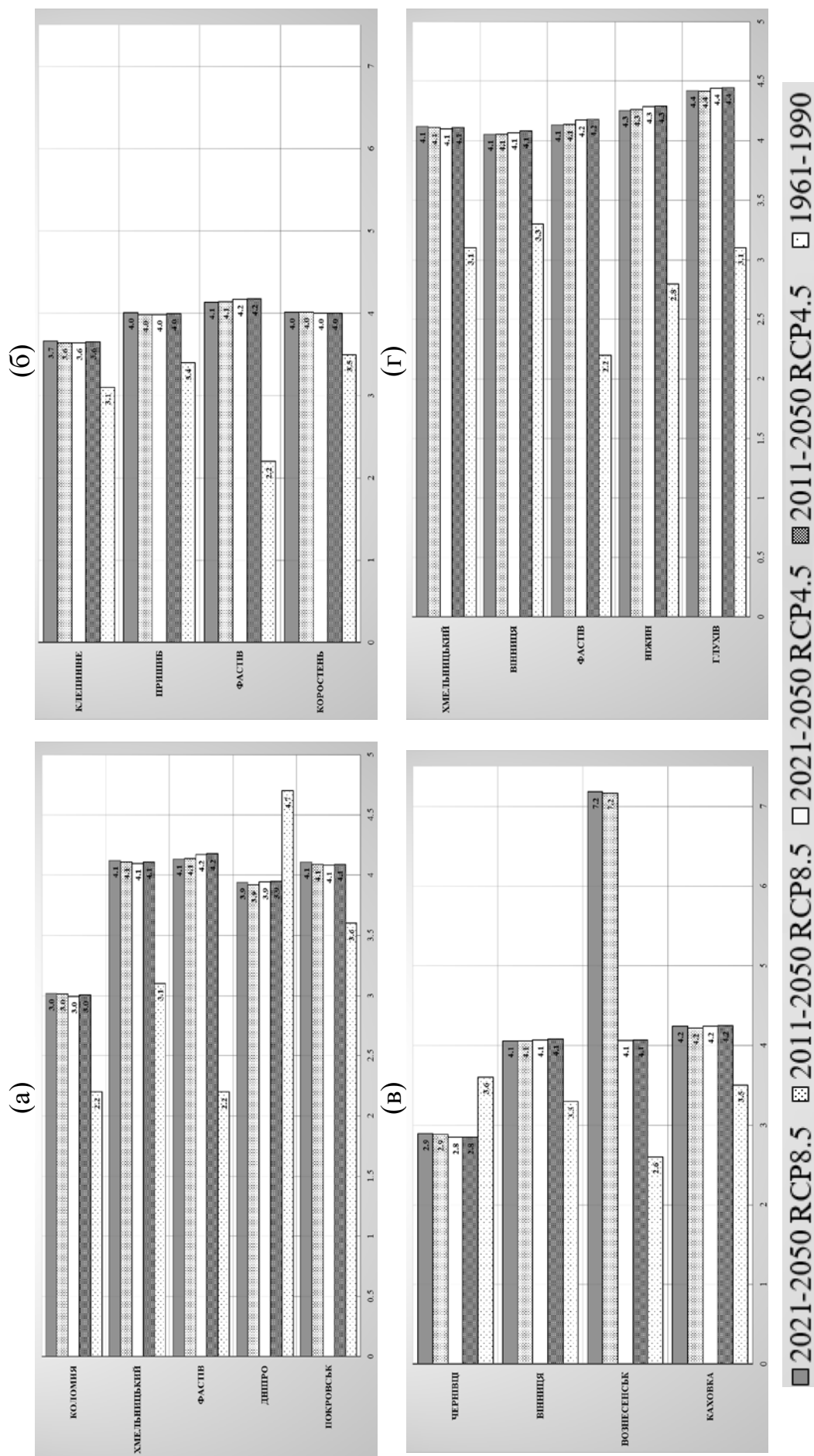
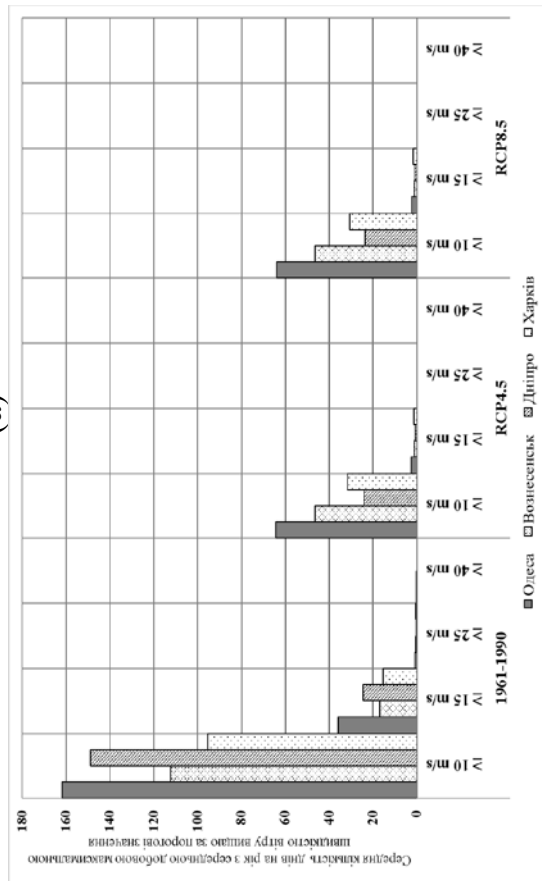
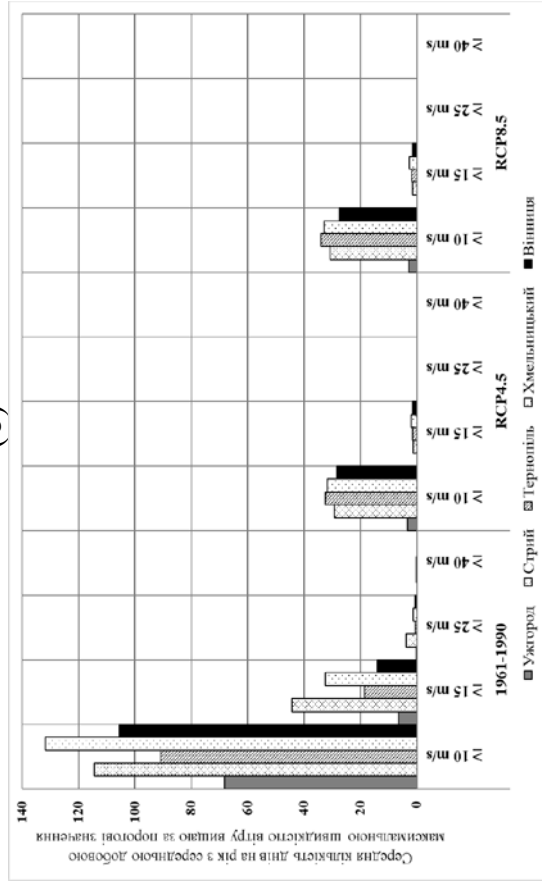


Рис. 2.34. Середньорічна швидкість вітру за періоди 1961-1990 рр., 2011-2050 рр. та 2021-2050 рр. за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 для автошляхів № 5 (а), № 6 (б), № 7 (в), № 8 (г).

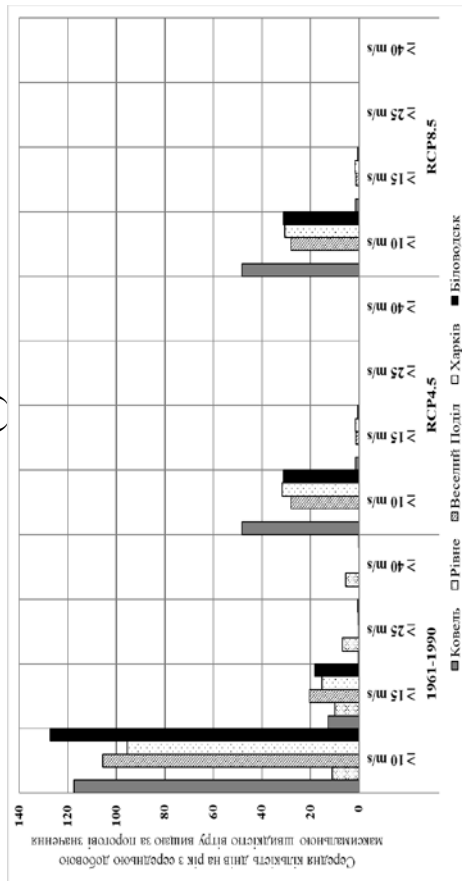
(а)



(б)



(в)



(г)

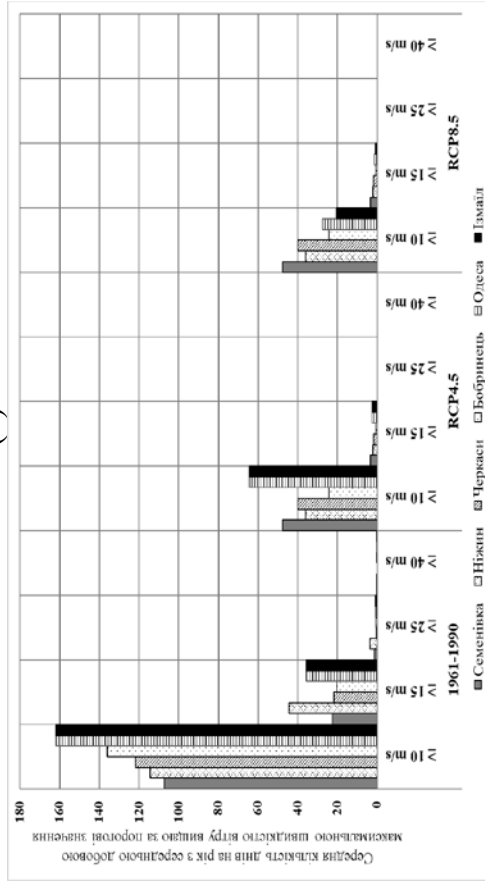


Рис. 2.35. Середня кількість днів за рік з максимальною швидкістю вітру, вищою за певні межі, для автошляхів № 1 (а), № 2 (б), № 3 (в), № 4 (г).

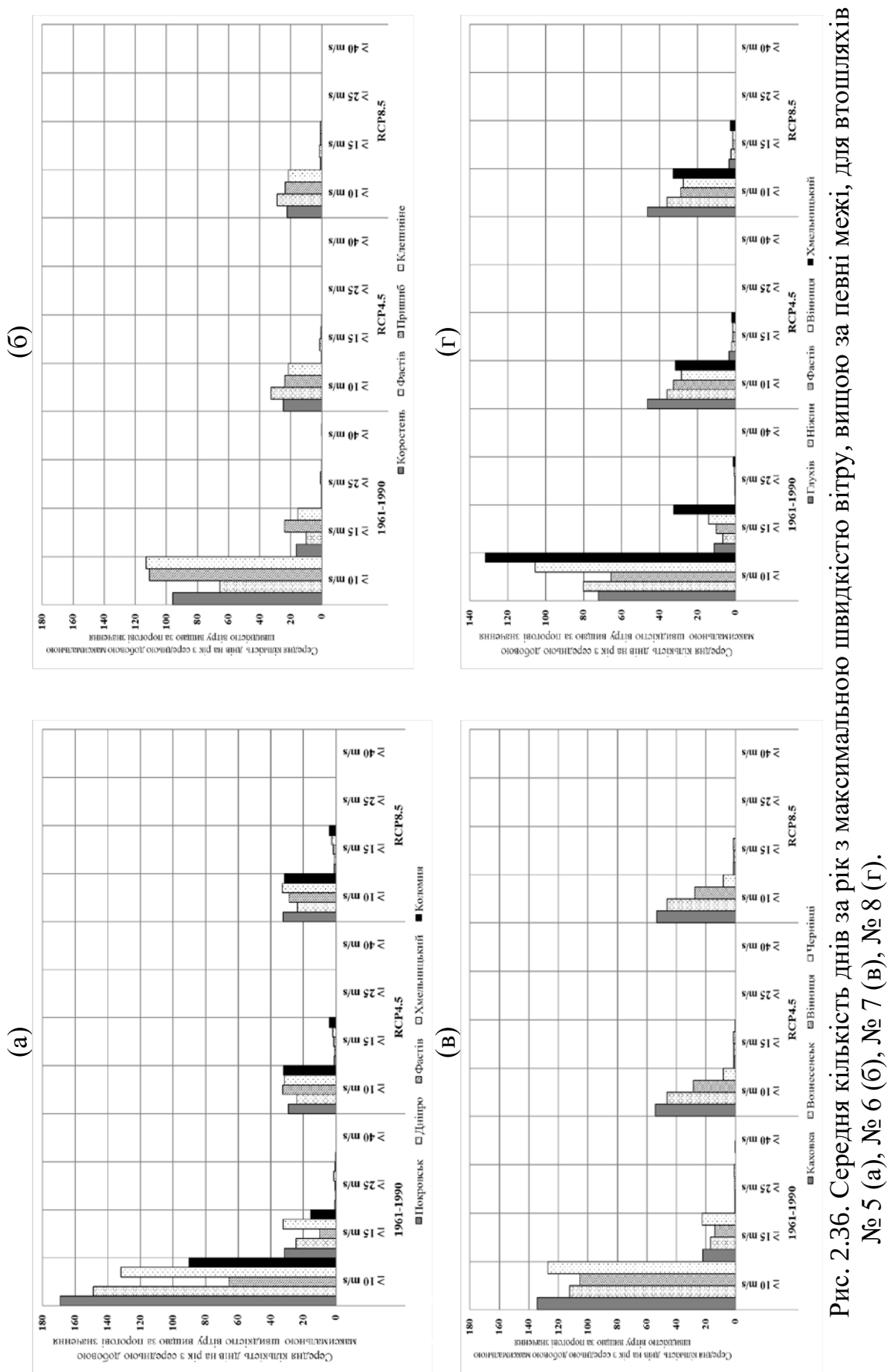


Рис. 2.36. Середня кількість днів за рік з максимальною швидкістю вітру, вищою за певні межі, для втошляхів № 5 (а), № 6 (б), № 7 (в), № 8 (г).

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 і RCP8.5 має місце однакова кількість днів з середньодобовою максимальною швидкістю вітру, більшою за ≥ 10 , 15, 25 та 40 м/с, кількість днів зі швидкостями ≥ 10 м/с є найбільшою (65 днів на рік), 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 становить 1,5 м/с. Виняток 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, крім ст. Ужгород, де кількість таких днів практично не спостерігається (становить менше 5 діб).

На автотрасі №3 найбільше зростання середньої швидкості вітру відбувається у містах Біловодськ (Луганська область) і 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.

Уздовж автотраси №5 відбувається за обома сценаріями суттєве збільшення середньої швидкості вітру (від 0,5 м/с, м. Покровськ, до 2,0 м/с), крім 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 спостерігається.

Автотраса №6 характеризується зростанням швидкості вітру порівняно з кліматичною нормою. Швидкість вітру зростає досить рівномірно вздовж всієї траси на 0,5 м/с, крім м. Фастів, для якого зростання становить 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 дня на рік) за обома сценаріями. Найбільша кількість днів зі швидкістю ≥ 10 м/с (54,2 дня на рік) має місце на ст.Каховка.

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

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

З проведеного аналізу можна бачити, що середня річна швидкість вітру зростає по всій території України за обома сценаріями, за винятком тільки ст. Дніпро та м. Чернівці. Найбільше зростання швидкості вітру відбувається у північних і 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 впродовж 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. 2.4–2.7 представлено соціальні та економічні ризики внаслідок таких небезпечних явищ, як сильний дощ, сильний вітер, сильний мороз і сильна спека для 24 областей України та АР Крим.

В табл. 2.8 представлено інформацію щодо соціальних та економічних ризиків внаслідок небезпечних явищ, що й в таблицях 2.4–2.7, тільки для автошляхів, які розглядаються в роботі.

Обидві таблиці складені на основі даних за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5, в яких були доступними лише середньодобові дані. Тому соціальні та економічні ризики від сильної спеки і сильного морозу можуть бути заниженими, оскільки періоди сильного морозу та сильної спеки

визначаються за абсолютною мінімальною і максимальною температурами, а не за середньодобовою, а як межові значення були обрані значення для екстремальних температур.

Період сильного вітру визначається також за абсолютною, а не середньодобовою максимальною швидкістю, тому як межове значення було обрано 20 м/с.

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

З табл. 2.4-2.7 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, крім Хмельницької області (за сценарієм RCP4.5 спекотні дні не спостерігаються, а за сценарієм RCP8.5 визначено 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 – це Запорізька, Луганська, Сумська та Чернівецька області, а за сценарієм RCP8.5 – Волинська, Житомирська, Київська, Луганська, Рівненська, Сумська та Чернівецька області. Ризики, визначені за сценарієм RCP8.5 є більшими.

Сильний вітер також не так часто спостерігається на території України. Однак, 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, за винятком Миколаївської області (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 і східний регіони.

З табл. 2.6 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). Для автотраси №2 – найбільш небезпечним явищем буде сильний дощ, а найменш небезпечним – сильний мороз (не спостерігається).

Таблиця 2.4. 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
Вінницька	3.82	15.90	2.55	5.65
Волинська	4.37	23.03	4.37	18.43
Дніпропетровська	4.31	26.35	2.16	5.27
Донецька	3.39	9.04	6.79	28.92
Житомирська	3.54	18.96	3.54	15.17
Закарпатська	160.53	14456.90	12.51	70.23
Запорізька	1.36	2.86	1.36	2.29
Івано-Франківська	85.95	5639.11	39.83	968.95
Кіровоградська	1.66	5.03	0.83	1.01
Київська	13.82	153.20	13.82	122.58
Кримський півострів	11.46	106.68	5.73	21.34
Луганська	1.75	3.10	1.75	2.48
Львівська	85.36	4986.76	21.95	263.83
Миколаївська	0.00	0.00	2.99	12.20
Одеська	4.53	25.20	4.53	20.17
Полтавська	1.05	2.77	1.05	2.22
Рівненська	9.80	101.22	9.80	80.99
Сумська	1.97	5.87	0.99	1.17
Тернопільська	6.51	29.65	8.13	37.06
Харківська	3.64	14.94	5.46	26.90
Херсонська	0.79	0.97	0.79	0.77
Хмельницька	6.62	45.15	3.97	13.01
Черкаська	2.51	8.43	2.51	6.75
Чернівецька	2.71	2.69	16.25	77.60
Чернігівська	26.47	1761.25	4.81	46.58

Таблиця 2.5. 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
Вінницька	0.00	0.00	0.00	0.00
Волинська	0.00	0.00	8.01	0.14
Дніпропетровська	0.00	0.00	15.80	0.64
Донецька	24.88	0.88	24.88	0.88
Житомирська	0.00	0.00	0.00	0.00
Закарпатська	0.00	0.00	0.00	0.00
Запорізька	0.00	0.00	0.00	0.00
Івано-Франківська	169.06	39.68	169.06	39.68
Кіровоградська	0.00	0.00	12.20	0.49
Київська	0.00	0.00	50.67	3.74
Крим	0.00	0.00	14.00	0.29
Луганська	0.00	0.00	0.00	0.00
Львівська	0.00	0.00	0.00	0.00
Миколаївська	7.30	0.17	7.30	0.17
Одеська	33.24	2.46	22.16	1.10
Полтавська	15.45	1.08	30.89	4.33
Рівненська	0.00	0.00	17.96	0.62
Сумська	21.70	1.29	21.70	1.29
Тернопільська	11.92	0.18	0.00	0.00
Харківська	0.00	0.00	26.70	1.46
Херсонська	0.00	0.00	5.78	0.09
Хмельницька	0.00	0.00	9.71	0.18
Черкаська	27.58	1.85	36.77	3.30
Чернівецька	0.14	0.00	0.65	0.00
Чернігівська	0.00	0.00	0.00	0.00

Таблиця 2.6. 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
Вінницька	0.00	0.00	0.00	0.00
Волинська	0.00	0.00	18.98	0.67
Дніпропетровська	0.00	0.00	0.00	0.00
Донецька	0.00	0.00	0.00	0.00
Житомирська	0.00	0.00	22.79	0.81
Закарпатська	0.00	0.00	0.00	0.00
Запорізька	32.00	1.79	0.00	0.00
Івано-Франківська	0.00	0.00	0.00	0.00
Кіровоградська	0.00	0.00	0.00	0.00
Київська	0.00	0.00	83.81	6.19
Кримський п-ов	0.00	0.00	0.00	0.00
Луганська	20.09	0.48	20.09	0.48
Львівська	0.00	0.00	0.00	0.00
Миколаївська	0.00	0.00	0.00	0.00
Одеська	0.00	0.00	0.00	0.00
Полтавська	0.00	0.00	0.00	0.00
Рівненська	0.00	0.00	21.19	0.73
Сумська	10.14	0.20	20.28	0.80
Тернопільська	0.00	0.00	0.00	0.00
Харківська	0.00	0.00	0.00	0.00
Херсонська	0.00	0.00	0.00	0.00
Хмельницька	0.00	0.00	0.00	0.00
Черкаська	0.00	0.00	0.00	0.00
Чернівецька	0.06	0.00	0.31	0.00
Чернігівська	0.00	0.00	0.00	0.00

Таблиця 2.7. 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
Вінницька	14.56	0.27	58.23	4.31
Волинська	597.92	661.76	882.64	1442.06
Дніпропетровська	1691.53	3929.03	2374.08	7739.54
Донецька	4967.55	22578.73	5627.30	28974.47
Житомирська	968.38	1468.73	1321.56	2735.40
Закарпатська	22.93	0.72	11.47	0.18
Запорізька	1359.83	3233.90	1903.76	6338.45
Івано-Франківська	554.01	520.12	805.83	1100.41
Кіровоградська	326.44	243.42	344.08	270.44
Київська	5950.86	31221.16	6956.64	42666.65
Кримський п-ов	2319.38	5183.84	2877.75	7980.20
Луганська	1426.09	2398.01	1908.15	4293.21
Львівська	1193.95	1381.84	2250.15	4907.99
Миколаївська	538.77	622.87	750.05	1207.18
Одеська	738.28	620.15	1020.56	1185.04
Полтавська	4910.96	64753.75	4440.76	52947.70
Рівненська	731.00	868.19	1165.36	2206.49
Сумська	1206.73	2846.84	1247.29	3041.44
Тернопільська	378.18	224.04	785.46	966.44
Харківська	11372.48	143410.28	10139.03	113988.78
Херсонська	1006.97	1711.80	1229.66	2552.67
Хмельницька	0.00	0.00	23.57	0.86
Черкаська	3834.29	29133.02	3494.97	24204.89
Чернівецька	926.96	1204.57	945.88	1254.24
Чернігівська	835.87	1702.49	1166.91	3318.03

Таблиця 2.8. 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

№	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 _{екоп} , тис. грн	Р _{соц} , тис. чол.	Р _{екоп} , тис. грн	Р _{соц} , тис. чол.	Р _{екоп} , тис. грн	Р _{соц} , тис. чол.	Р _{екоп} , тис. грн	Р _{соц} , тис. чол.	Р _{екоп} , тис. грн	Р _{соц} , тис. чол.	Р _{екоп} , тис. грн	Р _{соц} , тис. чол.	Р _{екоп} , тис. грн	Р _{соц} , тис. чол.	Р _{екоп} , 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	148582.3	14283.71	124120.5
№2	262.83	19534.4	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	212091.9	18535.93	174878.2
№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	5872.8	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	106.6	7.01	10598.45	41107.64	13059.71	59720.70
№7	31.08	1778.1	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	104.4	7.00	8099.10	35272.84	9231.60	46967.49

Загальна сума ризику є найбільшою для траси №1 через високу повторюваність спеки. Високими є ризики і для автошляхів №5, 6 і 8. Автошляхи №1, 5 і 6 зв'язують північні та південні райони України, а транспортний коридор №8 – західні та північні райони України і 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 і 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 інтенсивний. Оскільки влітку найбільш небезпечними є високі температури, то незалежно 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 буде підвищуватись. Також це свідчить про те, що повторюваність екстремально високих температур з часом зростатиме.

Зростання кількості днів з максимальною температурою ≥ 35 °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 ≥ 35 °C має місце в південних і 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, за винятком західних і деяких північних регіонів, де має місце збільшення річної кількості опадів на 35 %. Зростання кількості 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/д), повторюваність інтенсивних опадів для всіх станцій зменшується, проте, екстремальні опади ($\geq 30,0$ мм/д) спостерігаються на всіх станціях. Для всіх станцій зростає кількість змішаних опадів в декілька разів, що є несприятливим фактором для транспортної системи. Кількість днів з твердими опадами, 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, крім південних станцій, а саме, міст Одеса, Клепиніне, на яких очікується зменшення кількості випадків ожеледі приблизно в 2 рази.

Також є високою повторюваність хуртовин, незважаючи на зменшення кількості 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, окрім тільки ст. Дніпро та м. Чернівці. Найбільше зростання швидкості вітру відбувається у північних і 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 протягом періоду 2011-2050 рр.

По всій території України не спостерігається жодного разу середньодобова швидкість ветру ≥ 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 цей час можна вважати встановленим фактом. Є всі підстави припускати, що вони можуть мати певний негативний і непередбачуваний вплив на різні сфери людської діяльності, в особливості на економічному та соціальному рівнях. Поряд з цими змінами, 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 стрибки в зміні характеристик опалювального періоду, які 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 визначення конкретних характеристик радіаційного впливу. Термін траєкторія підкреслює, що розглядаються не тільки рівні довгострокових концентрацій, але також і їх очікувана зміна, побудована в часі для визначення кінцевого результату. В усіх сценаріях RCP

атмосферна концентрація CO₂ є вищою за сьогоднішній рівень унаслідок зростання сукупних викидів CO₂ протягом ХХІ 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 зростання світової середньої температури на 2.6 °C (RCP4.5) і на 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 зростання в 4.5 та 8.5 В/м² в 2100 р. в порівнянні із 1850 р.

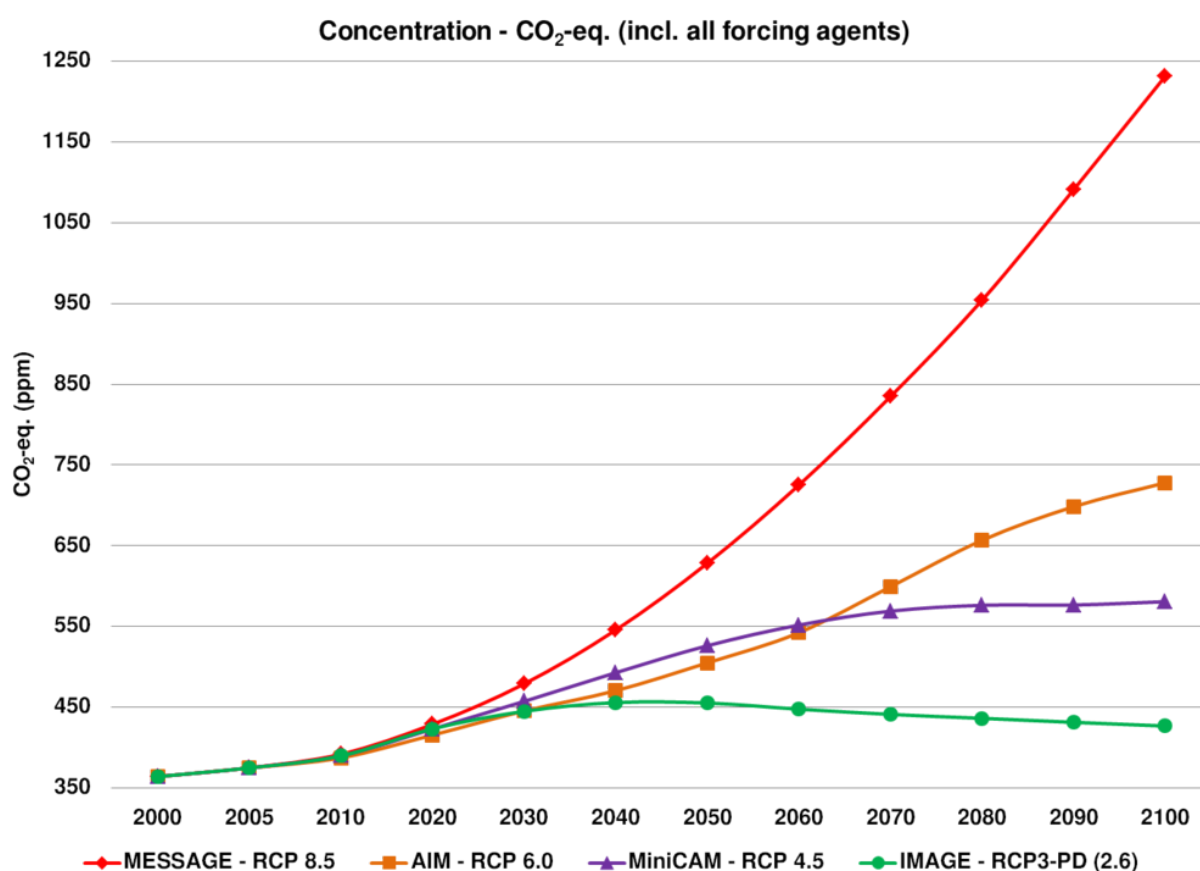


Рис. 2.37. Схематичне зображення радіаційного впливу до 2100 року

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 [8, 16].

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:

1) 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;

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

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

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

Встановлено, що в неопалюваному приміщенні в середньому температура всередині приміщення в результаті випадкового накопичення тепла вища, ніж зовні. Для традиційних споруд ця різниця становить приблизно 3°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 взята різниця між температурою всередині приміщення і температурою зовнішнього повітря.

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

Зовнішня температура, нижча від внутрішньої на величину, передбачену 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 певної країни. І, крім того, вони розрізняються залежно від призначення будівлі.

Середня сума градусо-днів Q визначається як сума відхилень середньої добової температури повітря від «базової». Розраховується вона непрямым способом за графіком річного ходу температури повітря. Для цього з кривої річного ходу знімається середня багаторічна добова

температура $t_{доб}$ для кожного дня з температурою нижчою ніж 15 °С, обчислюється різниця між нею і базовою $t_{баз}$ і підсумовується за весь період:

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

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

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

де $t_{сер.м.}$ - середня місячна температура повітря, °С; n - число днів в місяці.

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

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

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

Згідно зі шкалою градусо-днів опалювання виділяються райони і підрайони, відмінні за теплозахисними характеристиками житла – шириною корпусу будівель, що визначає компактність його архітектурно-планувального рішення; теплозахисними якістьми огорожувальних конструкцій, залежними багато в чому від опору теплопередачі зовнішніх стін (R); утепленням сходових кліток і входів в будинок [9].

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 станціях України за сценарієм RCP4.5, було визначено дати початку (ПОП) та кінця (КОП) опалювального періоду, розглянуто динаміку змін тривалості опалювального періоду (ТОП) і суму градусо-днів опалювання

за ОП, для більш наочного прикладу було побудовано карти та графіки, приклад яких наведено нижче. Аналізуючи зміни ТОП та суму градусо-днів опалювання за ОП за сценарієм RCP4.5 за представлений період (табл. 2.9), важливо відмітити те, що ТОП і сума градусо-днів опалювання за ОП (рис. 2.38 - 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.

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

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

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

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

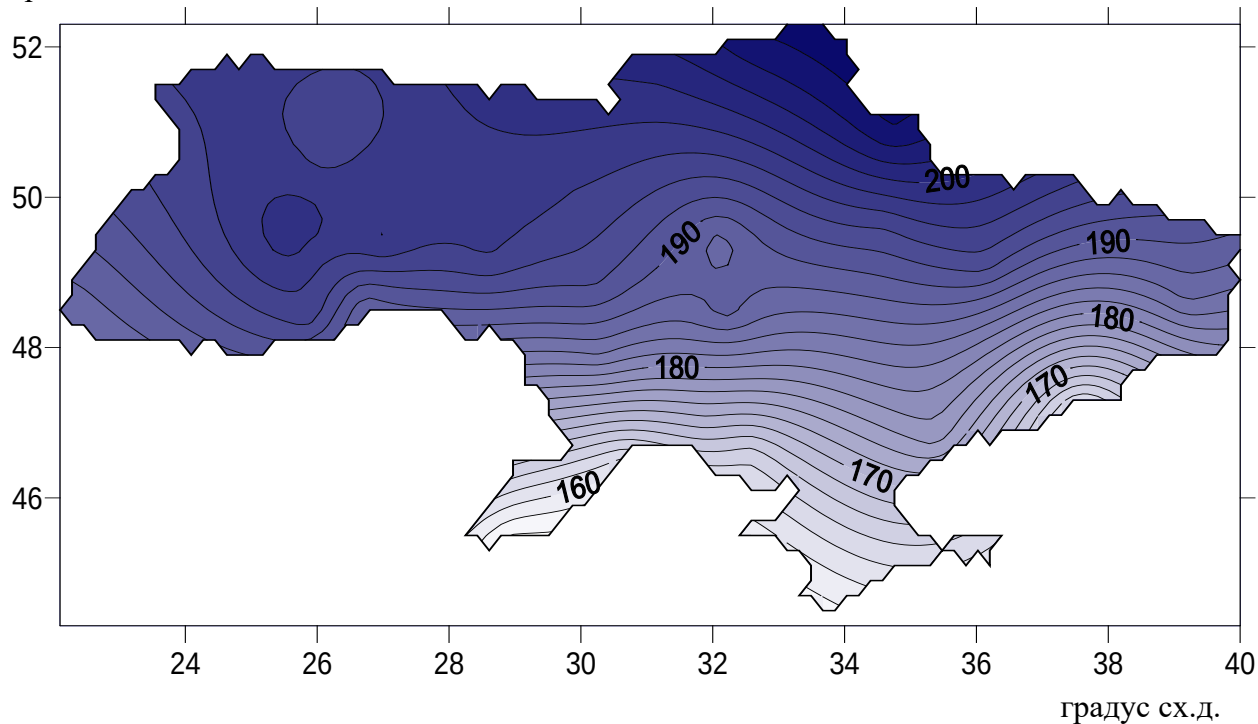
Схожа ситуація спостерігається і із зміною суми градусо-днів опалювання за ОП (рис. 2.40 та рис. 2.41), в середньому вона зменшилась на 90 °С, з 3283 до 3193°С за періоди 2011-2031 та 2031-2050 роки відповідно. Максимальні зміни в суворості зим були зафіксовані на ст. Полтава та на ст. Харків, зменшення суми градусо-днів на цих станціях досягають 159 °С з 3565 до 3406 °С, та 170 °С з 3568 до 3398 °С за періоди 2011-2031 та 2031-2050 роки відповідно. Але слід відзначити те, що згладжування даних при побудові карт не відображає окремі аспекти в зміні суворості зим, так наприклад, на ст. Херсон з 2041-42 роки ТОП становить 177 днів, при сумі ГДОП 3170 °С, а 2046-47 роках, при такому ж ТОП, сума градусо-днів опалювання за ОП дорівнює 2754 °С. А на ст. Чернігів, на фоні глобального підняття температури, при ТОП 213 днів, суворість зими 2038-39 років характеризується сумою ГДОП 4292 °С, такі дані здобуто з урахуванням середньої температури -10,3 °С в березні 2039 року. Що підтверджує збільшення ймовірності виникнення днів з

екстремальними температурами і зменшення періоду між переходом від відносно теплого до більш холодного ОП.

Таблиця 2.9. Осереднені розрахункові величини за сценарієм RCP4.5

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

град. півн. ш.



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

град. півн. ш.

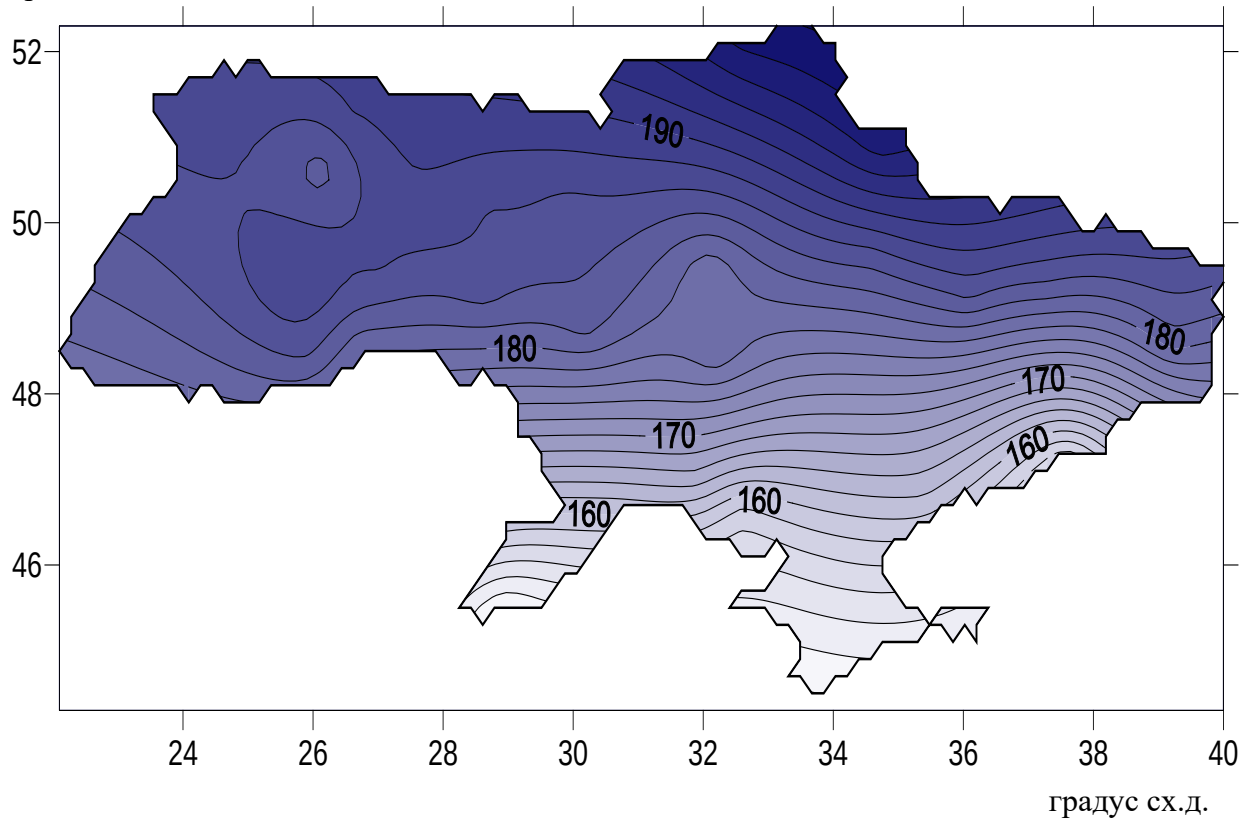


Рис.2.39. Осереднена тривалість опалювального періоду з 2031 по 2050 роки за сценарієм RCP4.5

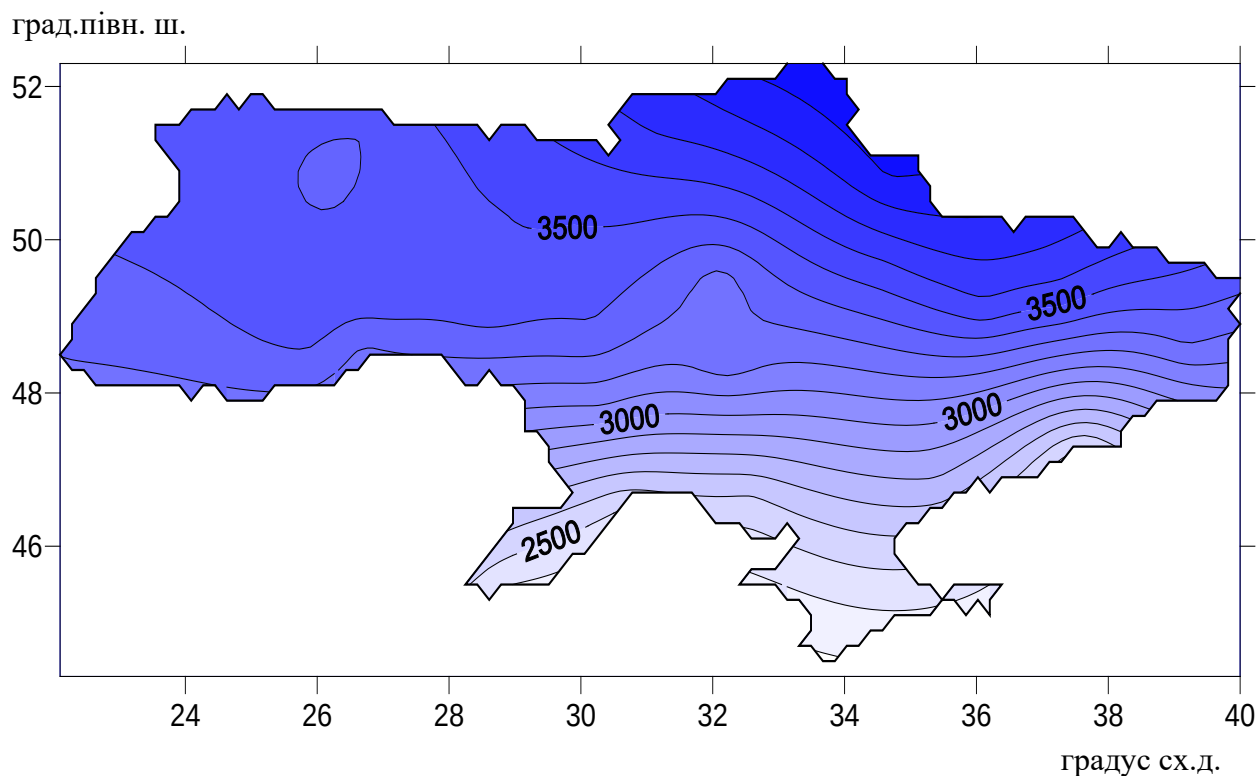


Рис. 2.40. Осереднена сума градусо-днів опалювання за період з 2011 по 2030 роки за сценарієм RCP4.5

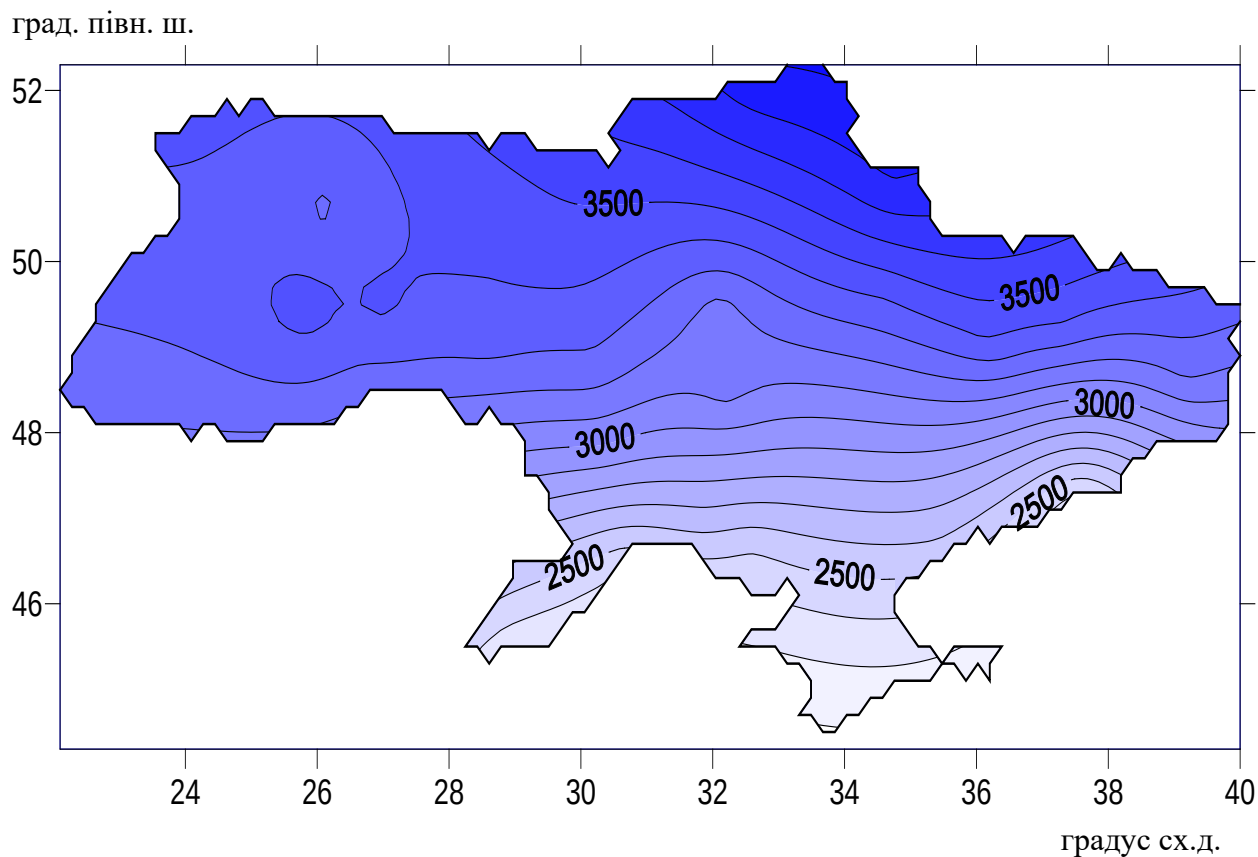


Рис. 2.41. Осереднена сума градусо-днів опалювання за період з 2031 по 2050 роки за сценарієм RCP4.5

Відповідні розрахунки було зроблено за прогностичними даними сценарію RCP8.5 з 2011 по 2050 роки по 17 станціях України (табл. 2.10). Як і за сценарієм RCP4.5, розподіл ізогіпс (рис. 2.42-2.45) по території України має зональний характер і лише в районі Подільської височини спостерігаються меридіональні збурення, замкнених ізоліній не спостерігається.

Таблиця 2.10. Осереднені розрахункові величини за сценарієм RCP8.5

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

град..півн. ш.

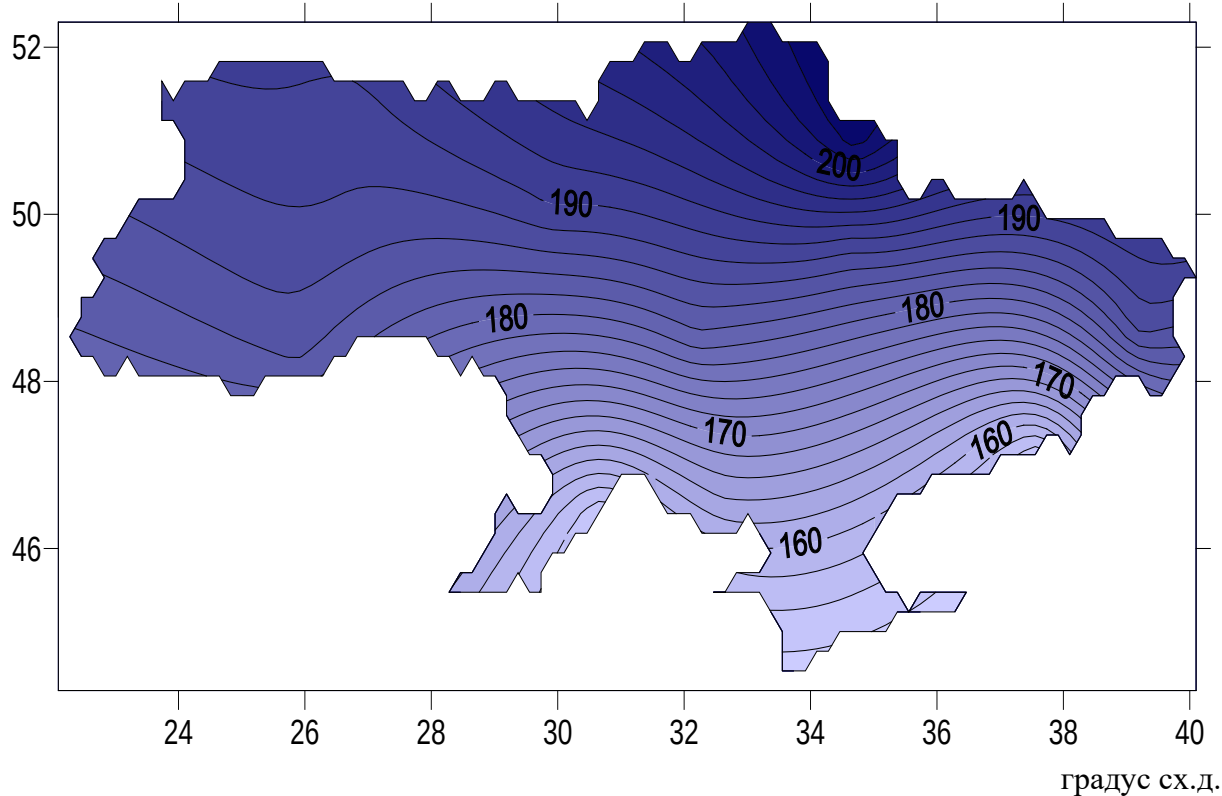


Рис. 2.42. Осереднена тривалість опалювального періоду з 2011 по 2031 роки за сценарієм RCP8.5

град..півн. ш.

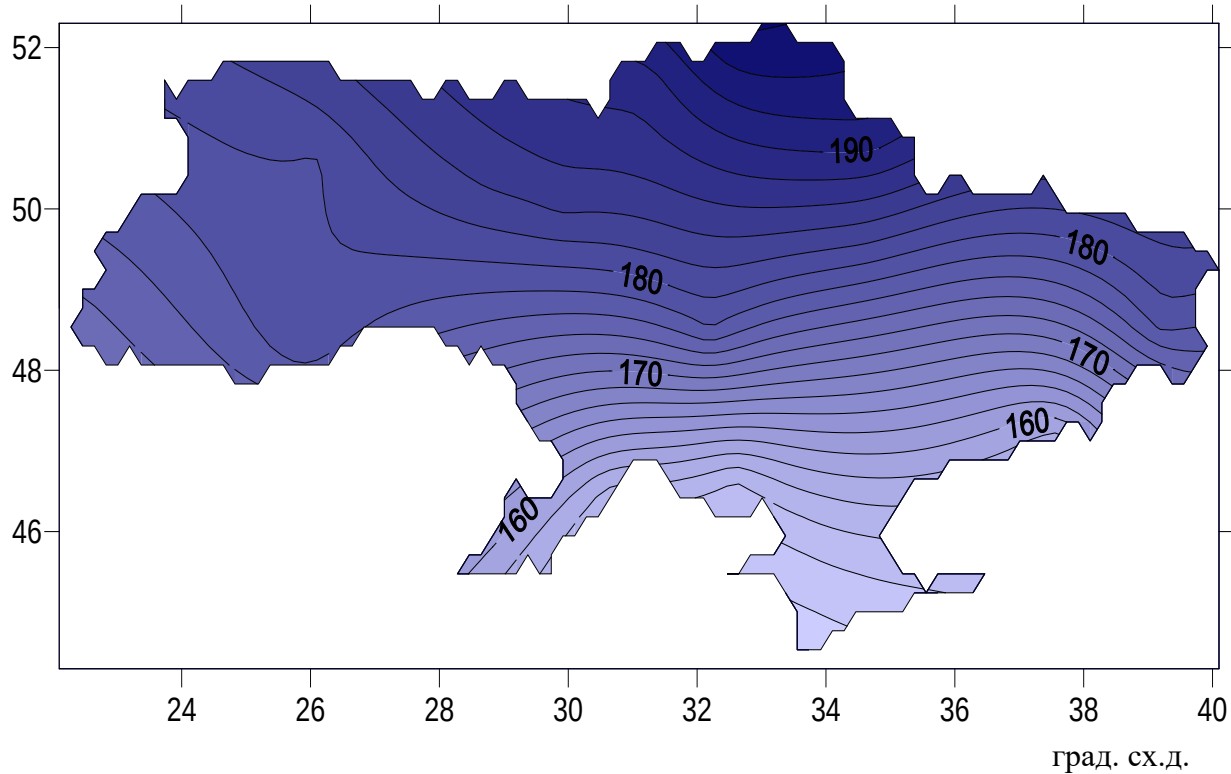


Рис. 2.43. Осереднена тривалість опалювального періоду з 2031 по 2050 роки за сценарієм RCP8.5

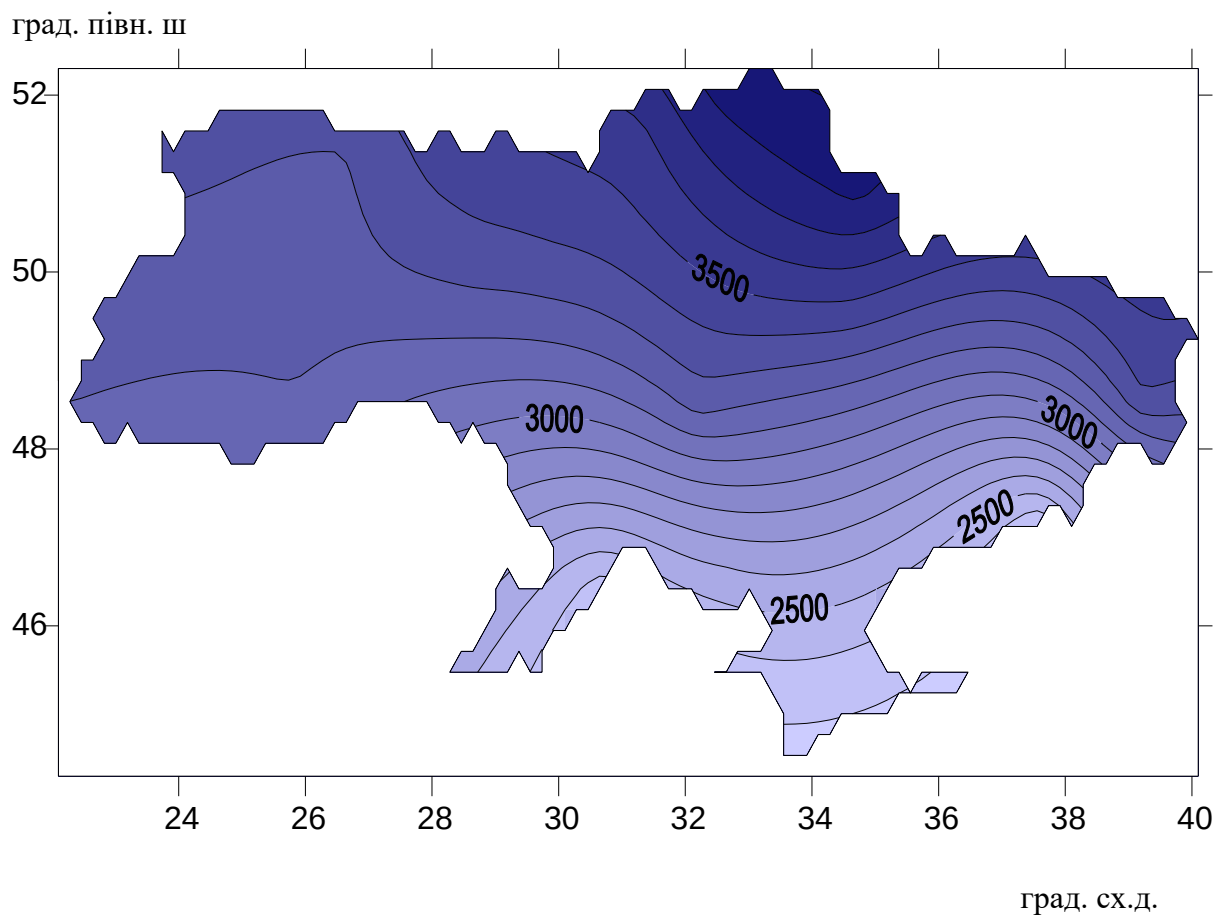


Рис. 2.44. Осереднена сума градусо-днів опалювання за період з 2011 по 2031 роки за сценарієм RCP8.5

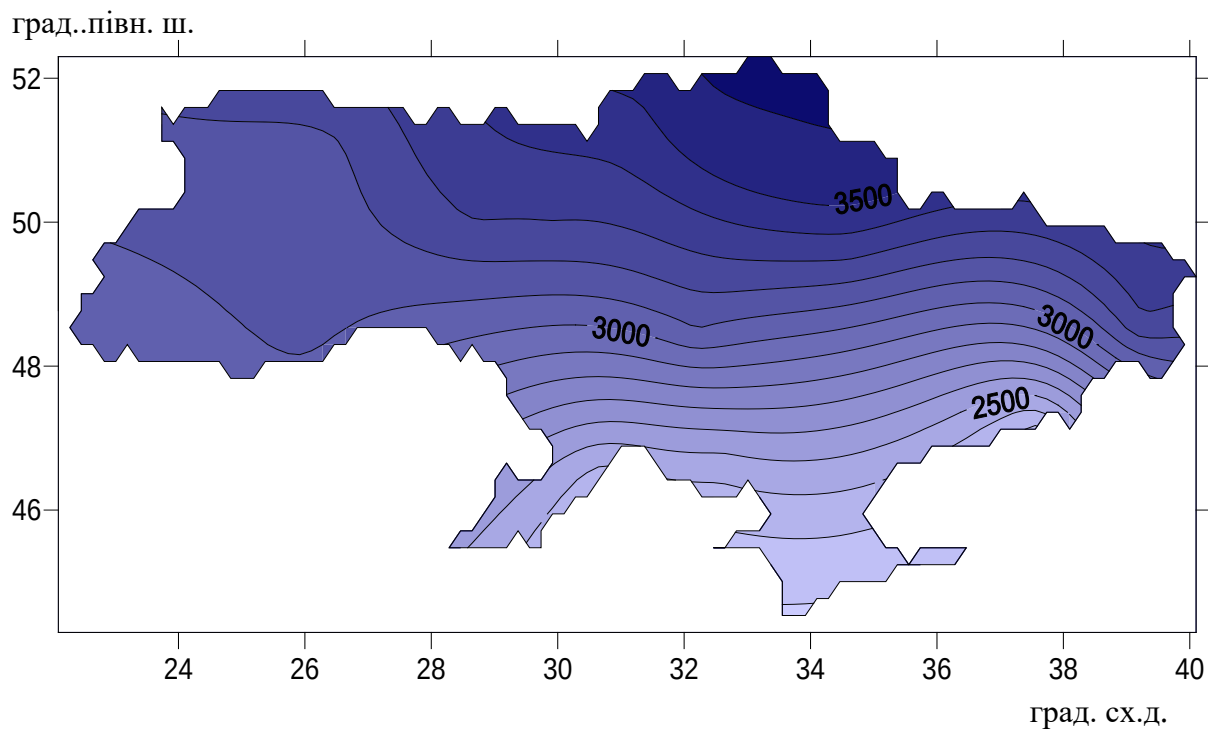


Рис. 2.45. Осереднена сума градусо-днів опалювання за період з 2031 по 2050 роки за сценарієм RCP8.5

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 і Херсон ТОП зменшується на 14 і 10 днів з 205 до 191 днів та з 164 до 154 днів, за періоди 2011-2031 та 2031-2050 роки відповідно.

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

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

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

Проаналізувавши ряди даних ТОП на станції Одеса (табл. 2.11) за 49 років (2011-2050 рр.) за сценарієм RCP4.5, визначено, що максимальна ТОП становила – 185 днів; мінімальна – 119 днів. Середня тривалість опалювального періоду становила 159 днів. Згідно з розрахованими даними за сценарієм RCP4.5, ТОП на території міста буде зменшуватись в середньому на 0,1 доби (рис. 2.46). Відповідно з 2011 по 2050 роки буде зменшуватись й суворість зим (рис. 2.47) в середньому на 3,4 °С щорічно. Максимум суми градусо-днів опалення ОП дорівнює 3154,3 °С, мінімум – 1703,2 °С. Середнє значення суми градусо-днів опалення ОП становить 2425,9 °С.

Таблиця 2.11. Розрахункові величини ТОП за сценарієм RCP4.5 за період з 2011 по 2050 роки. Одеса

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

ТОП, дні

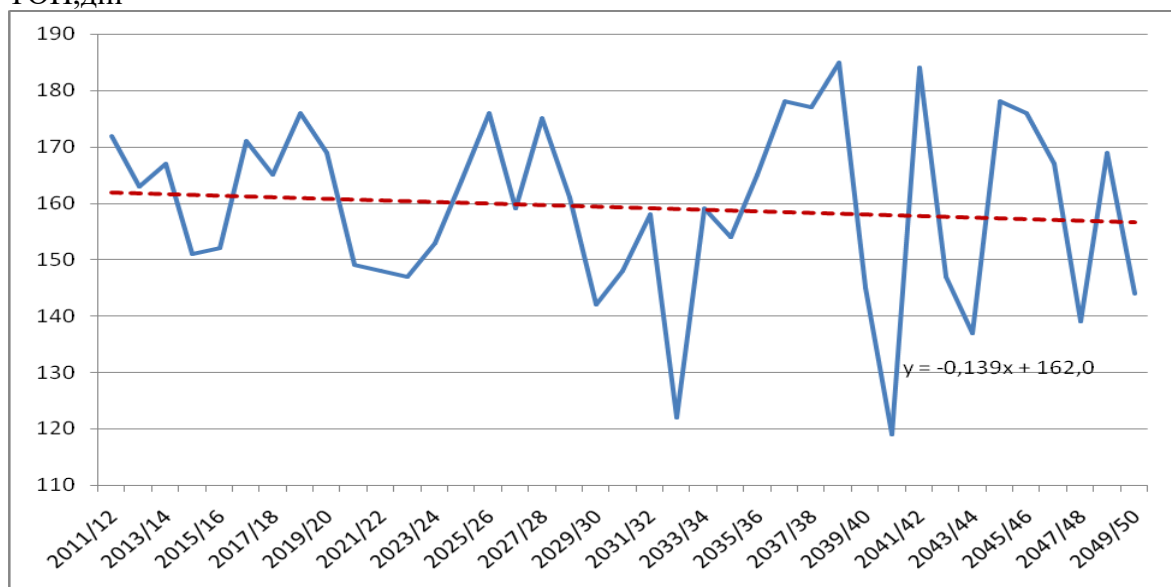


Рис. 2.46. Динаміка змін тривалості опалювального періоду згідно зі сценарієм RCP4.5 за період з 2011 по 2050 роки. Одеса.

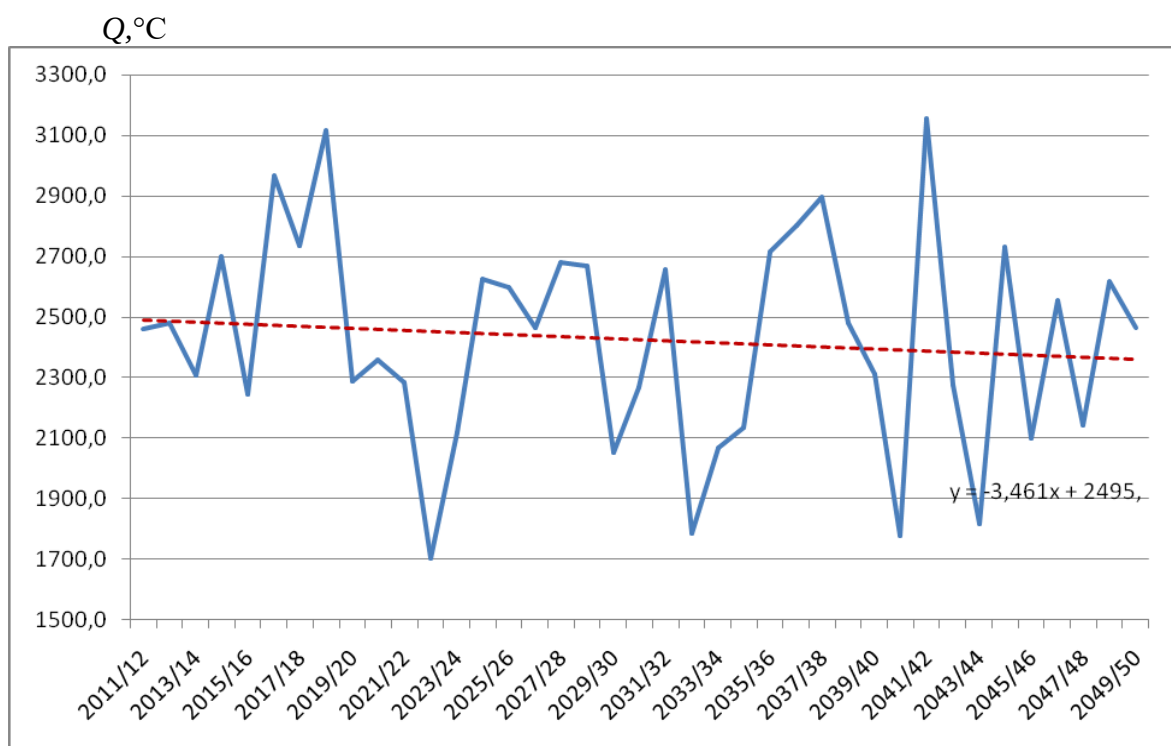


Рис. 2. 47. Динаміка змін суми градусо-днів опалення ОП згідно зі сценарієм RCP4.5 за період з 2011 по 2050 роки. Одеса

Більш детально розглянемо характеристики ОП на станції Одеса згідно зі сценарієм RCP8.5 за період з 2011 по 2050 рр.(табл. 2.12).

Таблиця 2.12. Розрахункові величини ТОП за сценарієм RCP8.5 за період з 2011 по 250 роки. Одеса

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

Зміни ТОП згідно зі сценарієм RCP8.5 за період з 2011 по 2050 роки в місті Одеса характеризуються тим, що міжрічні коливання до 2050 року зменшаться, середня ТОП становила 154 дні, максимальна ТОП становила – 187 днів з 2021-2022 роки; мінімальна – 122 дні в 2020-2021 роках (рис. 2.48).

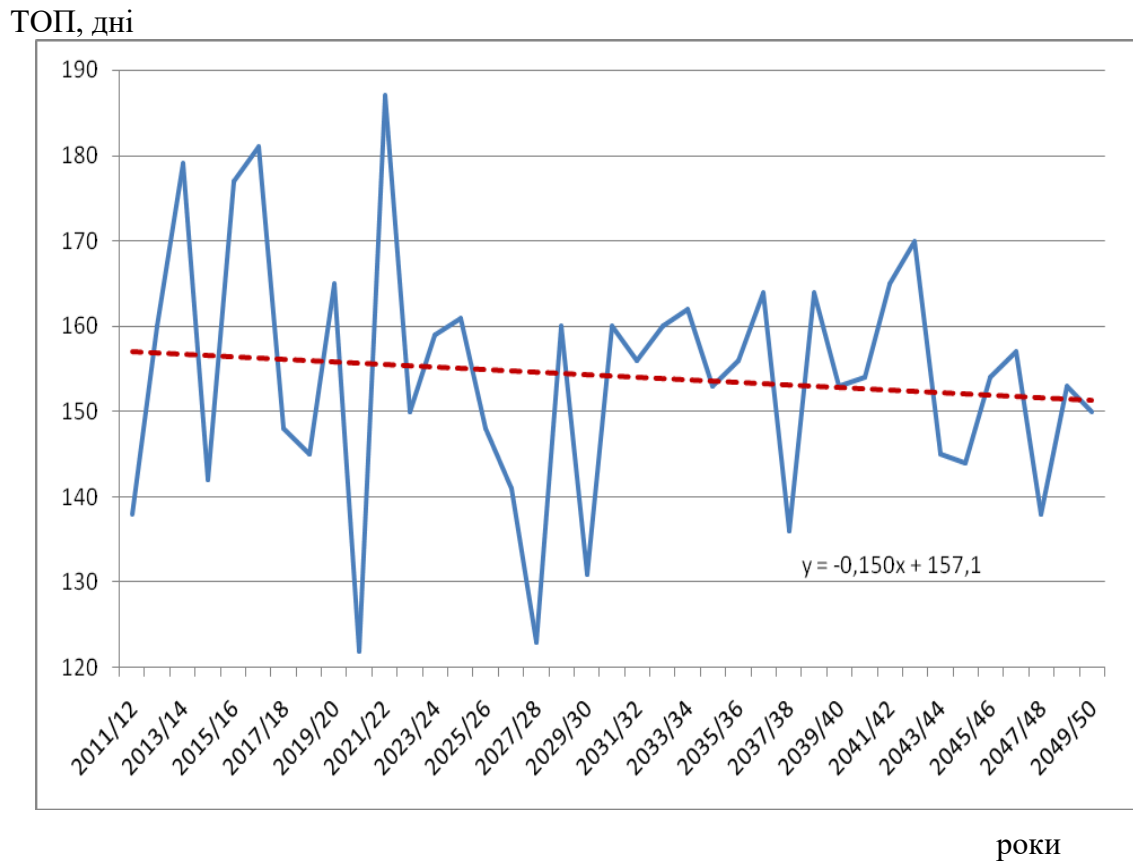


Рис. 2.48. Динаміка змін тривалості опалювального періоду згідно зі сценарієм RCP8.5 за період з 2011 по 2050 роки. Одеса

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

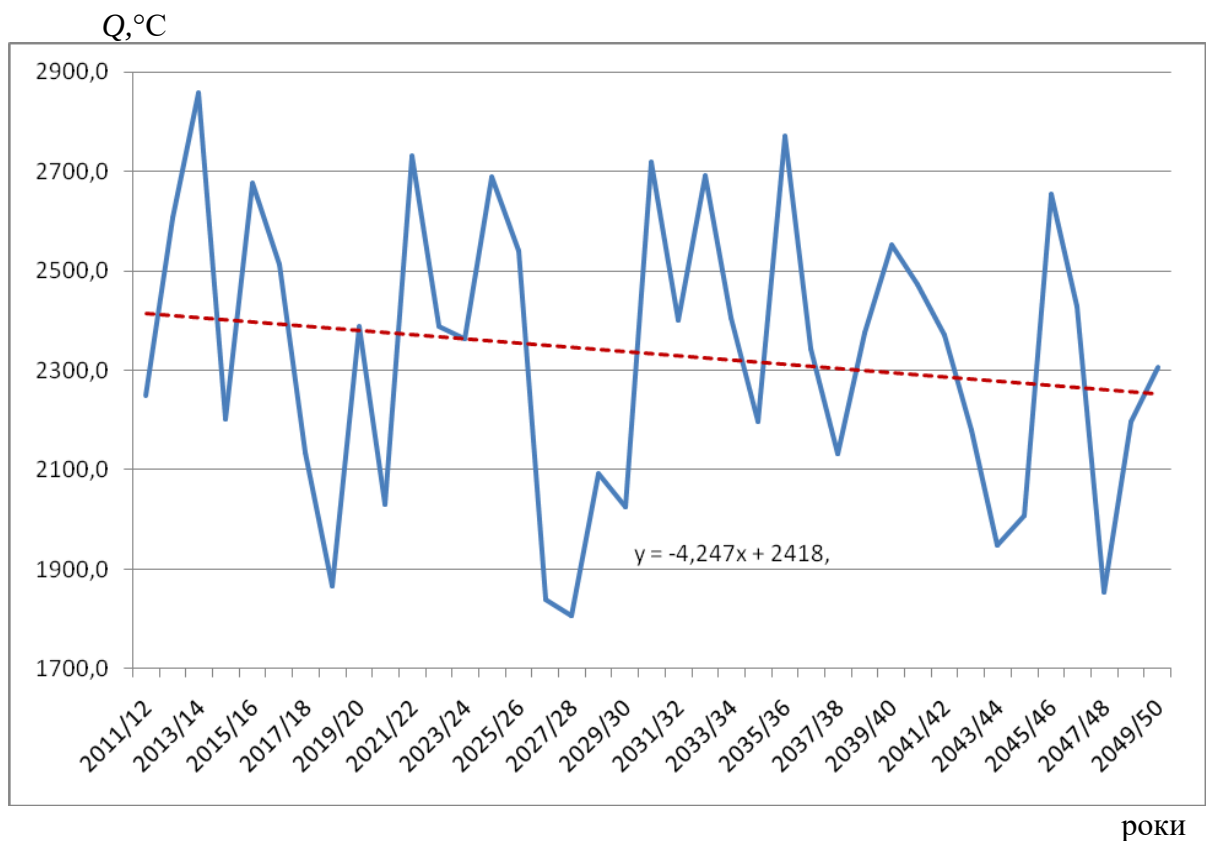


Рис. 2.49. Динаміка змін суми градусо-днів опалення ОП згідно зі сценарієм RCP8.5 за період з 2011 по 2050 роки. Одеса

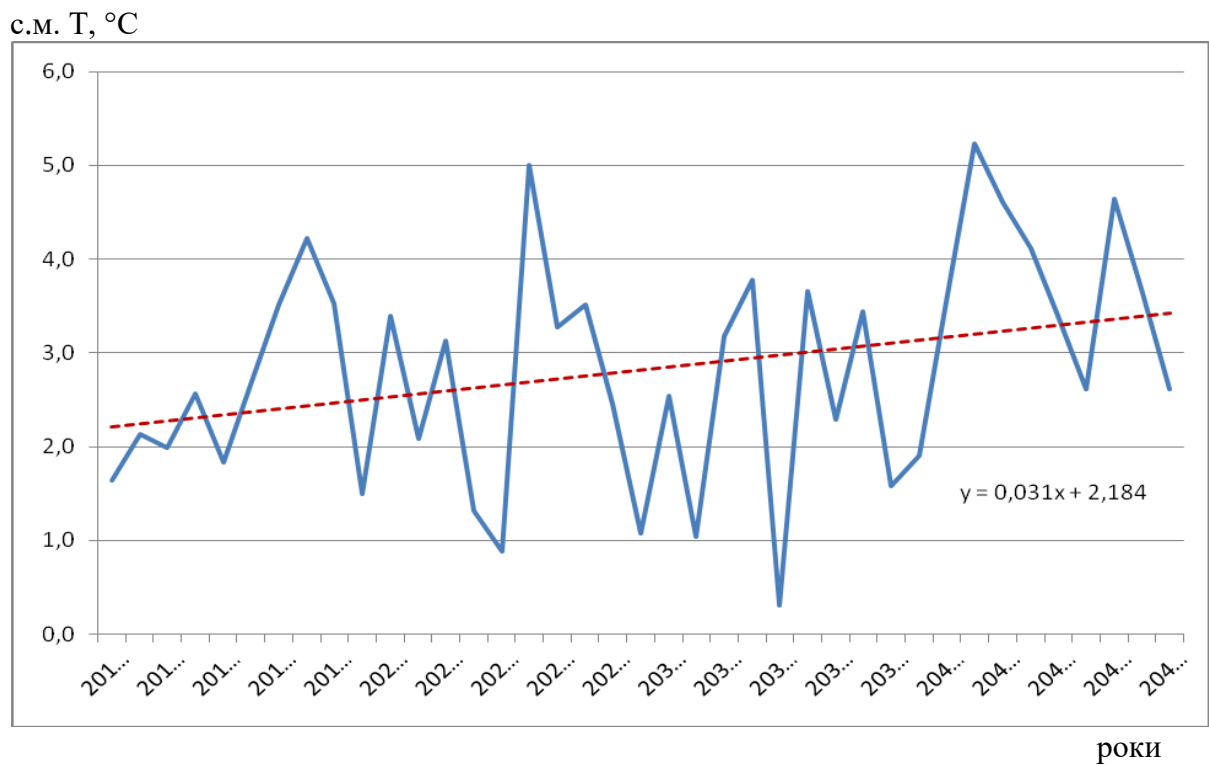


Рис. 2.50. Динаміка змін середньомісячної температури ОП згідно зі сценарієм RCP8.5 за період з 2011 по 2050 роки. Одеса

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

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

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

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

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

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

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

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

3. ЕНЕРГЕТИЧНИЙ ПОТЕНЦІАЛ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В УКРАЇНІ

Основні проблеми, з якими людство ввійшло у ХХІ століття – це енергетика і екологія. Швидкий промисловий розвиток групи країн північної півкулі забезпечувався інтенсивним зростанням вироблення електричної і теплової енергії. За останні 150 років, з середини ХІХ століття, населення Землі зросло в 5 разів, а вироблення енергії в 21 раз. Головним чином це відбулось за рахунок зростання видобутку викопного палива до обсягів понад 8000 млн.т в рік, що забезпечує 77 % світового споживання енергії. За експертною оцінкою Міжнародного агентства з енергетики в період до 2030 року виробництво первинної енергії в світі щорічно буде зростати в середньому на 1,7 % і досягне 15300 млн.т. При цьому вважається, що зростання виробництва енергії більш ніж на 90 % має забезпечуватись викопним паливом. Все зростаючі обсяги його використання спричиняють збільшення викидів CO_2 і інших парникових газів в атмосферу, що породжує серйозну заклопотаність з приводу можливого впливу на клімат планети [26].

Крім того, запаси викопних видів палива, особливо легкодоступних, які інтенсивно розробляються (нафта і газ), виявляються досить обмеженими, і за різними оцінками їх помітне виснаження може відбутись вже до середини ХХІ сторіччя. При цьому наша планета має практично невичерпні (у рамках людської історії) відновлювані джерела енергії (ВДЕ), до яких, насамперед, відносяться: енергія Сонця, вітру, річок, біомаси. Основним енергетичним джерелом, який забезпечує життя на Землі, є Сонце, чия енергія, що надходить до нашої планети за рік, перевищує в 10-20 разів енергію всіх видобутих запасів органічного палива. Цим поясняється увага до використання сонячної енергії всього світового співтовариства, і особливо промислово розвинених країн [6]. У 1997 р. Європейською Комісією була видана Біла Книга, у якій поставлена мета подвоєння частки ВДЕ в енергобалансі ЄС – з 6 до 12 % до 2010 році. У подальші роки були прийняті Директиви, що визначають розвиток ВДЕ в Європі на період до 2020 р., коли планується досягти 20-відсоткової частки ВДЕ в енергобалансі. Ці цілі підкріплюються відповідними законодавчими та економічними заходами, які підтверджують ефективну роль державного управління при формуванні енергетичної політики. Прогнози розвитку ВДЕ на більш віддалену перспективу (2050 р.), які базуються на існуючих темпах зростання потужностей енергетичного обладнання, показують, що частка ВДЕ у виробництві електроенергії в країнах ЄС може наблизитися до 50 %. І це зумовить помітний внесок у поліпшення екології планети, зменшить антропогенний вплив на клімат, створить умови для подальшого стійкого розвитку нашої цивілізації [23].

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

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

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

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

Основними напрямками використання сонячної енергії вважаються:

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

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

В перспективі використання сонячної енергії може здійснюватись: для енергопостачання в районах децентралізованого теплопостачання, переважно в сільській місцевості, для малопотужних, сезонних, комунально-побутових і виробничих споживачів (турбаза, будинок відпочинку, табір, бригадний стан, доїльний майданчик тощо); в системі централізованого теплопостачання геліосистема може підігрівати воду для подальшого нагрівання її в котельні до високої температури і нагрівати воду влітку, коли 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.

3.1. РОЗВИТОК АЛЬТЕРНАТИВНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ ЯК ОБ'ЄКТА ДЕРЖАВНОГО РЕГУЛЮВАННЯ

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

Згідно з дослідженням незалежного агентства федеральної статистичної системи США Energy Information Administration (EIA), опублікованим у річному енергетичному звіті за 2015 р., щорічне споживання електроенергії у світі з 2013 по 2040 рр. збільшуватиметься в середньому на 0,8 % відповідно до очікуваного зростання населення. За прогнозами EIA, в структурі глобального паливно-енергетичного балансу буде збільшуватись питома вага альтернативної енергетики.

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

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

І це незважаючи на те, що ще 15 березня 2006 р. Кабінетом Міністрів України була прийнята «Енергетична стратегія України до 2030 року», в якій частка використання альтернативних джерел енергії загальному паливно-енергетичному балансі країни повинна збільшитися до 19 % в 2030 [10].

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

Згідно із Законом України «Про альтернативні джерела енергії», альтернативна енергетика – це сфера енергетики, що забезпечує вироблення електричної, теплової та механічної енергії з альтернативних джерел енергії. В свою чергу, альтернативні джерела енергії – це відновлювані джерела енергії, до яких належать енергія сонячна, вітрова, геотермальна, енергія хвиль і припливів, гідроенергія, енергія біомаси, газу з органічних відходів, газу каналізаційно-очисних станцій, біогазів і вторинні енергетичні ресурси, до яких належать доменний та коксовий газ, газ метан дегазації вугільних родовищ, перетворення скидного енергопотенціалу технологічних процесів [12].

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

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

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

Таким чином відновлювана енергетика, яка використовує потоки енергії Сонця, енергію вітру, теплоту Землі, біомаси, морів і океанів, річок, які існують постійно або періодично в навколишньому середовищі і у майбутній перспективі практично невичерпні, є складовою альтернативної енергетики. Всі відновлювані джерела енергії поділяються на дві групи, що використовують пряму енергію сонячного випромінювання і її вторинні прояви (побічна сонячна енергія), а також енергію взаємодії Сонця, Місяця і Землі. Результатом побічної діяльності Сонця є відповідні ефекти в атмосфері, гідросфері та геосфері у вигляді вітру, гідроенергії, енергії течій, хвиль, припливної енергії, теплової енергії навколишнього середовища тощо.

Сонячна енергетика – це вид відновлюваної енергетики, в якому для отримання електрики використовується сонячне випромінювання [27].

Використання енергії Сонця сприяє не тільки збереженню земного клімату, але й зменшує залежність країн від імпорту вуглеводнів. Кількість сонячної енергії, що потрапляє на поверхню Землі протягом тижня, перевищує енергію світових запасів нафти, газу, вугілля та урану разом. Людство використовує всього одну десятитисячну частину цього виду енергії. Вчені впевнені, що якби людина використовувала хоча б 1% сонячної енергії, то енергетична криза залишилася б у минулому. Перетворювати енергію Сонця на інші види енергії можна двома способами: фотоелектричним (прямий спосіб) і фототермічним (енергію світла перетворюють спочатку на теплову енергію, потім – на електричну) [6].

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

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

Сонячна радіація – це невичерпне джерело відновлюваної енергії. Енергія сонячного проміння може використовуватись як тепла. Сонячна енергія як енергоресурс майбутнього має безліч переваг: вона не шкодить здоров'ю людей та довкіллю, не спотворює ландшафт, її не потрібно експортувати й імпортувати, сама енергія є безкоштовним ресурсом, а

головною перевагою є те, що вона відновлювана. Вчені дослідили, що 3/4 від усієї споживаної суспільством енергії становить теплова енергія. Сонячні установки, призначені для перетворення сонячної енергії на інші види енергії та передачі її для подальшого використання. Ефективність геліоустановок залежить переважно від обсягу надходження сонячної енергії, яка залежить від географічних особливостей регіону, де планується встановлення геліоустановок.

Останніми роками публікується значна кількість наукових і практичних робіт, в яких висвітлюється питання ефективного використання сонячної енергії [1, 2, 5, 28, 29].

Перспективи заміщення традиційних паливно-енергетичних ресурсів за рахунок використання альтернативних джерел енергії наведені в наукових працях [8, 22].

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

Аналітичні та експериментальні дослідження розподілу сонячної енергії впродовж дня і року наведені в монографії [19], але тут не пораховані дані щодо обсягу надходження сонячної енергії на територію України. Кліматичні дані, які використовують для розрахунку і проектування геліоустановок, наведені у Державних будівельних нормах України [4]. 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” [3], але ці дослідження не містять класифікації кількості сонячної енергії в опалувальний період.

Вчені з Техаського університету з'ясували, що людство незабаром повністю перейде на сонячну енергію. На думку одного з керівників досліджень, Джона Хаффакера, це відбудеться до 2030 року. Про це повідомляє Uagolos.

На сьогодні у світі існує понад 400 тисяч сонячних батарей широкого спектра, тому все більше світових держав передбачають перехід на енергію світила, адже вона є значно економнішою та не забруднює довкілля.

За словами Хаффакера, сонячною енергією живитимуться усі країни світу не пізніше, ніж за 15 років. Революція, на його думку, торкнеться абсолютно усіх галузей, у тому числі автомобільної.

Фахівці переконані, що до 2060 року частка енергії Сонця на світовому енергетичному ринку перевищить 50 %. Цікаві приклади використання сонячної енергії у різних країнах. В умовах Великобританії жителі сільської місцевості покривають потребу в тепловій енергії на 40-

50 % за рахунок використання енергії Сонця. В Німеччині (під Дюсельдорфом) проводилися випробування сонячної водонагрівальної установки колекторів площею 65 м². Експлуатація установки показала, що середня економія тепла, витрачаного на обігрів, становила 60 % , а в літній період – 80-90 %. В умовах Німеччині сім'я з 4 чоловік може забезпечити себе теплом при наявності енергетичного даху площею 6-9 м². Сучасні сонячні колектори можуть забезпечити потреби сільського господарства в теплій воді в літній період на 90 %, в перехідний період — на 55-65 %, в зимовий — на 30 %. В Австрії встановлено, що для забезпечення 80 % теплою водою в житлових сільських будинках на 1 людину потрібна установка сонячних колекторів з поверхнею 2-3 м² і ємністю бака для води 100-150 л. Установка площею 25 м² з ємністю для нагрітої води на 1000-1500 л забезпечує теплою водою 12 осіб або невеликий сільський двір. Найбільш ефективно в країнах ЄС сонячні енергоустановки експлуатуються в Греції, Португалії, Іспанії, Франції: вироблення енергії сонячними енергоустановками становить відповідно 870000, 290000, 255200, 174000 МВт-год на рік. Найбільшу сумарну площу встановлених сонячних колекторів мають: США - 10 млн м², Японія - 8 млн м², Ізраїль - 1,7 млн м², Австралія- 1,2 млн м².

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

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

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

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

3.2. ЗАКОНОДАВЧЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЕРЖАВНОГО РЕГУЛЮВАННЯ РОЗВИТКУ АЛЬТЕРНАТИВНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ В УКРАЇНІ

В сучасних умовах в Україні гостро відчувається нестача енергоресурсів і ведуться пошуки оптимальної моделі енергозбереження та енергоефективності у всіх сферах життєдіяльності. При цьому тенденції розвитку світової енергетики переконливо свідчать про те, що в Україні не може бути іншого шляху розвитку, окрім збільшення питомої ваги енергетики, яка базується на нетрадиційних відновлюваних джерелах енергії, що потребує відповідного законодавчого забезпечення державного регулювання розвитку альтернативної енергетики в Україні. Фундаментальним законодавчим актом, який визначає правові, економічні, екологічні, організаційні та державно-управлінські засади використання альтернативних джерел енергії та сприяє розширенню їх використання у паливно-енергетичному комплексі країни є Закон України «Про альтернативні джерела енергії», який набув чинності у 2003 р. Згідно з цим Законом цілями державного регулювання розвитку альтернативної енергетики в Україні є:

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

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

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

- здійснення контролю за додержанням вимог законодавства у сфері альтернативних джерел енергії та за виконанням загальнодержавних програм у цій сфері [10].

Одним з найбільш впливових інструментів стимулювання розвитку відновлюваної енергетики в Україні є застосування «зеленого» тарифу для електроенергії, виробленої з відновлюваних джерел. На законодавчому рівні «зелений» тариф був введений в Україні в 2009 р. з дією до 2030 р. і станом на жовтень 2014 р. він поширений на 189 генеруючих об'єктів, які належать 107 суб'єктам господарської діяльності різних форм власності.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Розвиток сонячних технологій стримує:

- відсутність державної політики;
- відсутність координації у сфері розвитку сонячних технологій;

- на цей час не існує інформаційної системи для поширення відомостей про наявність сонячних технологій, їх параметрів, екологічних переваг, а також інформації про впровадження демонстраційних проектів.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Постанова набула чинності з дня її офіційного опублікування.

Вплив цього законопроекту на перспективи розвитку проектів, що використовують альтернативні джерела електроенергії, обговорювався під час виїзного засідання Всеукраїнської Енергетичної Асамблеї (ЗЕА) в Запорізькій області. За словами Глави ЗЕА Івана Плачкова, в 2006 році, коли затверджувалася "Енергетична стратегія України до 2030 року", очікувалось, що частка відновлюваної енергетики в енергетичному балансі України може скласти 7-15 %.

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

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

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

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

В рамках подальшого реформування паливно-енергетичного комплексу України в 2014 р. було презентовано проект нової Енергостратегії України до 2020 р., підготовлений експертами Центру

Разумкова за підтримки міжнародних енергетичних організацій та інститутів, ЄС, Світового банку та ін. Основне місце в новій Енергостратегії-2020 відведено енергоефективності та енергозбереженню, зближенню з ЄС, створенню конкурентного і прозорого енергоринку, захисту і розвитку інфраструктури, розвитку альтернативної енергетики.

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

Наприклад, постанова №293 «Про стимулювання заміщення природного газу в сфері теплопостачання» передбачає компенсаційні заходи при виробництві теплової енергії для потреб населення з будь-яких видів палива та енергії за винятком газу [20].

3.3. СТАН, ПРОБЛЕМИ І ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ УКРАЇНИ

В цей час, комунальне господарство України щорічно споживає близько 74 мільйонів т у.п. Щорічна потреба в тепловій енергії збільшується на 1,5-2 %. Існують оцінки, що з відновленням економічного зростання, рівень споживання може істотно зрости. З іншого боку, потенціал енергоефективності та енергозбереження в комунальному господарстві України за різними оцінками, становить не менше ніж 50 %. У разі використання цього потенціалу економічне зростання не повинно привести до істотного збільшення споживання теплової енергії. Іншою можливістю стримування зростання споживання теплової енергії є всебічний розвиток концепції сонячних будинків. У північних європейських країнах з допомогою природного нагріву сонце забезпечує 14 % тепла від загальної потреби звичайних будинків. Цю оцінку можна використовувати в якості нижньої межі для умов України. У будинках, побудованих з урахуванням пасивного використання сонячної енергії, внесок сонця в споживанні тепла може скласти близько 40 %. Частка пасивного нагріву зазвичай не враховується офіційною статистикою, однак, насправді - це найбільший джерело використання відновлюваної енергії. Істотний потенціал використання сонячної енергії в Україні полягає у використанні сонця для охолодження і кондиціонування, а також в сільськогосподарських додатках, наприклад, для сушіння різних видів сільськогосподарської продукції та опріснення води в південних регіонах [5, 9, 11, 15 - 18, 30, 31, 32].

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

Основними видами використання сонячної енергії є гаряче водо - і теплопостачання із застосуванням сонячних колекторів. Розвиваються два типи сонячного теплопостачання - без довготривалого акумулювання тепла, коли частка сонячної енергії в загальній кількості споживаного тепла обмежена (максимум 20 % в кліматичних умовах північних європейських країн) і з сезонною акумуляцією, при якій частка сонячної енергії може досягати 80-100 %.

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

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

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, які враховують хронологічний постійний хід сонячної радіації та її випадкову мінливість у часі, пов'язану з низкою атмосферних явищ.

Для вирішення доцільності роботи сонячних енергетичних установок використовують спеціалізовані показники кліматичних ресурсів [24 - 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 надходження прямої, розсіяної, сумарної сонячної радіації;
- число годин сонячного сяйва (тривалість сонячного сяйва);
- середні показники хмарності;
- число ясних і похмурних днів.

Моделльні оцінки проводилися як на основі кліматичної моделі, в якій зміни клімату на території України при глобальному рівні потепління 1,5 °C за параметрами майбутнього клімату, отриманими осередненням результатів обчислень по ансамблю з 31 МОЦАО (Моделей Загальної Циркуляції Атмосфери та Океану), які беруть участь у проєкті порівняння

глобальних кліматичних моделей CMIP5 (Coupled Model Intercomparison Project – Phase5) і використовують сучасні сценарії антропогенного впливу на кліматичну систему Землі сімейства RCP (Representative Concentration Pathways): сценарій помірного впливу RCP4.5 і сценарій екстремального впливу RCP8.5. і детально представлених в розділі 3 «Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации» 2014 [7] (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: Полісся, Лісостеп, північний та південний Степ.

3.4.1. Просторово-часовий розподіл середнього бала 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 зумовлено розбіжностями в режимі хмарності. В свою чергу характер режиму хмарності визначається взаємодією основних кліматоутворювальних факторів: циркуляція атмосфери, радіаційні умови і властивості підстильної поверхні. Головним з них є циркуляція атмосфери, особливо в холодну пору року. В період з травня по серпень, коли спостерігається найбільше надходження сумарної радіації, суттєвий вплив на формування режиму хмарності чинять властивості підстильної поверхні, яка визначена орографічними особливостями територій. І для визначення потенціалу сонячної енергії необхідно, перш за все, оцінити режим хмарності.

В кліматології кількісними характеристиками хмарності є її середній бал, ймовірність ясного і похмурого стану неба, а також середнє число днів з різним станом неба (ясного, напівясного і похмурого). Тому на першому етапі оцінки радіаційних умов та їх змін на території України розглядався режим саме цих показників хмарності. В основу аналізу покладені багаторічні дані фактичних спостережень щомісячників за 1986 – 2005 рр. та їх порівняння зі сценарними даними [33].

Зазначимо, що вплив хмарності на надходження сумарної радіації визначається не стільки кількістю і формою хмар, скільки станом сонячного диска, який зумовлює тривалість сонячного саява, сонячного опромінювання. Тому в режимі хмарності в цьому випадку особливий

інтерес представляє інформація про ясний і напівясний стан неба, річна кількість днів яких розглядається як деякий критерій доцільності роботи геліосистем: сприятливими вважаються райони, де річна сума таких днів перевищує 200. Заведено вважати небо ясным, якщо кількість хмар не перевищує двох балів, і похмурим, коли кількість хмар дорівнює восьми балам і більше. Дні з хмарністю від трьох до семи балів відносять до напівясних [21, 24-26].

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

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

Як згадувалось раніше, сумарне за рік число днів з ясным і напівясним станом неба може бути деяким критерієм радіаційних умов території дослідження. Так, просторовий розподіл по території України саме цього показника дозволяє стверджувати, що за ним вся територія країни може вважатись регіоном, де використання геліосистем доцільне: повсюди число таких днів за рік перевищує 200.

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

На рис. 3.3 наведено розподіл кількості днів з різним станом неба в залежності від розташування станцій при різному сценарії при переміщенні із заходу на схід і з півдня на північ.

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

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

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

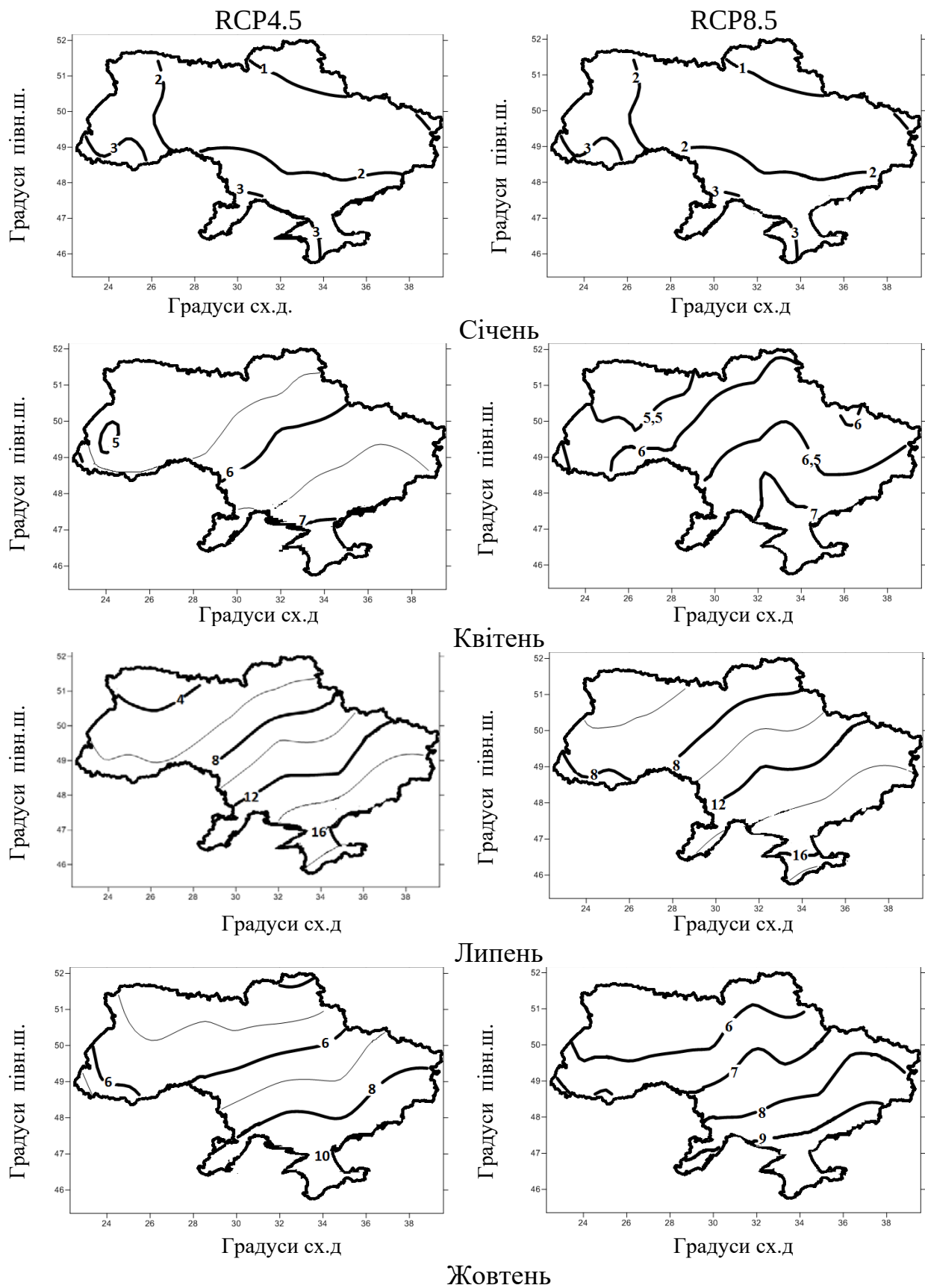


Рис. 3.1. Просторовий розподіл середньої кількості днів при ясному стані неба

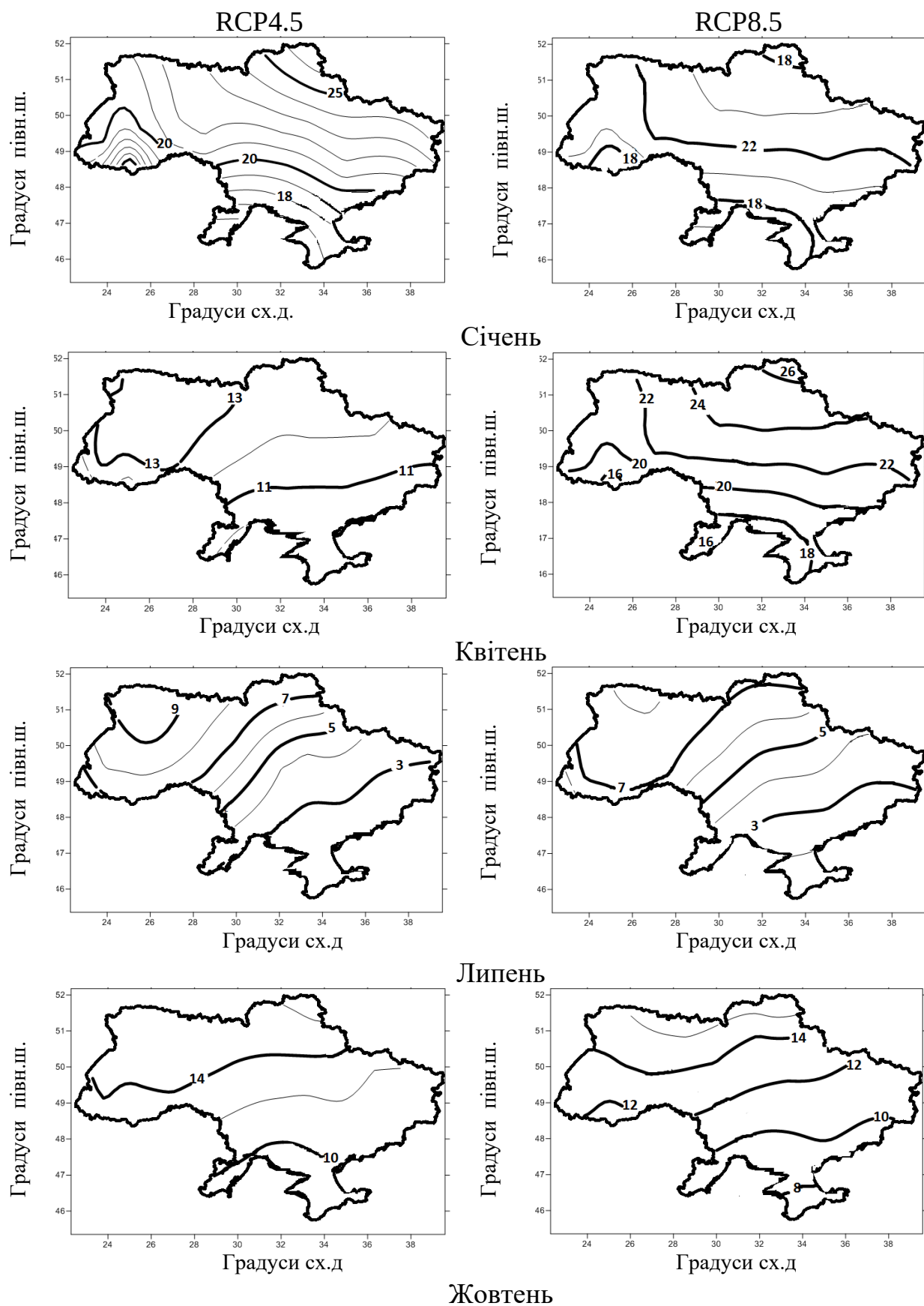


Рис. 3.2. Просторовий розподіл середньої кількості днів при похмурому стані неба

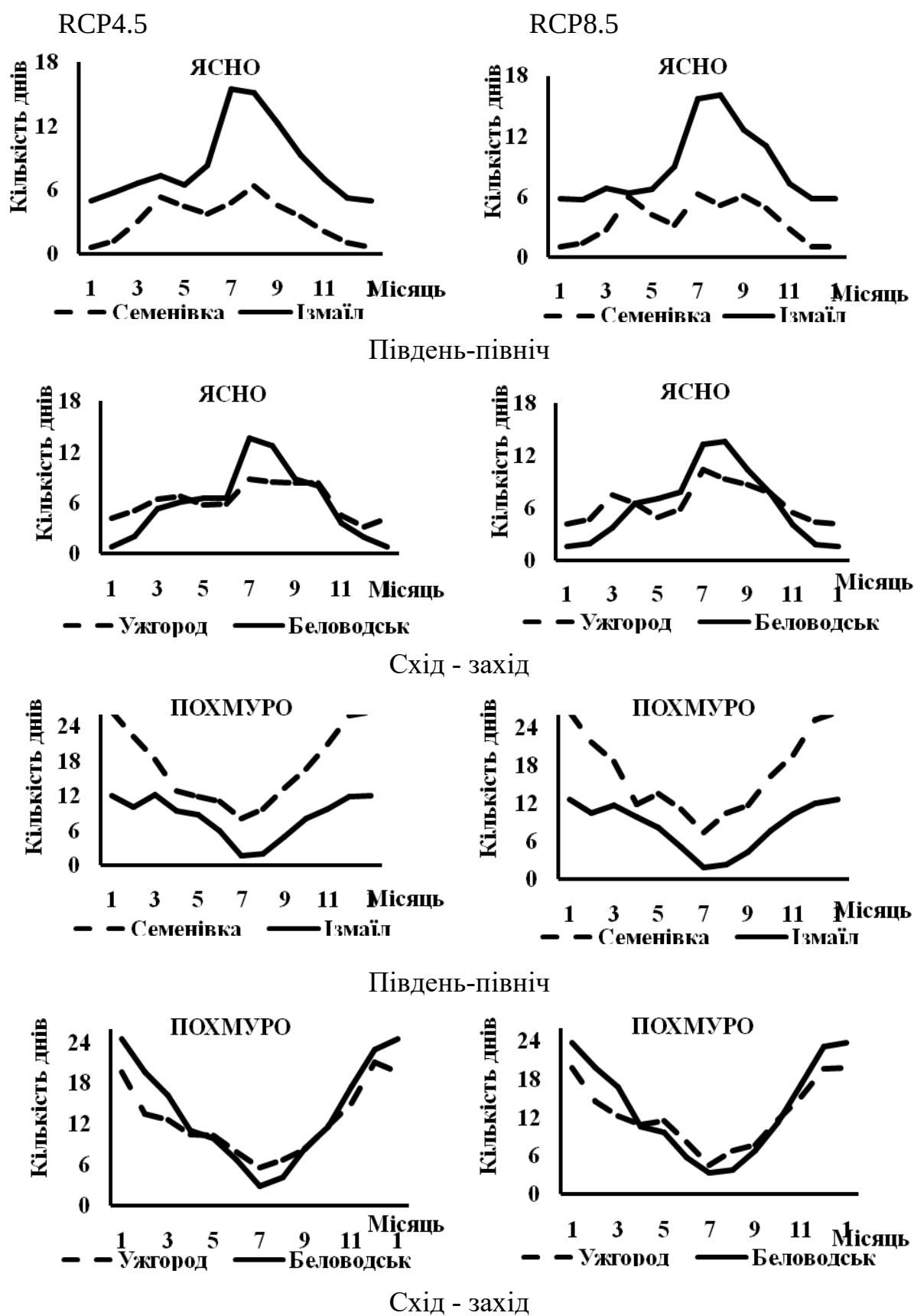


Рис. 3.3. Кількість днів при різному стані неба з урахуванням напрямку переміщення

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.

Визначене більш ніж у два рази зменшення числа ясних і напівясних днів від теплого періоду до холодного свідчить про нерівномірний внесок 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 становить майже половину від мінімального значення, безперебійну роботу геліоустановок можна передбачити протягом усього року.

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

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 саява по території України змінюється від величин менших за 1600 годин на північному заході до більших за 2300 на півдні Кримського півострова [13].

Мінімальні для всієї України значення цієї характеристики спостерігаються в грудні (табл. 3.1-3.3), що визначено найменшою тривалістю світлої частини доби (дня) і значною імовірністю похмурого стану неба в цьому місяці. В зоні Полісся тривалість сонячного саява становить 22-30 годин за місяць, в Лісостепу і північній частині Степу вона збільшується до 33-45 годин, а в південній частині Степу – до 45-60 годин. В цьому місяці фактична тривалість від можливої становить усього 12-20 % (рис. 3.4) .

Таблиця 3.1. Тривалість сонячного саява (від сходу до заходу) при ясному небі, год

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
Кропивницький	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
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
Дніпро	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 3.2. Тривалість сонячного сяйва, год. 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
Кропивницький	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
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
Дніпро	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 3.3. Тривалість сонячного сйава, год. 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
Кропивницький	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
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
Дніпро	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

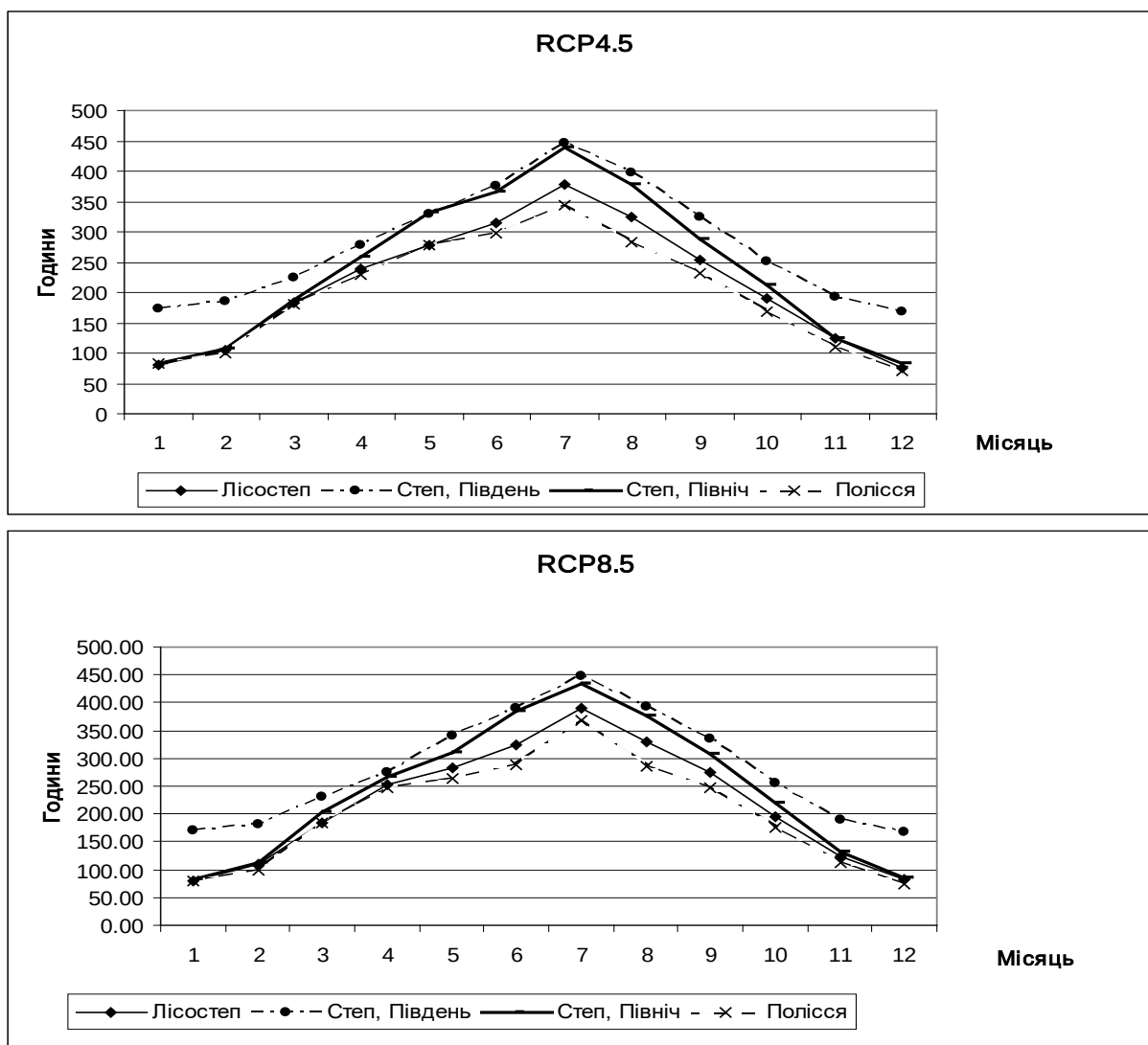


Рис. 3.4. Тривалість сонячного сяйва

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

Максимальних значень місячна тривалість сонячного 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). Це визначено найбільшою тривалістю дня і найбільшим числом ясних і напівясних днів в порівнянні з іншими місяцями.

Безперервна тривалість сонячного сяйва, яка забезпечує найменші витрати енергії для розігрівання геліоустановки, за Б.Н. Ванбергом становить понад 6 год за добу. За цим показником майже на всій території

це значення перевищене за радіаційно-теплий період (квітень - вересень) і становить від 6,5 год у квітні та вересні на північному заході й північному сході, збільшуючись у південному напрямі: від 6,5 год у квітні до 7–8 год у вересні.

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

3.4.3. Загальна характеристика радіаційного режиму на території України

Як відомо, актинометрична мережа не дуже густа і за даними актинометричних станцій неможливо дати детальний просторовий розподіл радіаційних характеристик у межах окремих областей. Тому для аналізу просторового розподілу складових радіаційного балансу використовувались дані NASA Surface meteorology and Solar Energy (The Atmospheric Science Data Center at NASA Langley Research Center) за період 1986 – 2005 pp. [32].

Наявність у нашому розпорядженні кліматичних даних за 1986-2005 pp. і сценарних даних за відрізок часу в сто років (2011-2050 pp.) дозволила сформувати ряди щорічних значень середньої місячної сумарної радіації за різні у хронологічному відношенні відрізки часу, а саме, за періоди: 1986-2005, 2001-2030, 2031-2040, 2041-2050, 2011-2050 pp. 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 pp.) – це 45,1 Вт/м², у період підвищених значень сумарної радіації (1986-2005 pp.) вони знизились до 41,3 Вт/м², а в період з 2011 по 2050 pp., коли очікується зменшення сумарної радіації, знову можуть підвищитися до 49,1 Вт/м². Тобто складається враження, що в період загального зменшення сумарної радіації розбіжності між її значеннями протягом року (річна амплітуда) можуть посилюватися.

Таким чином, згідно зі сценарними даними зміни у режимі сонячної радіації на території України до 2050 р. можуть відбуватись у напрямку

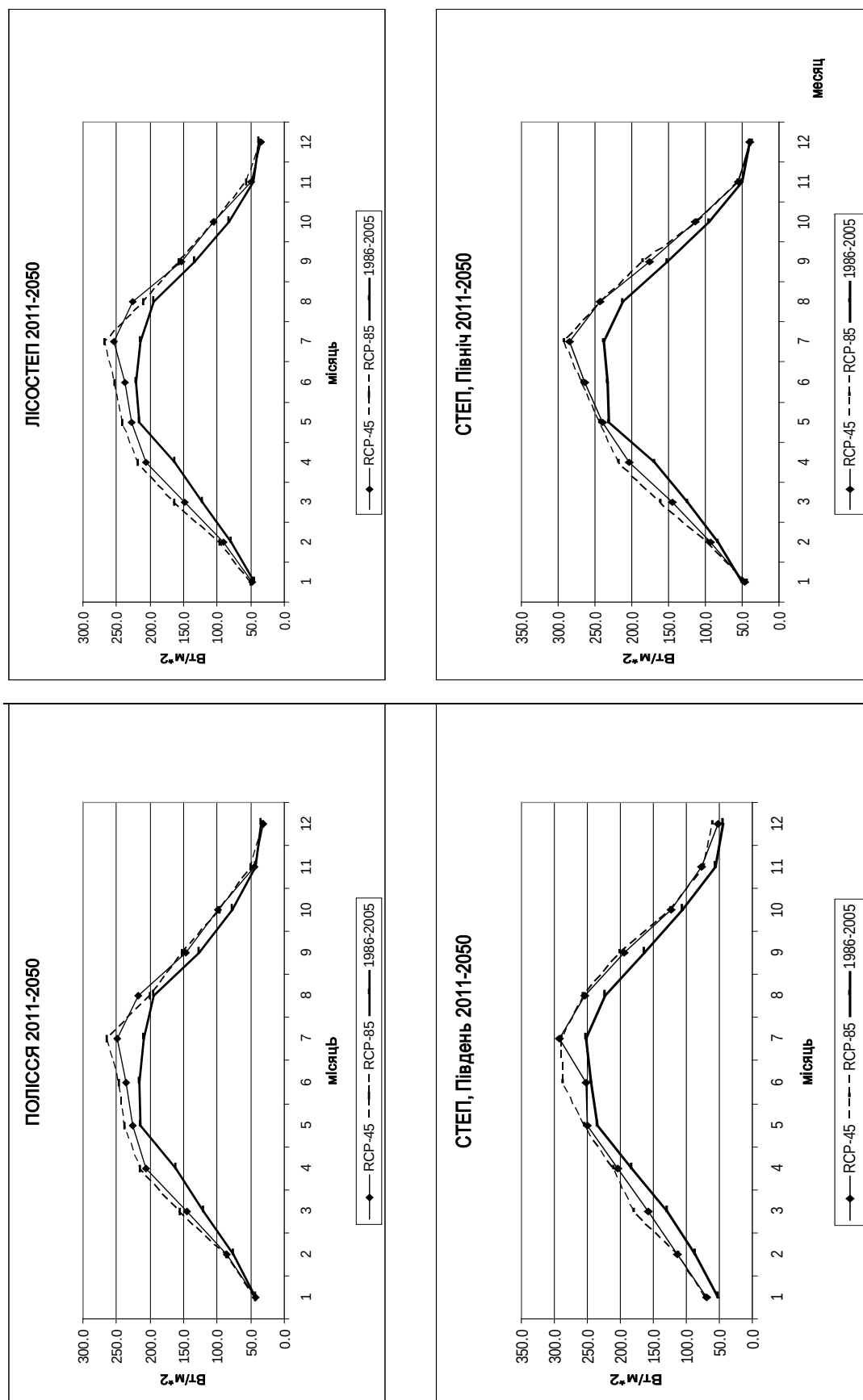


Рис. 3.5. Середня добова за місяць короткохвильова радіація, Вт/м²

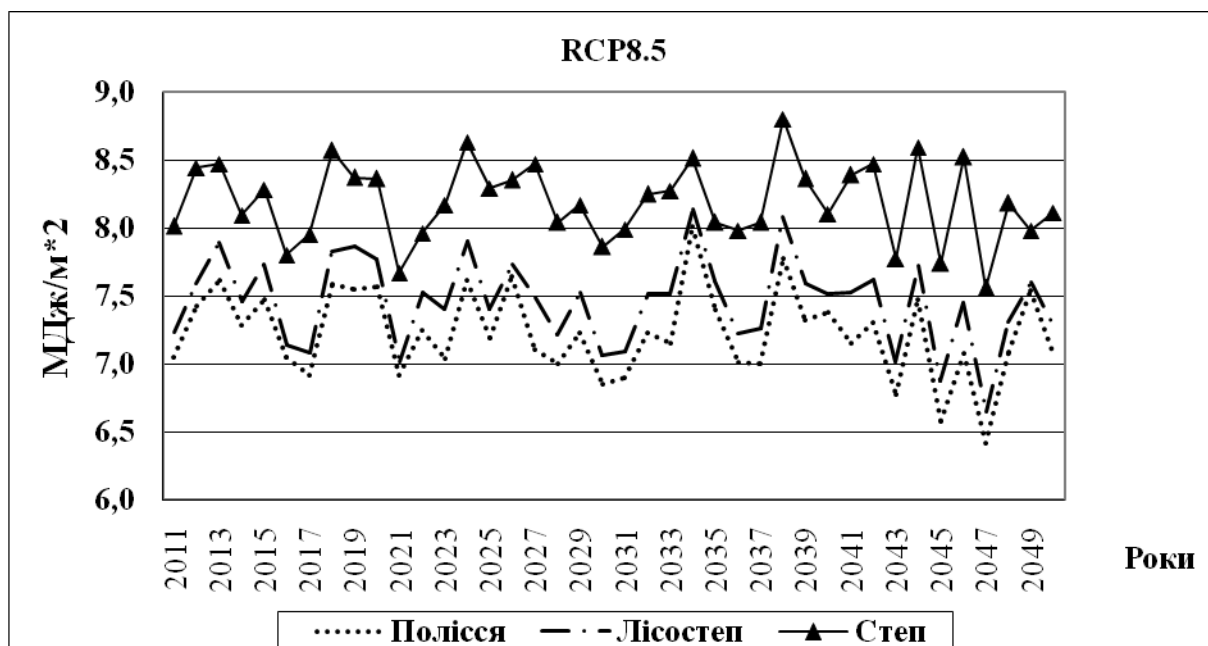
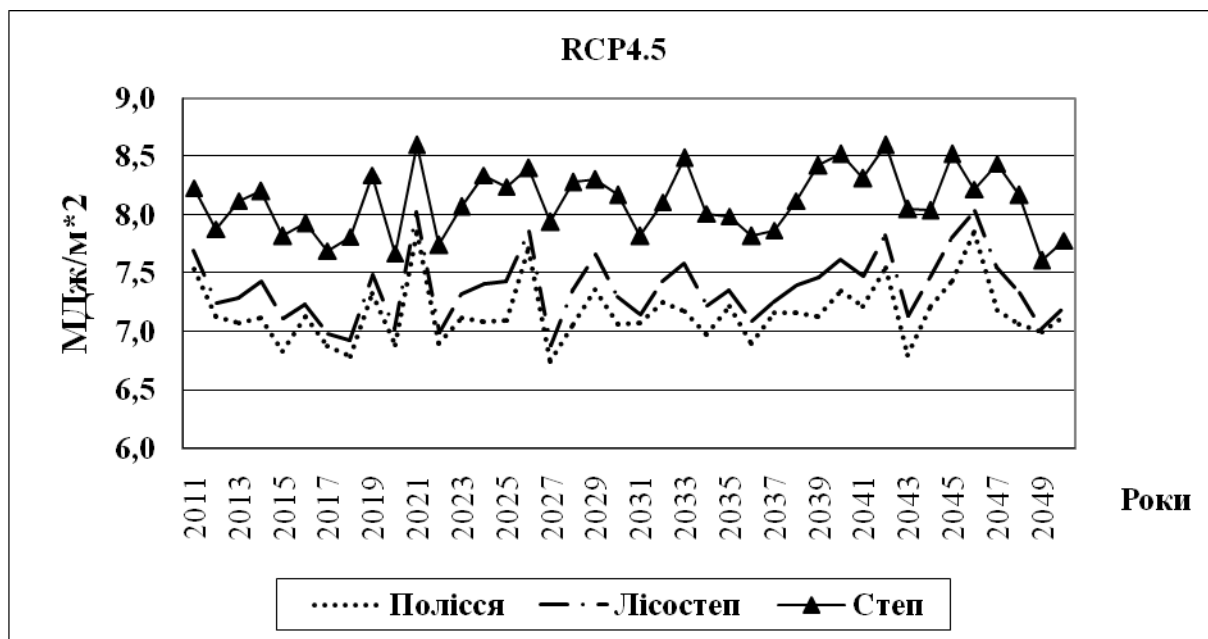


Рис. 3.6. Часовий розподіл середньої добової короткохвильової радіації

зменшення надходження сонячної радіації до підстильної поверхні. Але протягом першої половини XXI сторіччя у характері цих змін можливі деякі особливості.

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

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

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

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

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, і на поверхню, нахилену на кут, що дорівнює широті місцевості, а також враховувати оцінку ефективності роботи різних сонячних енергетичних установок (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 – наближаються до максимальних значень щодо сонячних ресурсів [24, 25]. Підтвердженням перспективності використання

сонячних електричних станцій, які можуть бути конкурентоспроможними відносно ТЕС і АЕС, є розподіл тривалості сонячного сяйва вище 2000 год за рік у Степу і на Закарпатті.

Геліоенергетика також має перспективу розвитку в 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 сяйва вищими за 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 ніж 95 % падаючого випромінювання проходить всередину. Далі зростання відбиття стає помітним, і до 60° частка відбитого випромінювання збільшується удвічі – майже до 10 %. При куті падіння 70° відбивається 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 чи перекривається нею переріз потоку випромінювання. Вона дорівнює реальній площі панелі, помноженій 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 до опотоку, її ефективна площа дорівнює її реальній площі, якщо потік відхилився від перпендикуляра на 60° — половині реальної площі, а якщо потік паралельний панелі і промені ковзають уздовж її поверхні, ефективна площа панелі дорівнює нулю. Таким чином, суттєве відбиття потоку від перпендикуляра до панелі не тільки збільшує

відображення, але і знижує її ефективну площу, що зумовлює дуже помітне падіння виробітку.

Очевидно, що для наших цілей найбільш ефективна постійна орієнтація панелі, яка перпендикулярна до потоку сонячних променів. Але це потребує 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 дорогою 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 способів використання), на підставі таких вихідних даних:

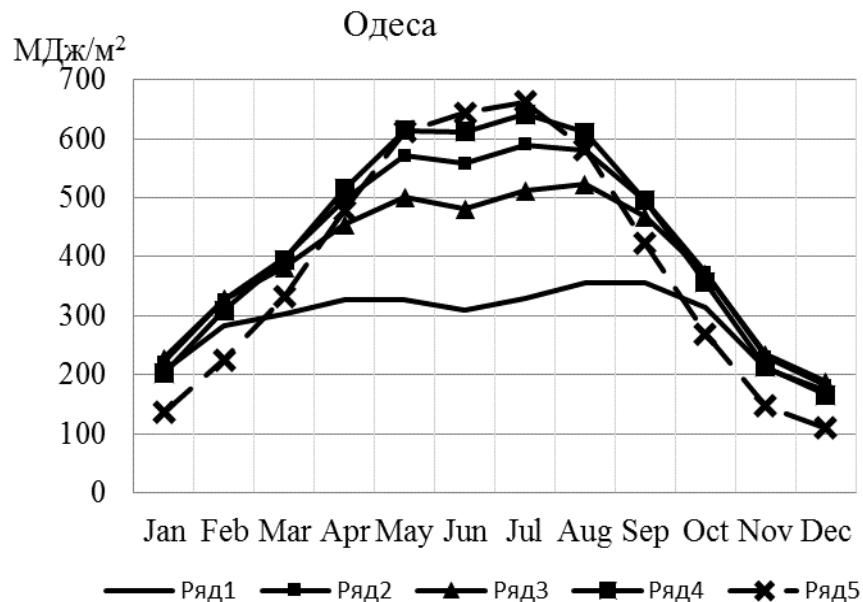
- кількість сонячних годин і інтенсивність сонячного випромінювання змінюється в залежності від забруднення атмосфери (місто, сільська місцевість, гори);
- річні коливання зовнішніх температур, вітру або інших ускладнюючих метеорологічних явищ, насамперед, обмерзання, оскільки воно зумовлює теплові втрати колектора;
- положення: ідеальне положення – на південь; південно-західне положення є кращим, оскільки максимальна продуктивність системи настає, як правило, близько 14 години, коли у зв'язку з максимальною денною температурою повітря втрати мінімальні; автоматичний поворот колектора за рухом сонця не економічний;
- нахил сонячних колекторів для цілорічної експлуатації може становити від 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 прямою складовою сонячного випромінювання 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 аерозолю в атмосферу – на сотні кілометрів від берега, який різко збільшує розсіювання і поглинання частинками аерозолю сонячних променів (аерозольне ослаблення). При цьому, оскільки береговий (нічний) бриз завжди слабкіший від морського, то він не повертає в море аерозоль верхніх шарів атмосфери, що були вдень занесені вітром в глиб узбережжя.

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



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

Рис. 3.7. Сприйняття сонячної енергії панелями різної орієнтації, аркуш 1

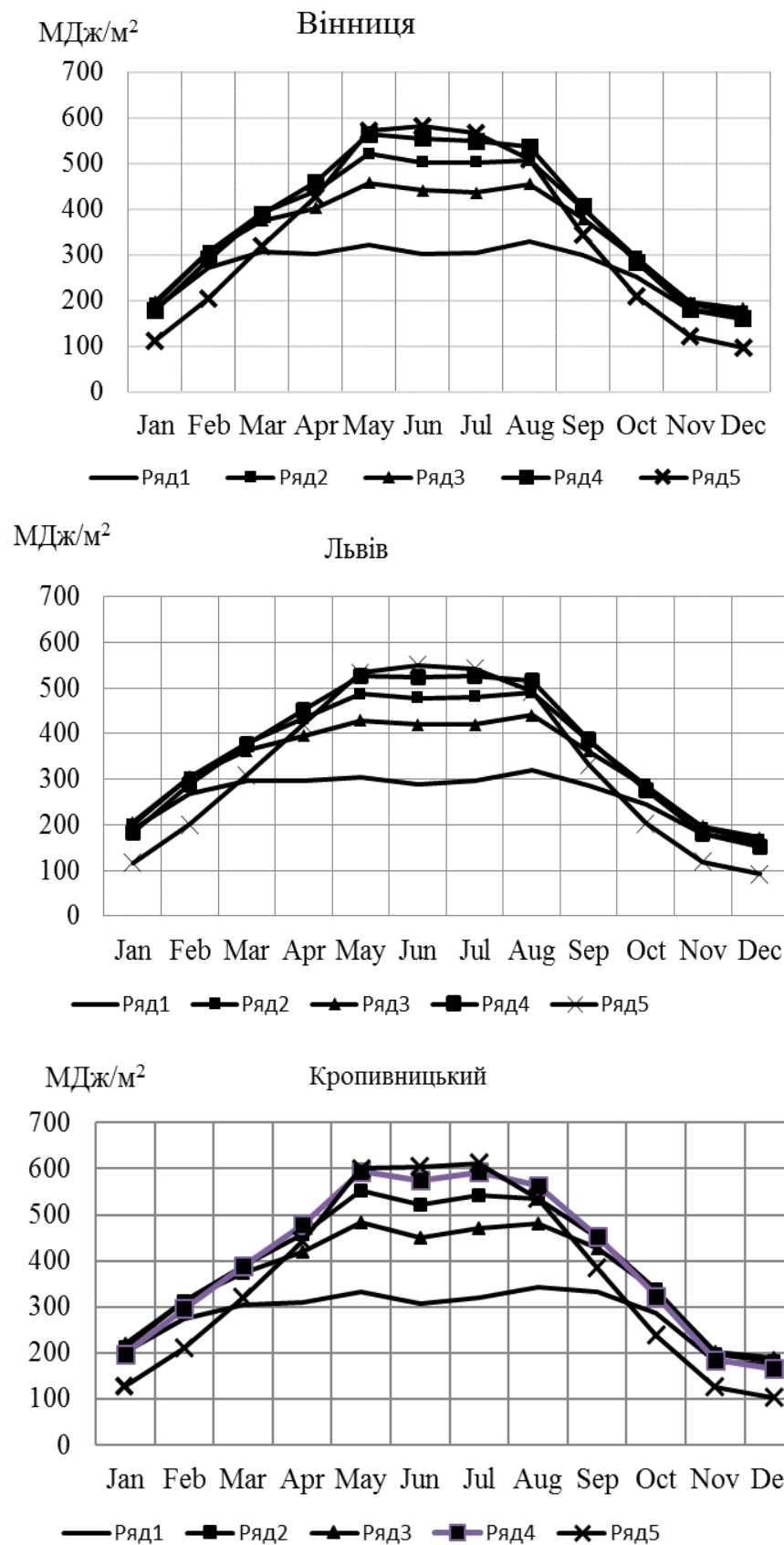


Рис. 3.7, аркуш 2

Звичайно, панель, що повертається слідом за Сонцем, поза конкуренцією. Однак навіть у довгі літні дні її ефективність перевищує ефективність нерухомих горизонтальних (ряд 5). А ось в найбільш енергодефіцитний період з жовтня по лютий перевага поворотної панелі над нерухомими мінімальна і практично не відчутна. Правда, в цей час перевагу похилої 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 перпендикулярною до них вертикальною. Тому в лютому, листопаді і грудні вертикальна панель за своєю ефективністю перевершує навіть похилу і майже не відрізняється від поворотної. І лише в період довгих днів з квітня по серпень горизонтальна панель за отриманою енергією 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 ніж 50% від загальної тривалості дня. Саме цим пояснюється факт стабілізації продуктивності вертикальних панелей протягом 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 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. 3.4 наведені кути нахилу панелі, найбільш рентабельні для регіонів України влітку, зимою і оптимальні протягом всього року.

На наступному етапі були розраховані значення можливого збереження, резервування та перерозподілу енергопостачання, коли сонячна електростанція може використовуватись як єдине джерело електричного струму.

В якості вхідної інформації були взяті такі 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 з таблицею 3.4.

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».

Розрахунки виконувались для станцій з урахуванням орієнтації сонячних батарей за напрямками горизонту: схід-південь-захід через 22,5 градуси. Виявилось, що найкраще встановлювати модулі сонячних батарей

незалежно від кута нахилу в межах 157,5 – 202,5 градусів горизонту, тобто – на південь.

В таблиці 3.5 наведені дані про кількість електричної енергії, що виробляється за модельних умов, її перерозподіл.

Таблиця 3.4. 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
Дніпро	42	27	57
Донецьк	42	27	57
Кропивницький	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
Херсон	43	28	58

Таблиця 3.5. Виробка електричної енергії сонячними панелями, кВт·год

Параметр	Місяць року												Рік	Не компенсована електроенергія станцією, кВт·год	Компенсова на електроенер гія 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															
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
Дніпропетровс.	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

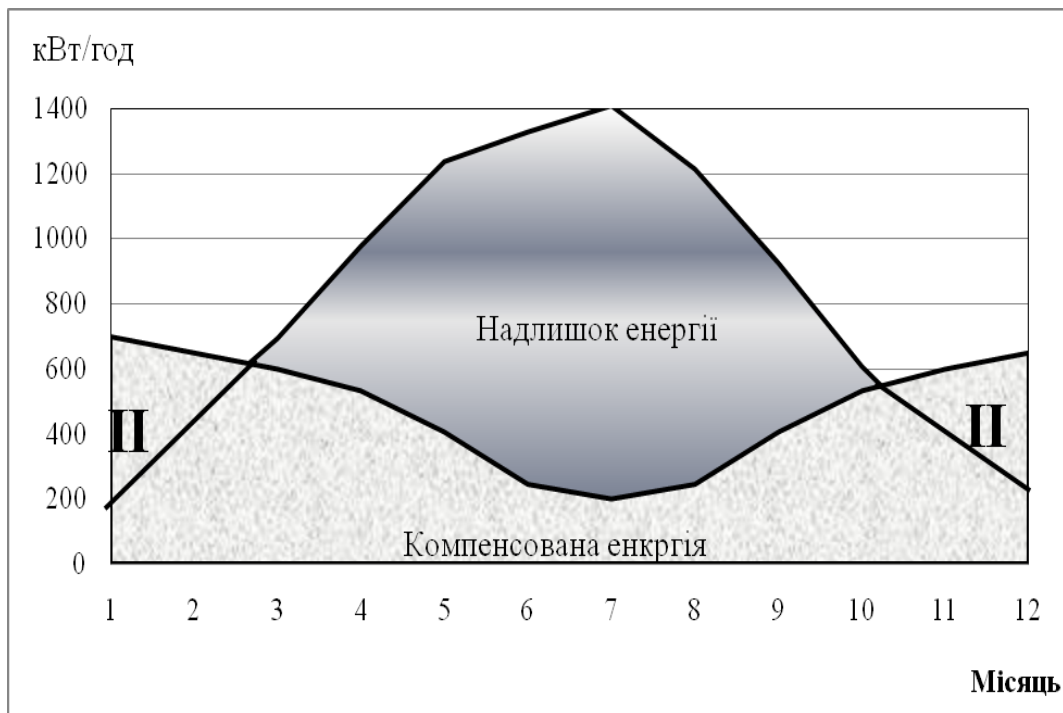


Рис. 3.8. Схема перерозподілу електричної енергії, що виробляється сонячною електростанцією

3.5. ОЦІНКА ВРАЗЛИВОСТІ ГЕЛІОЕНЕРГЕТИЧНИХ РЕСУРСІВ ВІД ЕКСТРЕМАЛЬНИХ УМОВ КЛІМАТУ

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

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

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 перекриває виробництво енергії. Якщо, незважаючи на хмарність, світла все ж достатньо, щоб предмети на землі відкидали тінь, батареї будуть працювати приблизно на половину своєї потужності. Більш щільна хмарність ще більше зменшить ефективність батареї. І нарешті, в дуже похмурий день сонячні батареї будуть виробляти мінімум корисної енергії.

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

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

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

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

Для визначення потенційних геліоенергетичних ресурсів тої чи іншої території, обґрунтування техніко-конструкторських показників різних геліосистем, оцінки економічної ефективності їх експлуатації у різні сезони року і різний час доби в певному місці в розділі 3.4 проаналізовано набір показників: величини можливих сум надходження прямої, розсіяної, сумарної сонячної радіації; число годин сонячного сьйва (тривалість сонячного сьйва); середні показники хмарності; число ясних і похмурих днів при реалізації сучасних сценаріїв антропогенного впливу на кліматичну систему Землі: сценарій помірного впливу RCP4.5 і сценарій екстремального впливу RCP8.5 [7].

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

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

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

Але існує імовірність економічних збитків в роботі геліоенергетики.

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

В основі непрямого методу розрахунку економічного ризику лежать такі основні постулати [14]:

- розвиток індустрії і сільського господарства тісно пов'язаний з густотою населення;
- економічним еквівалентом вразливості або ціною ризику є частка валового промислового продукту (ВПП) і основного фонду, що припадає на одного жителя держави.

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

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

Згідно з наведеним вище визначенням ризику його складовими служать частота небажаної події, зокрема даного небезпечного явища, і ймовірність уразливості (збитку) суб'єкта. Реципієнтом можуть служити як певна адміністративна одиниця (місто, область, країна тощо), так і конкретний господарський об'єкт (електростанція, сільськогосподарські угіддя, житлова забудова тощо).

Ризик визначається за формулою: $R_{ek} = A \cdot p \cdot (s/S) \cdot t \cdot m \cdot k$ [14].

В таблицях 3.6 – 3.14 наведені розрахунки економічного ризику по деяких областях: Одеська, Донецька, Харківська, Вінницька, Львівська, Кіровоградська, Дніпропетровська, Житомирська та Миколаївська. Відомості про територіальний та адміністративний устрій, населення та валовий промисловий продукт взято з <https://ru.wikipedia.org>.

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

Висновки

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

2. Просторово-часовий розподіл середнього бала 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 зумовлено переважанням ролі циркуляційного фактора в формуванні режиму хмарності. Коливання їх від найбільших до найменших значень становить 10-15 днів, змінюючись від 55 на північному сході до 70 на південному заході. І тільки на півдні Криму ця цифра сягає 80 днів. В теплий період року просторовий розподіл числа ясних і напівясних днів аналогічний річному. Тут чітко проявляється широтність ізоліній однакового числа днів від 155 на півночі до 185 на півдні. Своєрідним режимом ясних і напівясних днів відрізняються тільки західні райони, де в умовах складних орографічних і циркуляційних умов спостерігається зменшення їх числа до 138–168 днів.

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

3. Загальна характеристика тривалості сонячного сяйва по території України:

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

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

Таблиця 3.6. Значення економічного ризику (тис.грн). Одеська область

Район	територія (площа), км ²	населення, осіб	Березень	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень
			p = 0,4 t = 12 (год)	p = 0,3 t = 13,5 (год)	p = 0,29 t = 15 (год)	p = 0,17 t = 15,7 (год)	p = 0,06 t = 15,4 (год)	p = 0,08 t = 13,7 (год)	p = 0,15 t = 13 (год)	p = 0,27 t = 14,4 (год)
Ананівський	1050	32537	455	384	412	253	88	104	185	369
Арцизький	1379	51742	950	802	861	528	183	217	386	770
Балтський	1317	48604	852	719	773	474	164	195	346	691
Березівський	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
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
Овідіопольський	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 3.7. Значення економічного ризику (тис.грн). Донецька область

Район	територія (площа), км ²	населення, осіб	Березень	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень
			p =0,41 t = 11,9 (год)	p =0,31 t = 13,6 (год)	p =0,27 t = 15 (год)	p =0,14 t = 15,8 (год)	p =0,05 t = 15,5 (год)	p =0,07 t = 13,8 (год)	p =0,15 t = 13 (год)	p =0,28 t = 10,9 (год)
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 3.8. Значення економічного ризику (тис.грн). Харківська область

Район	територія (площа), км ²	населення, осіб	Березень	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень
			p = 0,50 t = 11,9 (год)	p = 0,38 t = 13,7 (год)	p = 0,34 t = 15,3 (год)	p = 0,24 t = 16,1 (год)	p = 0,12 t = 15,8 (год)	p = 0,15 t = 13,9 (год)	p = 0,25 t = 13,1 (год)	p = 0,38 t = 10,8 (год)
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
ОБЛАСТЬ	31 415	2 718,60	23356,4	20435,8	20687,1	15167,9	7442,6	8184,5	12855,8	16110,0

Таблиця 3.9. Значення економічного ризику (тис.грн). Кіровоградська область

Район	територія (площа), км ²	населення, осіб	Березень	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень
			p = 0,47 t = 11,9 (год)	p = 0,36 t = 13,7 (год)	p = 0,35 t = 15,2 (год)	p = 0,25 t = 16 (год)	p = 0,11 t = 15,7 (год)	p = 0,13 t = 13,9 (год)	p = 0,22 t = 13,1(год)	p = 0,34 t = 10,8 (год)
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
Онуфріївський	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 3.10. Значення економічного ризику (тис.грн). Вінницька область

Район	територія (площа), км ²	населення, осіб	Березень	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень
			p = 0,50 t = 11,9 (год)	p = 0,40 t = 13,7 (год)	p = 0,40 t = 15,3 (год)	p = 0,33 t = 16,1 (год)	p = 0,21 t = 15,7 (год)	p = 0,24 t = 13,9 (год)	p = 0,33 t = 13,1 (год)	p = 0,42 t = 10,8 (год)
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
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
Погребинський	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
Хмельницький	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 3.11. Значення економічного ризику (тис.грн). Львівська область

Район	територія (площа), км ²	населення, осіб	Березень p = 0,50 t = 11,9 (год)	Квітень p = 0,42 t = 13,7 (год)	Травень p = 0,42 t = 15,3 (год)	Червень p = 0,36 t = 16,1 (год)	Липень p = 0,24 t = 15,8 (год)	Серпень p = 0,30 t = 14 (год)	Вересень p = 0,35 t = 13,1 (год)	Жовтень p = 0,45 t = 10,8 (год)
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 3.12. Значення економічного ризику (тис.грн). Дніпропетровська область

Район	територія (площа), км ²	населення, осіб	Березень	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень
			p =0,48 t = 11,9 (год)	p =0,36 t = 13,7 (год)	p =0,31 t = 15,2 (год)	p =0,22 t = 16 (год)	p =0,1 t = 15,7 (год)	p =0,12 t = 13,9 (год)	p =0,23 t = 13,1 (год)	p =0,36 t = 10,8 (год)
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
Дніпропетровський	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 3.13. Значення економічного ризику (тис.грн). Житомирська область

Район	територія (площа), км ²	населення, осіб	Березень	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень
			p = 0,50 t = 11,9 (год)	p = 0,41 t = 13,8 (год)	p = 0,40 t = 15,5 (год)	p = 0,37 t = 16,4 (год)	p = 0,25 t = 16 (год)	p = 0,30 t = 14,1 (год)	p = 0,37 t = 13,1 (год)	p = 0,42 t = 10,7 (год)
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
Народичський	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

Таблиця 3.14. Значення економічного ризику (тис.грн). Миколаївська область

Район	територія (площа), км ²	населення, осіб	Березень	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень
			p =0,42 t = 11,9 (год)	p =0,34 t = 13,6 (год)	p =0,32 t = 15,1 (год)	p =0,22 t = 15,9 (год)	p =0,1 t = 15,5 (год)	p =0,1 t = 13,8 (год)	p =0,18 t = 13 (год)	p =0,30 t = 10,9 (год)
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
Новоодецький	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

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

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

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

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

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

- кількість сонячних годин і інтенсивність сонячного випромінювання змінюється в залежності від забруднення атмосфери (місто, сільська місцевість, гори);

- річні коливання зовнішніх температур, вітру або інших ускладнюючих метеорологічних явищ, насамперед, обмерзання, оскільки воно зумовлює теплові втрати колектора;

- положення – ідеальне положення на південь; південно-західне положення є кращим, оскільки максимальна продуктивність системи настає, як правило, близько 14 години, коли у зв'язку з максимальною денною температурою повітря втрати мінімальні; автоматичний поворот колектора за рухом сонця не економічний;

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

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

найбільш інтенсивного сонячного випромінювання вони, як правило, не використовуються.

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

Підсумовуючи вищенаведені дані, можемо стверджувати, що кількість сонячної енергії достатньо надходить на територію України для забезпечення енергетично-залежних потреб населення. Тому в перспективі галузь сонячної енергетики розвиватиметься.

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

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

4. ВПЛИВ ЗМІН КЛІМАТУ НА ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНІ РЕСУРСИ УКРАЇНИ

4.1. ВІТРОВИЙ РЕЖИМ УКРАЇНИ

4.1.1. Короткий огляд режиму вітру в Україні за минулий кліматичний період

Дослідженню режиму вітру в Україні присвячена значна кількість теоретичних і експериментальних робіт [4, 9, 10]. Узагальнення цих досліджень було виконано у фундаментальній монографії «Клімат України», підготовленій співробітниками Українського науково-дослідного гідрометеорологічного інституту, за редакцією В.М. Ліпницького, В.А. Дячука і В.М. Бабіченко, опублікованої в 2003 році [5].

В зв'язку зі зміною сучасного клімату, проведені дослідження можливих змін вітрового режиму просторового розподілу швидкостей вітру на території України за період з 1961 до 1990 рр., який є кліматичною нормою.

Розглянемо поля вітру, побудовані за даними кліматичної норми (рис.4.1-4.2).

Характерними особливостями розподілу швидкості вітру, незалежно від сезону, є:

- наявність двох «зон» найбільших швидкостей вітру $\bar{V} > 4$ м/с в Харківській і Донецькій областях і 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 та заході України, які розділені улоговиною шириною 200-300 км з середньомісячними швидкостями не більшими за 2,5-3,0 м/с. Улоговина у вигляді меридіонально спрямованої смуги простягається від південного (Одеська область) до північного регіону України (Чернігівська область).

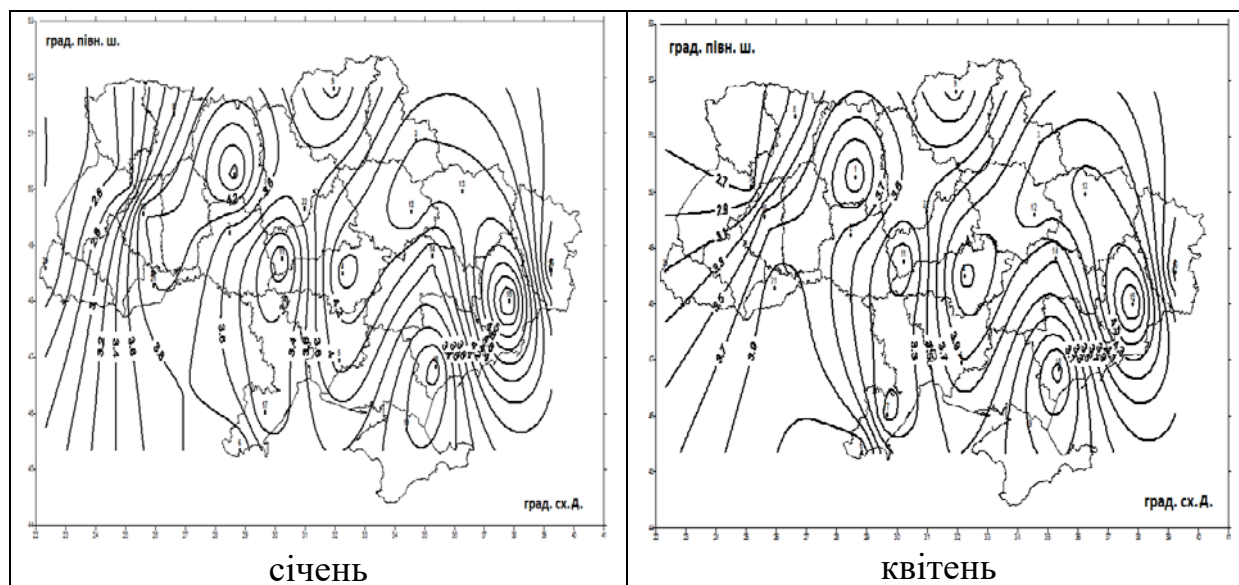


Рис. 4.1. Просторовий розподіл середньомісячних швидкостей вітру для січня та квітня, побудований за даними 27 метеостанцій України (кліматична норма 1961-1990 рр.)

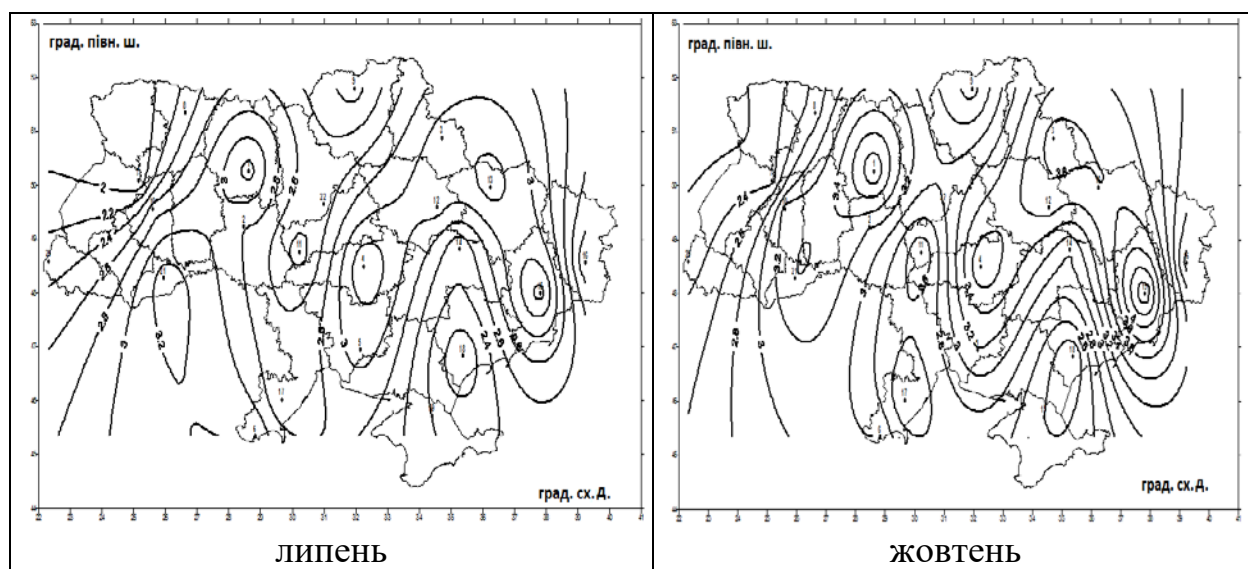


Рис. 4.2. Просторовий розподіл середньомісячних швидкостей вітру для липня та жовтня, побудований за даними 27 метеостанцій України (кліматична норма 1961-1990 рр.)

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 припадає 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 зумовлюється 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 зменшилась 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, які у подальшому будуть використовуватись 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

Назва станції	Місяці												Рік
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Західна частина України (W.U.)													
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
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
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
Тернопіль	4	4,1	4	3,6	3	2,8	2,7	2,5	2,9	3,3	4,1	4	3,4
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
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
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
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.)													
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
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
Коростень	4	3,7	3,8	3,6	3	2,9	2,9	2,9	3,2	3,5	4,1	4	3,5
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
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

Кінець таблиці 4.1

Назва станції	Місяці												Рік
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Центральна частина України (C.U.)													
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
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
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
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
Дніпро Кайдаки	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
Східна частина України (E.U.)													
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
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
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.)													
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
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
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
Нова Каховка	4,2	4,4	4	3,6	3,2	3	3	3,1	3	3,3	3,8	3,9	3,5
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
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 найчастіше спостерігається в холодний період року або в перехідні сезони. Вітер із швидкістю більшою за 10 м/с буває рідко, в зимові місяці на більшій частині території частота його становить 3-8 %, в гірських районах вона зростає до 20-30 %, влітку майже на всій території зменшується до 1-2 %, в горах – до 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 зі швидкістю вітру більшою ніж 10 м/с припадає 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 більшою за 15 м/с на значній території в середньому за рік відмічається від 5 до 30 днів.

4.1.2. Основи моделювання режиму вітру в зв'язку зі змінами клімату

Зміни клімату – одна з основних глобальних проблем. В цій роботі використовуються результати глобальних кліматичних моделей [5], в яких виконані 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 проекту “Historical simulations” 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 зі сценаріями RCP2.6, 4.5, 6.0 і 8.5.

Кліматична модель в цілому реалістично відтворює зміни клімату, зокрема температури T_g в XX і XXI ст. Швидкість зміни глобальної приземної температури в 1906–2005 рр. за моделлю визначена як 0,85 °C/століття – в межах невизначеності відповідних емпіричних оцінок 0,56–0,92 °C/століття. В XXI ст. залежно від сценарію антропогенного впливу глобальна приземна температура збільшується на 1,1–2,9 °C. Через термічну інерцію системи при припиненні змін антропогенного навантаження на клімат в XXII–XXIII ст. величина T_g додатково збільшується на 0,2–3,3 °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 RCP2.6 в кінці XXI ст. починається зниження глобальної приземної температури, тому до кінця XXIII ст. температура повітря зменшується на 0,5 °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, 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:

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

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

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

4.2.1. Зміна вітрового режиму

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

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

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

Часові зміни середньорічних швидкостей вітру.

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

У таблиці 4.2 показані результати цього порівняння для п'яти регіонів України (27 метеостанцій). На всіх станціях за сценаріями RCP4.5 і RCP8.5 прогнозується збільшення швидкості вітру, а з огляду на те, що осереднення проведено за 30-річний період можна визнати, що швидкість вітру значно збільшується.

Різниця в середніх швидкостях вітру для двох сценаріїв за прогнозовані періоди абсолютно незначна.

На рисунках 4.3 і 4.4 показано просторовий розподіл різниць швидкостей вітру, отриманих за двома сценаріями.

Просторовий розподіл різниць для двох послідовних періодів відрізняється один від одного. У перший період позитивні різниці практично спостерігаються на всій території України (крім західної області), тоді як у другому періоді відбувається перерозподіл знака різниць. У зв'язку з цим далі будемо аналізувати майбутні зміни вітрового режиму в Україні, використовуючи тільки результати сценарію RCP4.5.

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 і швидкість за кліматичною нормою

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

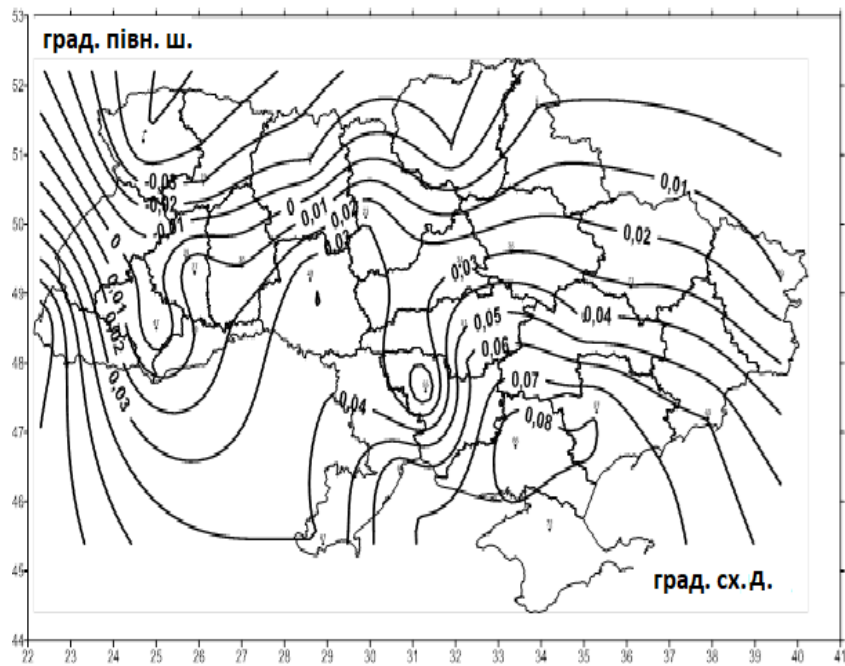


Рис. 4.3. Середньорічна різниця швидкостей між сценаріями RCP4.5 і RCP8.5 для періоду 2011-2030 рр. $\Delta V = (\bar{V}_{RCP45} - \bar{V}_{RCP85})$, м/с

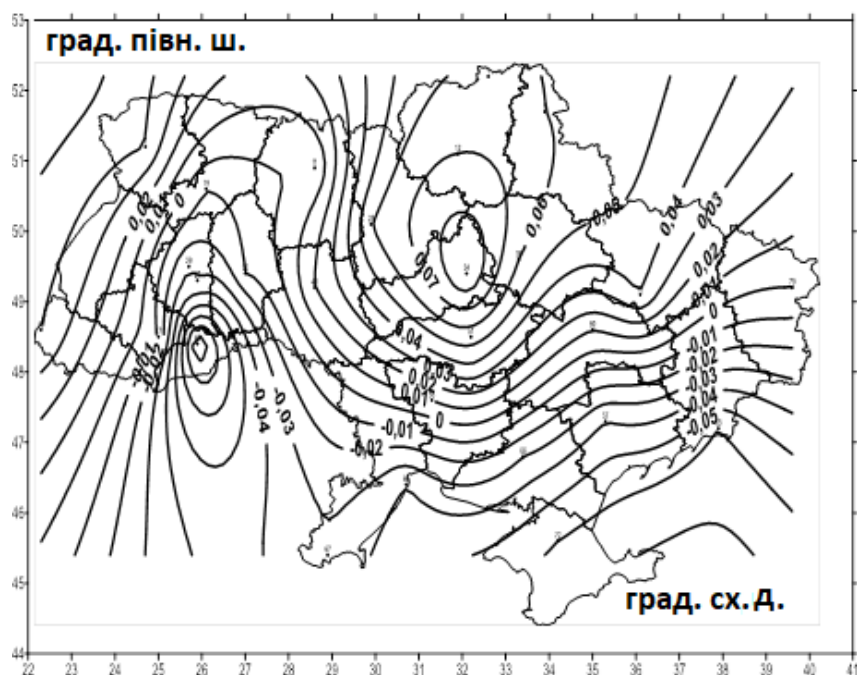


Рис. 4.4. Середньорічна різниця швидкостей між сценаріями RCP4.5 і RCP8.5 для періоду 2031-2050 рр. $\Delta V = (\bar{V}_{RCP45} - \bar{V}_{RCP85})$, м/с

По-перше, порівняємо відмінність швидкостей вітру за даними кліматичної норми, які були виміряні до початку періоду різкого потепління клімату (90-ті роки, кінець 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.

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

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

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

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

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

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

Прогнозовані швидкості приземного вітру для середини XXI століття показані в таблицях 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

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

Південна частина України (S.U.)													
Вознесенськ	4,22	4,35	4,72	4,34	3,92	3,82	3,59	3,71	3,99	3,82	4,11	4,06	4,05
Пришиб	4,48	4,59	4,77	4,30	3,59	3,40	3,26	3,44	3,76	3,86	4,29	4,41	4,01
Одеса аеропорт	4,76	4,96	5,16	4,68	3,90	3,98	3,60	3,69	4,27	4,45	4,79	4,80	4,42
Нова Каховка	4,35	4,45	4,95	4,72	4,12	4,04	3,85	3,94	4,08	3,98	4,31	4,35	4,26
Ізмаїл	3,68	4,06	4,32	3,98	3,40	3,37	3,13	3,11	3,53	3,83	3,88	3,71	3,67
Клепиніне	3,95	4,07	4,33	4,07	3,41	3,33	3,15	3,26	3,32	3,57	3,76	3,86	3,67
Середнє	4,24	4,41	4,71	4,35	3,72	3,66	3,43	3,53	3,82	3,92	4,19	4,20	4,01

Таблиця 4.6. Середньомісячні швидкості вітру за прогнозований період 2031-2050 рр., згідно зі сценарієм RCP4.5 для п'яти регіонів України

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

Південна частина України (S.U.)													
Вознесенськ	4,39	4,46	4,59	4,29	4,00	3,68	3,91	3,75	3,85	3,75	3,96	4,32	4,08
Пришиб	4,55	4,61	4,71	4,12	3,68	3,15	3,46	3,42	3,57	3,86	4,23	4,48	3,99
Одеса аеропорт	5,04	4,98	5,03	4,49	4,00	3,73	3,77	3,73	3,99	4,40	4,61	5,03	4,40
Нова Каховка	4,51	4,62	4,79	4,48	4,11	3,79	4,07	4,01	3,95	4,03	4,09	4,38	4,24
Ізмаїл	3,93	4,13	4,13	3,78	3,42	3,20	3,33	3,30	3,45	3,81	3,82	4,03	3,69
Клепиніне	3,96	4,10	4,07	3,77	3,17	3,15	3,32	3,36	3,30	3,62	3,73	3,93	3,62
Середнє	4,40	4,48	4,55	4,15	3,73	3,45	3,64	3,59	3,68	3,91	4,07	4,36	4,00

Практично на всіх станціях України в теплий період року середньомісячні швидкості вітру будуть більші ніж 3,0 м/с, а в холодний – більші ніж 4,0 м/с. Отримані швидкості приземного вітру можуть бути основою для розрахунку висотного вітру, дані про який вкрай необхідні для розвитку вітроенергетики України. Приклад розрахунку швидкості вітру на різних висотах до 300 м наведено в таблиці 4.7.

Таким чином, якщо вірити вітровим даним, отриманим з урахуванням сценаріїв RCP4.5 і RCP8.5, можна констатувати збільшення швидкості вітру в усіх 5 регіонах України. Ці результати дзеркально відрізняються від зміни вітрового режиму України, отриманої за сценаріями A1 і A2 і опублікованої в роботі [13]. Вкрай цікавими є результати порівняння швидкостей вітру, осереднених за прогнозовані періоди, зі швидкостями вітру з кліматичної норми. Річний хід різниць $\Delta \bar{V} = \bar{V}_M - \bar{V}_{KH}$ середньомісячних швидкостей вітру V_M і швидкостей кліматичної норми V_{KH} представлено на рисунках 4.5 та 4.6.

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 і 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 виникає сумнів щодо достовірності моделювання за сценаріями змін клімату циркуляційних умов.

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

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

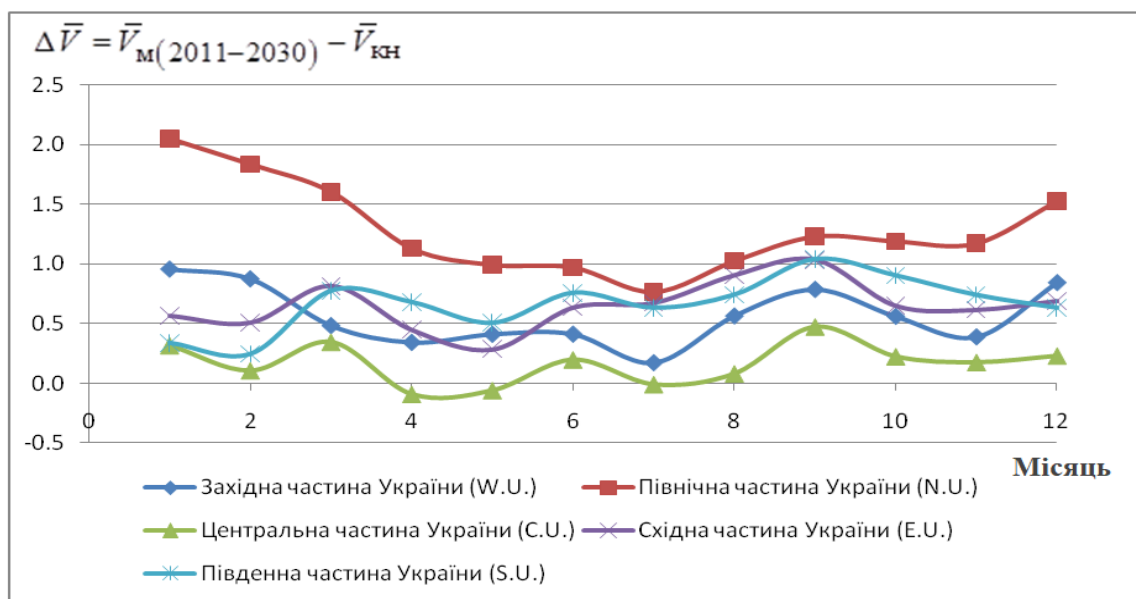


Рис.4.5. Річний хід різниці між середньомісячними модельними значеннями швидкості V_M за період 2011-2030 рр. та швидкостями кліматичної норми V_{KH} , $\Delta \bar{V} = \bar{V}_M(2011-2030) - \bar{V}_{KH}$

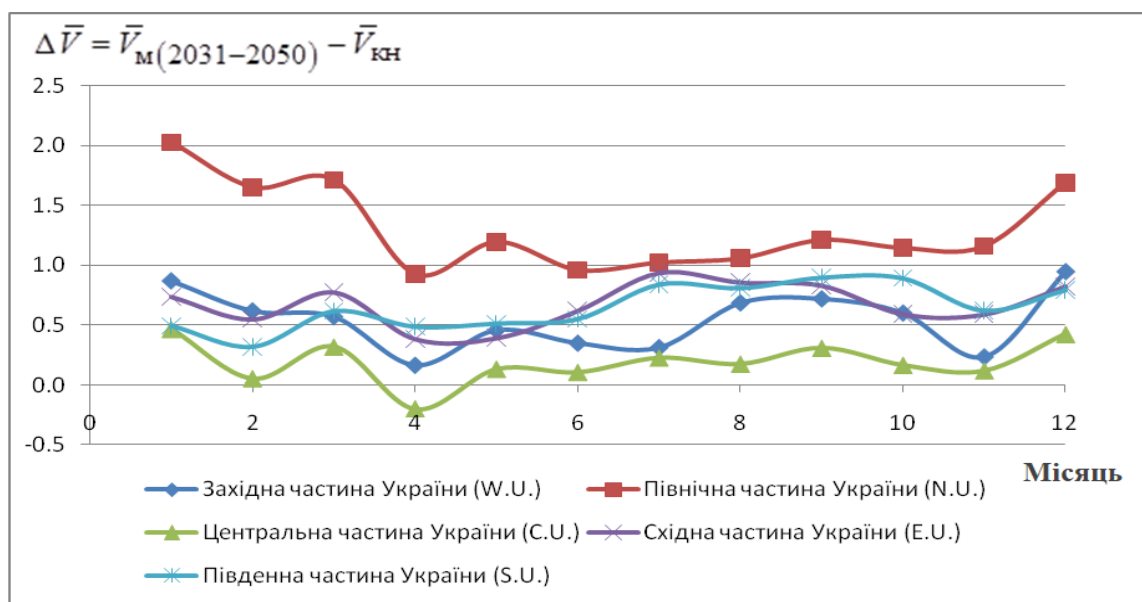


Рис. 4.6. Річний хід різниці між середньомісячними модельними значеннями швидкості V_M за період 2031-2050 рр. та швидкостями кліматичної норми V_{KH} , $\Delta \bar{V} = \bar{V}_M(2031-2050) - \bar{V}_{KH}$

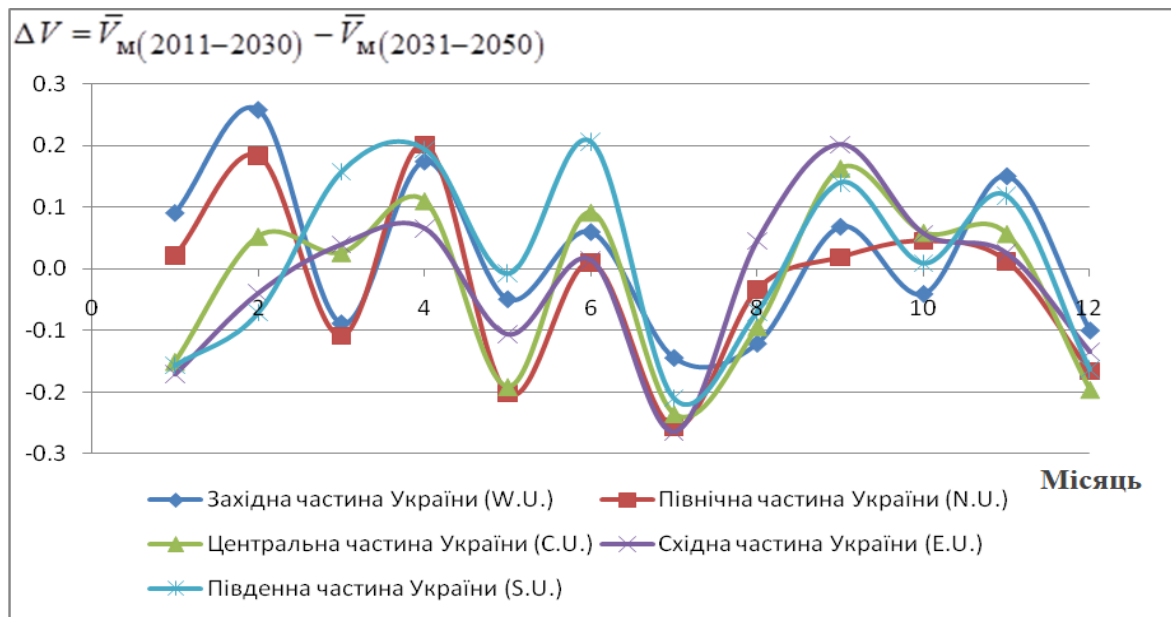


Рис. 4.7. Річний хід різниці між середньомісячними модельними значеннями швидкості V_M за періоди 2011-2030 рр. та 2031-2050 рр., $\Delta V = \bar{V}_M(2011-2030) - \bar{V}_M(2031-2050)$

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

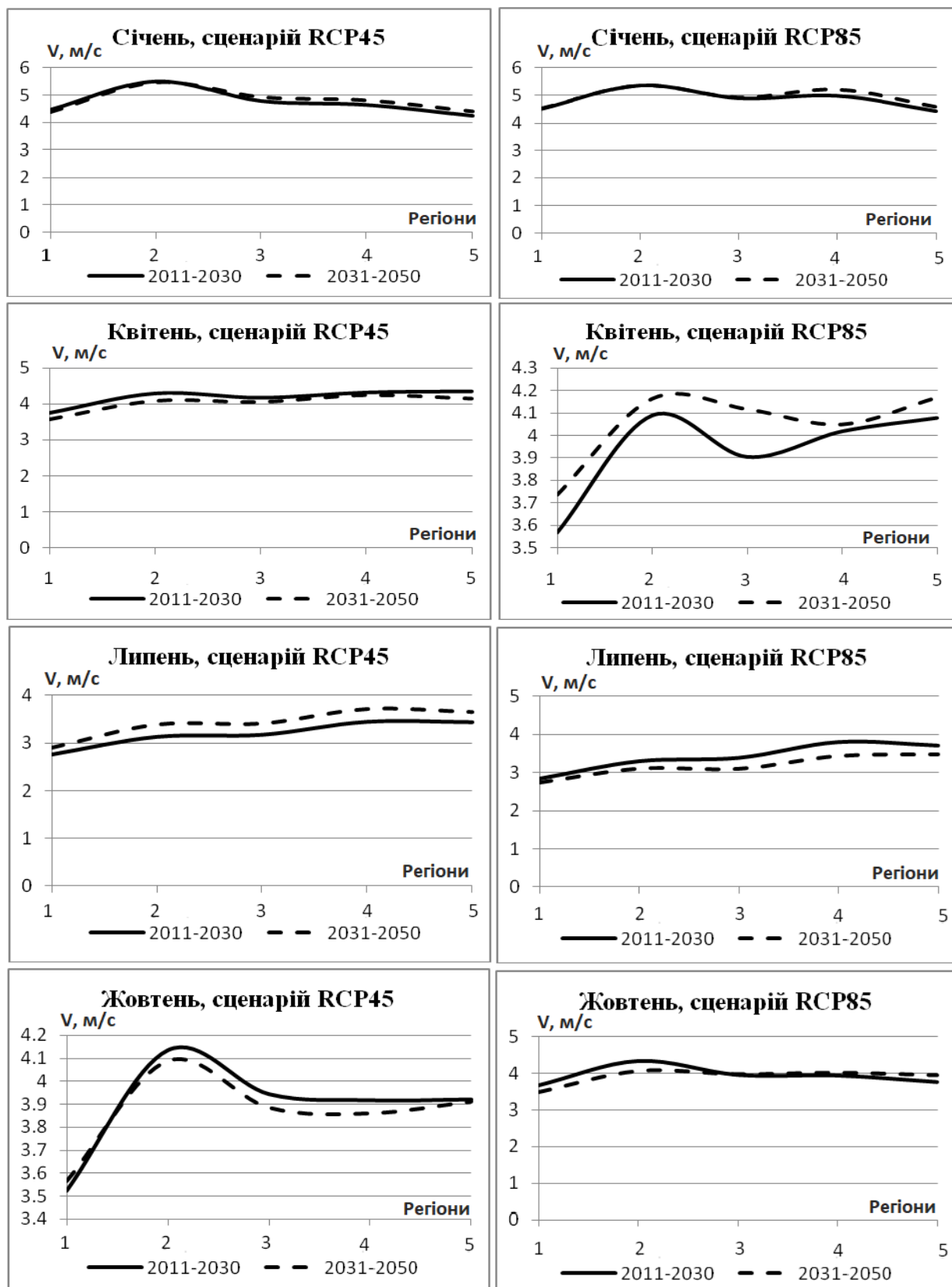
Сценарій RCP4.5 (рис.4.8).

Для всіх сезонів проявляються такі закономірності:

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

Сценарій RCP8.5 (рис.4.8).

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



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

Рис.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

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

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

Просторові зміни середньорічних швидкостей вітру

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

Розподіл середньомісячних швидкостей вітру для двох прогнозованих періодів показано на рисунках 4.9-4.10. На рисунках представлені поля вітру, осереднені за кожен модельований період з 2011 р. по 2030 р. і період з 2031 р. по 2050 р. Ізолінії рівних швидкостей вітру проведені з дискретністю 0,5 м/с, починаючи від ізолінії 2,5 м/с до ізолінії 4,5 м/с.

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

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

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

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

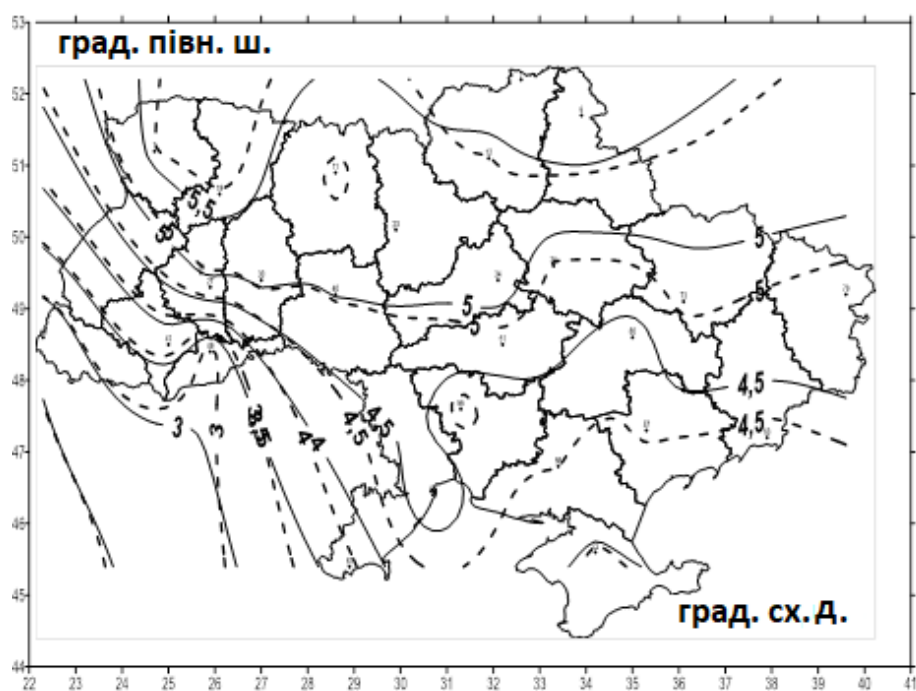
Центральний регіон збереже середні швидкості приблизно в 4 м/с. У південному регіоні відбудеться збільшення швидкості вітру на 0,5-1 м/с на всіх метеостанціях, які входять до списку населених пунктів, наприклад, у Вознесенську (Миколаївська обл.), Пришибі (Запорізька обл.), Одесі а/п, Новій Каховці і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

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

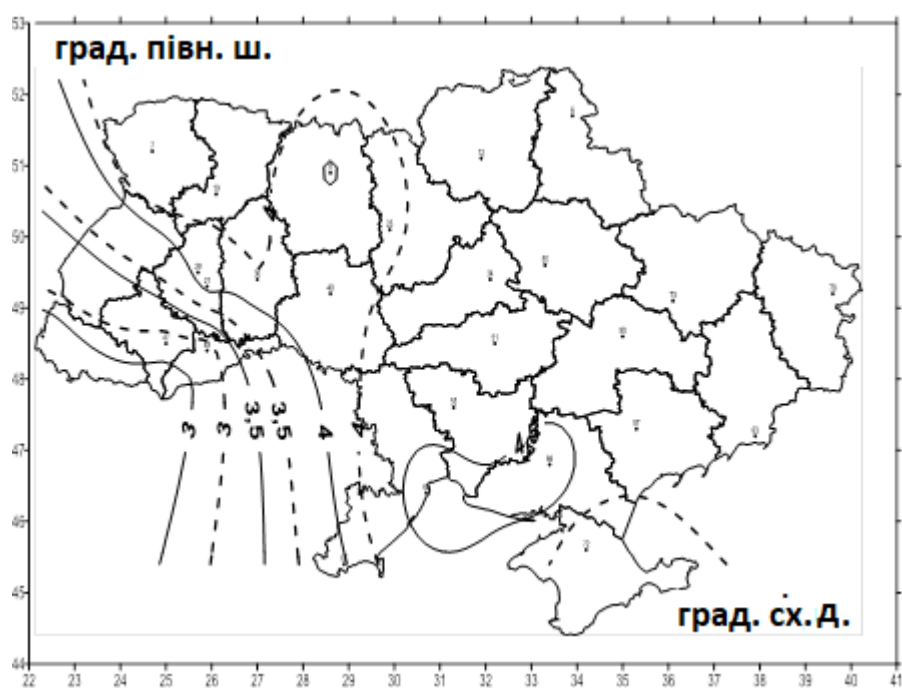
Далі розглянемо зміни поля вітру, отримані за сценарієм RCP4.5 за два послідовних періоди.

Січень. Швидкості вітру та їх розподіл по території України практично не змінюються від періоду до періоду. Відхилення швидкостей вітру між ними незначне. Є тільки відмінність в південному регіоні, де зменшується область сильних вітрів, швидкість яких більша ніж 4м/с,

уздовж прибережної зони го морів. У північних областях України прогноуються досить великі середньомісячні швидкості, які досягають 5,5 м/с. У південному регіоні швидкості будуть в межах 4-4,5 м/с



Січень



Квітень

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

Рис. 4.9. Карти розподілу середньомісячних швидкостей вітру за сценарієм RCP4.5, аркуш 1

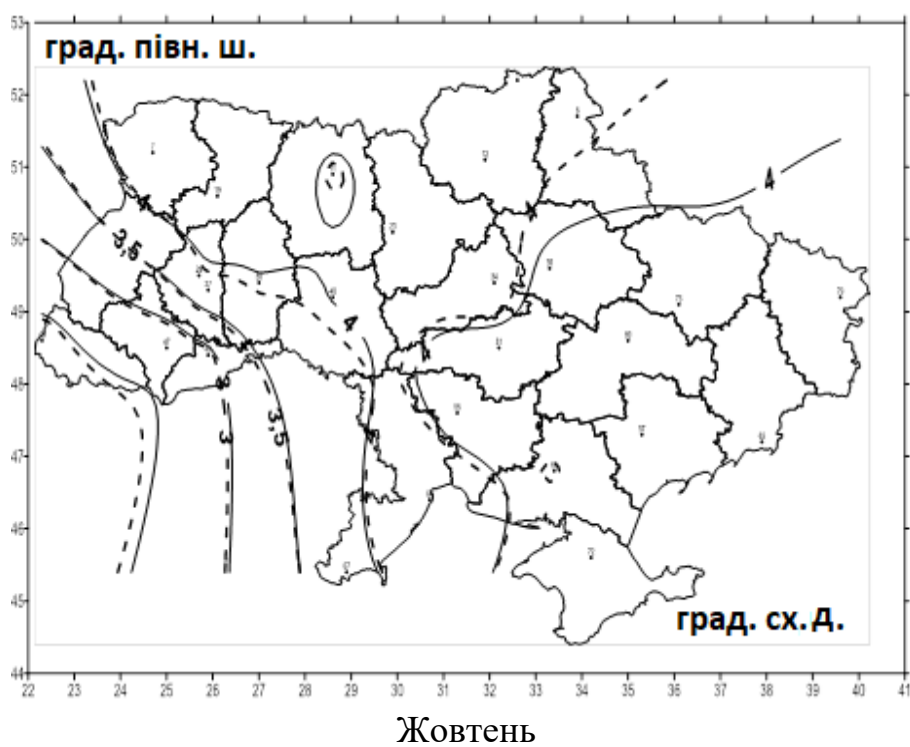
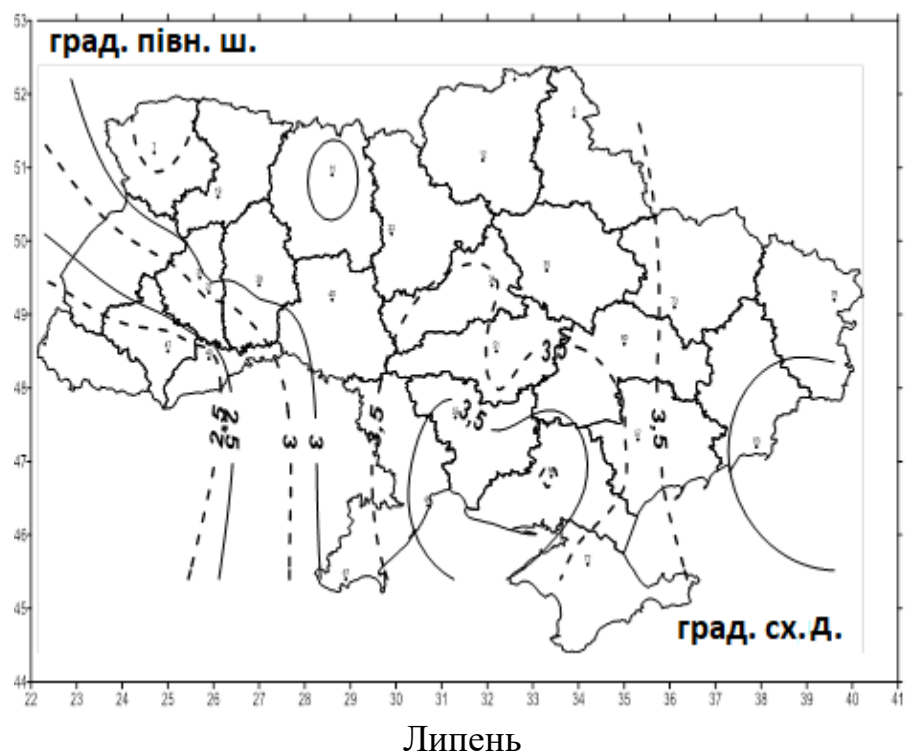
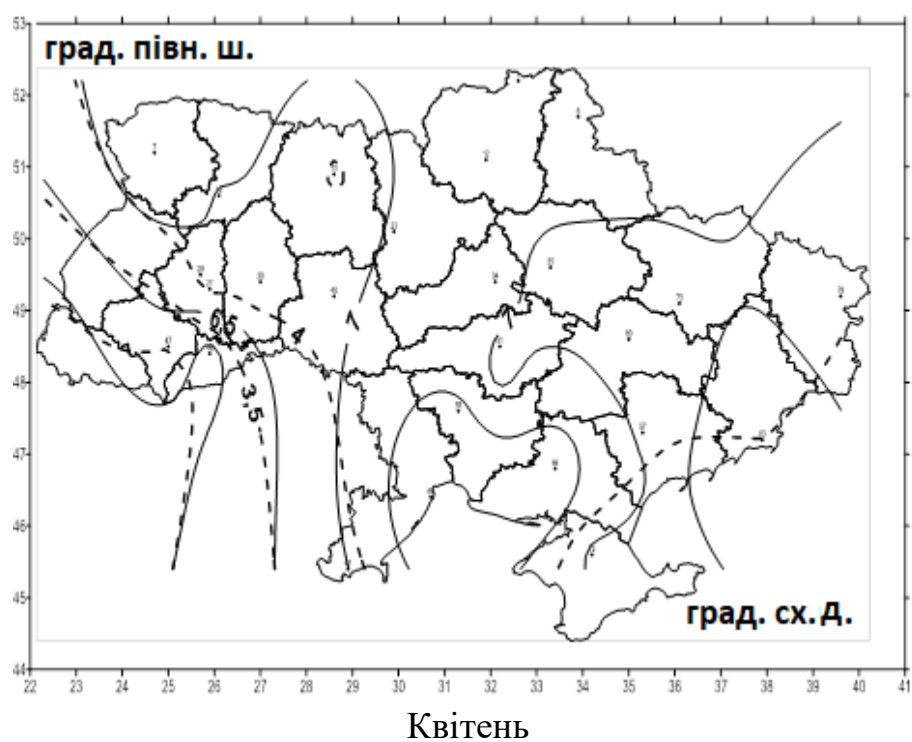
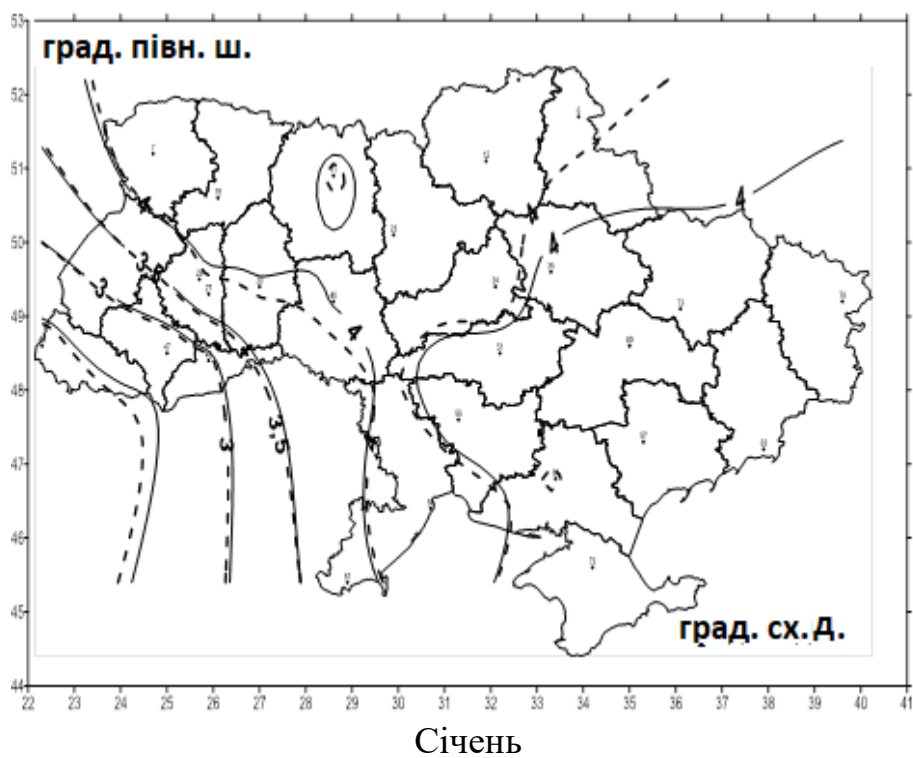


Рис. 4.9, аркуш 2



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

Рис. 4.10. Карти розподілу середньомісячних швидкостей вітру за сценарієм RCP8.5, аркуш 1

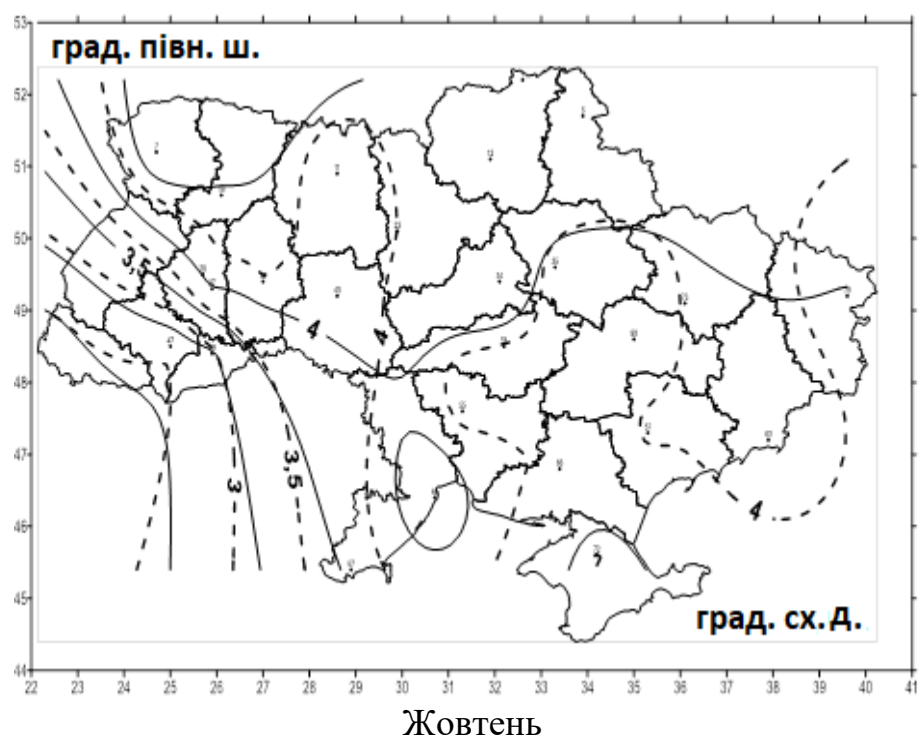
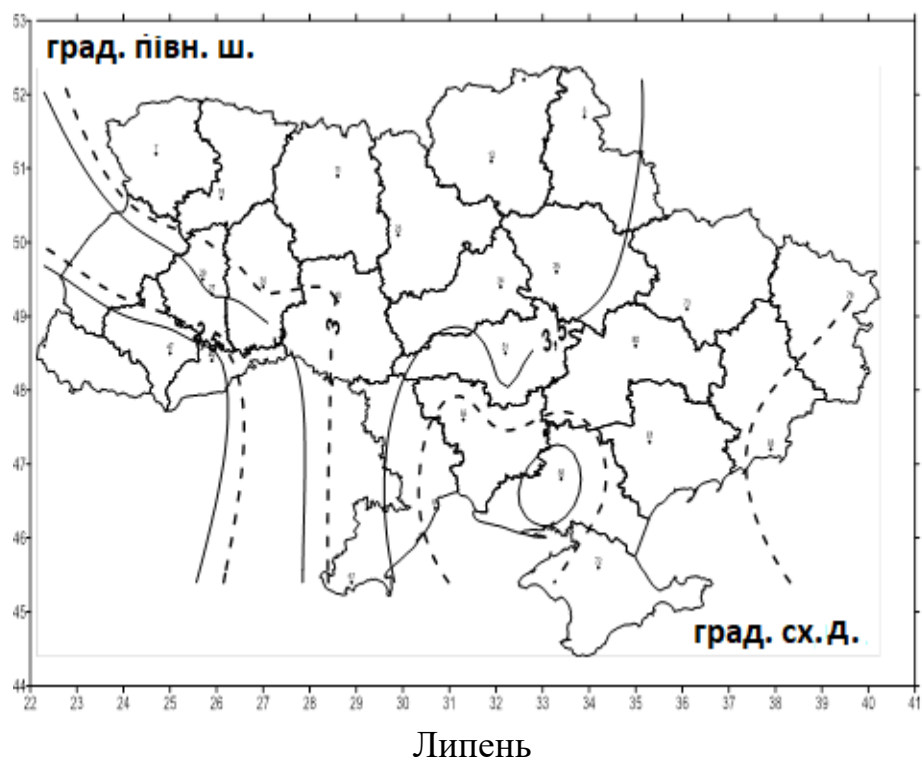


Рис. 4.10, аркуш 2

Квітень. Основна відмінність в розподілі швидкості по території полягає в зростанні швидкості вітру (більша ніж 4 м/с) в північному регіоні

в другому прогнозованому періоді 2031-2050 рр. Східні і центральні регіони України мають середньомісячні швидкості близькі до 4 м/с. На півдні виділяється область збільшених швидкостей до 4,5 м/с і більше.

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

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

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

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

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

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

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

Структура поля вітру на території України буде відповідати таким положенням:

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

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

4.3. ВИЗНАЧЕННЯ РИЗИКІВ НЕБЕЗПЕЧНИХ ГІДРОМЕТЕОРОЛОГІЧНИХ ЯВИЩ

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

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

В останні роки за даними ряду авторів повторюваність НЯ в цілому по Україні зросла. 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 [2]. Інші вчені в своїх роботах використовують поняття ризику, як функції частоти та наслідків небажаної події [6, 1]. Найчастіше використовують непрямі методи для розрахунку соціально-економічних складових ризиків, тому що існує проблема відсутності достовірної та доступної інформації щодо економічних збитків від НЯ за числом загиблих і потерпілих людей в результаті прояву окремих НЯ.

Економіка ставить 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 потребує нових і все більш складних типів кліматологічного обслуговування майже в кожному секторі економіки. Дослідження небезпечних метеорологічних явищ і кількісних оцінок ризиків, створених ними, є істотним внеском у розвиток прикладної кліматології.

До останнього часу проблеми вразливості економіки і ризиків внаслідок настання НЯ і стихійних лих оцінювались за допомогою деяких індексів. Індекси вразливості, які мають ряд позитивних сторін (можливість порівняння, картування вразливості та ін.), не дозволяли виконувати секторальне економічне оцінювання вразливості й ризиків від того чи іншого конкретного НЯ, а також скласти кількісну оцінку наслідків НЯ і, отже, вжити обґрунтованих адаптаційних заходів.

Тому створена система показників ризиків, яка дозволяє 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 до числа найбільш використовуваних при всебічній оцінці ризику НЯ. Розглянемо деякі з них детальніше.

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

Потенційний ризик становить 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 враження (небажаних наслідків) буде залежати від вразливості реципієнта в результаті впливу досліджуваного вражаючого фактора.

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

Існуюча в області промислової безпеки і взята до розгляду система показників ризику (індивідуальний, колективний, соціальний, технічний, екологічний) враховує впливи, які виникають 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 (соціальному і природному) 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 і 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 визначеному розподілі частоти небезпечних явищ доводиться розрізняти явища на такі, які спостерігаються тільки один раз на рік, і явища, які 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 враховується пізніше при остаточному розрахунку ризику.

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

Збиток і ризик, які створювало 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 враховувались при оцінці частки ВВП, яка припадає на одну людину при розрахунках економічного ризику.

Слід мати на увазі, що вразливість залежить ще й від ступеня розвитку території, яка 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 такі основні постулати:

- розвиток індустрії та сільського господарства тісно пов'язаний з густотою населення;
- економічний еквівалент вразливості або ціна ризику – це частка валового промислового продукту (ВВП) і основного фонду, яка припадає на одного жителя України.

Ризиком названа ймовірність небажаної події та розмір її наслідків:

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

де p – ймовірність події; x – наслідки події або вразливість деякого об'єкта, який зазнає впливу НЯ.

Соціальний ризик $P_{соц}$, являє собою співвідношення між числом людей, які зазнали впливу джерела небезпеки, і ймовірністю такої події. Величини, зазначені в формулах, можна представити 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; k – коефіцієнт агресивності НЯ.

Середня площа визначалась при розгляді окремих випадків виникнення НЯ. У тих випадках, коли таку площу визначити було не можливо, тоді в якості радіуса даної площі брався 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 (3), який створюється небезпечним явищем.

Загальний збиток на даній території можна назвати/ економічним ризиком ($P_{ек}$):

$$P_{ек} = Z = AP_{соц}, \quad (4.6)$$

де A – коефіцієнт, який визначає ціну ризику, дорівнює частці ВВП із загального фонду України, що припадає 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 [6, 7], було виконано розрахунок соціальних і економічних ризиків для території України. В запропонованій методиці під соціальним ризиком розуміють ймовірність попадання населення даної території в зону з НЯ в середньому за рік.

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

Критерій вибору НЯ «сильний вітер», який визначається за даними середньодобової швидкості, гарантує, що протягом доби в окремі проміжки часу будуть спостерігатись швидкості (включаючи пориви) більші ніж 25 м/с. Також до небезпечного явища "сильний вітер" протягом доби можна віднести вітер з меншою швидкістю, однак, при якому завдана значна шкода.

4.3.1. Соціальний ризик

Використані нами дані майбутнього вітрового режиму України, 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, який використовують гідрометеослужби для підтвердження наявності НЯ або його прогнозування.

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

1) «вітер при досягненні швидкості та поривах не менших ніж 25 м/с або при середній швидкості не меншій ніж 20 м/с; на узбережжях морів і в гірських районах – 35 м/с або при середній швидкості не меншій ніж 30 м/с» [8];

2) середні часові та просторові характеристики НЯ «дуже сильний вітер» згідно з дослідженнями кліматологів – тривалість явища 4,8 години, площа поширення явища 8500 км² [16].

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, які 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 найчастіше 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 тривати 24 години і більше. 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 циклонів, які поглиблюються, з антициклоном, який посилюється, що призводить до різкого зростання баричного градієнта. 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 біля землі в цьому 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 бути вихід південно-західного циклону на територію Одеської області 12. 10. 2016, коли сильні вітри зі швидкістю більшою ніж 18-20 м/с, з поривами до 25 м/с і більше спостерігались більше доби.

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

Практика спостережень показує, що якщо середньодобове значення поривів дорівнює або більше за 20 м/с, то їх швидкість з ймовірністю не меншою 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 вітрі спостерігаються інтенсивні атмосферні опади.

Такі критерії та характеристики, стосовно середньодобової швидкості, можуть відповідати стихійним гідрометеорологічним явищам, тому що сильний вітер і пориви будуть зберігатись 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 збитків. Всі розрахунки проведені за формулою (4.5), яка включає такі складові:

P – середнє річне число випадків з поривами, швидкість яких дорівнює або більша ніж 20 м/с за 20 річний період;

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

s – середня площа небезпечного явища (км²), яка береться рівною 1/3 площі області;

S – площа території (км²) конкретної області, для якої розраховується соціальний збиток;

t – середня тривалість небезпечного явища, доба;

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

Нижче, в таблиці 4.8, показані результати розрахунку соціального ризику, оціненого за кількістю населення, якому може бути завдана матеріальна чи фізична шкода.

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
			кїл. вип.	n/20	кїл. вип.	n/20	тисячі чоловік	
			<i>n</i>	<i>p</i>	<i>n</i>	<i>p</i>		
Західна частина України (W.U.)								
Волинська	20144	104270	2	0,10	0	0	34,4	0
Рівненська	20047	116180	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

Кінець таблиці 4.8

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>		
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
АРКрим	26945	1957801	1	0,05	0	0	32,3	0

Примітка. В стовпчику *p* показано середньорічне число випадків з поривами ≥ 20 м/с

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

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

Отримані величини соціального збитку для областей України збігаються за порядком величин зі збитком, що завдається сильним вітром. Як приклад, соціальні збитки в деяких областях РФ, фізико-географічні умови яких близькі з територією України, наведено в табл. 4.9.

Таблиця 4.9. Соціальний ризик від НЯ в деяких областях РФ [16]

Адміністративний район	Соціальний ризик, тис.чол.		
	від вітру	від дощу	від снігу
Саратовська обл.	99.3	0.9	714.0
Рязанська обл.	64.6	1.3	414.9
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 таким 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, оціненого як сума виплат жителям, яким було завдано збиток, тобто населенню, яке перебувало під впливом соціального ризику.

Згідно з прогнозами кліматичних моделей RCP4.5 и RCP8.5, найбільший економічний і соціальний збиток протягом наступних 35 років можливий в Івано-Франківській, Черкаській, Полтавській, Сумській, Миколаївській, 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 десятків мільйонів гривень.

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

Можлива сума грошових виплат, яка прогнозована кліматичними моделями, не погано узгоджується з реальним грошовими виплатами Національної акціонерної страхової компанії (НАСК) "Оранта", яка провела відшкодування збитків нанесенню від стихійного лиха. Наприклад, в Івано-Франківській області збиток становить 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.

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

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

Таким чином, згідно з прогнозами кліматичних моделей RCP4.5 і RCP8.5, найбільші економічні і соціальні збитки протягом наступних 35 років можливі 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 напрямів вітру для 27 станцій України для двох періодів (2011-2030 рр. і 2031-2050 рр.) і за двома сценаріями RCP4.5 і RCP8.5.

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

4. Розроблено алгоритм розрахунку небезпечних швидкостей вітру, необхідний для оцінки екологічних ризиків.

5. У ході виконання роботи визначені середньорічні ймовірності виникнення сильного вітру для різних районів України.

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

5. 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 зі зміни клімату в своїй Четвертій оцінній доповіді підтвердила наявність невідворотного потепління клімату практично у всьому світі [24]. За останні 100 років температура у світі підвищилась приблизно на $0,75^{\circ}\text{C}$. За останні 25 років темпи глобального потепління прискорились більше ніж на $0,18^{\circ}\text{C}$ за десятиріччя [28]. А в своїй П'ятій доповіді МГЕЗК зазначає, що глобально усереднені, сукупні дані про температуру поверхні суші та океану за період 1880-2012 рр. (саме за цей період є чисельні, незалежно здобуті, масиви даних), визначені на основі лінійного тренда, свідчать про потепління вже на $0,85^{\circ}\text{C}$ ($0,65$ - $1,06^{\circ}\text{C}$). Зростання температури відбувається нерівномірно по поверхні Землі. Максимальне підвищення температури відмічається у середніх і субполярних широтах Північної півкулі над континентами, де воно досягає $1,7$ і $2,0^{\circ}\text{C}$ відповідно за століття [25]. Підвищується рівень моря, тануть льодовики і змінюється характер атмосферних опадів. Екстремальні метеорологічні явища стають більш інтенсивними і частими.

Основним висновком у П'ятій доповіді МГЕЗК є ствердження: надзвичайно імовірно (імовірність 95-100%), що антропогенний вплив на кліматичну систему був основною причиною потепління, яке спостерігається з середини ХХ-го століття [25]. Одним з наслідків потепління клімату є зростання кількості днів з аномально високою температурою. Вплив змін клімату на здоров'я людини різноманітний. 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 [29]. 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.

5.1. 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 глибинних 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 густинним 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 [10].

Можливості механізмів терморегуляції далеко небезмежні. Під час тривалого перебування 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 °C працездатність людини знижується на 15 % порівняно з її рівнем у комфортних умовах, а за температури 28 °C – вже на 30 %.

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

При зовнішній температурі 32-33 °C і вище припиняється віддача тепла конвекцією і випромінюванням та вмикаються механізми підвищення тепловіддачі шляхом потовиділення і випаровування вологи з поверхні тіла і механізм почастищення 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, порушення сну, головних болей, змін 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 артеріол, підвищення об'єму легеневої вентиляції. Відбувається надлишкова втрата позаклітинної рідини, збільшення в'язкості крові, що сприяє підвищенню ризику розвитку інсульту та інфаркту міокарда [32, 35], 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 судомним сіпанням.

Якщо температура тіла підвищується до 41 °С, спостерігається зменшення потовиділення, сильне почервоніння шкіри, яка спочатку вкрита липким потом, а потім стає сухою і гарячою. Інтенсивність і міра декомпенсації терморегуляції у значною мірою залежить від швидкості і величини підвищення температури навколишнього середовища. При швидкому настанні жари патологічні зміни наростають 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 °С. Смерть може наступити і за більш низької температури, особливо на фоні супутньої патології через обезводнення, вторинних метаболічних порушень [10].

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

Тривалі високі температури повітря у поєднанні з підвищеною вологістю і несприятливі мікрокліматичні умови у приміщеннях

зумовлюють не лише передчасний розвиток перетоми, але й підвищують загальну захворюваність населення. Підвищена температура є чинником, який провокує нервово-психічні захворювання.

Під час жари зростає і кількість суїцидів. Вперше цей факт описано у 1995 році у Чікаго. Зростання температури вище 18 °С на кожен 1 °С призводило до збільшення кількості випадків суїцидів на 4 % [36]. 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. [12].

Підвищення температури повітря може спричинити 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 у міру 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 [11]. Залежність між ризиком захворюваності і температурою зовнішнього повітря можна виразити рівнянням:

$$Z = 1 + 1/3 (\Delta t)^2 / \rho, \quad (5.1)$$

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). Лінія комфорту – це метеорологічні умови, які забезпечують оптимальний рівень фізіологічних функцій, в тому числі і терморегуляторних при суб'єктивному відчутті комфорту [4]. Вона коливається в межах 18,1-19,9 °С. При роботі середньої важкості зона комфорту за шкалою ефективної температури знижується приблизно на 1 °С, при важкій – на 2,5 °С; ρ – емпіричний коефіцієнт, значення якого наведено в табл. 5.1.

Таблиця 5.1. Емпіричний коефіцієнт в залежності від величини відхилення температури зовнішнього повітря від лінії комфорту

Напрявленість 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, які мешкають або працюють в «островах тепла», тобто у мікрорайонах міської забудови, які нагріваються сильніше, ніж оточуюча їх місцевість, і тримають накопичене за день тепло всю ніч [39]. 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 [40].

5.2. СУЧАСНІ ЗМІНИ КЛІМАТУ І ЗДОРОВ'Я НАСЕЛЕННЯ

Всесвітня організація охорони здоров'я протягом низки років підкреслювала, що ризики для здоров'я, 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 сам процес передачі робить більш ефективним, поширює його нозоареал, полегшує передачу захворювання [20].

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 t такою формулою

$$ГКІ = 13,3 + 1,78 \cdot t, \quad (5.2)$$

При зростанні температури в середньому на 3 °С захворюваність гострими кишковими інфекціями збільшується на 8 % [6].

На рис. 5.1 схематично надано можливий вплив (прямий і непрямий) змін клімату на здоров'я населення, який відбувається на фоні дії інших факторів не кліматичної природи [21].

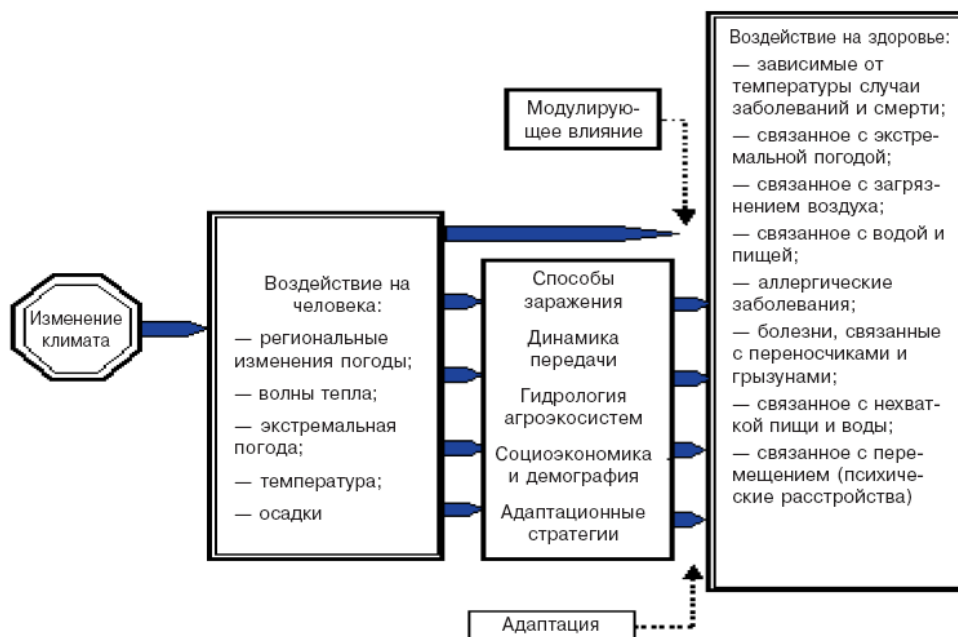


Рис. 5.1. Шляхи впливу змін клімату на здоров'я людини (Patz et al., 2000; Хайнес и др., 2004 г)

Глобальні зміни клімату проявляються 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 °С 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. вона підвищиться на 1,4-5,8 °С 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 більше, ніж на 40 %.

Зміни клімату будуть мати різні наслідки на екосистеми, економіки 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 [13]. 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. 5.2).

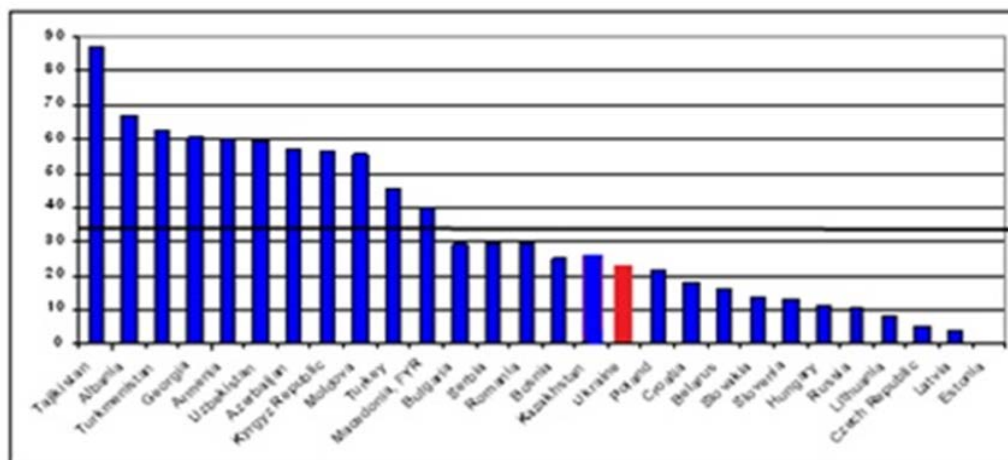


Рис. 5.2. Оцінка вразливості до змін клімату країн Східної Європи і Середньої Азії (Всесвітній Банк, 2008)

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, діабет, госпіталізованих осіб, а також людей, що мешкають у містах (порівняно з передмістями).

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 визначались у межах 8°С, а під час жари 2003 року зросли до 12°С). Так у Франції з 1 по 20 серпня 2003 року, коли максимальна температура повітря була вища за 35 °С, кількість додаткових випадків смерті на 60 % перевищила цей показник у цей же період часу 1999-2002 років [30]. У 70 % випадків вмирали люди старші за 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 [37].

Жаркий серпень 2003 року став причиною до 6 тисяч додаткових смертей в Іспанії та 1,3 тис. у Лісабоні [38].

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 вищою за 25 °С 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 % [14]. 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 причин, 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 % [15]. Про те, що під час жари підвищується кількість випадків суїцидів, як вже згадувалось, 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 [16].

Таким чином, у Москві та інших регіонах Росії фактично був перерваний тренд зниження смертності населення, і значне скорочення кількості осіб непрацездатного віку становить істотну загрозу демографічній ситуації.

Кількість теплових хвиль значно зросла за останні 100 років і вони стали виникати 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 [34].

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 жари. 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 жари. 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 [31]. Навіть короткочасне перевищення температури може стати причиною підвищення смертності населення. У Чикаго в результаті п'ятиденної

жари, коли температура досягнула 40 °С, кількість смертей зросла на 85 %, а кількість госпіталізацій – на 11 % порівняно з аналогічним періодом у попередні роки. Сильная 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 системи, епілепсія [33]. 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 [19].

У майбутньому населення України також може зіткнутися з такими явищами, як періоди екстремальної жари (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 з визначення 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 за вищої від 28 °С, у Хельсинки – 23,6 °С). Обговорювалась необхідність використання й 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 іншого. 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 °С [18].

Кількість досліджень з вивчення 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-подібної кривої, з мінімумом у певній точці, область навколо якої і можна вважати областю температурного комфорту. Для населених пунктів, розташованих у різних кліматичних умовах, існують різні значення температурного комфорту. Так у Мадриді між добовою середньою смертністю від всіх причин і добовою максимальною температурою повітря за 1986-1997 рр. існує звичайна V-образна залежність, а мінімум спостерігається при 30,8 °C (комфортна температура). Права гілка кривої має набагато більшу крутість нахилу, ніж ліва [27]. Це дозволяє зробити висновок про те, що жара впливає на смертність сильніше, ніж холод [22]. Добова максимальна температура, за якої нахил кривої залежності між смертністю і температурою стає крутішою, дорівнює 36,5 °C [18].

У Мадриді вплив надзвичайно жарких днів на смертність найбільший серед жінок старших за 75 років (зростання на 28,4 % на кожен 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 [26].

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 старших за 59 років (одна 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 %) [17]. В Європі відмічається ще більше зростання очікуваної тривалості життя і старіння населення. Найвищим індексом старіння (відношення чисельності населення старшого за 65 років до чисельності населення у віці 0-14 років) характеризуються Німеччина, Італія та Іспанія [1].

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 °C. Як наслідок цього, прогнозується антропогенне потепління в середньому на 0,1-0,5 °C кожні десять років протягом поточного століття. Після ХХІ століття можна

очікувати ще більших змін. Вплив екстремальної літньої жари на здоров'я людини може посилюватись 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 короткочасні 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 до переліку найбільш уразливих до глобального потепління регіонів нашої планети, але потепління відчутне вже й на її території.

5.3. ОЧІКУВАНИЙ ПРОСТОРОВО-ЧАСОВИЙ РОЗПОДІЛ ЖАРКИХ ДНІВ ПО ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ

Для прогнозування наслідків змін клімату в якості базових періодів фахівці зі змін 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 (RCP4.5 і RCP8.5).

Характеристикою термічних умов місцевості у літній час є так звані жаркі дні. У біокліматології існують методи оцінки жаркої погоди. Як вже згадувалось, така погода спричиняє негативні реакції в організмі людини, пов'язані з порушенням терморегуляції. Жарким вважається день, коли максимальна добова температура повітря $> 25^{\circ}\text{C}$. 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 частинних антициклонах Азорського максимуму, які поширюються на територію нашої країни із заходу [7].

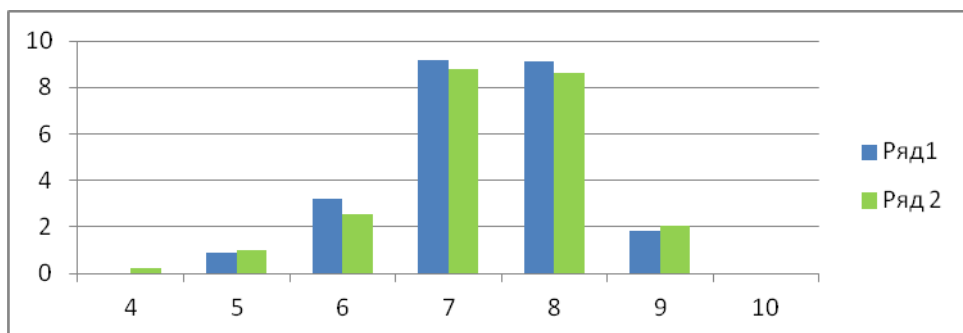
Жаркі дні на півночі, заході і сході країни за обома сценаріями очікуються щорічно з травня по вересень, але в окремі роки вони можуть спостерігатись у квітні та жовтні; на півдні – щорічно з квітня по жовтень (табл. 5.2 і 5.3). Результати розрахунків за обома сценаріями не дуже різняться (рис. 5.3). 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.

Таблиця 5.2. Кількість жарких днів. 2011-2050 рр. (сценарій RCP4.5)

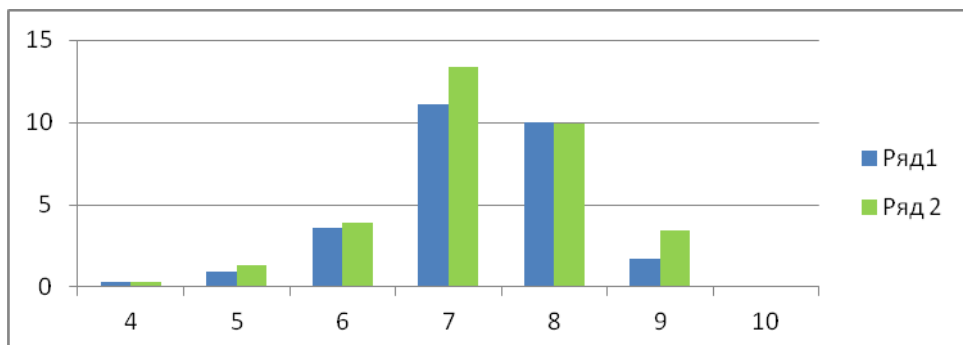
Кількість днів	Місяць							Сума, рік	Сума, літо
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X		
Семенівка									
Сума	-	36	128	369	363	72	-	968	860
Середнє	-	0,9	3,2	9,2	9,1	1,8	-	24,2	21,5
Ужгород									
Сума	11	35	145	442	100	69	1	1103	987
Середнє	0,3	0,9	3,6	11,1	10,0	1,7	0,03	27,6	24,7
Ізмаїл									
Сума	49	178	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 рр. (сценарій RCP8.5)

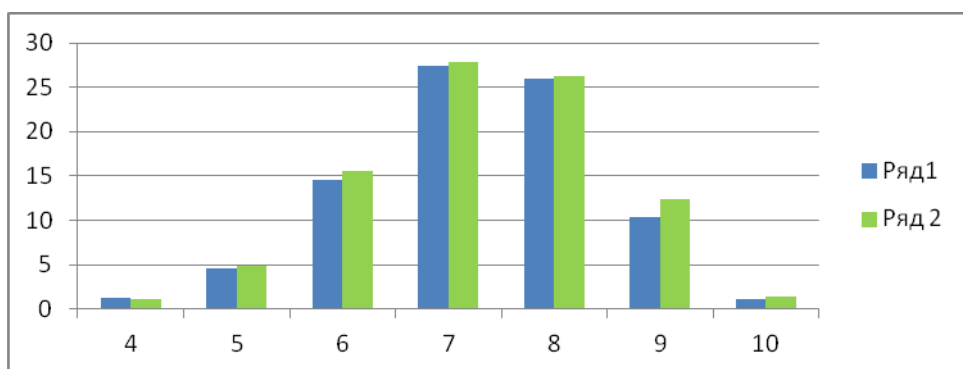
Кількість днів	Місяць							Сума, рік	Сума, літо
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X		
Семенівка									
Сума	8	41	101	352	344	82	-	928	797
Середнє	0,2	1,0	2,5	8,8	8,6	2,1	-	24,6	19,9
Ужгород									
Сума	14	54	157	534	396	138	-	1293	1087
Середнє	0,4	1,4	3,9	13,4	9,9	3,5	-	32,3	27,2
Ізмаїл									
Сума	45	195	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



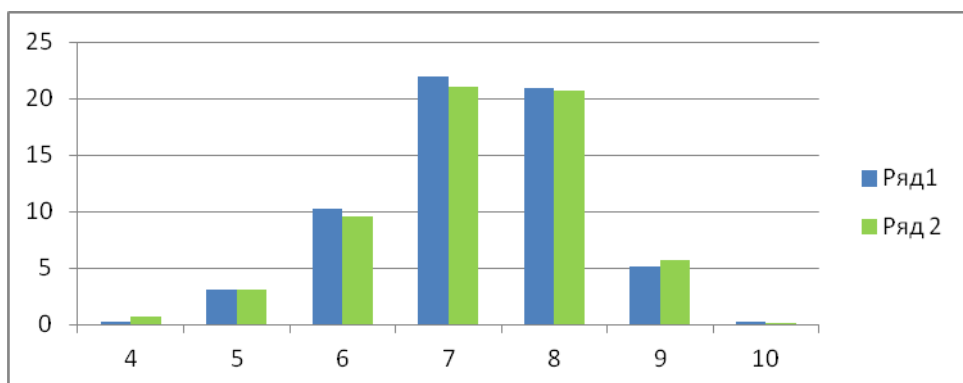
Семенівка



Ужгород



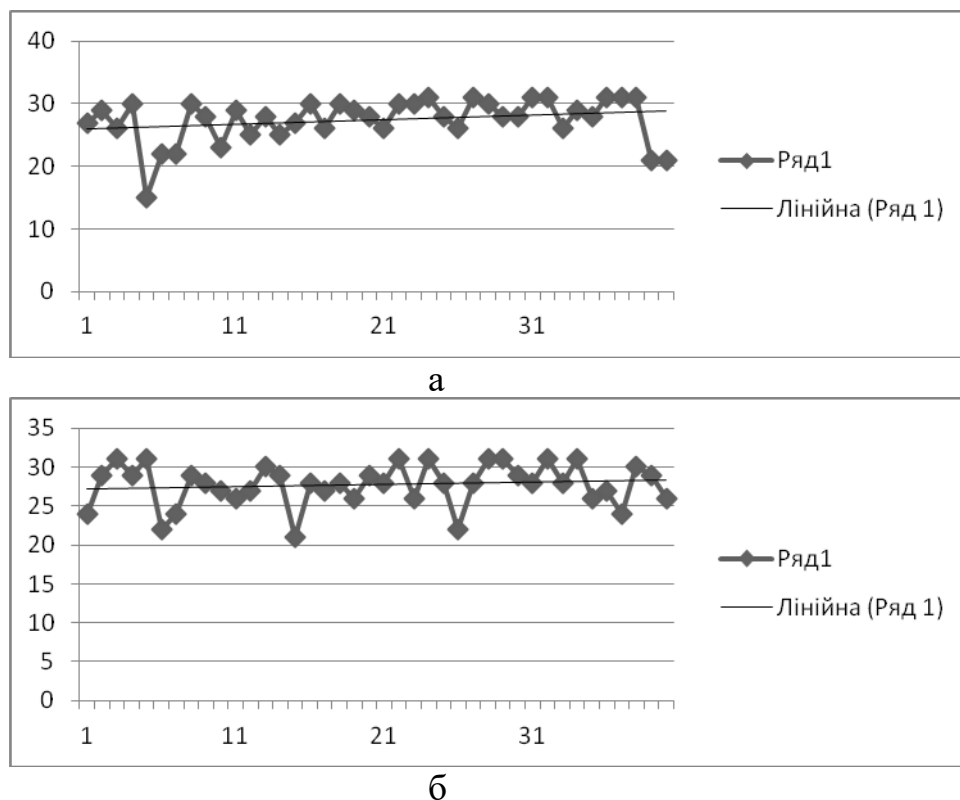
Ізмаїл



Біловодськ

по осі x – номери місяців; по осі y – кількість днів
 Ряд 1 – за сценарієм RCP4.5; Ряд 2 – за сценарієм RCP8.5
 Рис. 5.3. Середня кількість жарких днів, визначених за двома сценаріями.

Слід зазначити, що в окремі роки в Ізмаїлі та Біловодську кількість днів з максимальною температурою вищою за 25 °С у липні і серпні може спостерігатись навіть впродовж всього місяця, у Семенівці і Ужгороді – 25-27 днів. На рис. 5.4 наведено часову зміну кількості таких днів у липні протягом досліджуваного періоду. Повторюваність жарких днів у цьому місяці становить 17 % (сценарій RCP4.5) і 20% (сценарій RCP8.5). Визначений лінійний тренд в окремі місяці 40-річного періоду, який характеризує динаміку кількості жарких днів, найчастіше показує їх зростання.

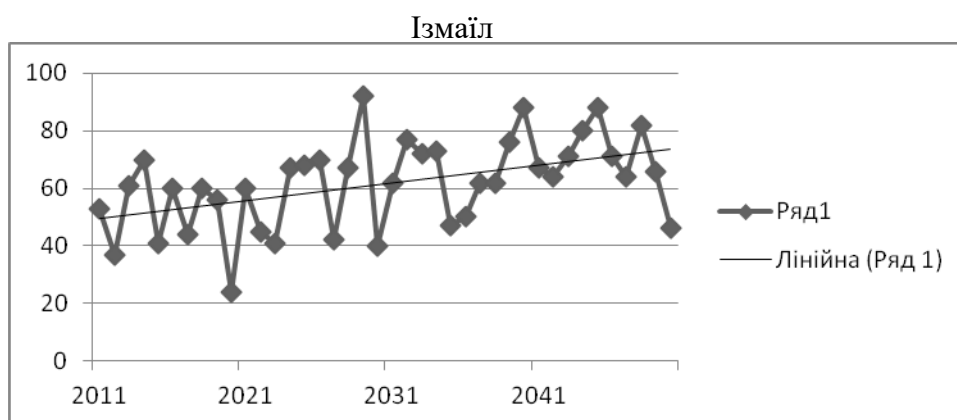
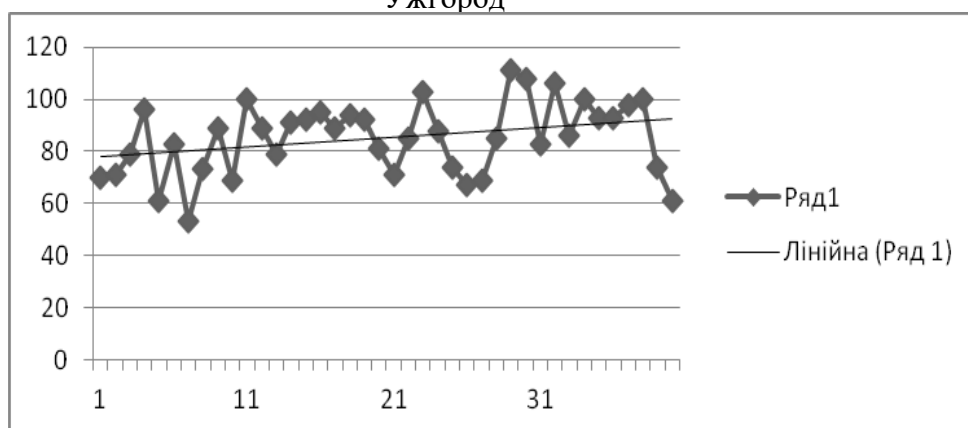
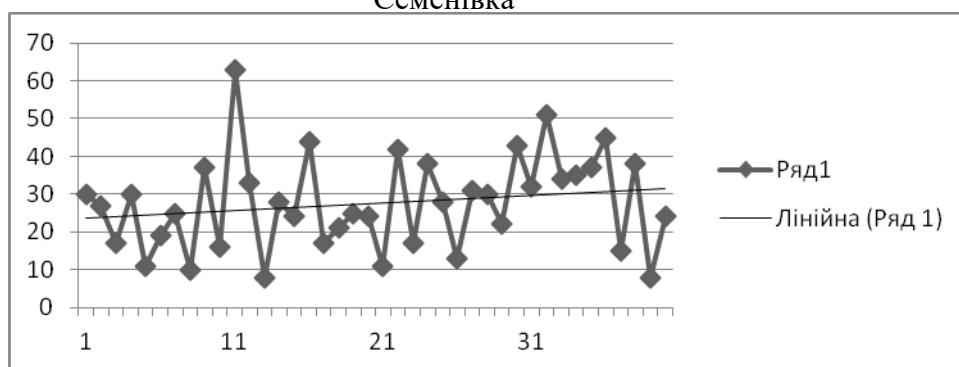
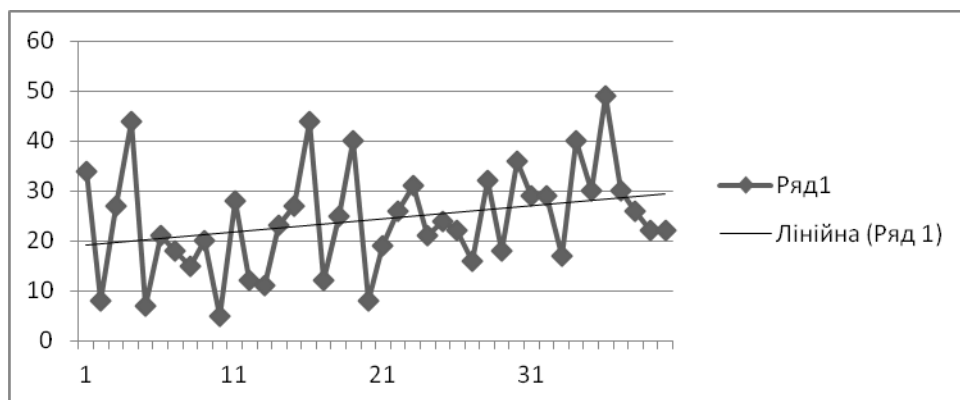


по осі x – роки з 2011 по 2050; по осі y – кількість днів

Рис. 5.4. Динаміка кількості жарких днів за сценаріями RCP4.5 (а) і RCP8.5 (б). Липень. Ізмаїл

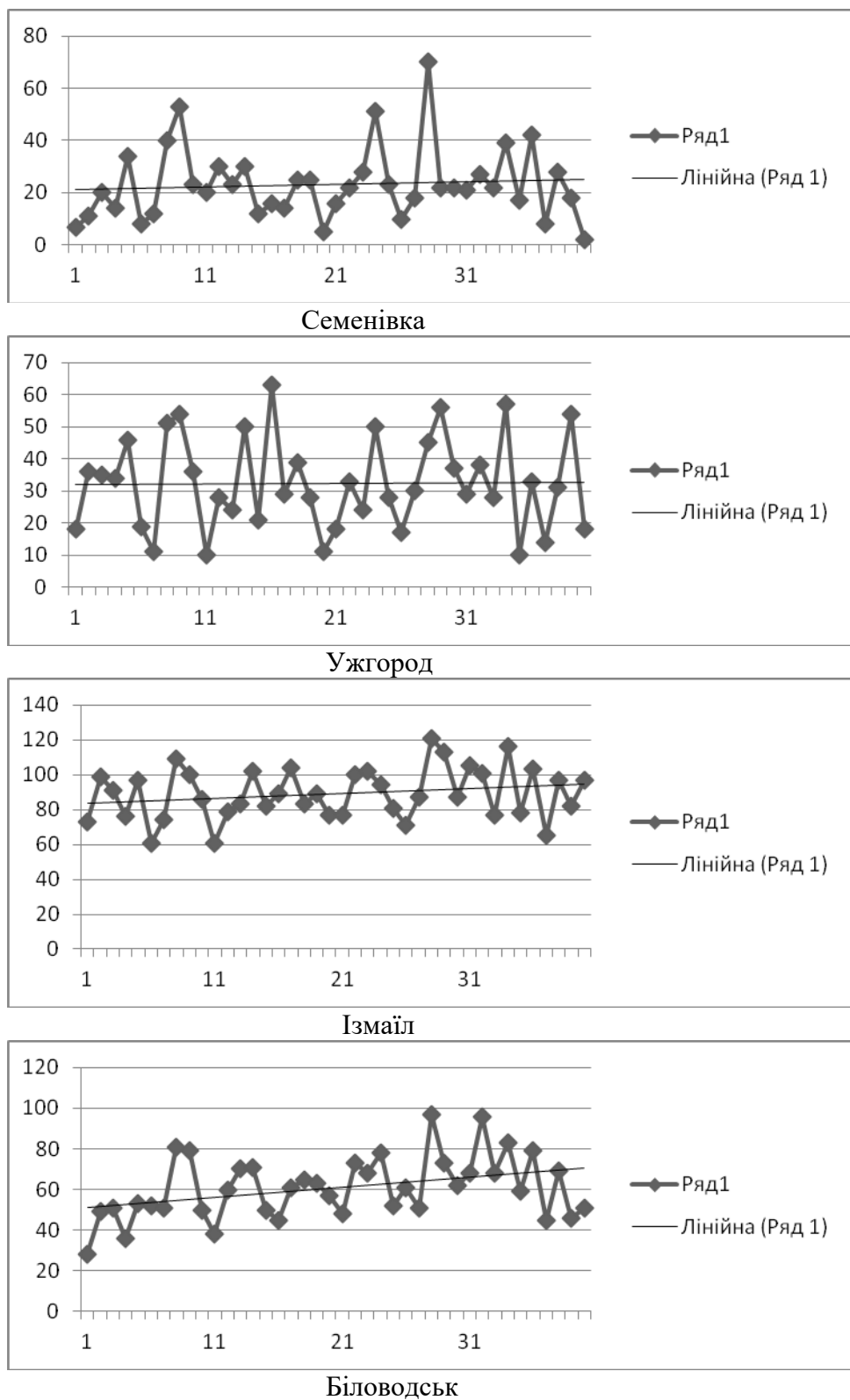
Середній квадратичний відхил жарких днів за рік коливається в межах 11-15 днів за сценарієм RCP4.5 і 14-15 днів за сценарієм RCP8.5. Кількість жарких днів протягом 40 років на всіх досліджуваних станціях коливається у широкому діапазоні: 5-49 днів (за другим сценарієм 2-70 днів) у Семенівці, 8-63 (10-63) – в Ужгороді, 53-111 (61-121) – в Ізмаїлі, 24-92 (28-97) днів – в Біловодську. Такі коливання кількості жарких днів з року в рік дозволяють простежити їх часову динаміку (рис. 5.5 і 5.6).

Визначений лінійний тренд річної кількості жарких днів свідчить про її зростання.



по осі x – роки з 2011 по 2050; по осі y – кількість днів

Рис. 5.5. Динаміка річної кількості жарких днів (сценарій RCP4.5)



по осі x – роки з 2011 по 2050; по осі y – кількість днів

Рис.5.6. Динаміка річної кількості жарких днів. (сценарій RCP8.5)

Слід звернути увагу на те, що результати розрахунків за обома сценаріями відрізняються зовсім несуттєво. Тому в 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 вищою від 25 °С по місяцях, за літній сезон і в цілому за рік.

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
Ніжин	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

Аналіз табл. 5.4 показує, що 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 вищою за 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 5.5. Повторюваність (%) жарких днів. 2011-2050 рр.
(сценарій RCP4.5)

Назва станції	Місяць				
	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень
Семенівка	2,9	10,7	29,8	29,3	6,0
Глухів	2,5	9,7	32,4	32,0	6,2
Ковель	3,7	11,4	25,6	25,4	5,6
Коростень	2,5	12,7	32,7	31,2	6,9
Ніжин	3,6	14,9	40,5	38,8	8,4
Рівне	3,6	10,9	29,0	28,3	6,4
Фастів	3,2	12,5	39,7	37,2	8,4
Стрий	2,6	8,8	28,9	28,4	5,8
Тернопіль	2,3	8,3	25,8	26,3	5,0
Хмельницький	2,3	10,0	30,3	29,4	5,6
Черкаси	6,6	22,1	56,9	51,0	13,0
Веселий Поділ	6,2	22,5	58,9	52,1	12,0
Вінниця	2,3	10,7	36,8	35,9	7,7
Ужгород	2,8	12,1	35,6	8,1	5,8
Коломия	2,4	8,1	24,4	22,8	4,8
Чернівці	4,3	13,4	36,0	32,5	8,2
Бобринець	6,0	28,2	65,7	61,0	15,7
Вознесенськ	7,7	31,1	75,1	68,9	20,6
Пришиб	11,1	38,2	81,0	76,1	23,4
Красноармійськ	10,6	41,0	83,7	82,4	24,1
Одеса	4,9	31,4	79,1	73,1	17,9
Нова Каховка	13,0	43,3	84,5	78,7	25,3
Ізмаїл	14,4	48,4	88,5	84,0	34,3
Клепінине	9,5	49,2	89,8	86,0	31,3
Харків	6,6	23,7	64,4	60,3	14,1
Біловодськ	10,0	34,0	70,7	67,4	17,0
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 станціях 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 в серпні у Закарпатті (ст. Ужгород).

На рис. 5.7 і 5.8 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 із 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.

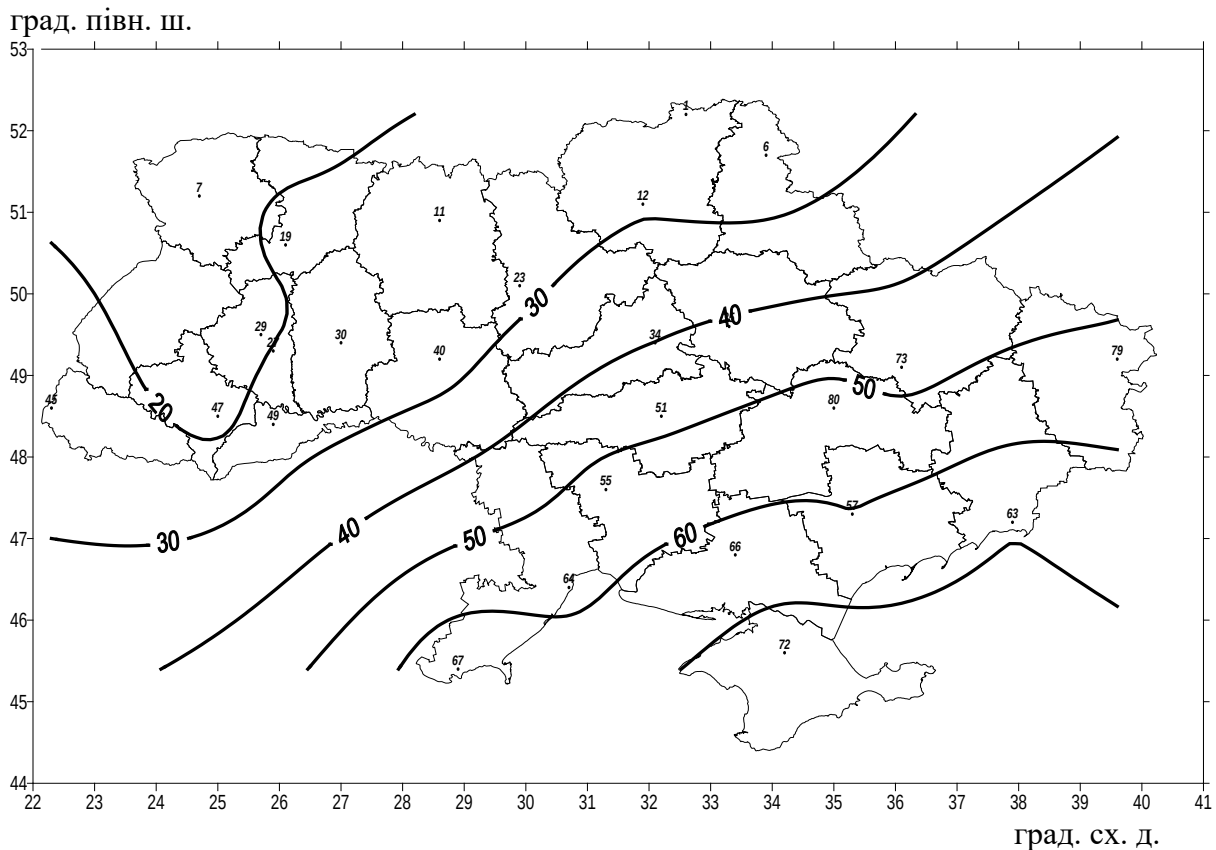


Рис. 5.7. Просторовий розподіл середньої за літо кількості жарких днів

На півдні та степовій частині Криму кількість днів з максимальною добовою температурою вищою від 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).

град. півн. ш.

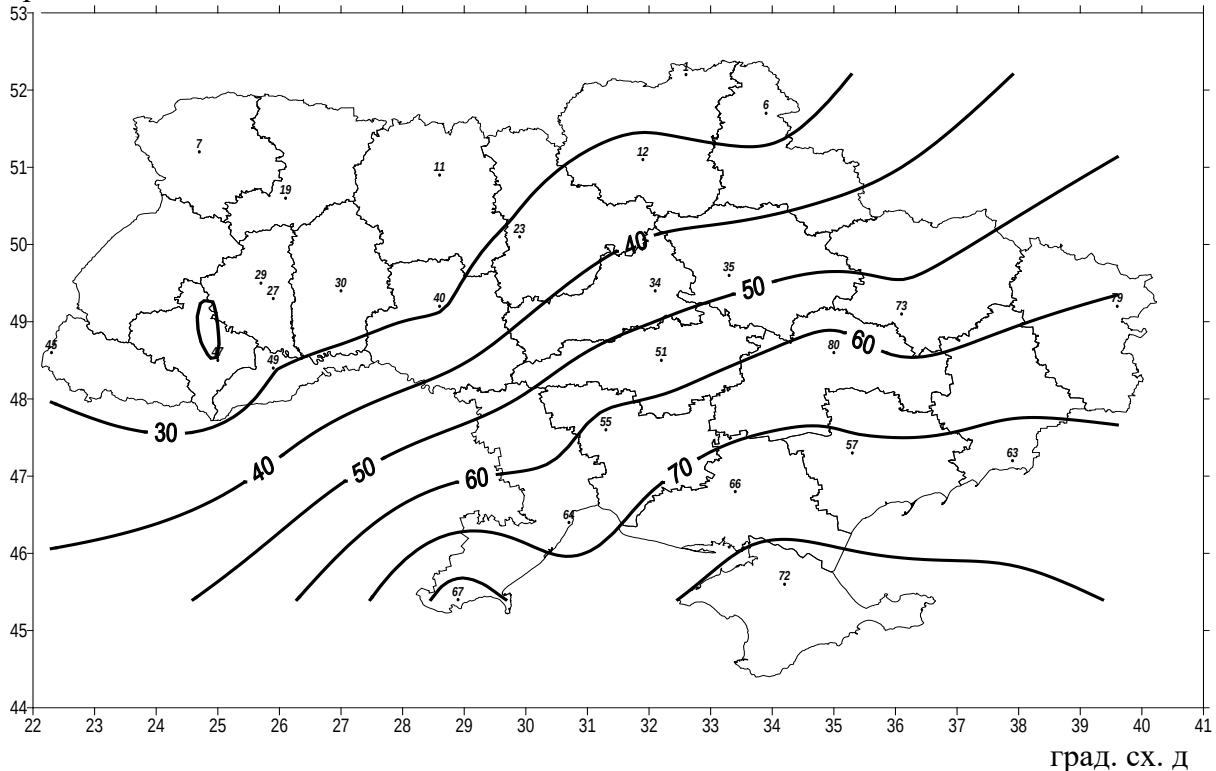


Рис. 5.8. Просторовий розподіл середньої за рік кількості жарких днів

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.

5.4. ЧАСОВІ ЗМІНИ І ПРОСТОРОВИЙ РОЗПОДІЛ КІЛЬКОСТІ ДНІВ З СЕРЕДНЬОЮ ДОБОВОЮ ТЕМПЕРАТУРОЮ ВИЩОЮ ЗА 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 [14-16, 31, 34, 38], нами досліджено деякі статистичні показники розподілу кількості днів з середньою добовою температурою > 25°C і динаміку їх у різних районах країни (табл. 5.6 і 5.7).

Таблиця 5.6. Кліматичні показники кількості днів з середньою добовою температурою вищою за 25 °С (сценарій RCP4.5)

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 вищою за 25 °С (сценарій RCP8.5)

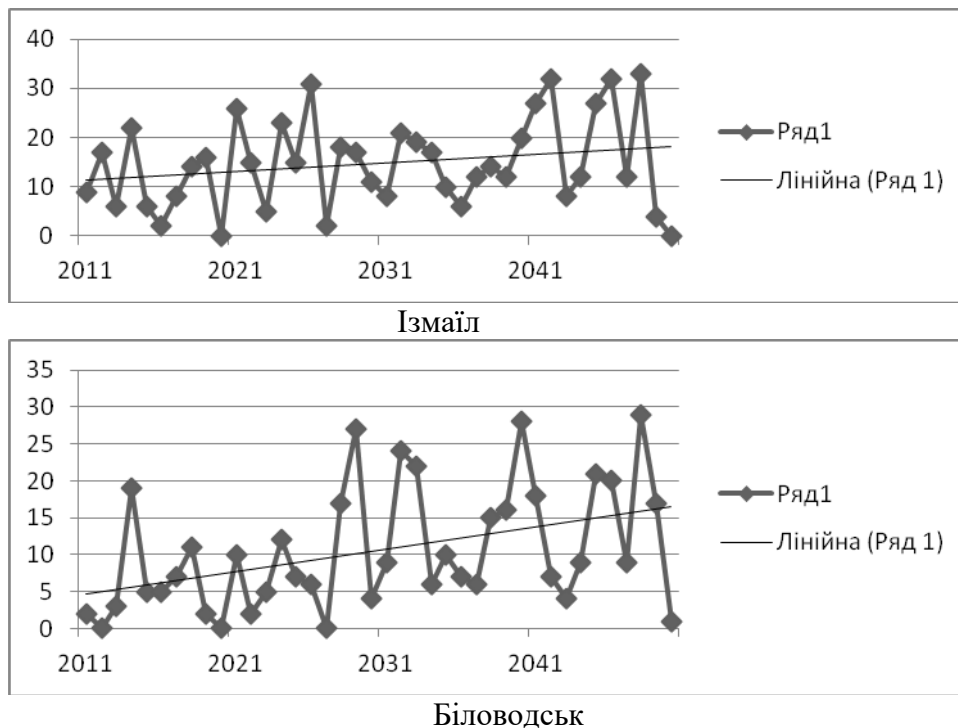
Місяць	Показник				
	$\bar{x}$	σ	A	E	%
Семенівка					
Червень	-	-	-	-	-
Липень	0,7	1,7	3,02	9,22	2,3
Серпень	0,9	1,9	2,89	8,86	2,8
Ужгород					
Червень	0,03	-	-	-	0,1
Липень	1,2	2,3	2,31	4,47	3,7
Серпень	0,6	1,6	4,38	22,5	1,8
Ізмаїл					
Червень	1,1	1,8	2,08	4,75	3,7
Липень	8,3	6,6	0,86	-0,12	26,7
Серпень	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 вищою за 25 °С перевищує середнє значення їх у 2-3 рази. Асиметрія і ексцес, які характеризують міру скошеності та гостровершинності кривої розподілу відповідно, дуже великі за своєю величиною.

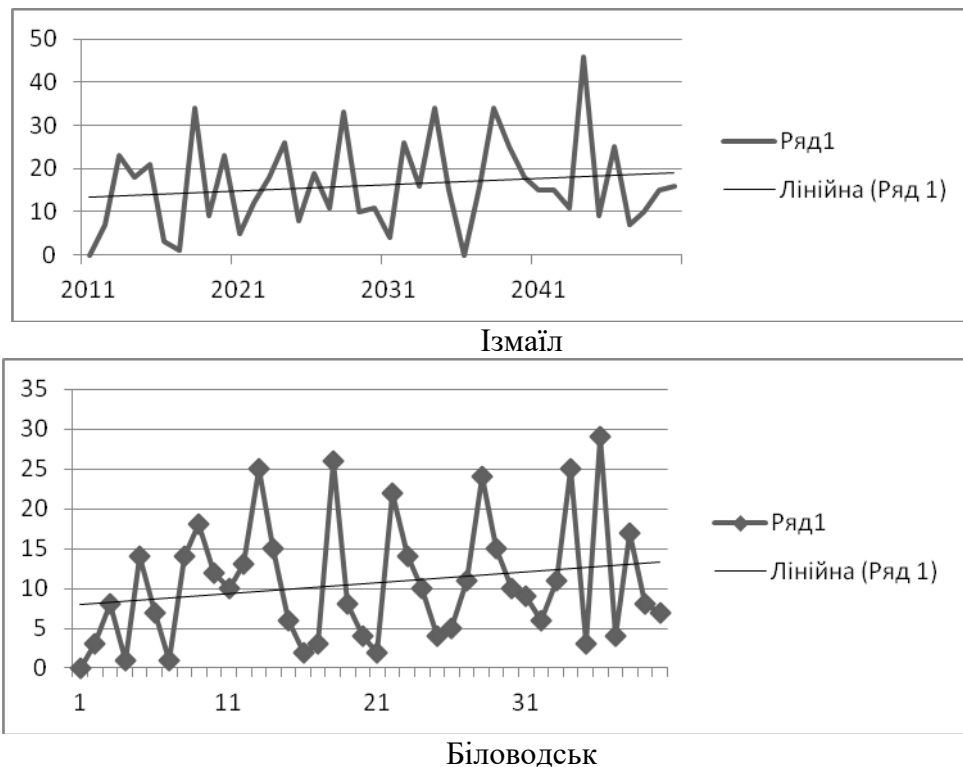
Найбільша повторюваність днів з середньою добовою температурою вищою за 25 °С в Ізмаїлі (у липні 24,1 і 26,7 % відповідно до сценаріїв RCP4.5 і RCP8.5), трохи менша у Біловодську (17,3 і 16,7 %). Асиметрія є великою ($> 0,50$) і додатною (крива розподілу їх має правосторонній скіс). Ексцес в Ізмаїлі має від'ємні значення (тобто крива розподілу є менш гостровершинною порівняно з кривою нормального розподілу) менші від 1, а в Біловодську – додатні значення (крива розподілу є більш гостровершинною порівняно з кривою нормального розподілу) більші 1.

На рис. 5.9 і 5.10 наведено часовий хід кількості днів з середньою добовою температурою вищою за 25 °С в Ізмаїлі і Біловодську, визначених за двома сценаріями.



по осі x – роки з 2011 по 2050; по осі y – кількість днів

Рис. 5.9. Динаміка кількості днів з середньою добовою температурою Вищою за 25 °С. Літо. (сценарій RCP4.5)



по осі x – роки з 2011 по 2050; по осі y – кількість днів

Рис. 5.10. Динаміка кількості днів з середньою добовою температурою вищою за 25 °С. Літо. (сценарій RCP8.5)

Побудований лінійний тренд кількості днів з середньою добовою температурою вищою за 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 Біловодську – відповідно 11,5 і 11,6 %.

Далі досліджувався просторовий розподіл кількості днів з середньою добовою температурою вищою за 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 вищою за 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°C

Назва станції	Червень			Липень			Серпень		
	к.в. (сума)	к.в. (середнє)	%	к.в. (сума)	к.в. (середнє)	%	к.в. (сума)	к.в. (середнє)	%
Семенівка	2	0,1	0,2	10	0,3	0,8	17	0,4	1,4
Глухів	1	0,0	0,1	18	0,5	1,5	23	0,6	1,9
Ковель	3	0,1	0,3	12	0,3	1,0	13	0,3	1,0
Коростень	1	0,0	0,1	8	0,2	0,6	14	0,4	1,1
Ніжин	1	0,0	0,1	30	0,8	2,4	35	0,9	2,8
Рівне	1	0,0	0,1	9	0,2	0,7	11	0,3	0,9
Фастів	1	0,0	0,1	14	0,4	1,1	29	0,7	2,3
Стрий	0	0,0	0,0	5	0,1	0,4	8	0,2	0,6
Тернопіль	0	0,0	0,0	4	0,1	0,3	6	0,2	0,5
Хмельницький	0	0,0	0,0	8	0,2	0,6	7	0,2	0,6
Черкаси	10	0,3	0,8	117	2,9	9,4	106	2,7	8,5
Веселий Поділ	12	0,3	1,0	121	3,0	9,8	92	2,3	7,4
Вінниця	0	0,0	0,0	13	0,3	1,0	15	0,4	1,2
Ужгород	0	0,0	0,0	1	0,0	0,1	13	0,3	1,0
Коломия	0	0,0	0,0	3	0,1	0,2	2	0,1	0,2
Чернівці	0	0,0	0,0	8	0,2	0,6	7	0,2	0,6
Бобринець	12	0,3	1,0	126	3,2	10,2	99	2,5	8,0
Вознесенськ	23	0,6	1,9	215	5,4	17,3	173	4,3	14,0
Пришиб	37	0,9	3,1	292	7,3	23,5	258	6,5	20,8
Красноармійськ	59	1,5	4,9	391	9,8	31,5	325	8,1	26,2
Одеса	26	0,7	2,2	255	6,4	20,6	214	5,4	17,3
Нова Каховка	52	1,3	4,3	359	9,0	29,0	292	7,3	23,5
Ізмаїл	38	1,0	3,2	297	7,4	24,0	249	6,2	20,1
Клепінине	36	0,9	3,0	322	8,1	26,0	259	6,5	20,9
Харків	10	0,3	0,8	143	3,6	11,5	112	2,8	9,0
Біловодськ	31	0,8	2,6	210	5,3	16,9	176	4,4	14,2
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. 5.11 і 5.12 представлено просторовий розподіл повторюваності (%) кількості днів з середньою добовою температурою вищою за 25 °C у місяці, коли вона найбільша, а також сумарної за літо кількості таких днів. Особливості розподілу характеристик кількості днів з середньою добовою температурою вищою за 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. 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.

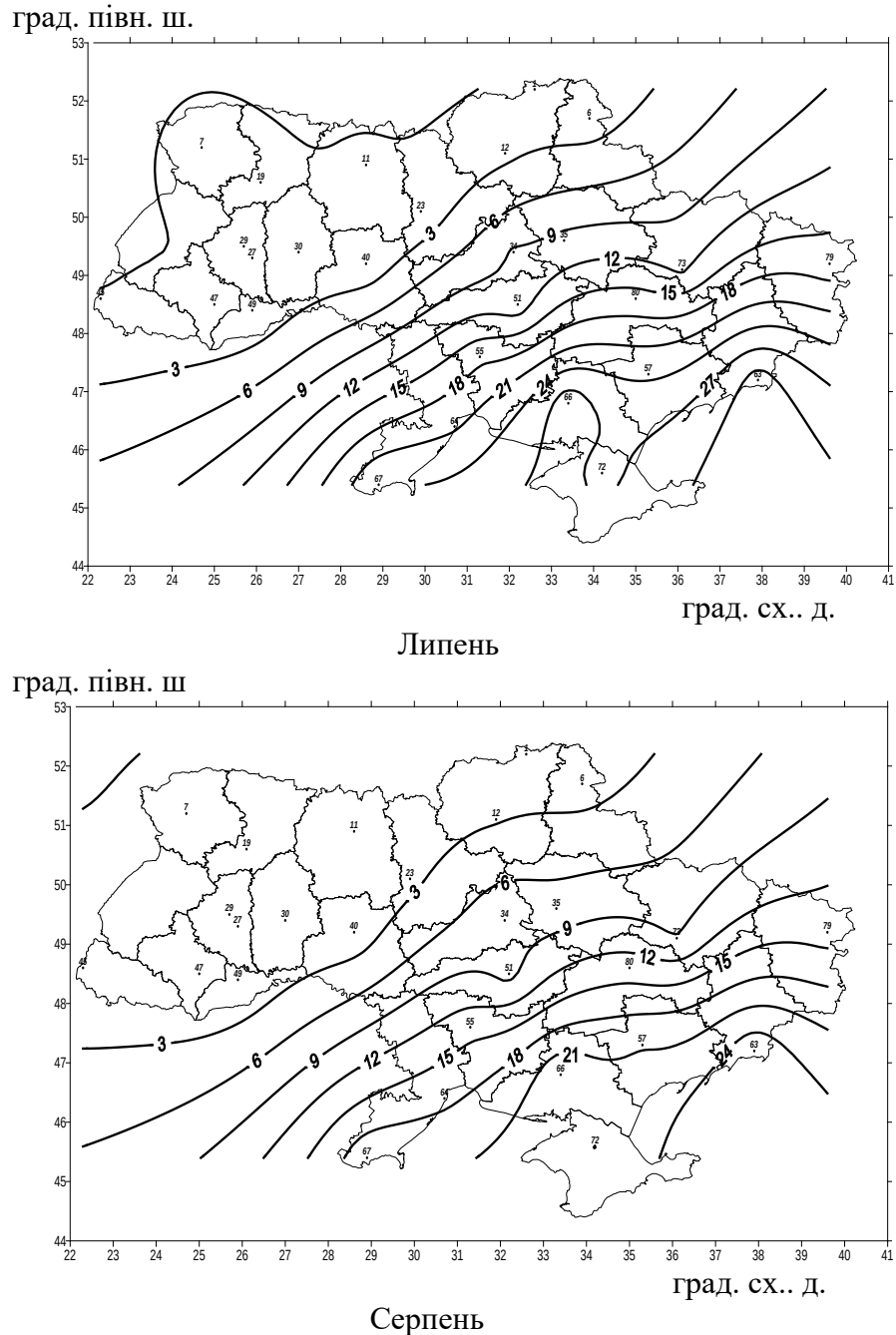


Рис. 5.11. Просторовий розподіл повторюваності (%) кількості днів з середньою добовою температурою вищою за 25 °С

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 °C 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.

град. півн. ш

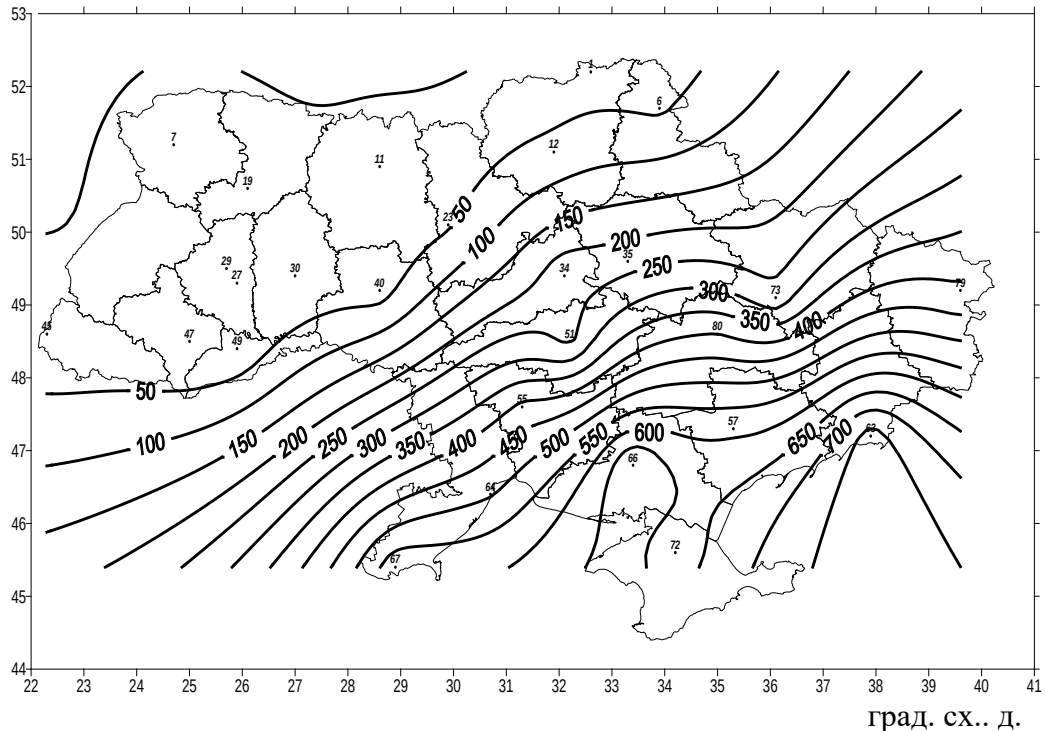


Рис. 5.12. Просторовий розподіл сумарної за літо кількості днів з середньою добовою температурою вищою за 25 °C

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 міру невизначеності [23].

5.5. 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 [5] в рамках організації робіт зі зниження передбачуваних або таких, що відбулися, збитків, пов'язаних з кліматичними ризиками.

Як вже згадувалось, у сучасному суспільстві темі ризиків, зокрема гідрометеорологічних, приділяється значна увага. Ряд дослідників під гідрометеорологічними ризиками розуміють статистичні імовірності настання тих або інших аномальних або небезпечних явищ погоди [2, 8]. Найчастіше використовують непрямі методи для розрахунку соціально-економічних складових ризиків, тому що існує проблема відсутності достовірної і доступної інформації щодо економічних збитків від НЯ, кількості загинувших і постраждалих людей в результаті прояву окремих небезпечних явищ.

Авторами [8, 9] запропоновано співвідносити економічні втрати з чисельністю населення, що дозволяє оцінити уразливість на основі даних про ВВП на одного мешканця. При цьому вважається, що збитки, завдані відповідним НЯ, компенсуються за рахунок ВВП у перерахунку 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 і 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). Рядом дослідників запропоновано характеристики критеріїв НЯ. Так високими вважаються максимальні за добу температури повітря зі значеннями $\geq 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ будь-якої тривалості. Аномально жарка погода характеризується максимальною температурою $\geq 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ протягом 5 діб і більше. Сильна жара має ознаки: значення максимальної температури досягають $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ і вище протягом 3 діб і більше [3].

Нами визначено соціальні і економічні збитки, зумовлені екстремальними проявами температурного режиму (високою температурою і середньою добовою температурою вищою за $25\text{ }^{\circ}\text{C}$) в різних регіонах України на основі даних сценарію RCP4.5 з 2011 по 2050 рр..

Абсолютний максимум в модельних рядах максимальної температури очікується у липні 2041 року ($41,9\text{ }^{\circ}\text{C}$, ст. Нова Каховка); у цей же час ще на низці станцій сходу і півдня України максимальна за добу температура може перевищувати сорокаградусну позначку. Абсолютний максимум середньої добової температури очікується також у 2041 році ($34,2\text{ }^{\circ}\text{C}$, ст. Нова Каховка).

Максимальні за добу температури повітря $\geq 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 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, в 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 (1179 днів, Клепініне) (рис. 5.13).

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 % (Клепініне), у перехідні сезони від 0,0 до 8,9 % (Клепініне).

Максимум кількості днів з середньою добовою температурою вищою за $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ на території країни буде на ст. Красноармійськ (Донецька область), де до 2050 року очікується 787 таких днів (рис. 5.14). У цьому ж місці передбачається і найбільша кількість їх серій – 249.

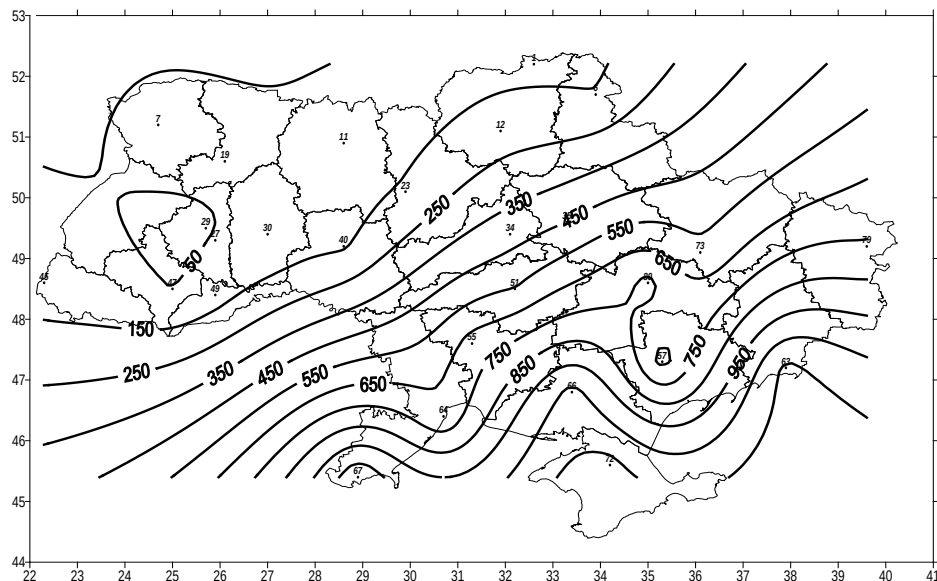
Таблиця 5.9. Характеристики температурних ризиків (періоди високих температур)
на станціях. 2011-2050 рр.

Назва станції	Червень			Липень			Серпень			Вересень		
	s	n	τ	p	s	n	τ	p	s	n	τ	p
Семенівка	8	3	5	7,5	39	28	3	45,0	70	32	9	57,5
Глухів	7	5	2	10,0	56	32	4	52,5	85	38	7	60,0
Ковель	8	4	5	10,0	29	18	3	32,5	39	23	5	35,0
Коростень	7	5	2	10,0	35	23	4	37,5	55	27	9	50,0
Ніжин	16	8	6	12,5	79	39	6	62,5	104	46	9	67,5
Рівне	6	3	3	7,5	30	21	3	37,5	41	24	5	47,5
Фастів	9	5	3	12,5	66	43	4	60,0	83	42	12	60,0
Стрий	1	1	1	2,5	25	16	3	30,0	30	20	5	42,5
Тернопіль	1	1	1	2,5	20	15	3	27,5	20	13	5	27,5
Хмельницький	5	5	1	12,5	24	15	3	30,0	38	19	11	45,0
Черкаси	32	18	4	25,0	171	74	11	92,5	187	74	13	75,0
Веселий Поділ	34	16	6	30,0	187	73	12	90,0	203	69	15	77,5
Вінниця	7	5	2	12,5	51	35	3	52,5	77	39	11	57,5
Ужгород	0	1	1	2,5	58	36	5	45,0	44	25	6	42,5
Коломия	3	3	1	7,5	26	18	2	30,0	18	12	5	22,5
Чернівці	14	10	3	17,5	51	33	4	47,5	45	25	5	42,5
									2	2	1	5,0

Кінець таблиці 5.9																
Назва станції	Червень				Липень				Серпень				Вересень			
	s	n	τ	p	s	n	τ	p	s	n	τ	p	s	n	τ	p
Бобринець	39	20	5	30,0	231	85	13	90,0	255	94	15	87,5	26	16	3	30,0
Вознесенськ	9	28	5	45	321	106	12	90,0	324	100	18	87,5	39	18	3	35,0
Пришиб	80	36	5	52,5	429	125	18	100	410	118	18	95,0	58	26	6	47,5
Красноармійськ	100	42	9	60,0	520	133	25	100	481	138	17	100	68	34	5	5,0
Одеса	45	20	7	37,5	305	99	14	92,5	297	91	17	90,0	20	12	3	27,5
Нова Каховка	99	39	8	60,0	476	131	18	100	442	119	20	97,5	60	27	5	47,5
Ізмаїл	96	47	6	65,0	497	151	16	100	456	125	20	95,0	66	36	6	62,5
Клепінине	107	51	8	65,0	530	144	26	100	481	128	19	100	60	34	5	55,0
Харків	37	22	6	35,0	236	89	14	92,5	261	92	9	95,0	32	18	5	30,0
Біловодськ	68	35	7	57,5	331	101	21	92,5	326	109	12	97,5	42	23	3	35,0
Кайдаки	71	31	1	50,0	326	108	14	97,5	331	105	18	95,0	50	23	6	40,0

Примітка. s – загальна кількість днів, n – кількість періодів, τ – максимальна безперервна тривалість періодів,
p – повторюваність періодів, %

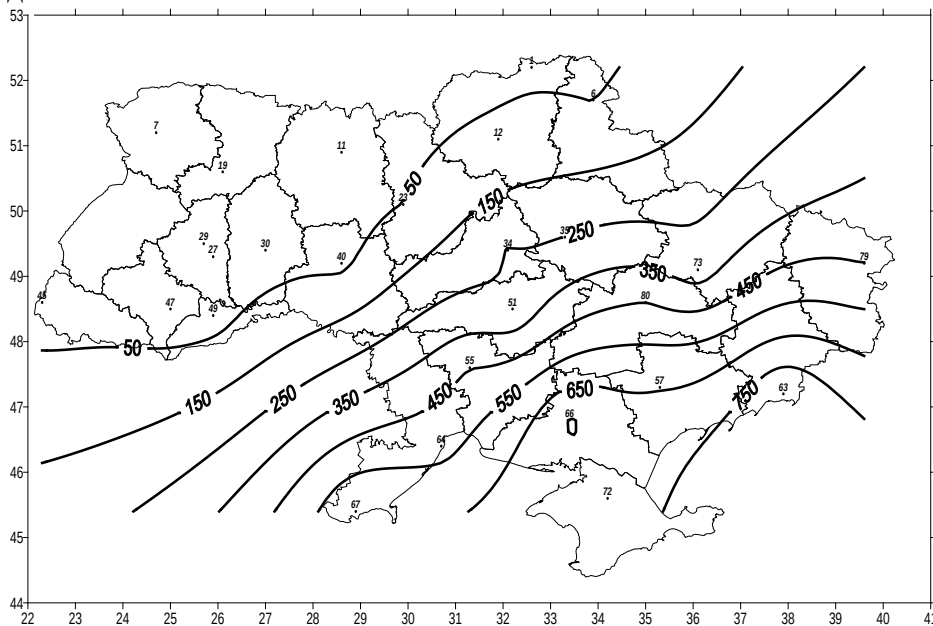
град. півн. ш.



град. сх..д.

Рис 5.13. Просторовий розподіл суми загальної тривалості періодів з високою температурою за рік. 2011-2050 рр.

град. півн. ш.



град. сх..д.

Рис. 5.14. Просторовий розподіл суми загальної тривалості періодів з середньою добовою температурою вищою від 25 °C за рік. 2011-2050 рр.

Максимальна безперервна тривалість цих серій становитиме 25 днів (табл. 5.10). Найрідше дні з середньою добовою температурою вище 25 °C будуть спостерігатись у Передкарпатті (Коломия, 5 днів за 40 років). Максимальна безперервна тривалість їх – 2 дні.

Таблиця 5.10. Характеристики температурних ризиків (періоди з середньою добовою температурою вищою за 25 °С на станціях. 2011-2050 рр.

Назва станції	Червень				Липень				Серпень				Вересень			
	s	n	τ	p	s	n	τ	p	s	n	τ	p	s	n	τ	p
Семенівка	2	2	1	5,0	10	7	2	12,5	17	9	5	20,0	4	1	4	2,5
Глухів	1	1	1	2,5	18	10	4	17,5	23	11	6	25,0	2	1	2	2,5
Ковель	3	2	2	5,0	12	10	2	20,0	13	8	4	20,0	-	-	-	-
Коростень	1	1	1	2,5	8	8	4	7,5	14	8	5	20,0	-	-	-	-
Ніжин	1	1	1	2,5	30	16	3	32,5	35	17	7	32,5	3	1	3	2,5
Рівне	1	1	1	2,5	9	9	3	12,5	11	7	3	15,0	-	-	-	-
Фастів	1	1	1	2,5	14	11	2	20,0	29	16	3	32,5	-	-	-	-
Стрий	-	-	-	-	5	5	1	12,5	8	5	3	7,5	-	-	-	-
Тернопіль	-	-	-	-	4	4	1	10,0	6	3	3	7,5	-	-	-	-
Хмельницький	-	-	-	-	8	6	2	12,5	7	3	4	7,5	-	-	-	-
Черкаси	10	10	3	12,5	117	52	10	70,0	106	46	8	70,0	3	2	2	5,0
Веселий Поділ	12	8	3	12,5	121	49	13	70,0	92	42	7	55,0	6	2	5	5,0
Вінниця	-	-	-	-	13	9	3	20,0	15	10	5	20,0	-	-	-	-
Ужгород	-	-	-	-	1	1	1	2,5	14	7	5	12,5	-	-	-	-
Коломия	-	-	-	-	3	2	2	5,0	2	2	1	5,0	-	-	-	-
Чернівці	-	-	-	-	8	6	2	15,0	7	5	3	10,0	-	-	-	-

Кінець таблиці 5.10																
Назва станції	Червень				Липень				Серпень				Вересень			
	s	n	τ	p	s	n	τ	p	s	n	τ	p	s	n	τ	p
Бобринець	12	8	3	17,5	126	51	11	77,5	99	43	9	65,0	2	2	1	5,0
Вознесенськ	23	10	6	22,5	215	73	11	85,0	173	67	16	77,5	5	3	2	7,5
Пришиб	37	18	4	35,0	292	78	13	90,0	258	81	16	85,0	10	5	5	12,5
Красноармійськ	59	24	5	40,0	391	108	25	95,0	325	110	10	97,5	12	7	5	17,5
Одеса	26	14	4	25,0	255	78	14	87,5	214	69	16	80,0	5	3	3	7,5
Нова Каховка	52	22	7	40,0	359	101	16	92,5	292	77	19	85,0	14	8	3	15,0
Ізмаїл	38	19	5	40,0	297	92	13	87,5	249	73	19	85,0	6	4	3	7,5
Клепінине	36	16	8	37,5	322	101	6	90,0	259	89	16	85,0	8	3	6	7,5
Харків	10	8	3	15,0	143	52	8	75,0	112	51	7	70,0	4	1	4	2,5
Біловодськ	31	17	4	27,5	210	65	17	82,5	176	65	8	80,0	4	1	4	2,5
Кайдаки	32	17	6	35,0	201	63	12	82,5	169	62	9	75,0	8	4	5	10,0

Примітка. s – загальна кількість днів, n – кількість періодів, τ – максимальна безперервна тривалість періодів,
p – повторюваність періодів, %

Повторюваність днів з середньою добовою температурою вищою за 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 Коломій в обидва місяці їх кількість однакова (2 дні).

На основі здобутих даних щодо повторюваності аномальних явищ, використовуючи методику, запропоновану в роботах [8, 9], виконаємо 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. Розрахунки виконувались за формулою

$$R_{соц} = (n_i / N) \cdot (s_i / S) \cdot t_{сер} \cdot m \cdot k, \quad (5.3)$$

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); $t_{сер}$ – середня тривалість НЯ (дні); k – коефіцієнт агресивності НЯ; m – кількість мешканців на досліджуваній території [9]. 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 очікуються відповідні температурні умови, які сприятимуть формуванню ризиків. Так, наприклад, на станціях Пришиб, Красноармійськ, Нова Каховка, Ізмаїл і Клепініне 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 вищою за 25 °С будуть формуватись не кожного року: від 98 % (ст. Красноармійськ) до 5 % (ст. Коломия).

Розрахунки соціальних ризиків (табл. 5.11) показали, що найбільший ризик для країни становлять періоди високих температур головним чином у Донецькій і Дніпропетровській областях (відповідно 132,2 тис. і 101,0 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 вищою за 25 °С.

Далі проведено розрахунок можливого економічного ризику, який завдається 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] 8, 9].

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 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 $> 25^{\circ}\text{C}$
1	2	3	4	5	6
Чернігівська	1045,0	13,9	5,9	1,60	0,63
Сумська	1113,3	10,5	4,2	1,22	0,48
Волинська	1042,7	4,1	1,9	0,48	0,22
Житомирськ	1247,5	10,8	3,3	1,25	0,38
Рівненська	1161,8	5,9	1,1	0,68	0,12
Київська	4638,8	46,9	22,7	5,41	2,62
Львівська	2534,2	11,9	3,0	1,37	0,34
Тернопільська	1065,7	1,9	0,7	0,22	0,08
Хмельницька	1294,4	6,8	1,8	0,78	0,21
Черкаська	1259,2	18,4	9,5	2,12	1,10
Полтавська	1438,9	32,7	17,2	3,76	1,99
Вінницька	1602,2	13,6	4,1	1,57	0,48
Закарпатська	1259,2	3,9	1,2	0,45	0,14
Івано-Франківська	1382,3	2,8	0,4	0,32	0,05
Чернівецька	909,9	1,9	0,5	0,22	0,06
Кіровоградська	973,1	18,6	14,1	2,14	1,63
Миколаївська	1158,2	23,4	21,8	2,70	2,51
Запорізька	1753,6	32,5	46,7	3,74	5,38
Донецька	4265,1	132,2	115,5	15,24	13,31
Одеська	2390,3	79,7	71,4	9,19	8,23
Херсонська	1062,4	35,2	31,9	4,05	3,68
АР Крим	1957,8	59,7	47,0	6,89	5,43

Кінець таблиці 5.11					
1	2	3	4	5	6
Харківська	2718,6	71,0	51,0	8,19	5,88
Луганська	2205,4	56,7	45,8	6,54	5,27
Дніпропетровська	3254,9	101,0	79,9	11,64	9,21

Така 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 [3], а для середньої добової температури вищої за 25 °С – 0,2. У [8, 9] економічним ризиком пропонують називати сукупні збитки від НЯ на даній території та визначати їх як

$$R_{ек} = A \cdot R_{соц} , \quad (5.4)$$

де A – сума часток ВВП, які припадають на одного мешканця країни, за період рівний 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.

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 високих температур відповідно 15,24 і 11,64 млн грн., від середніх добових температур вищих за 25 °С – 13,31 і 9,21 млн грн.

Результати непрямой оцінки економічних ризиків показали, що їх максимальні значення при формуванні додатних екстремальних температурних періодів очікуються у Донецькій і Дніпропетровській областях, що зумовлено максимальною густотою 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 такі властивості регіону.

Використаний у цій роботі підхід відносно простий і дозволяє одержати 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 вищою за 25 °С за умови реалізації сценарію RCP4.5 і сценарію RCP8.5 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 вищою за 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).

Найчастіше жаркі дні можливі на станціях Клепінине 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 в 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 із 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 вищою за 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 вищою за 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. Клепініне, 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 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 (1179 днів, Клепініне).

6. На станціях Пришиб, Красноармійськ, Нова Каховка, Ізмаїл і Клепініне періоди з високими температурами очікуються щорічно, на решті станцій періоди високих температур будуть спостерігатись менше ніж у 100% днів; періоди з середньою добовою температурою вищою за 25 °С будуть формуватись не кожного року: від 98 % (ст. Красноармійськ) до 5 % (ст. Коломия), створюючи ризики для соціальної активності і діяльності населення країни.

7. Розрахунки соціальних ризиків показали, що найбільший ризик для країни становлять періоди високих температур головним чином у Донецькій і Дніпропетровській областях (відповідно 132,2 тис. і 101,0 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 вищих за 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 15,24 і 11,64 млн. грн., від середніх добових температур вищих за 25 °С – 13,31 і 9,21 млн. грн..

Під час жары зростає кількість смертельних випадків переважно серед осіб похилого віку, які страждають на хронічні захворювання серцево-судинної системи, системи органів дихання, нервової системи, і 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 і впливу цих змін на їхню продуктивність. Сільське господарство є найбільш вразливою галуззю економіки України щодо коливань і 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, зумовлених змінами клімату.

В зв'язку з очікуваним підвищенням температури повітря у Північній півкулі продовольча безпека України значною мірою 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 [10].

Всі фактори, які впливають на ріст і розвиток рослин можна поділити 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 забезпечить оптимальний розвиток рослин і формування високого врожаю.

Серед основних факторів життєдіяльності найважливішим є сонячна радіація як первинне джерело енергії всіх біологічних і 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 і тепловий ефект впливу на рослини [1, 3, 6, 7].

Режим сонячної радіації та радіаційні властивості посівів є найважливішим фактором сільськогосподарського виробництва. Рослинний покрив перетворює сонячну радіацію на інші види – хімічну енергію, теплову а також обмінюється власним довгохвильовим

випромінюванням з атмосферою і 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) і 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, гущини рослин, норм і термінів зрошення, норм і термінів живлення [4, 8].

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 від 4,0 мкм.

Вплив радіації на рослини визначається у трьох напрямках:

1) *тепловий ефект* сонячної радіації. Із поглиненої рослинами сонячної енергії близько 70% перетворюється на 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 інфрачервоної радіації (БІЧР).

Ці ефекти впливу сонячної радіації поряд з іншими факторами докіль значною мірою визначають закономірності розвитку рослинного покриву. Ось чому дані щодо радіаційного режиму як на верхній межі посіву, так і всередині його, є основою 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 на 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.)

$$\sum Q_{\text{фар}} = 0,43 \sum S' + 0,57 \sum D \quad , \quad (6.1)$$

де $\sum Q_{\text{фар}}$ – сумарна фотосинтетично активна радіація, Дж/м²; $\sum S'$ – сума прямої сонячної радіації на горизонтальну поверхню, Дж/м²; $\sum D$ – сума розсіяної сонячної радіації, Дж/м².

Для приблизного розрахунку ФАР використовується також формула

$$Q_{\text{фар}} = 0,52 \sum Q \quad . \quad (6.2)$$

Сумарна радіація (Q) – сума прямої (S') і розсіяної радіації (D), що падає на горизонтальну поверхню, у цьому 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 [4, 2, 8]. Тривалість сонячного сьйва, 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:

$$Q = 12,66(SS^j)^{1,31} + 315(\sin h_o^j)^{2,1}, \quad (6.4)$$

де SS – тривалість сонячного саява за добу, год; 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 [9].

$$\eta = \frac{qY \cdot 100\%}{\sum Q_\phi}, \quad (6.5)$$

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

$$\eta_{nad} = a_n \eta_{ногл}, \quad (6.6)$$

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 і 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 дослідах 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 і 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, і площі листа 40 000м²/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 [1, 5]. *Фотосинтетичний потенціал посіву (ФПП)* – сумарна листова 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 листової 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·/га 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 [10]

$$L_{opt} = \frac{\sin \bar{h}_o}{G_L(\bar{h}_o)} \ln \frac{\bar{Q} G_L(\bar{h}_o) [\tau_o - 24c]}{24(1 - \sqrt{c}) \sqrt{c} \bar{\Pi} \sin h_o}, \quad (6.7)$$

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, год; Q – насичена інтенсивність ФАР; c – коефіцієнт витрат на дихання; $\bar{\Pi}$ – інтенсивність радіації пристосування листка.

Високі врожаї одержують у тому випадку, коли площа листя буває оптимальною і фотосинтезує якомога триваліший час.

Для характеристики тривалості фотосинтетичної роботи посіву за весь вегетаційний період або його відрізок запропоновано вираз [3, 10]:

$$\Phi_n = \int_{t_1}^{t_2} L_o(t) dt, \quad (6.8)$$

де L_o – відносна площа листя, $\text{м}^2 \cdot \text{м}^{-2}$; t – час роботи площі, дні; Φ_n – має розмірність $\text{м}^2 \cdot \text{день} / \text{га}$.

Фотосинтетичний потенціал посіву знаходиться в тісному зв'язку з урожаєм. Сумарний фотосинтетичний потенціал залежить від виду і 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 [1, 3, 4, 5, 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 архітектоніка 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 [3, 6, 8].

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

виконані 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 з агрокліматичних довідників по областях України та розрахунки очікуваних показників сонячної радіації за період з 2015 по 2050 рр. за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 (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 –це Житомирська, в Лісостеповій зоні – Вінницька, в Північному Степу – Дніпропетровська, в Південному Степу – Херсонська. Динаміка надходження сонячної радіації як за даними середніх багаторічних значень, так і за розрахунками за двома сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 досить ідентична для всіх вказаних пунктів, відрізняючись числовими показниками по декадах.

За середніми багаторічними даними в районі Житомира впродовж періоду з температурою повітря вищою за 5 °С надходження сумарної радіації в базовий період було нижчим впродовж всього періоду вегетації і в перші чотири декади коливалося 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-ї до 13-ї декади очікувані значення сонячної радіації за сценаріями однакові з середніми багаторічними. Починаючи з 13-ї 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, (год)	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 RCP4.5 (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 RCP8.5 (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 RCP4.5 (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 8.5 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 ·період)) 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 RCP4.5·кал/(см ² ·період) 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 RCP8.5 кал/(см ² ·період) 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 ·д) 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 ·д)) 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 RCP8.5 кал/(см ² ·д)·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 таблиці 6.1												
Декади вегетації	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ст. Вінниця												
Тривалість дня, (год) 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 RCP4.5 (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 RC8.5 (BT/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 RCP4.5 (кал/(см ² ·д))	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 RCP8.5 (кал/(см ² ·д))	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 8.5 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 ·д)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
Сценарій RCP 45 (кал/(см ² ·д)) 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 RCP8.5 (кал/(см ² ·д)) 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 таблиці 6.1												
Декади вегетації	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ст. Дніпропетровськ												
Тривалість дня, (год) 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 ·) 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 4.5 (Вт/м ²) 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
СценарійRCP 8.5 (Вт/м ²) 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 RCP4.5 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
СценарійRCP8.5 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 ·період)) 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 RCP4.5 кал/(см ² ·період) 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 RCP8.5 кал/(см ² ·період) 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 ·д) 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 RCP4.5 (кал/(см ² ·д)) 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 ·д)) 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

Кінець таблиці 6,1												
Декади вегетації	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ст, Херсон												
Тривалість дня, (год) 1986 – 2005 pp,	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 2005pp,	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 RCP4.5 (Вт/м ²) до 2050 pp	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 RCP8.5 (Вт/м ²) до 2050 p,	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) 1986-2005pp	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 RCP4.5 (кал/(см ² ·хв)) до 2050 p,	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 RCP8.5 (кал/(см ² ·хв)) до 2050 p,	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 RCP4.5 (кал/(см ² ·період)) до 2050 p,	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 RCP8.5 (кал/(см ² ·період)) до 2050 p,	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 ·д)) 1986-2005pp,	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 RCP4.5 (кал/(см ² ·д)) до 2050 p	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 RCP8.5 (кал/(см ² ·д)) до 2050 p,	205,6	226,7	220,8	144,4	109,8	99,88	115,5	155,0	308,0	380,5	407,1	376,5

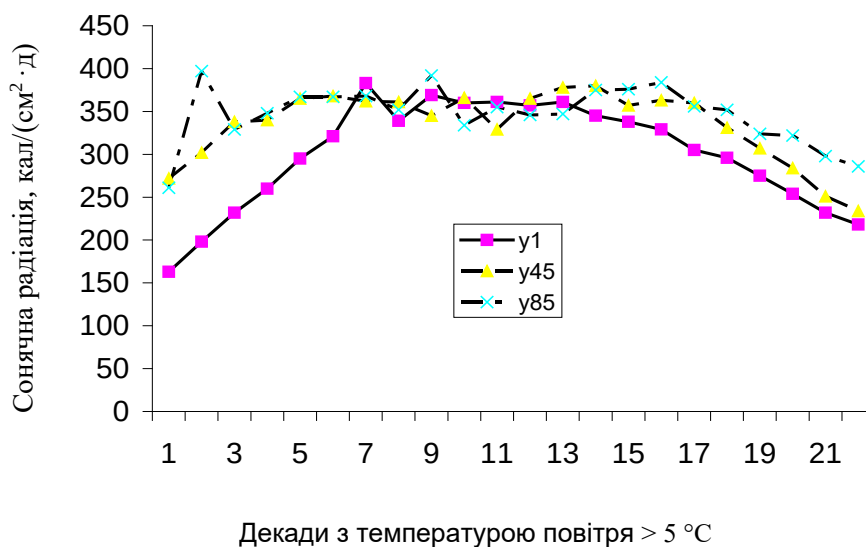


Рис. 6.1. Динаміка сонячної радіації за період з температурами повітря >5 °C (ст. Житомир)

Як видно із табл. 6.1 і рис. 6.2 в районі Вінниці динаміка сонячної радіації трохи вища за значеннями, ніж в Житомирі.

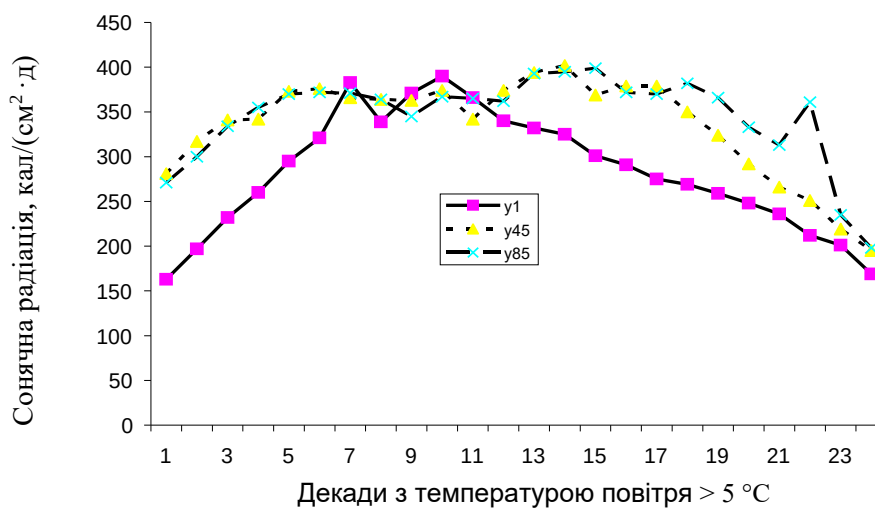


Рис. 6.2. Динаміка сонячної радіації за період з температурами повітря > 5 °C (ст. Вінниця)

З 7-ї по 11-ту декади надходження сонячної радіації в базовий період співпадає з розрахунками за сценаріями. Починаючи з 12-ї декади надходження сонячної радіації за сценаріями перевищуватиме базовий період на 140 кал/(см²·д). До 17-ї декади, тобто другої декади вересня очікуване надходження сумарної радіації за сценарієм RCP8.5 буде більшим, ніж за сценарієм RCP 4.5 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.

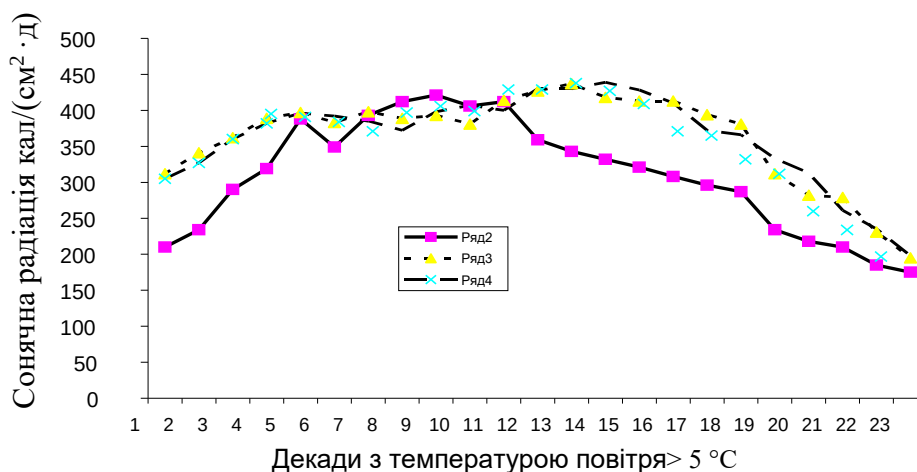


Рис. 6.3. Динаміка сонячної радіації за період з температурами повітря > 5 °C (ст. Дніпропетровськ)

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-ту декаду вегетації, коли досягли максимальних значень. Потім знову поступово знижувались і наприкінці періоду становили 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-ї декади вегетації за середніми багаторічними даними надходження сумарної радіації було значно нижчим, ніж розраховане за сценаріями. Різниця

становила $150 \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{д})$ (табл. 6.1, рис. 6.4). Після 11-ї декади до кінця періоду розраховані за сценаріями значення сумарної радіації співпадали з середніми за базовий період.

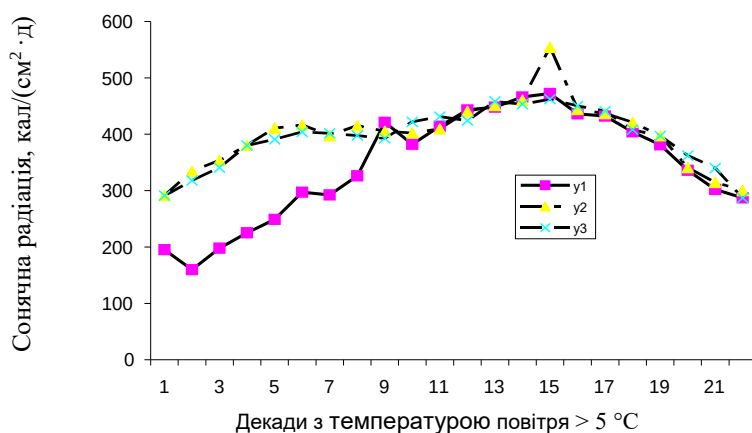


Рис. 6.4. Динаміка сонячної радіації за період з температурами повітря $> 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (ст. Херсон)

Аналіз динаміки *інтенсивності фотосинтетично активної радіації* (ФАР) по окремих станціях представлено на (рис. 6.5 – 6.8) та в табл.. 6.1.

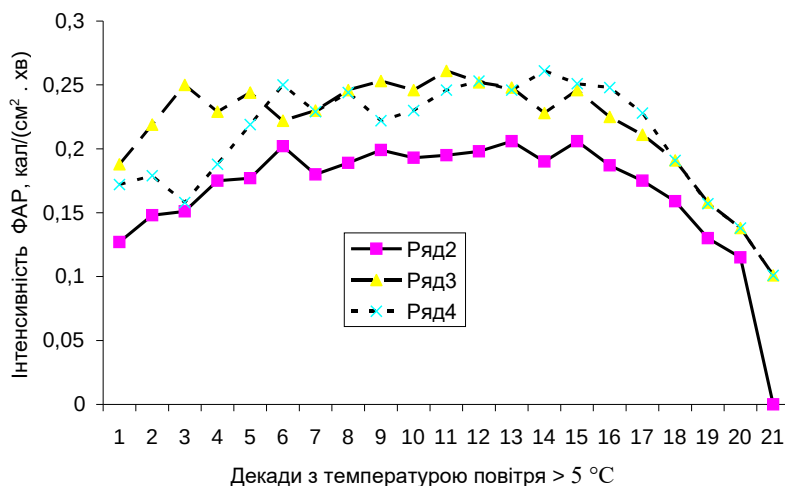


Рис. 6.5. Динаміка інтенсивності ФАР впродовж періоду з температурами повітря $> 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$. (Житомир):
1 – середня багаторічна; 2 – RCP 8.5; 3 – RCP 4.5.

Аналіз таблиці і рисунків показав, що в усіх регіонах інтенсивність ФАР за середніми багаторічними даними була нижча, ніж розраховані значення її за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5.

Інтенсивність сонячної радіації в районі ст. Житомир за базовий період змінювалась від 0,13 кал/(см².хв) на початку періоду, досягала максимальних значень від сьомої до п'ятнадцятої декади періоду з температурами > 5 °С – 0,20 кал/(см².хв), потім починала знижуватись до кінця періоду.

Очікувана інтенсивність ФАР за сценарними даними починалась з позначки 0,175 кал/(см².хв), зростатиме до 3 декади до 0,25 кал/(см².хв) і потім, незначно коливаючись, не буде змінюватись до 16-ї 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 кал/(см².хв). Найвищі значення інтенсивності ФАР і за середніми багаторічними і за розрахованими даними відзначаються в період з шостої до 18-ї декади періоду і становлять відповідно 0,20 – 0,23 та 0,24 – 0,25 кал/(см².хв). З 18-ї декади інтенсивність ФАР зменшується (рис. 6.6).

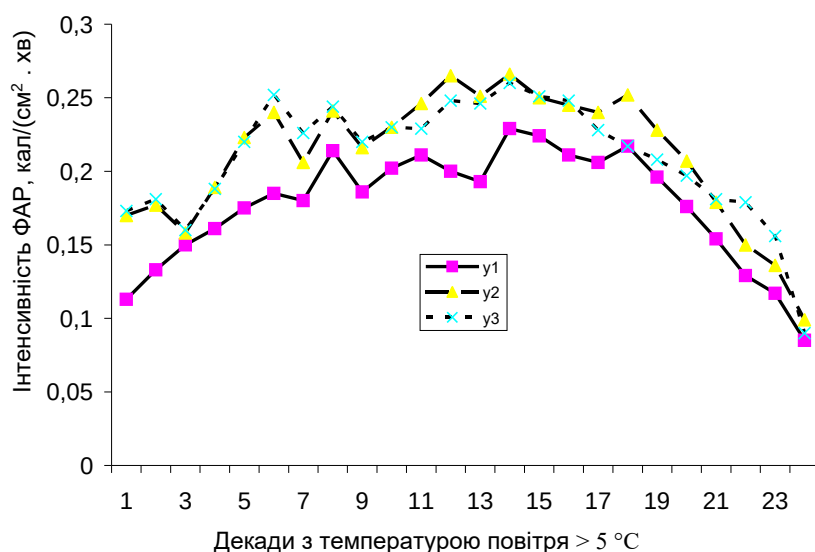


Рис. 6.6. Динаміка інтенсивності ФАР впродовж періоду з температурами повітря >5 °С. (Вінниця):
1 – середня багаторічна, 2 – RCP 4.5; 3 – RCP 8.5.

В районі Дніпропетровська коливання інтенсивності ФАР впродовж періоду з температурами повітря > 5 °С відзначається більш різкими коливаннями в базовий період, особливо в травні, червні та липні місяцях.

Розраховані величини інтенсивності ФАР за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 відзначатимуться меншими коливаннями і будуть мати майже однакові значення за винятком 14-ї декади, коли спостерігатиметься зменшення впродовж однієї декади інтенсивності ФАР з 0,32 кал/(см².хв). до 0,13 кал/(см².хв) за сценарієм RCP4.5. Крім того, за сценарієм RCP4.5 різко зросте інтенсивність ФАР у 18-ту декаду періоду до 0,42 кал/(см².хв) (рис. 6.7, табл. 6.1).

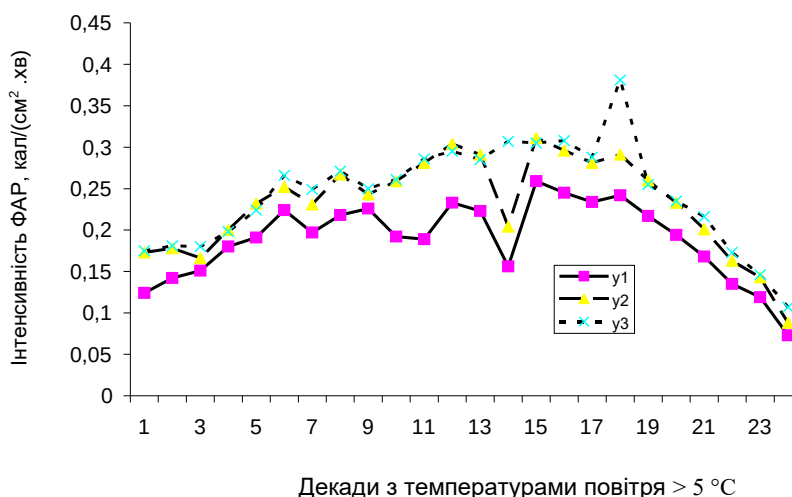


Рис. 6.7. Динаміка інтенсивності ФАР за період з температурами повітря > 5 °C (ст. Дніпропетровськ):
1 – середня багаторічна, 2 – RCP4.5; 3 – RCP8.5.

Аналіз динаміки інтенсивності ФАР впродовж періоду з температурами повітря > 5 °C в районі Херсона 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 десяту 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).

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.

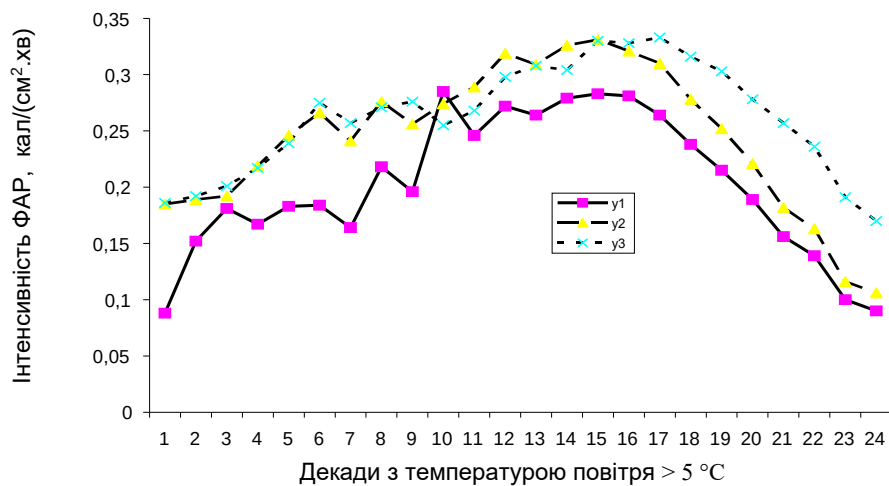


Рис. 6.8. Динаміка інтенсивності ФАР за період з температурами повітря вищими за 5 °C (ст.Херсон):
1 – середня багаторічна, 2 –RCP4.5; 3 – RCP8.5

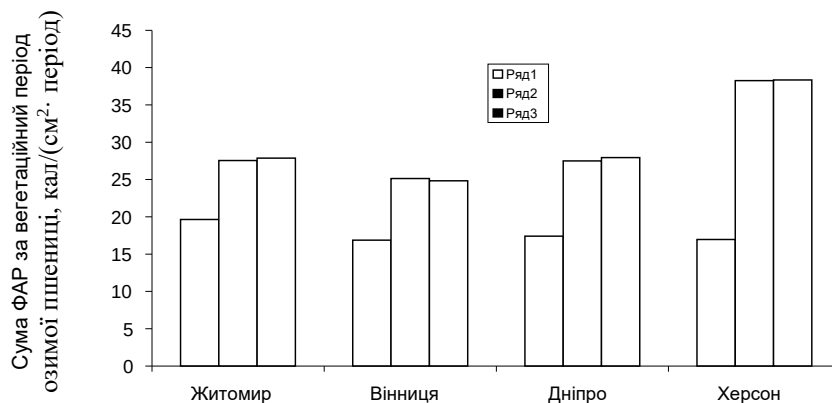


Рис. 6.9. Порівняльна характеристика надходження ФАР за вегетаційний період зернових культур:
1 – середні багаторічні; 2 – RCP4.5; 3 – RCP8.5

Характеристики динаміки радіаційного балансу рослинного покриву впродовж періоду з температурою повітря вищою за 5 °C 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. З 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).

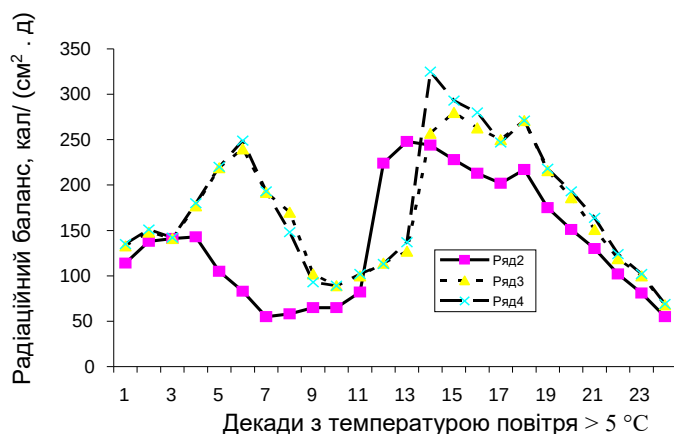


Рис. 6.10. Динаміка радіаційного балансу за період з температурами повітря вищими за 5 °C (ст. Житомир)

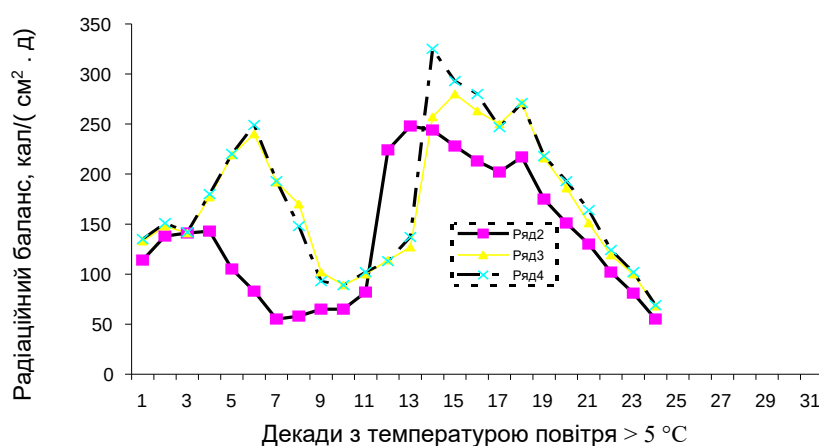


Рис. 6.11. Динаміка радіаційного балансу за період з температурами повітря > 5 °C (ст. Вінниця)

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 кал/(см²·д) в шосту декаду періоду, потім різко зменшується до 98 кал/(см²·д) в дев'яту декаду.

З десятої декади радіаційний баланс зростатиме і досягне максимальних значень в тринадцяту декаду - $345 \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{д})$. В цю ж декаду значення радіаційного балансу за сценарними розрахунками будуть перевищувати середні багаторічні на $50 - 75 \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{д})$. 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 $75 \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{д})$ піднімається в третю декаду періоду до $175 \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{д})$. З четвертої по сьому декади радіаційний баланс рослинного покриву зменшується до $50 \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{д})$. Починаючи з восьмої декади, він спочатку поступово зростає, а з дев'ятої декади різко зростає до $395 \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{д})$, далі поволі підвищується до тринадцятої декади і починає зменшуватись і наприкінці періоду становить $53 \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{д})$ (рис. 6.12).

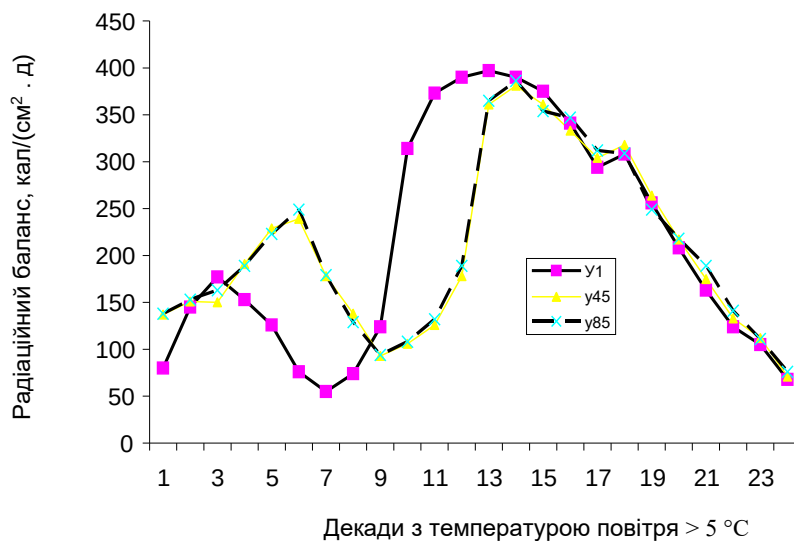


Рис. 6.12. Динаміка радіаційного балансу за період з температурами повітря $> 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (ст. Дніпропетровськ)

Слід відзначити, що з дев'ятої до п'ятнадцятої декади в районі Дніпропетровська середнє багаторічне значення радіаційного балансу перевищує сценарні його значення на $250 \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{д})$, а з п'ятнадцятої декади вони майже однакові до кінця періоду.

Як видно із рис. 6.13, дещо інша динаміка радіаційного балансу в районі Херсона. Середні багаторічні значення радіаційного балансу менші, ніж розраховані за сценаріями до 2050 року. З початку періоду до десятої декади різниця між його значеннями коливалась від 50 кал/(см²·д) до 128 кал/(см²·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 кал/(см²·д). Починаючи з 18 декади, за сценарієм RCP8.5 радіаційний баланс до кінця періоду вищий від значень базового періоду на 18 кал/(см² ·д), вищий від значень за сценарієм RCP4.5 на 8 – 10 кал/(см² ·д).

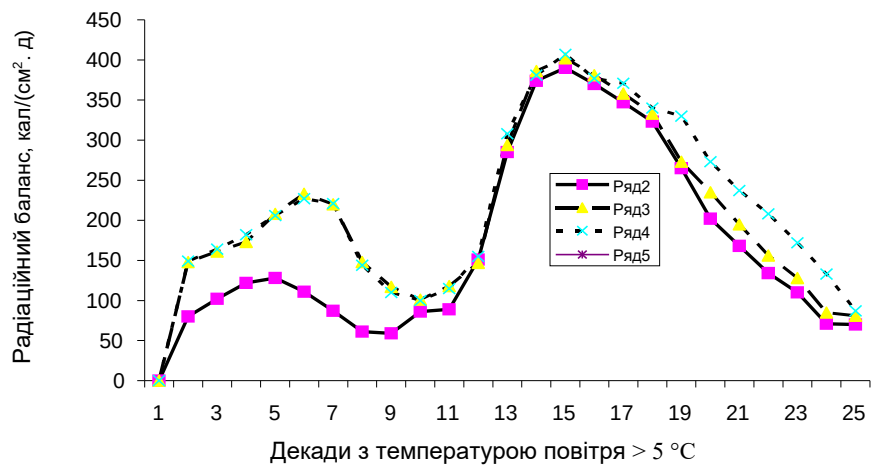


Рис. 6.13. Динаміка радіаційного балансу за період з температурами повітря > 5 °C (ст. Херсон)

Підвищення радіаційного балансу впродовж всього періоду з температурами повітря > 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 сторіччя 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 потребує 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 і в поточному сторіччі активізувалась. Це спричинило часові зрушення розвитку природних процесів, істотне підвищення температури повітря, збільшення частоти екстремальних природних явищ тощо[1, 7, 10].

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 і екстремальних (небезпечних) погодних явищ. За прогнозами провідних вчених і спеціалістів в найближчі десятиріччя зміни клімату за своїми розмірами та інтенсивністю будуть переважати ті тенденції, які спостерігались в останнє десятиріччя. Сучасне потепління зумовлює значну зміну агрокліматичних умов росту, розвитку та формування продуктивності сільськогосподарських культур. Воно супроводжується істотним підвищенням температури повітря у зимові місяці, збільшенням кількості тривалих відлиг, часовим зрушенням розвитку природних процесів, змінами тривалості сезонів року, подовженням беззаморозкового періоду і тривалості вегетаційного періоду сільськогосподарських культур, збільшенням теплозабезпеченості вегетаційного періоду. Можливе зростання частоти екстремальних погодних явищ, загальне зниження вологості ґрунтів і 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 зменшуючи їхню продуктивність [1, 4, 5, 7, 10]. У зв'язку з очікуваним підвищенням температури повітря у

Північний 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 і формування високого врожаю. Кліматичні зміни на майбутнє розраховуються з використанням кліматичних моделей. Глобальні кліматичні моделі є основними інструментами, що використовуються для проектування тривалості й 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 [6, 7].

Сценарії RCP визначаються приблизною сумарною величиною радіаційного впливу до 2100 року порівняно з 1750 р.: 2,6 Вт/м² для RCP2.6; 4,5 Вт/м² для RCP4.5; 6,0 Вт/м² для RCP6.0 і 8,5 Вт/м² 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) [6, 7].

Для комплексної оцінки впливу змін клімату на сільське господарство найчастіше використовувались агрокліматичні показники – характеристики радіаційного, теплового і режиму вологозабезпеченості в цілому, і, в особливості, вегетаційного періоду. Виходячи з вищевказаного, аналіз змін температурного режиму по території України виконувався за періоди: 1986-2005рр. (взятий як базовий період) за матеріалами, наведеними в [1], і за період 2021-2050 рр. 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 [6, 1].

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.[6]. В своїх дослідженнях зупинимось на методі біологічних сум температур, запропонованому 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 $> 0, 5, 10, 15$ °C;
- суми позитивних температур повітря за період з температурами $> 0, 5, 10, 15$ °C;
- 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, береться дата стійкого переходу температури повітря через 0 °C в бік підвищення температури повітря, а за початок зими - дата стійкого переходу температури повітря через 0 °C в бік від'ємних температур [8].

В табл.6.2 представлена порівняльна характеристика середніх багаторічних дат переходу температури повітря через 0 °C навесні і восени, тривалості періоду з температурою повітря > 0 °C, сум температур > 0 °C, середніх температур січня і липня, амплітуд температур з такими ж показниками, розрахованими за кліматичними сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 по природно – кліматичних зонах України.

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 °C 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 $18,6$ °C. Це спричинить зменшення амплітуди температури повітря до $21,3$ °C, а також зменшення суми температур за період до 2900 °C, що нижче від суми базового періоду на 180 °C.

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 °C навесні та восени буде спостерігатись відповідно на 8 і 6 днів раніше, ніж в базовий період. Середня температура повітря в січні становитиме $-4,1$ °C, в липні $-18,8$ °C, в результаті чого сума температур за період буде нижча від середньої за базовий період на $80 - 90$ °C.

В зоні Лісостепу в умовах стабілізації викидів парникових газів в атмосферу дати стійкого переходу температури повітря через 0 °C 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 – $3,2$ °C та $19,1$ °C, що нижче від середніх базового періоду на $0,3$ °C. Через зниження температур повітря влітку суми температур зменшаться майже на 300 °C в порівнянні з базовим періодом.

Таблиця 6.2. Порівняльні характеристики температурного режиму за період з температурою повітря $> 0^{\circ}\text{C}$ 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 –2005рр.	3.03	2.11	265	3227	-3,4	20,4	23,7
Сценарій RCP4.5							
2021-2050 рр.	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

При реалізації сценарію RCP8.5 тривалість періоду з температурою повітря $> 0^{\circ}\text{C}$ становитиме 253 дні, що на 12 днів коротше від базового

періоду. Сума температур $> 0^{\circ}\text{C}$ становитиме 3034°C , що менше від середньої багаторічної суми на 196°C . Слід зазначити, що в Лісостеповій зоні, як і в Поліссі, спостерігатиметься зниження середньої температури повітря за січень майже на 1°C і за липень – на $1,3^{\circ}\text{C}$, в результаті чого значення амплітуди температури зросте до $25,3^{\circ}\text{C}$.

В Північному Степу в разі реалізації сценарію RCP4.5 дати переходу температури повітря через 0°C навесні і восени будуть наставати в терміни, близькі до середніх багаторічних значень, то ж і тривалість періоду буде майже близька до тривалості в базовий період. Середня температура січня зросте на $1,2^{\circ}\text{C}$, в липні буде на рівні середнього багаторічного значення. Отже і сума температур за період буде дорівнювати сумі температур базового періоду і становитиме 3400°C .

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 близько 3490°C . 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 вищі, ніж за сценарієм RCP4.5. Так навесні дати переходу температури повітря будуть наставати раніше відповідно на 36 і 23 дні, восени – на 17 днів пізніше. Тривалість періоду зросте до 318 – 338 днів. Суми температур за обома сценаріями очікуються $3890 - 3980^{\circ}\text{C}$. Температура в січні зросте до $0,3 - 0,9^{\circ}\text{C}$, що на $1,6^{\circ}\text{C}$ 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 > 5 та $> 10^{\circ}\text{C}$. Розглянемо, як зміняться терміни настання дат переходу температури повітря через 5°C 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°C 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.

Середня багаторічна тривалість дня з температурами повітря $> 5^{\circ}\text{C}$ становила відповідно 206, 212, 213 і 236 днів. Розрахунки за обома сценаріями показали, що навесні перехід температури повітря через 5°C наставатиме пізніше в Поліссі на 4 – 7 днів, у Лісостепу – на 12 днів. В Степовій зоні ці терміни співпадатимуть з датами базового періоду.

Таблиця 6.3. Дати стійкого переходу середньої добової температури повітря через 5, 10, 15 °C і тривалість періодів з цими температурами

Період	Дати переходу температури повітря через межі						Кількість днів з температурою повітря рівною або вищою за		
	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.Y	1.YI	30.YIII	30.IX	25.X	197	153	92
RCP8.5	13.IV	1.Y	1.YI	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.Y	8.IX	1.X	27.X	204	150	104
RCP8.5	12.IV	21.IV	1.YI	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.Y	19.IX	10.X	29.X	210	172	136
RCP8.5	1.IV	21.IV	12.Y	15.IX	5.X	27.X	210	172	135
Південний Степ									
1986– 2005pp	21.III	15.IV	12.Y	25.IX	19.X	11.XI	236	186	136
RCP4.5	3.IV	11.IV	12.Y	20.IX	20.X	10.XI	215	181	131
RCP8.5	22.III	21.IV	11.Y	28.IX	20.X	10.XI	234	182	134

Слід відзначити, що у Південному Степу навесні за сценарієм RCP4.5 терміни переходу температури повітря через 5 °C наставатимуть пізніше на 13 днів. Восени терміни переходу температури повітря через 5 °C будуть співпадати з середніми багаторічними в усіх регіонах за винятком Полісся, де вони будуть наставати на 4 – 5 днів раніше. Тривалість періоду з температурами > 5 °C 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 на 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 > 5 °C зміняться і суми температур в разі реалізації обох сценаріїв.

Аналіз таблиці 6.3 показав, що в середньому багаторічному дати переходу температури через 10 °C навесні наставали в Поліссі на початку третьої декади квітня, в Лісостепу і Північному Степу 17 – 19 квітня, в Південному Степу – в середині другої декади квітня. Восени ці дати відзначались: в Поліссі – 1 жовтня, Лісостепу – 3 жовтня, Північному Степу - 7 жовтня, в Південному Степу – 19 жовтня. Тривалість періоду з температурами повітря > 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 і Південному Степу будуть співпадати із середніми багаторічними за обома сценаріями і лише в Північному Степу ці дати будуть незначно відхилятися від середніх багаторічних: за першим сценарієм вони наставатимуть пізніше на 3 дні, за другим сценарієм – на два дні раніше від середніх багаторічних. Тривалість періоду з температурами повітря > 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 нижча ніж в базовий період.

Як видно з табл. 6.4 в разі реалізації будь-якого сценарію в районі Полісся і Північного Степу суми температур > 5 °C залишаться майже на рівні середніх багаторічних і становитимуть відповідно 2800 і 3010 °C.

В районі Лісостепової зони вони будуть нижчі від середніх багаторічних на 230 – 280 °C і становитимуть 2400 – 2500 °C. В Південному Степу середні багаторічні суми становили 3690 °C. За сценарієм RCP4.5 вони очікуються на рівні середніх багаторічних, за сценарієм RCP8.5 – вищими на 100 °C.

Період з температурами повітря $> 10^{\circ}\text{C}$ – важливий для сільськогосподарського виробництва для вирощування більшості теплолюбних культур.

Таблиця 6.4. Характеристики температурного режиму за різними сценаріями

Період	Сума активних температур $>$					Температура повітря, $^{\circ}\text{C}$		
	0°C	5°C	10°C	15°C	-0°C	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

Суми температур за обома сценаріями в Поліссі та Лісостепу будуть трохи нижчі від сум температур за базовий період і становитимуть $2450\text{--}2550^{\circ}\text{C}$, нижчі від середніх багаторічних майже на $200\text{--}250^{\circ}\text{C}$. В Північному Степу очікувані суми будуть майже однакові з середніми багаторічними і становитимуть $3040\text{--}3090^{\circ}\text{C}$. І тільки в Південному

Степу очікувані суми температур вищих за 10 °С будуть вищі за обома сценаріями і становитимуть відповідно 3460 – 3410 °С (табл. 6.4).

Дати переходу температури повітря через 15 °С навесні в базовий період характеризуються зсувом 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 > 15 °С коливалась від 107 днів в Поліссі до 136 днів в Південному Степу (табл. 6.3).

Суми температур > 15 °С теж зростали з півночі на південь і становили в Поліссі – 1902 °С, Лісостепу – 2113 °С, Північному Степу – 2372 °С, Південному Степу – 2707 °С (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 і 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 радіації 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, які випадають за певний проміжок часу (рік, сезон, вегетаційний період, між фазний період і ін.), відношення фактичного водоспоживання (сумарного

випаровування) до вологопотреби рослин (випаровуваності) [8] за різних індексів, які найчастіше спираються на критерії, 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. [8].

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 прихідної частини водного балансу. Тому для більш надійної характеристики вологозабезпеченості потрібно також використовувати показники вологопотреби рослин і фактичного водоспоживання. Співвідношення цих двох величин може бути надійним показником вологозабезпеченості території [8].

Для характеристики умов зволоження аналізувались такі ж періоди як і для теплозабезпеченості: базовий 1986 – 2005 рр. і 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 $> 0, 5, 10, 15\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- 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 $> 10\text{ }^{\circ}\text{C}$.

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).

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 однаково за обома сценаріями у Поліссі і Лісостеповій зонах, до 91 % від опадів базового періоду. В 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.

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

Згідно з проведеними нами розрахунками, 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).

На території Полісся взимку і 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 становитимуть близько 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 близько 100 мм. За сценарієм RCP8.5 очікуватиметься збільшення суми опадів до 116 % від суми опадів базового періоду.

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	

Навесні за обома сценаріями зміни клімату в Лісостеповій зоні очікується суттєве збільшення суми опадів, причому 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 дорівнюватиме 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 і 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 і 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) і через 10 °C (для теплолюбних культур), то є сенс розглянути умови вологозабезпеченості періодів з температурами вищими від вказаних меж. Як видно із табл. 6.7 в розрахунковий період до 2050 року сума опадів за період з температурою повітря > 5 °C зменшиться майже на 10 % за сценарієм RCP4.5 та на 13 % за сценарієм RCP8.5.

Таблиця 6.7. Режим зволоження в Поліссі за різними сценаріями зміни клімату за періоди з температурою повітря вищою за 5 °C

Сценарії	Сума опадів за період з температурою повітря, мм		Сумарне випаровування, мм	Випаровуваність, мм	Дефіцит випаровування, мм
	> 5 °C	% від базового періоду			
1986-2005 р.	421		506	1310	805
Період 2021 – 2050 рр.					
RCP4.5	374	89	436	872	436
Різниця	47	-	70	438	364
RCP8.5	366	87	409	835	426
Різниця	52	-	97	475	379

Зміна в режимі опадів спричинить зміну випаровування і випаровуваності в зоні Полісся. Сумарне випаровування за обома сценаріями зміни клімату зменшиться відповідно на 70 і 90 мм і становитиме 436 і 409 мм.

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 передбачається за розрахунками за сценарієм RCP4.5 і становитиме 438 мм. За сценарієм RCP8.5 вона зросте до 475 мм.

Дефіцит випаровування зменшиться відповідно до 364 мм і 379 мм. Як і в період з температурами повітря $> 5^{\circ}\text{C}$, сума опадів в період з температурами повітря $> 10^{\circ}\text{C}$ 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 $> 10^{\circ}\text{C}$

Сценарії	Сума опадів за період з температурою повітря ,мм		Сумарне випаровування, мм	Випаровуваність, мм	Дефіцит випаровування, мм	ГТК
	> 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 і дефіцит випаровування. В разі реалізації сценарію RCP4.5 сумарне випаровування за період з температурами повітря $> 10^{\circ}\text{C}$ 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.

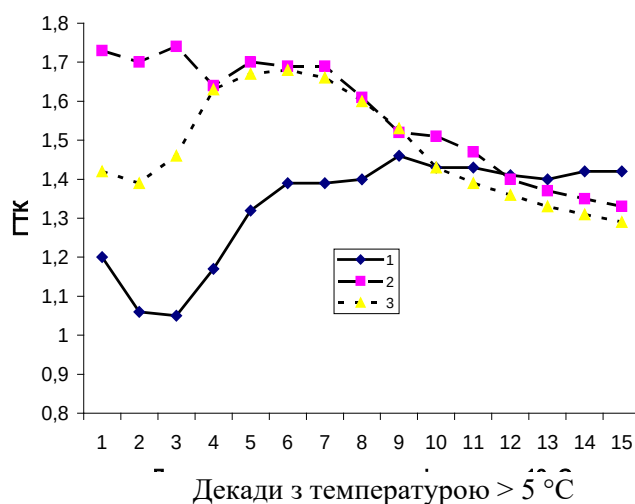


Рис. 6.14. Динаміка середніх значень ГТК в зоні Полісся (Житомир) за період з температурами $> 10^{\circ}\text{C}$.

1 – середні багаторічні ГТК за період 1986 – 2005 рр.;
2 – за сценарієм RCP4.5; 3 – за сценарієм RCP8.5.

Як видно із рис. 6.14, розраховані за сценаріями очікувані значення коефіцієнта зволоження ГТК в перші декади після переходу температури повітря через 10°C будуть вищі від середніх багаторічних значень, але вже починаючи з восьмої декади, вони матимуть значення нижчі, ніж середні багаторічні базового періоду.

Лісостепова зона. Режим зволоження в Лісостеповій зоні за період з температурами $> 5^{\circ}\text{C}$ і $> 10^{\circ}\text{C}$ має досить схожий характер з динамікою зволоження в зоні Полісся (табл. 6.9, 6.10) як за середніми багаторічними даними, так і за даними, визначеними 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 на рівні всього 4 % від середньої багаторічної величини базового періоду, за сценарієм RCP8.5 сума опадів очікується на рівні 94 % від базового періоду.

Слід відзначити, що і за період з температурами $> 5^{\circ}\text{C}$ і за період з температурами повітря $> 10^{\circ}\text{C}$ 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 6.9. Режим зволоження Лісостепу за різними сценаріями зміни клімату за період з температурою повітря $> 5^{\circ}\text{C}$

Сценарії	Сума опадів за період з температурою повітря, мм	Сумарне випаровування, мм	Випаровуваність, мм	Дефіцит випаровування, мм
	$> 5^{\circ}\text{C}$			
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

Таблиця 6.10. Режим зволоження Лісостепу за різними сценаріями зміни клімату за період з температурою повітря $> 10^{\circ}\text{C}$.

Сценарії	Сума опадів за період з температурою повітря $> 10^{\circ}\text{C}$, мм	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

Після дати переходу температури повітря через 10°C значення ГТК за обома сценаріями будуть вищі, ніж в базовий період до 9-ї 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 $> 5^{\circ}\text{C}$ в Північному Степу 387 мм, в Південному Степу – 327 мм (табл. 6.11).

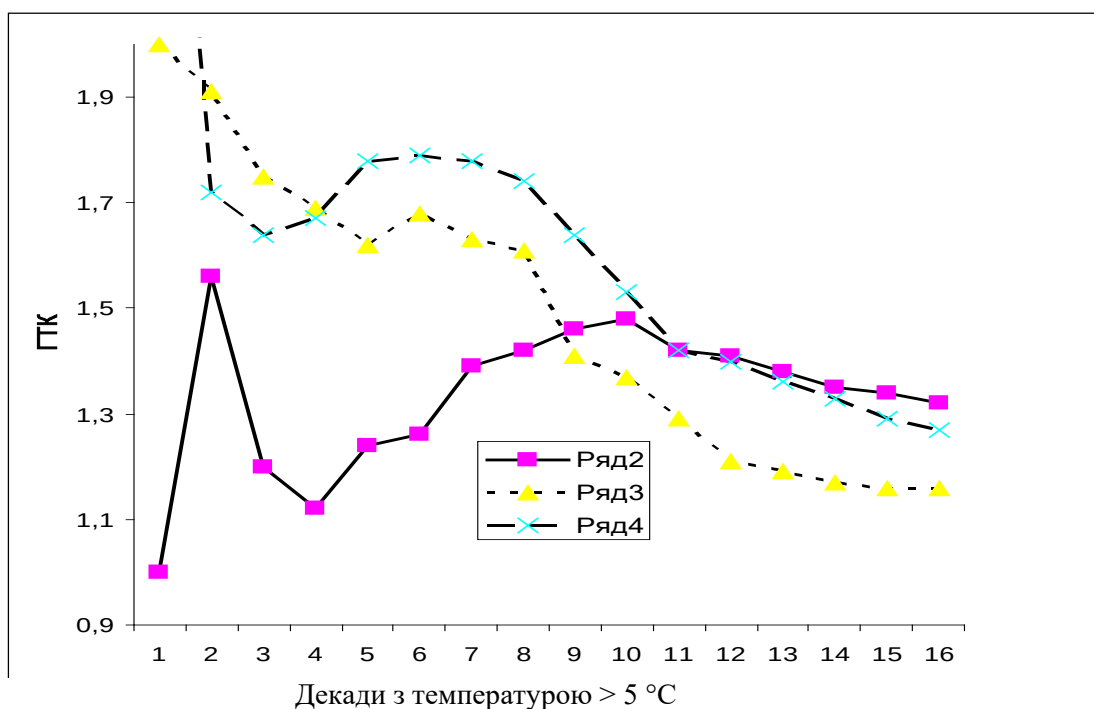


Рис. 6.15. Динаміка середніх значень ГТК за період з температурою повітря > 10 °С в Лісостеповій зоні України (Вінниця).

2 – середні значення ГТК за період 1986 – 2005 рр.;

3 - ГТК за сценарієм RCP4.5; 4 – ГТК за сценарієм RCP8.5.

Таблиця 6.11. Режим зволоження Північного Степу за різними сценаріями зміни клімату за період з температурою > 5 °С

Сценарії	Сума опадів за періоди з температурою повітря > 5 °С, мм	Сумарне випаровування, мм	Випаровуваність, мм	Дефіцит випаровування, мм
1986 – 2005рр.	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 > 5 °С і > 10 °С. За обома сценаріями суми опадів очікуються за період з температурами > 5 °С відповідно 247 і 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 $> 10^{\circ}\text{C}$ динаміка зменшення суми опадів за обома сценаріями збережеться і очікувані суми опадів становитимуть відповідно 62 і 58 % базової суми, тобто 201 і 190 мм відповідно.

Таблиця 6.12. Режим зволоження Північного Степу за різними сценаріями зміни клімату за період з температурою повітря $> 10^{\circ}\text{C}$

Сценарії	Сума опадів за період з температурою повітря $> 10^{\circ}\text{C}$, 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 і ГТК. Сумарне випаровування буде менше від базового відповідно на 96 і 84 мм, випаровуваність зменшиться на 450 – 470 мм, а дефіцит випаровування зменшиться відповідно на 342 і 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-ї декади періоду за сценаріями відбувається більш інтенсивно, ніж середніх багаторічних величин, і вже з сьомої декади періоду очікувані значення ГТК за сценаріями будуть нижчі, ніж в базовий період, особливо наприкінці періоду з температурами повітря вищими за 10°C .

В Південному Степу тенденція зменшення суми опадів за періоди з температурами $> 5^{\circ}\text{C}$ і $> 10^{\circ}\text{C}$ 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 $> 10^{\circ}\text{C}$ (табл. 6.14) за сценарієм RCP8.5.

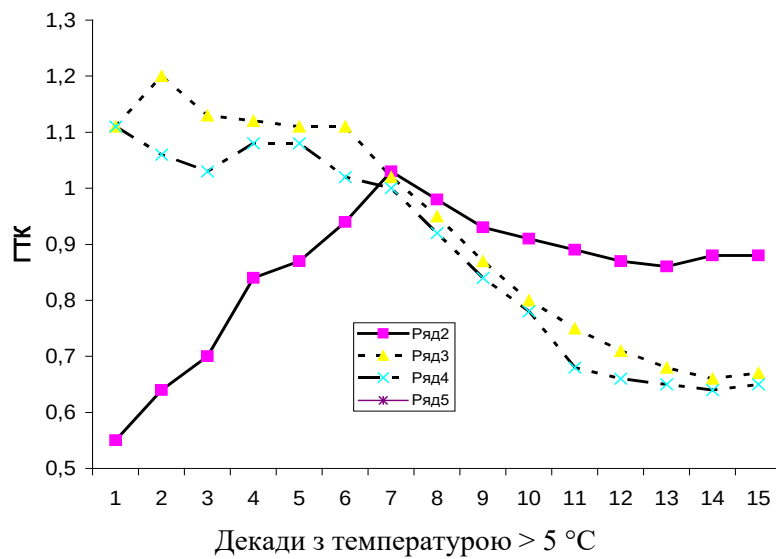


Рис. 6.16. Динаміка середніх значень ГТК за період з температурою повітря $> 10^{\circ}\text{C}$ в Північному Степу.
 2 – середні значення ГТК за період 1986 – 2005 рр.;
 3 - ГТК за сценарієм RCP4.5; 4 – ГТК за сценарієм RCP8.5.

Таблиця 6.13. Режим зволоження Південного Степу за різними сценаріями зміни клімату в період з температурами $> 5^{\circ}\text{C}$

Сценарії	Сума опадів за період з температурою повітря $> 5^{\circ}\text{C}$, мм	Сумарне випаровування, мм	Випаровуваність, мм	Дефіцит випаровування, мм
1986 - 2005р.	340	394	1327	1033
2021 – 2050 рр.				
RCP4.5	202- 59%	297	1010	713
Різниця	138	97	317	320
RCP8.5	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 і коефіцієнта 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 зросте.

Таблиця 6.14. Режим зволоження Південного Степу за різними сценаріями зміни клімату в період з температурами > 10 °С

Сценарії	Сума опадів за період з температурою повітря > 10 °С, мм	Сумарне випаровування, мм	Випаровуваність, мм	Дефіцит випаровування, мм	ГТК
1986 - 2005р.	284	394	1396	1023	0,8
2021 – 2050 рр.					
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

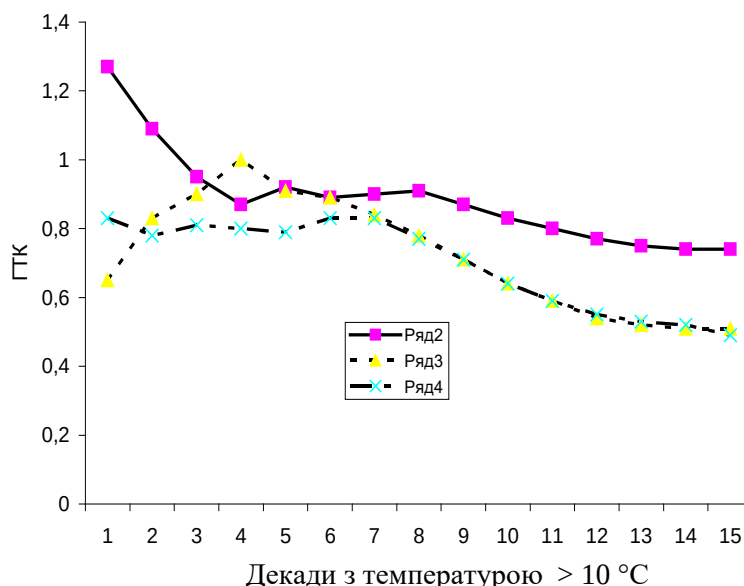


Рис. 6.17. Динаміка середніх значень ГТК за період з температурою повітря > 10 °С в Південному Степу (Херсон).
 2 – середні значення ГТК за період 1986 – 2005 рр.;
 3 – ГТК за сценарієм RCP4.5; 4 – ГТК за сценарієм RCP8.5.

Для динаміки формування запасів продуктивної вологи на полях із сільськогосподарськими культурами значну роль відіграють суми опадів за холодний (X – III) і 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 і холодний періоди 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 і 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 і 72 % в Північному Степу від базової суми опадів.

Висновки

Дослідження показали, що розраховані за двома сценаріями показники радіаційного, теплового та водного режимів 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 меншою, ніж в базовий період в усіх агрокліматичних зонах. Зменшиться сума опадів і в теплий період року, що спричинить зменшення ГТК і збільшення частоти посушливих явищ.

7. ВПЛИВ ЗМІНИ КЛІМАТУ НА ПРОДУКТИВНІСТЬ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР

7.1. БАЗОВА МОДЕЛЬ ОЦІНКИ АГРОКЛІМАТИЧНИХ РЕСУРСІВ ФОРМУВАННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР А. М. ПОЛЬОВОГО

Однією з основних умов високої культури землеробства є найбільш повне використання кліматичних ресурсів. У цьому аспекті вивчення кліматичної забезпеченості формування урожаю сільськогосподарських культур з врахуванням особливостей мікроклімату конкретних територій має важливе наукове і практичне значення. При врахуванні впливу клімату на ефективність сільськогосподарського виробництва головним є визначення агрокліматичних ресурсів території, реалізоване шляхом їх агрокліматичного районування.

7.1.1. Концепція моделювання

Базова модель оцінки агрокліматичних ресурсів формування продуктивності сільськогосподарських культур ґрунтується на концепції максимальної продуктивності рослин Х.Г. Тоомінга, на результатах моделювання формування урожаю рослин А.М. Польового і методах оцінки мікрокліматичної мінливості елементів клімату в горбистому рельєфі Е.Н. Романової.

Базова модель оцінки агрокліматичних ресурсів має блокову структуру і містить шість блоків (рис. 7.1):

- блок вхідної інформації;
 - блок показників сонячної радіації і волого-температурного режиму з врахуванням експозиції схилів;
 - блок функцій впливу фази розвитку і метеорологічних факторів на продукційний процес рослин;
 - блок родючості ґрунту і забезпеченості рослин мінеральним живленням;
 - блок агроекологічних категорій урожайності;
 - блок узагальнюючих оцінних характеристик.
- Розглянемо більш докладно ці блоки.

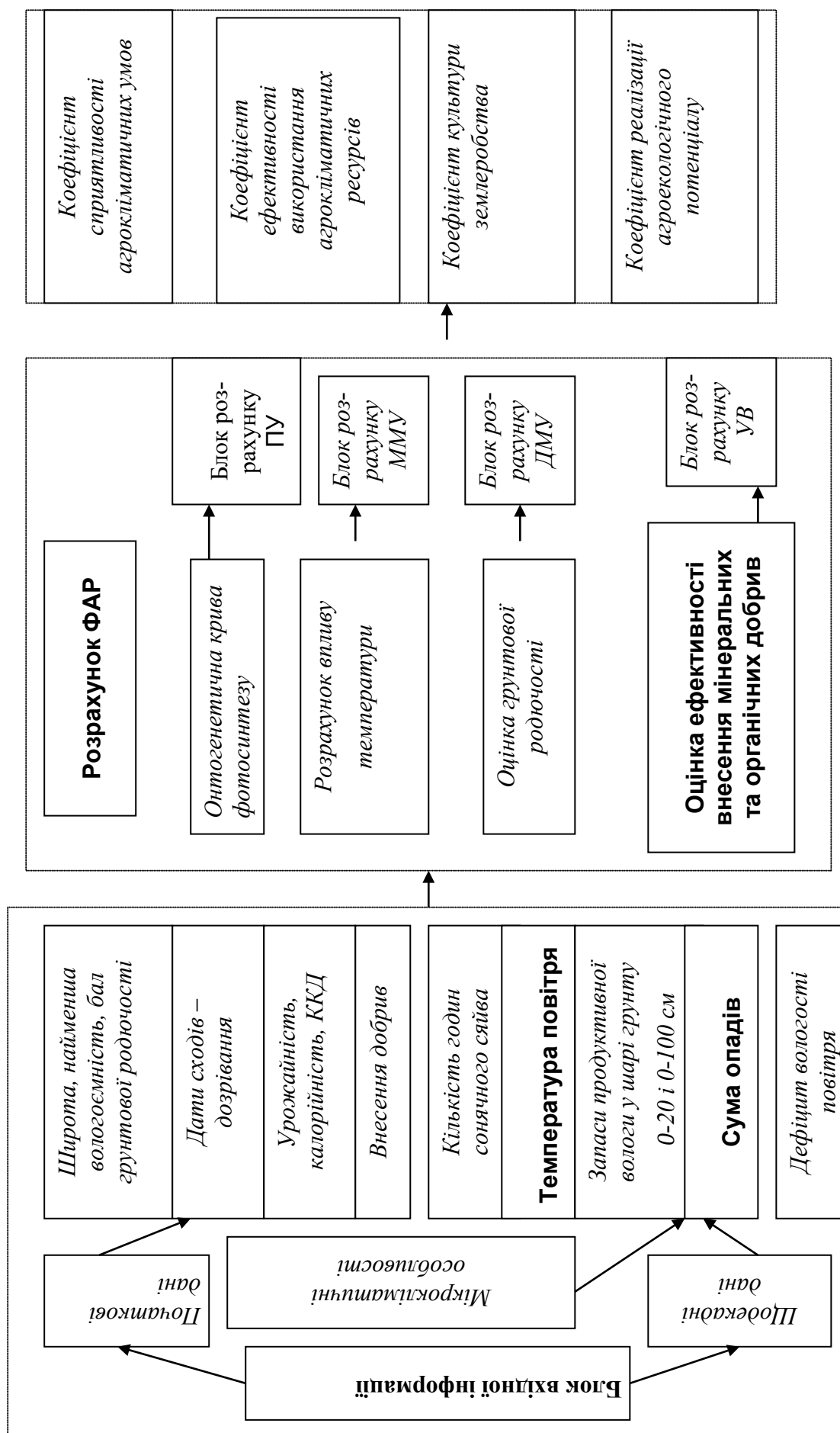


Рис. 7.1. Блок-схема агрокліматичної моделі формування урожаю сільськогосподарських культур

Блок вхідної інформації.

Цей блок складається із даних стандартних метеорологічних і агрометеорологічних спостережень і містить у собі всі необхідні для виконання розрахунків характеристики. Вони поділяються на три групи.

Перша група – запаси продуктивної вологи в ґрунті, середньодекадна температура повітря, середня за декаду кількість годин сонячного сяйва, сума опадів за декаду, середній за декаду дефіцит насичення повітря, кількість днів у розрахунковій декаді.

Друга група – інформація про внесення доз азотних, фосфорних і калійних добрив, дані про оптимальні дози цих добрив, дані про внесення органічних добрив та їхні оптимальні дози, рік внесення органічних добрив, бал ґрунтового бонітету.

Третя група – інформація про експозицію та крутість схилу, на якому розташоване поле, характеристика типу схилу і місця розташування поля на схилі.

Блок показників сонячної радіації і волого-температурного режиму з врахуванням експозиції поля.

Для розрахунку інтенсивності сумарної сонячної радіації використовується формула С.І. Сівкова

$$Q_o^j = 12,66 \cdot (SS^j)^{1,31} + 315 \cdot (A^j + B^j)^{2,1}, \quad (7.1)$$

де Q_o – сумарна сонячна радіація, що надходить на горизонтальну поверхню, кал/(см²·д); SS – середня за декаду кількість годин сонячного сяйва; j – номер розрахункової декади; A і B – проміжні характеристики, які визначаються в залежності від широти місцевості та схилення Сонця.

Інтенсивність сумарної сонячної радіації з урахуванням експозиції і крутості схилу визначається за виразом

$$Q_{eks}^j = k_{eks}^{Q(j)} \cdot Q_o^j, \quad (7.2)$$

де Q_{eks} – сумарна сонячна радіація в залежності від експозиції і крутості схилу, кал/(см²·д); k_{eks}^Q – коефіцієнт для перерахунку середньої за декаду сумарної сонячної радіації з горизонтальної поверхні для схилів різної крутості, відн. од.

Величина k_{eks}^Q визначається в залежності від широти місцевості, календарного місяця, експозиції і крутості схилу (табл. 7.1).

Таблиця 7.1. Поправки для розрахунку середньої за декаду сумарної сонячної радіації

Місяць						
Широта, град.	IV	V	VI	VII	VIII	IX
Північний схил 200 44	0,86	0,91	0,92	0,91	0,87	0,75
46	0,85	0,90	0,92	0,91	0,86	0,75
48	0,85	0,90	0,92	0,91	0,86	0,75
50	0,84	0,90	0,91	0,90	0,85	0,75
52	0,83	0,89	0,91	0,90	0,85	0,75
Північний схил 100 44	0,93	0,95	0,96	0,96	0,94	0,89
46	0,93	0,95	0,96	0,96	0,94	0,89
48	0,93	0,95	0,96	0,96	0,94	0,89
50	0,92	0,94	0,96	0,96	0,94	0,88
52	0,92	0,94	0,96	0,96	0,94	0,88
Південний схил 200 44	1,07	1,02	0,99	1,01	1,05	1,15
46	1,07	1,02	0,99	1,01	1,06	1,15
48	1,08	1,03	1,0	1,01	1,06	1,16
50	1,08	1,03	1,0	1,01	1,06	1,16
52	1,09	1,04	1,0	1,02	1,07	1,16
Південний схил 100 44	1,05	1,01	1,0	1,01	1,04	1,08
46	1,05	1,02	1,0	1,01	1,04	1,08
48	1,05	1,02	1,0	1,01	1,04	1,08
48	1,05	1,02	1,0	1,01	1,04	1,08
50	1,05	1,02	1,0	1,01	1,04	1,08
52	1,06	1,02	1,0	1,02	1,04	1,08

Для розрахунку температури повітря на схилі використовується вираз

$$T_{S_{eks}}^j = k_{eks}^{T(j)} \cdot T_S^j, \quad (7.3)$$

де $T_{S_{eks}}$ – середньодекадна температура повітря на схилі, °C; k_{eks}^T – коефіцієнт для перерахунку температури повітря на схилі, відн. од.; T_s – середньодекадна температура повітря на горизонтальній поверхні, °C.

Величина k_{eks}^T визначається в залежності від широти місцевості і крутості схилу:

а) північний схил

$$k_{eks}^{T(j)} = 1 - 0,003 \cdot (1 + 0,02\varphi) \cdot \beta_{kp}, \quad (7.4)$$

б) південний схил

$$k_{eks}^{T(j)} = 1 + 0,001 \cdot (1 + 0,007\varphi) \cdot \beta_{kp}, \quad (7.5)$$

в) східний і західний схили

$$k_{eks}^{T(j)} = 1 - 0,001 \cdot (1 - 0,005\varphi) \cdot \beta_{kp}, \quad (7.6)$$

г) північно-східний і північно-західний схили

$$k_{eks}^{T(j)} = 1 - 0,0025 \cdot (1 + 0,02\varphi) \cdot \beta_{kp}, \quad (7.7)$$

д) південно-східний і південно-західний схили

$$k_{eks}^{T(j)} = 1 - 0,00085 \cdot (1 + 0,07\varphi) \cdot \beta_{kp}, \quad (7.8)$$

де φ – широта пункту, град; β_{kp} – крутість схилу, град.

Режим зволоження ґрунту з урахуванням експозиції схилу визначається двома способами:

– перший спосіб – при наявності даних про вологість ґрунту

$$W_{eks}^j = k_{eks}^{W(j)} W_o^j, \quad (7.9)$$

де W_o – запаси продуктивної вологи у метровому шарі ґрунту на горизонтальній поверхні, мм; W_{eks} – запаси продуктивної вологи в шарі ґрунту 0–100 см на схилі, мм; k_{eks}^W – коефіцієнт для перерахунку запасів вологи на схилі, відн. од.

Величина k_{eks}^W визначається в залежності від зволоження місцевості, пори року, експозиції схилу і форми рельєфу (табл. 7.2);

– другий спосіб – при відсутності даних про вологість ґрунту визначається сума опадів з урахуванням факторів зволоження території, експозиції схилу та форми рельєфу

$$O_{Seks}^j = k_{eks}^{O_s} \cdot O_s^j, \quad (7.10)$$

де O_{Seks} – сума опадів за декаду з урахуванням схилу, мм; $k_{eks}^{O_s}$ – коефіцієнт для перерахунку опадів на схилі, відн. од; O_s – сума опадів за декаду на горизонтальну поверхню, мм.

Таблиця 7.2. Поправки для розрахунку запасів продуктивної вологи

Форма рельєфу	Пора року			Середня величина
	весна	літо	осінь	
а) Схили прямого та ввігнутого профілю				
Вершина	0,54	0,46	0,42	0,47
Північний схил:				
верхня частина	1,0	0,86	0,98	0,95
середня —"—	1,0	1,0	1,0	1,03
нижня —"—	1,5	1,49	1,08	1,36
підніжжя	2,0	1,50	1,60	1,70
Південний схил:				
верхня частина	0,45	0,41	0,37	0,41
середня —"—	0,62	0,50	0,48	0,53
нижня —"—	0,93	0,93	0,96	0,95
підніжжя	1,22	1,20	1,14	1,19
Рівна місцевість	1,0	1,0	1,0	1,0
б) Схили випуклого профілю				
Водороздільне плато	1,0	1,0	1,0	1,0
Північний схил:				
верхня частина	0,95	0,97	0,98	0,97
середня —"—	1,03	1,0	1,0	1,01
нижня —"—	1,03	0,92	0,82	0,92
підніжжя	2,18	1,88	1,99	2,02
Південний схил:				
верхня частина	0,85	0,82	0,76	0,81
середня —"—	0,73	0,77	0,71	0,74
нижня —"—	0,78	0,72	0,66	0,72
підніжжя	1,22	1,18	1,14	1,18

Величина k_{eks}^0 визначається в залежності від зволоження території, експозиції схилу і форми рельєфу (табл. 7.3).

Таблиця 7.3. Поправки для розрахунку суми опадів в залежності від зволоження території, експозиції схилу та форми рельєфу

Зона зволоження	Північний схил				Південний схил			
	верхня частин а	середн я частин а	нижн я части на	підні жжя	верхн я частин а	середн я частин а	нижн я части на	підні жжя
Грунт типу «а»								
Надмірно зволожена	0,82	0,87	0,92	1,50	0,88	0,90	0,92	1,38
Достатньо зволожена	0,83	0,85	0,88	1,56	0,88	0,94	0,96	1,32
Слабко посушлива	0,84	0,88	0,90	1,48	0,90	0,94	0,96	1,26
Посушлива	0,88	0,92	0,95	1,25	0,93	0,96	0,98	1,19
Дуже посушлива	0,93	0,95	0,98	1,15	1,0	1,0	1,0	1,0
Суха	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Грунт типу «б»								
Надмірно зволожена	0,86	0,89	0,90	1,37	0,92	0,96	0,98	1,28
Достатньо зволожена	0,88	0,90	0,92	1,33	0,94	0,97	0,99	1,14
Слабко посушлива	0,89	0,92	0,95	1,20	0,96	0,98	1,0	1,06
Посушлива	0,95	0,97	0,89	1,15	0,98	1,0	1,0	1,02
Дуже посушлива	0,98	0,98	1,0	1,05	1,0	1,0	1,0	1,0
Суха	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

Примітка. Грунти типу «а»: підзолисті супіски, потужний чорнозем, типові і південні чорноземи, світло-каштанові.

Грунти типу «б»: підзолисті суглинки, лучні та деградовані чорноземи, терасовий чорнозем.

Для розрахунку випаровуваності E_0 використовується метод А.М. Алпатєва:

$$E_0^j = 0,65 \cdot DWW^j \cdot dv^j \cdot 0,75, \quad (7.11)$$

де DWW – середній за декаду дефіцит насичення повітря; dv – кількість днів у розрахунковій декаді.

Розрахунок випаровуваності з врахуванням експозиції схилу виконується за співвідношенням

$$E_{0eks}^j = k_{eks}^{E(j)} \cdot E_O^j, \quad (7.12)$$

де E_{0eks} – випаровуваність на схилі; k_{eks}^E – коефіцієнт для перерахування випаровуваності на схилі.

Сумарне випаровування визначається за формулою С.І. Харченко

$$E_{eks}^j = \frac{2W_{eks}^j + O_{Seks}^j + P_{нор}^j}{1 + \frac{2W_{HB}}{E_{Oeks}^j}}, \quad (7.13)$$

де E_{eks} – сумарне випаровування на схилі; $P_{нор}$ – норма вегетаційних поливів; W_{HB} – найменша вологоємність у шарі ґрунту 0-100 см; O_{Seks} – сума опадів за декаду з урахуванням схилу; W_{eks} – запаси продуктивної води у метровому шарі ґрунту на схилі.

Величина коефіцієнта для перерахунку випаровуваності на схилі k_{eks}^E визначається в залежності від зволоження території, пори року, експозиції і крутості схилу (табл. 7.4).

За допомогою наступного співвідношення розраховується інфільтрація у нижні шари ґрунту

$$F_{ilt_{eks}}^j = W_{eks}^j + O_{Seks}^j + P_{нор}^j - E_{eks}^j - W_{HB}, \quad (7.14)$$

де $F_{ilt_{eks}}$ – інфільтрація в нижні шари ґрунту на схилі за декаду, мм.

Для розрахунку запасів продуктивної води на схилі використовується рівняння водного балансу

$$W_{eks}^{j+1} = W_{eks}^j + O_{Seks}^j + P_{нор}^j - E_{eks}^j - F_{ilt_{eks}}^j. \quad (7.15)$$

Таблиця 7.4. Поправки для розрахунку випаровуваності

Зона зволоження	Експозиція та крутість схилу							
	Північний схил				Південний схил			
	50	100	150	200	50	100	150	200
а) весна								
Достатньо зволожена	0,94	0,84	0,77	0,72	1,08	1,12	1,19	1,25
Слабо посушлива	0,92	0,87	0,76	0,69	1,05	1,11	1,17	1,20
Посушлива	0,91	0,82	0,75	0,66	1,05	1,10	1,17	1,19
Дуже посушлива	0,91	0,83	0,73	0,64	1,03	1,08	1,14	1,18

Примітка: Зони зволоження визначаються на основі середньорічних даних про зволоження ґрунту:

- 1) надмірно зволожена 70–90 % ПВ;
- 2) достатньо зволожена 50–60 % ПВ;
- 3) слабо посушлива 40–50 % ПВ;
- 4) посушлива 30–40 % ПВ;
- 5) дуже посушлива 20–30 % ПВ;
- 6) суха < 20 % ПВ;

ПВ - повна вологемкість ґрунту, мм

Блок функцій впливу фази розвитку і метеорологічних факторів на продукційний процес рослин.

В основі продукційного процесу рослин лежить фотосинтез. Його інтенсивність зумовлюється фазою розвитку рослин і умовами навколишнього середовища. Для розрахунку онтогенетичної кривої фотосинтезу використовується формула

$$\alpha_{\Phi}^j = \exp \cdot \left[-a_{\Phi} \left(\frac{TS_2 - \Sigma t_1}{10} \right)^2 \right], \quad (7.16)$$

де величина α_{Φ} визначається за виразом

$$\alpha_{\Phi} = \frac{-100 \cdot \ln \alpha_{\Phi}^o}{(\Sigma t_1)^2}, \quad (7.17)$$

де α_ϕ – онтогенетична крива фотосинтезу, відн. од.; α_ϕ^0 – початкове значення онтогенетичної кривої фотосинтезу, відн. од.; Σt_{1_1} – сума ефективних температур повітря від сходів, при якій спостерігається максимальна інтенсивність фотосинтезу рослин, °C; TS_2 – сума ефективних температур, °C.

Функція впливу температури повітря на продукційний процес рослин визначається як

$$\psi_\phi = \begin{cases} 13,7 \cdot \sin(0,077 \cdot x_1^j) & \text{при } (T^j - T_\phi) < T_{opt1}^j, \\ 1 & \text{при } T_{opt1} \leq (T^j - T_\phi) \leq T_{opt2}^j, \\ 1,13 \cdot \cos(1,570 \cdot x_2^j) & \text{при } (T^j - T_\phi) > T_{opt2}^j, \end{cases}, \quad (7.18)$$

де ψ_ϕ – температурна крива фотосинтезу, відн. од.; T – середньодакна температура повітря, °C; T_ϕ – середньодакна температура повітря, при якій починається фотосинтез, °C; T_{opt1} – нижня межа температурного оптимуму для фотосинтезу, °C; T_{opt2} – верхня межа температурного оптимуму для фотосинтезу, °C.

У рівнянні (7.18) проміжні величини знаходяться за формулами

$$x_1^j = (T_s^j \cdot k_{eks}^T - T_\phi) / (T_{opt1}^j - T_\phi), \quad (7.19)$$

$$x_2^j = (T_s^j \cdot k_{eks}^T - T_{opt2}^j) / (T_{max} - T_{opt2}^j), \quad (7.20)$$

де T_{max} – середньодакна температура повітря, при якій припиняється фотосинтез, °C; T_s – температура повітря на горизонтальній поверхні, °C; k_{eks}^T – коефіцієнт для перерахування температури повітря на схилі.

Значення нижньої і верхньої межі температурного оптимуму для фотосинтезу визначаються як функції часу. Функція впливу вологості ґрунту на фотосинтез γ_ϕ знаходиться як

$$\gamma_{\Phi} = \begin{cases} -1,163 \cdot (x_3^j)^2 + 2,187 \cdot x_3^j & \text{при } W^j \cdot k_{eks}^W < W_{opt1}^j \\ 1 & \text{при } W_{opt1}^j \leq W^j \cdot k_{eks}^W \leq W_{opt2}^j, \\ -0,654 + 3,824 \cdot x_4^j - 2,633 \cdot (x_4^j)^2 + 0,467 \cdot (x_4^j)^3 & \\ \text{при } W^j \cdot k_{eks}^W > W_{opt2}^j, \end{cases} \quad (7.21)$$

де W – запаси продуктивної вологи у метровому шарі ґрунту, мм; W_{opt1} – нижня межа оптимальних запасів вологи, мм; W_{opt2} – верхня межа оптимальних запасів вологи, мм.

$$x_3^j = W^j \cdot k_{eks}^W / W_{opt1}^j \quad (7.22)$$

$$x_4^j = W^j \cdot k_{eks}^W / W_{opt2}^j, \quad (7.23)$$

де k_{eks}^W – коефіцієнт для перерахування запасів вологи на схилі, відн. од.

Функція впливу вологозабезпеченості посівів розглядається як сполучення двох функцій. Враховується функція впливу вологості ґрунту на продуктивність рослин (за даними про фактичні запаси вологи) і відношення сумарного випаровування посівів до випаровуваності з врахуванням експозиції і крутості схилів:

$$FW = \left(\gamma_{\Phi}^j \cdot \frac{E_{eks}^j}{E_{0\ eks}^j} \right)^{0,5}, \quad (7.24)$$

де FW – відносна вологозабезпеченість посівів, відн. од..

Аналогічно визначається узагальнена функція впливу термічного режиму і вологозабезпеченості FTW_1 на фотосинтез:

$$FTW_1 = (\psi_{\Phi} FW)^{0,5}. \quad (7.25)$$

До цієї функції вводиться корекція на рівень температури в сполученні з вологозабезпеченістю

$$FTW_2 = \begin{cases} FTW_1[1 + (1 - \Psi_\Phi)(1 - FW)] & \text{при } t_n < t_{opt1} \\ FTW_1 & \text{при } t_{opt1} \leq t_n \leq t_{opt2} \\ FTW_1[1 - (1 - \Psi_\Phi)(1 - FW)] & \text{при } t_n > t_{opt2} \end{cases} \quad (7.26)$$

Блок родючості ґрунту і забезпеченості рослин мінеральним живленням

Родючість ґрунту характеризується вмістом у ній гумусу, що залежить від міри впливу ерозії ґрунту.

$$G_{umeks} = k_{er}^G \cdot G_{um}, \quad (7.27)$$

$$F_{Gum} = \frac{G_{umeks}}{G_{umopt}}, \quad (7.28)$$

де G_{um} – вміст гумусу в ґрунті, %; G_{umeks} – вміст гумусу в ґрунті на схилах з врахуванням ерозії, %; k_{er}^G – функція впливу ерозії ґрунту на вміст гумусу в ґрунті, відн. од; G_{umopt} – оптимальний для вирощування сільськогосподарської культури вміст гумусу в ґрунті, %.

Функція впливу вмісту гумусу в ґрунті визначається за формулою О.С. Образцова для розрахунку забезпеченості рослин елементами мінерального живлення

$$FW_{Gum} = (F_{Gum})^{1,35} \cdot \exp[1,1 \cdot (1 - F_{Gum})], \quad (7.29)$$

де FW_{Gum} – функція впливу вмісту гумусу в ґрунті на формування урожаю, відн. од..

Значення функцій оптимальності азотного, фосфорного і калійного живлення розраховується за методом О.С. Образцова з деякими модифікаціями

$$F_N = \frac{N_m}{N_{opt}}, \quad (7.30)$$

$$FW_N^j = \left\{ (F_N)^{1,35} \cdot \exp[1,1 \cdot (1 - F_N)] \right\} \cdot k_{ef}^j, \quad (7.31)$$

де N_m – внесена доза азотних добрив, кг/га; N_{opt} – оптимальна доза азотних добрив, необхідна для одержання максимального урожаю, кг/га; FW_N – функції впливу забезпеченості азотом, відн. од.; k_{ef} – коефіцієнт ефективності добрив в залежності від вологості ґрунту, відн. од.

Аналогічно визначаються функції впливу забезпеченості фосфором FW_P і калієм FW_K .

Вплив режиму зволоження ґрунту на ефективність добрив враховується за виразом:

$$k_{ef}^j = \begin{cases} 1 & \text{при } \frac{W_{eks}^j}{W_{opt}^j} \geq 0,85, \\ 0,8 & \text{при } 0,70 < \frac{W_{eks}^j}{W_{opt}^j} < 0,85, \\ 0,6 & \text{при } \frac{W_{eks}^j}{W_{opt}^j} \leq 0,70, \end{cases} \quad (7.32)$$

Аналогічно визначається співвідношення дози органічних добрив до їх оптимальної величини і розраховується функція впливу внесення органічних добрив з врахуванням року внесення добрив

$$F_{Org} = \frac{O_{rg}}{O_{rg\,opt}}, \quad (7.33)$$

$$FW_{Org}^j = \left\{ \left(F_{Org} \right)^{1,35} \cdot \exp \left[1,1 \cdot \left(1 - F_{Org} \right) \right] \right\} \cdot k_{Org}^g \cdot k_{ef}^j, \quad (7.34)$$

де FW_{Org} – функція впливу внесення органічних добрив на урожай; O_{rg} – внесена доза органічних добрив, т/га; $O_{rg\,opt}$ – оптимальна для вирощування сільськогосподарської культури доза внесення органічних добрив, т/га; k_{Org}^g – коефіцієнт впливу року внесення органічних добрив, відн. од.

Узагальнена функція впливу родючості ґрунту і внесення мінеральних та органічних добрив розраховується за принципом Лібіха

$$FWM_{ef}^j = \min \left\{ FW_{Org}^j, FW_N^j, FW_P^j, FW_K^j \right\}, \quad (7.35)$$

де FWM_{ef} – функція впливу ефективної родючості на урожай, відн. од.

Блок агроекологічних категорій урожайності.

Визначення величини різних агроекологічних категорій урожайності здійснюється з врахуванням внесених модифікацій, із залученням більш повної інформації і наповнення цих категорій новим змістом.

Збільшення потенційної урожайності загальної біомаси за декаду визначається в залежності від інтенсивності фотосинтетично активної радіації (ФАР) і біологічних особливостей культури з врахуванням зміни здатності рослин до фотосинтезу протягом вегетації

$$\frac{\Delta ПУ^j}{\Delta t} = \alpha_{\Phi}^j \frac{\eta \cdot Q_{\text{фар}}^j \cdot k_{\text{eks}}^{Q'} \cdot dv^j}{q}, \quad (7.36)$$

де $\frac{\Delta ПУ}{\Delta t}$ – приріст потенційної урожайності загальної біомаси за декаду, г/м²; α_{Φ} – онтогенетична крива фотосинтезу, відн. од.; η – КПД посівів, відн. од.; $Q_{\text{фар}}$ – середньодекадна за добу сума ФАР, кал/(см² д); $k_{\text{eks}}^{Q'}$ – коефіцієнт для перерахування середньої за декаду сумарної сонячної радіації з горизонтальної поверхні для схилів різної експозиції і крутості, відн. од.; q – калорійність.

Приріст метеорологічно-можливої урожайності загальної біомаси становить собою приріст потенційної урожайності, який буде обмежений впливом волого-температурного режиму:

$$\frac{\Delta ММУ^j}{\Delta t} = \frac{\Delta ПУ^j}{\Delta t} \cdot FTW_2, \quad (7.37)$$

де $\frac{\Delta ММУ}{\Delta t}$ – приріст метеорологічно-можливої урожайності загальної біомаси за декаду, г/м²; FTW_2 – узагальнена функція впливу волого-температурного режиму з корекцією на сполучення різних екстремальних умов, відн. од.

Формування дійсно можливої урожайності загальної біомаси обмежується рівнем природної родючості ґрунту:

$$\frac{\Delta ДМУ^j}{\Delta t} = \frac{\Delta ММУ^j}{\Delta t} B_{\text{лт}} F_{\text{Gum}}, \quad (7.38)$$

де $\frac{\Delta ДМУ}{\Delta t}$ – приріст дійсно можливої урожайності загальної біомаси за декаду, г/м²; $B_{пл}$ – бал ґрунтового бонітету, відн. од.

Одержання рівня господарської урожайності загальної біомаси обмежується реально існуючим рівнем культури землеробства й ефективністю внесених мінеральних і органічних добрив:

$$\frac{\Delta UB^j}{\Delta t} = \frac{\Delta ДМУ^j}{\Delta t} k_{земл} FWM_{ef}^j, \quad (7.39)$$

де $\frac{\Delta UB}{\Delta t}$ – приріст урожайності загальної біомаси у виробництві, г/м²; $k_{земл}$ – коефіцієнт, що характеризує рівень культури землеробства і господарської діяльності, відн. од.; FWM_{ef} – функція ефективності внесення органічних і мінеральних добрив в залежності від умов вологозабезпеченості декад вегетації, відн. од.

Різні агроекологічні категорії врожаю зерна при його стандартній 14-відсотковій вологості визначаються за виразом

$$ПУ_{зерна} = ПУ \cdot K_{госп.}^{ПУ} 1,14 \cdot 0,1 \quad (7.40)$$

де $ПУ_{зерна}$ – потенційний урожай зерна, ц/га; $K_{госп.}^{ПУ}$ – частка зерна в загальній масі потенційного урожаю, відн. од., яка визначається в залежності від розмірів урожаю загальної біомаси.

Аналогічно визначаються відповідно метеорологічно-можливий $ММУ_{зерна..}$, дійсно можливий $ДМУ_{зерна}$ і урожай у виробництві $UB_{зерна}$ зерна.

Блок узагальнених оцінних характеристик.

Аналіз різноманітних агроекологічних категорій врожайності ($ПУ$, $ММУ$, $ДМУ$, UB), а також їхніх співвідношень і відмінностей дозволяє судити про природні й антропогенні ресурси сільського господарства, а також про ефективність господарського використання цих ресурсів стосовно вирощування сільськогосподарських культур.

Розглянемо п'ять узагальнених характеристик:

1. Ступінь сприятливості метеорологічних умов вирощування культури характеризує співвідношення метеорологічно-можливої урожайності і потенційної урожайності

$$K_m = ММУ_{зерна} / ПУ_{зерна} \quad (7.41)$$

де K_m – коефіцієнт сприятливості метеорологічних умов, відн. од.

2. Сприятливість ґрунтових умов показує відношення дійсно можливої урожайності до метеорологічно-можливої урожайності

$$K_z = ДМУ_{зерна} / ММУ_{зерна}, \quad (7.42)$$

де K_z – коефіцієнт сприяєливості ґрунтових умов, відн. од.

3. Співвідношення урожайності у виробництві і метеорологічно можливої урожайності встановлює ефективність використання агрокліматичних ресурсів. Якщо це співвідношення розраховується за середніми багаторічними даними, то воно відображає ефективність використання агрокліматичних ресурсів

$$K_{акл} = UB_{зерна} / ММУ_{зерна}, \quad (7.43)$$

де $K_{акл}$ – коефіцієнт ефективності використання агрокліматичних ресурсів, відн. од.

4. При реальних ґрунтових умовах співвідношення урожайності у виробництві і дійсно можливої урожайності можна розглядати як показник досконалої агротехнології

$$K_{земл} = UB_{зерна} / ДМУ_{зерна}, \quad (7.44)$$

де $K_{земл}$ – коефіцієнт ефективності використання існуючих агрометеорологічних і ґрунтових умов (характеризує рівень культури землеробства стосовно ефективності господарського використання існуючого комплексу агрометеорологічних і ґрунтових умов), відн. од.

5. Величина відношення урожайності у виробництві до потенційної урожайності характеризує рівень реалізації агроекологічного потенціалу

$$K_{аек.пот} = UB_{зерна} / ПУ_{зерна}, \quad (7.45)$$

де $K_{аек.пот}$ – коефіцієнт реалізації агроекологічного потенціалу, відн. од.

Підвищення рівня $UB_{зерна}$ і доведення його до $ДМУ_{зерна}$ потребує ретельного дотримання всіх засобів агротехніки, виконання їх у повній відповідності з агрометеорологічними умовами на конкретному полі. Це є першочерговою задачею програмування урожаїв, спрямованого на усунення дії різноманітних господарських факторів, які знаходяться у мінімумі. Наближення $ДМУ_{зерна}$ до $ММУ_{зерна}$ потребує виконання різноманітних заходів для підвищення родючості ґрунту. Різниця між $ММУ_{зерна}$ і $ПУ_{зерна}$ компенсується за рахунок меліоративних заходів, а також внаслідок правильного підбору сортів і культур, які краще пристосовані до особливостей конкретного клімату. Підвищення рівня

ПУзерна забезпечується головним чином шляхом селекції нових сортів, які будуть мати більш високий рівень урожайності за рахунок ефективного використання сонячної радіації.

Формули (7.1)–(7.45) дозволяють визначити основні агроєкологічні категорії урожайності сільськогосподарських культур для різних елементів рельєфу, які формуються під впливом ґрунтово-кліматичних умов і мікрокліматичних особливостей досліджуваних територій, та виконати для цих територій оцінку агрокліматичних ресурсів формування продуктивності сільськогосподарських культур.

7.2. ВПЛИВ ЗМІНИ КЛІМАТУ НА ПРОДУКТИВНІСТЬ ОЗИМОГО ЖИТА

Озиме жито, незважаючи на певні негативні явища, було і є однією з найцінніших продовольчих і 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 і бур'янів, хвороб і шкідників, високу екологічну пластичність, може вирощуватись після гірших попередників. Усе це ставить озиме жито в ряд особливо цінних сільськогосподарських культур сьогодення [1].

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 в фазі викидання волотей. Нерідко озиме жито вирощують і на сіно [39, 34].

7.2.1. 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 і 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), строки відновлення вегетації озимого жита майже співпадають з датами переходу температури повітря через 5 °C

і спостерігаються в третій декаді березня – в Поліссі 30 березня, а в Лісостепу 27 березня (табл. 7.5). 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. 7.5).

Таблиця 7.5. Фази розвитку озимого жита за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) і за сценарієм зміни клімату RCP4.5 (2021-2050 рр.)

Період	Дати				
	Відновлення вегетації	Появи нижнього вузла соломини	Колосіння	Воскової стиглості	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. 7.6). 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. 7.6). На території Полісся дата появи нижнього вузла соломини спостерігається 13 травня, що на шість днів пізніше, ніж за базових умов (табл. 7.5). На території Лісостепу дата появи нижнього вузла соломини озимого жита припадає на 12 травня, що на 8 днів пізніше, ніж за базових умов (табл. 7.5).

Колосіння озимого жита за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) раніше спостерігається в Поліссі - 23 травня, в Лісостепу на чотири дні пізніше – 27 травня (табл. 7.5). 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. 7.5). На території Лісостепу дата колосіння озимого жита припадає на 4 червня, що на 8 днів пізніше, ніж за базових умов (табл. 7.5). Воскова стиглість озимого жита за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.)

спостерігається в другій декаді липня – 13 липня в Поліссі і 16 липня в Лісостепу (табл. 7.5). 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. 7.5). На території Лісостепу дата воскової стиглості озимого жита припадає на 28 липня, що на дванадцять днів пізніше, ніж за базових умов (табл. 7.5).

Таблиця 7.6. 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 відіграють 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 менша 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 становить 8,9 °C, що на 0,2 °C менше, ніж за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.), а на території Лісостепу, навпаки, середня температура за період буде більша на 1,4 °C від середньо багаторічних значень і становитиме 9,3 °C (табл. 7.6).

Незначно знижений 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 в умовах зміни клімату RCP4.5 буде на 0,5 °C менша (14,1 °C), ніж за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.), а на території Лісостепу менша на 0,3 °C (14,0 °C) за середньо багаторічні значення (табл. 7.6).

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) менше у порівнянні з середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) (табл. 7.6).

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 нижчий, і за вегетаційний період озимого жита (умовно він становить 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 суттєве (+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, які 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 асимілятив з листя - до інших органів рослин, і також підтримується необхідний при цьому температурний режим.

Формуючи велику масу зерна, соломини і коренів, озиме жито витрачає багато води (до 100 мм на 1 т зерна). Однак, використовуючи ґрунтові запаси і вологу осінню, весняних і 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 [3].

Для оцінки вологозабезпеченості вегетаційного періоду озимого жита аналізувались такі ж періоди, як і для теплозабезпеченості: базовий 1986 – 2005 рр. і розрахунковий за кліматичним сценарієм RCP4.5. При цьому розглядались такі показники: сума опадів за період, сумарне випаровування, випаровуваність і вологозабезпеченість. Результати розрахунків представлені у таблиці 7.6 та 7.7.

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. 7.6).

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 призведуть до зниження оцінки вологозабезпеченості в середньому на 10 % (табл. 7.7).

Кількість опадів у період поява нижнього вузла соломини – колосіння в умовах зміни клімату RCP4.5 в Поліссі та Лісостепу збільшиться і становитиме 152-154 % від середньо багаторічних значень (1986-2005 рр.) (табл. 7.6). 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 і 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. 7.7) у порівнянні з середньо багаторічними даними.

Таблиця 7.7. 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. 7.6). 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. 7.7) у порівнянні з середньо багаторічними даними.

Кількість опадів у період колосіння – воскова стиглість в умовах зміни клімату RCP4.5 в Поліссі та Лісостепу зменшиться і становитиме 85 та 89 % відповідно від середньо багаторічних значень (1986-2005 рр.) (табл. 7.6). 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 і 22 мм відповідно. Оцінка вологозабезпеченості в умовах зміни клімату RCP4.5 на території Полісся підвищиться на 22 %, на території Лісостепу збільшиться на 27 % (табл. 7.7) 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 підвищиться на 9 %, на території Лісостепу збільшиться на 18 % (табл. 7.7) у порівнянні з середньо багаторічними даними.

Значення гідротермічного коефіцієнта в Поліссі не зміниться і становитиме 1,5, а на території Лісостепу – зі значення 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, де вирощують цю культуру, суттєво не зміняться, але вегетація проходитиме на фоні дещо знижених температур повітря та незначного зменшення кількості опадів.

7.2.2. 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 і 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), дати відновлення вегетації озимого жита майже співпадають з датами переходу температури повітря через 5 °C, і спостерігаються в третій декаді березня – в Поліссі 30 березня, а в Лісостепу 27 березня (табл. 7.8). 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.

Таблиця 7.8. Фази розвитку озимого жита за середньо багаторічними даними (1986–2005 рр.) за сценарієм зміни клімату RCP8.5 (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	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	+12	+4

Поява нижнього вузла соломини, як показали наші розрахунки, спостерігається при накопиченні суми активних температур порядку 300-340 °С (табл. 7.9). 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°C, як і за середньо багаторічними даними.

Таблиця 7.9. Агрокліматичні умови вирощування 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		
	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, °С; T - сума активних температур за період, °С; 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. На території Лісостепу дата появи нижнього вузла соломини озимого жита припадає на 14 травня, що на 10 днів пізніше, ніж за базових умов (табл. 7.8).

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. 7.8). 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. На території Лісостепу дата колосіння озимого жита припадає на 8 червня, що на 12 днів пізніше, ніж за базових умов (табл. 7.8).

Воскова стиглість озимого жита за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) спостерігається в другій декаді липня – 13 липня в Поліссі і 16 липня в Лісостепу (табл. 7.8). 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. На території Лісостепу дата воскової стиглості озимого жита припадає на 28 липня, що на 12 днів пізніше, ніж за базових умов (табл. 7.8).

Сума температур за період відновлення вегетації - поява нижнього вузла соломини в умовах зміни клімату RCP8.5 в Поліссі менша на 27 °С 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 становить 9,9 °С, що на 0,8 °С більше, ніж за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.), а на території Лісостепу, середня температура за період буде більша на 2,2 °С від середньо багаторічних значень і становитиме 10,1 °С (табл. 7.9).

Незначно знижений 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 в умовах зміни клімату RCP8.5 буде на 0,2 °С менша (14,4 °С), ніж за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.), а на території Лісостепу – менша на 0,6 °С (13,7 °С) за середньо багаторічні значення (табл. 7.9).

Температурний режим періоду колосіння – воскова стиглість також буде проходити на фоні знижених температур, але не набагато – в Поліссі на 0,7 °С (16,3 °С), а в Лісостепу на 0,3 °С (17,9 °С) менше у порівнянні з середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) (табл. 7.9).

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 нижчий, і за вегетаційний період озимого жита

(умовно він становить 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 суттєве (+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, де 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. і розрахунковий за кліматичним сценарієм RCP8.5. При цьому розглядались такі показники: сума опадів за період, сумарне випаровування, випаровуваність і вологозабезпеченість. Результати розрахунків представлені у таблиці 7.10.

Таблиця 7.10. 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

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 і становитиме 87 % від середньо багаторічних значень (1986-2005 рр.) (табл. 7.9).

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 і 6 мм відповідно. Такі умови призведуть до зниження

оцінки вологозабезпеченості в Поліссі на 4 % та збільшення до 10 % в умовах Лісостепу (табл. 7.10).

Кількість опадів у період поява нижнього вузла соломини – колосіння в умовах зміни клімату RCP8.5 в Поліссі та Лісостепу збільшиться і становитиме 148 і 144 % від середньо багаторічних значень (1986-2005 рр.) (табл. 7.9). Значення сумарного випаровування за період поява нижнього вузла соломини – колосіння в умовах зміни клімату RCP8.5 зменшиться в Поліссі та Лісостепу на 10 і 49 мм відповідно, значення випаровуваності зменшиться на 11 і 61 мм також відповідно. Оцінка вологозабезпеченості в умовах зміни клімату RCP8.5 на території Полісся і Лісостепу становитиме 98 % (табл. 7.10) у порівнянні з середньо багаторічними даними.

Кількість опадів у період колосіння – воскова стиглість в умовах зміни клімату RCP8.5 в Поліссі та Лісостепу зменшиться і становитиме 97 і 81 % відповідно від середньо багаторічних значень (1986-2005 рр.) (табл. 7.9). За таких умов значення сумарного випаровування за період колосіння – воскова стиглість в умовах зміни клімату RCP8.5 зменшиться в Поліссі та Лісостепу на 36 і 8 мм відповідно, значення випаровуваності також зменшиться на 26 і 37 мм відповідно. Оцінка вологозабезпеченості в умовах зміни клімату RCP8.5 на території Полісся зменшиться на 7 % , на території Лісостепу підвищиться на 17 % (табл. 7.10) у порівнянні з середньо багаторічними даними.

В цілому за період вегетації сума опадів становитиме норму, але за рахунок знижених температур оцінка вологозабезпеченості в умовах зміни клімату RCP8.5 на території Полісся знизиться на 10 % , на території Лісостепу збільшиться на 7 % (табл. 7.10) у порівнянні з середньо багаторічними даними.

Значення гідротермічного коефіцієнта в Поліссі зміниться і 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, де вирощують цю культуру, суттєво не зміняться, але вегетація проходитиме на фоні дещо знижених температур повітря і зменшення кількості опадів.

7.2.3. 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 зумовлює рівень урожайності культури. Згідно з теорією фотосинтетичної продуктивності посівів, такими показниками є розміри фотосинтезуючої

площі та фотосинтетичний потенціал посівів, а також кількісні показники приростів рослинної біомаси [35, 7, 40].

Розглянемо динаміку цих показників протягом вегетації озимого жита за базовим і кліматичним (сценарним) варіантом. На рисунку 7.2 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.

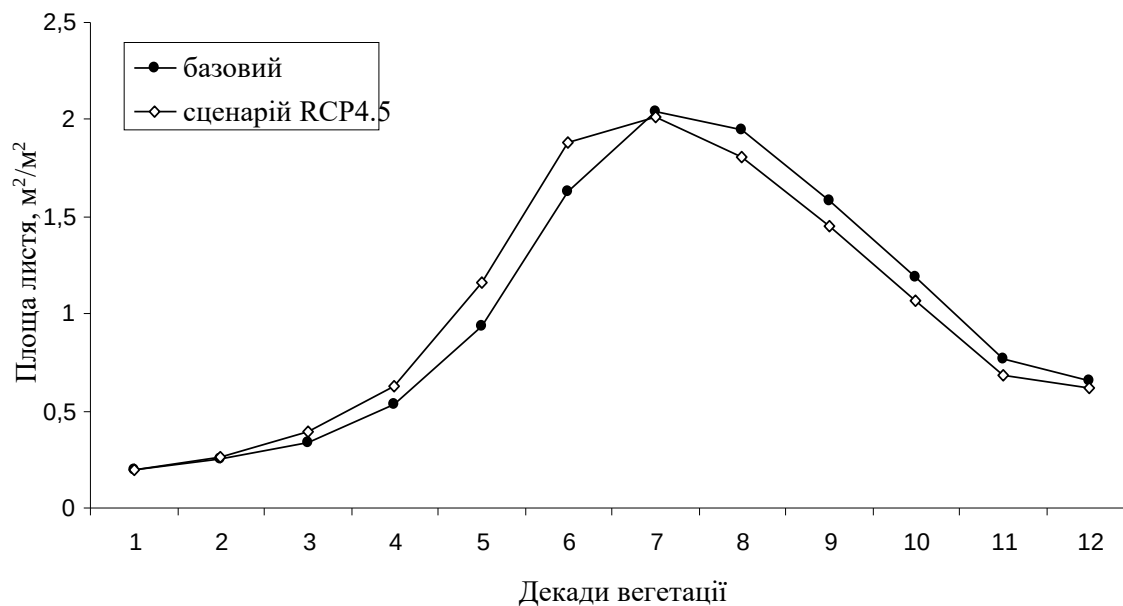


Рис. 7.2. Динаміка відносної площі листя посівів озимого жита в Поліссі за умов зміни клімату за сценарієм RCP4.5 у порівнянні з базовим періодом (1986-2005 рр.)

Накопичення відносної площі листя інтенсивно відбувається до шостої декади вегетації, далі у 7-му декаду вегетації відносна площа листя досягає свого максимуму. Така ж ситуація спостерігається за середньо багаторічних умов - максимальне значення відносної площі листя становить $2 \text{ м}^2/\text{м}^2$.

Більш раннє формування площі листової поверхні при зниженому температурному режимі призведе до більш низьких рівнів інтенсивності фотосинтезу (рис. 7.3) порівняно з базовим періодом.

Максимальних значень площа листової поверхні досягне у сьому декаду та становитиме $2,6 \text{ м}^2/\text{м}^2$. За рахунок зміни кліматичних умов відбудеться зниження максимальної відносної площі листя до $2,3 \text{ м}^2/\text{м}^2$ (табл. 7.11) . В умовах Полісся максимальні значення інтенсивності фотосинтезу за сценарієм зміни клімату RCP4.5 становлять

16,7 мг CO₂/(дм²·год), а в умовах Лісостепу досягають 21,8 мг O₂/(дм²·год) в порівнянні з базовим - 18,7 та 24,9 мг CO₂/(дм²·год) відповідно.

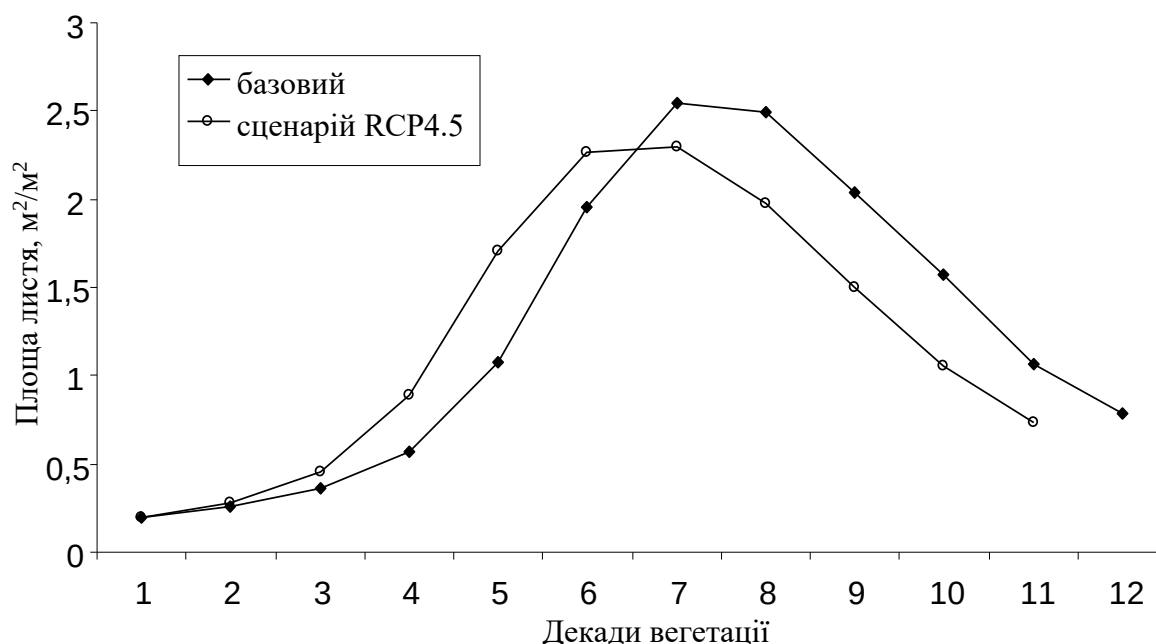


Рис. 7.3. Динаміка відносної площі листя посівів озимого жита в Лісостепу за умов зміни клімату за сценарієм RCP4.5 у порівнянні з базовим періодом (1986-2005 рр.)

Таблиця 7.11. Показники фотосинтетичної продуктивності посівів озимого жита в умовах зміни клімату за сценарієм RCP4.5 у порівнянні з базовим періодом (1986-2005 рр.)

Період	Варіант	Період максимального росту			Урожай, ц/га
		площа листової поверхні, м²/м²	приріст загальної сухої біомаси, г/(м² · д)	Чиста продуктивність фотосинтезу, г/(м² · д)	
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

Такий хід площі асимілюючої поверхні та інтенсивності фотосинтезу зумовив і відповідний рівень динаміки загальної сухої біомаси посівів озимого жита. На рисунку 7.4 представлена динаміка сухої маси цілої рослини озимого жита в умовах зміни клімату RCP4.5 в порівнянні з базовим періодом (1986-2005 рр.) для умов Полісся.

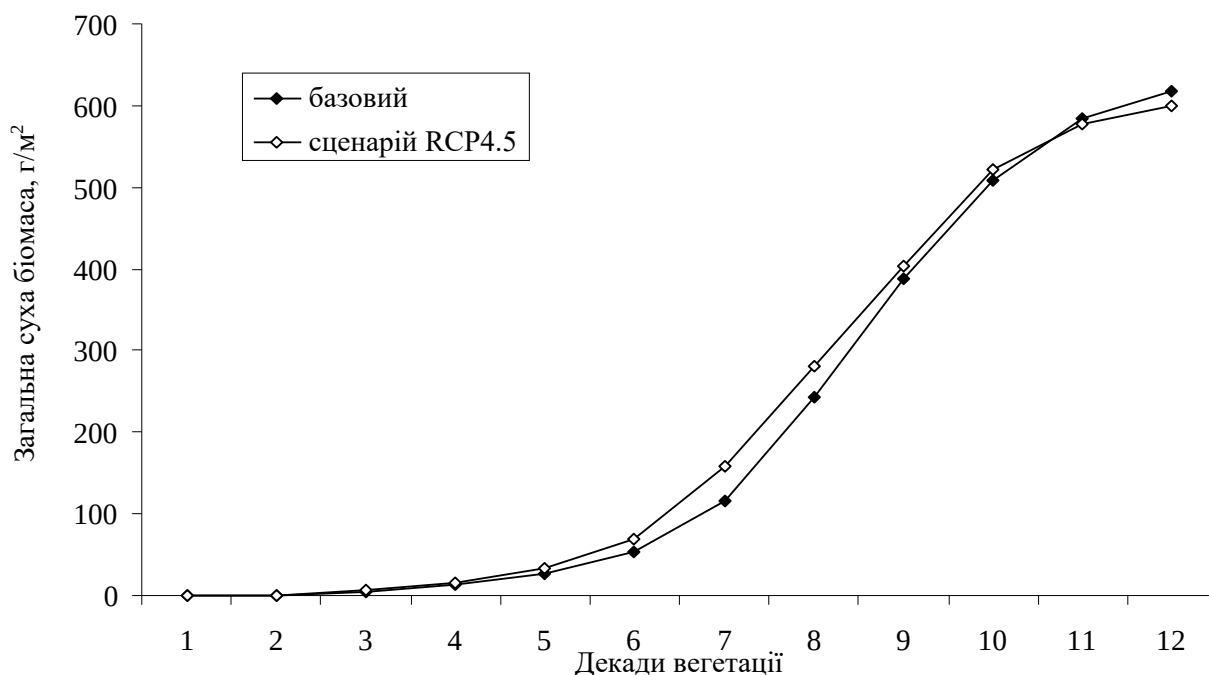


Рис. 7.4. Динаміка загальної сухої біомаси озимого жита в Поліссі в умовах зміни клімату за сценарієм RCP4.5 у порівнянні з базовим періодом (1986-2005 рр.)

Найбільш високі прирости загальної біомаси будуть спостерігатись в 7-й і 8-й декадах вегетації в Поліссі. За рахунок змін кліматичних умов сценарного періоду максимальний приріст зменшиться з 14,5 до 12,3 г/м² за день (на 15 %). Загальна суха біомаса посіву за рахунок зміни кліматичних умов в Поліссі зменшиться до 600 г/м² (базове значення становить 617 г/м²).

В умовах Лісостепу найвищі прирости загальної біомаси будуть спостерігатися раніше в 6-й – 7-й декадах вегетації (рис. 7.5). За рахунок змін кліматичних умов сценарного періоду максимальний приріст зменшиться з 18,8 до 16,5 г/м² за день (на 12 %). Загальна суха біомаса посіву за рахунок зміни кліматичних умов в Поліссі зменшиться до 710 г/м² (базове значення становить 777 г/м²).

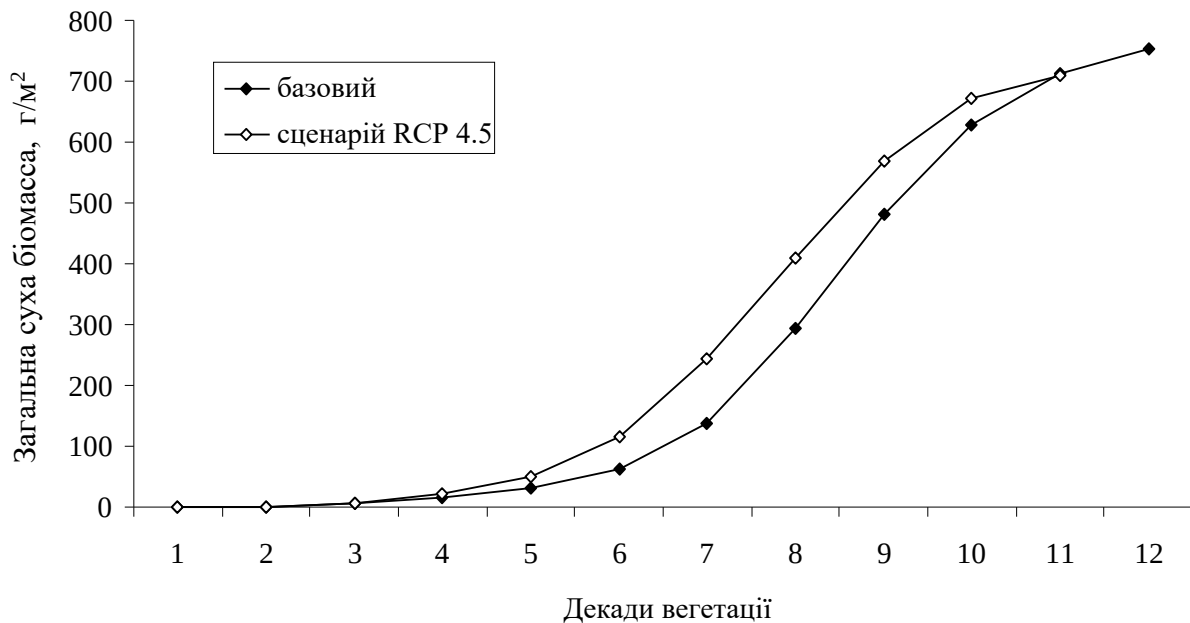


Рис. 7.5. Динаміка загальної сухої біомаси озимого жита в Лісостепу в умовах зміни клімату за сценарієм RCP4.5 у порівнянні з базовим періодом (1986-2005 рр.).

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. 7.6 А – в Поліссі та на рис. 7.6 Б – в Лісостепу. Як випливає з рисунка, максимальні значення ЧПФ в Поліссі будуть спостерігатись в 7-й – 8-й 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 за 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.

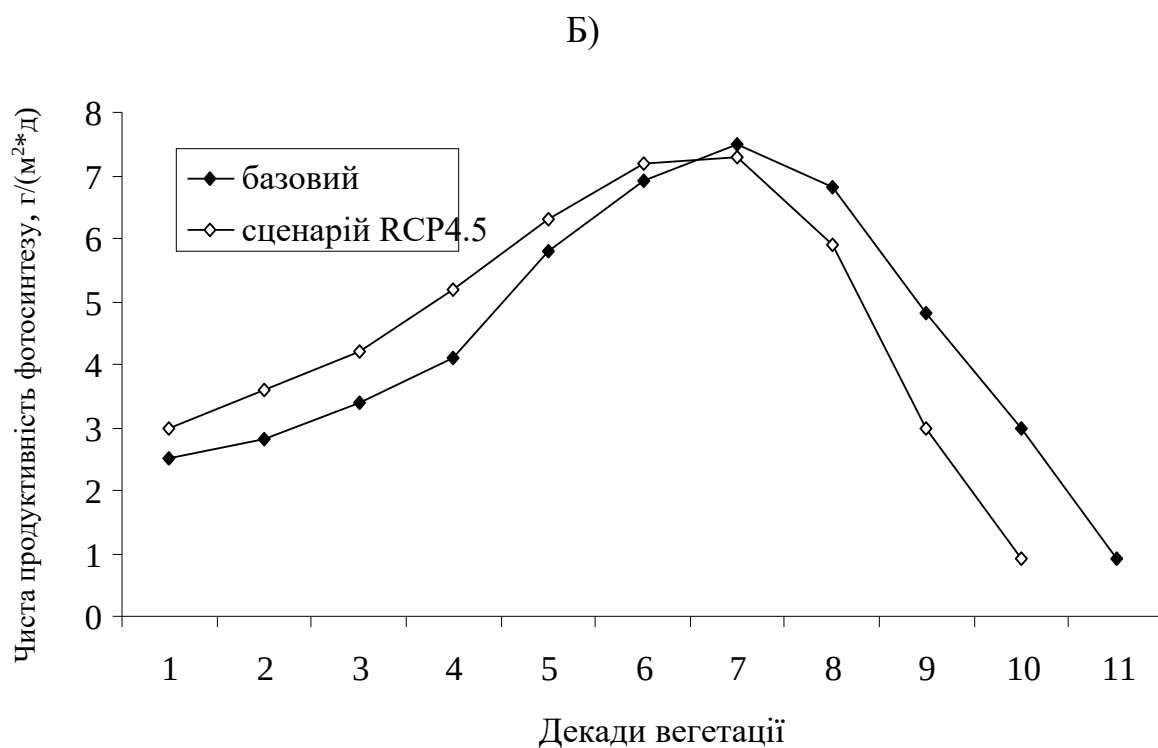
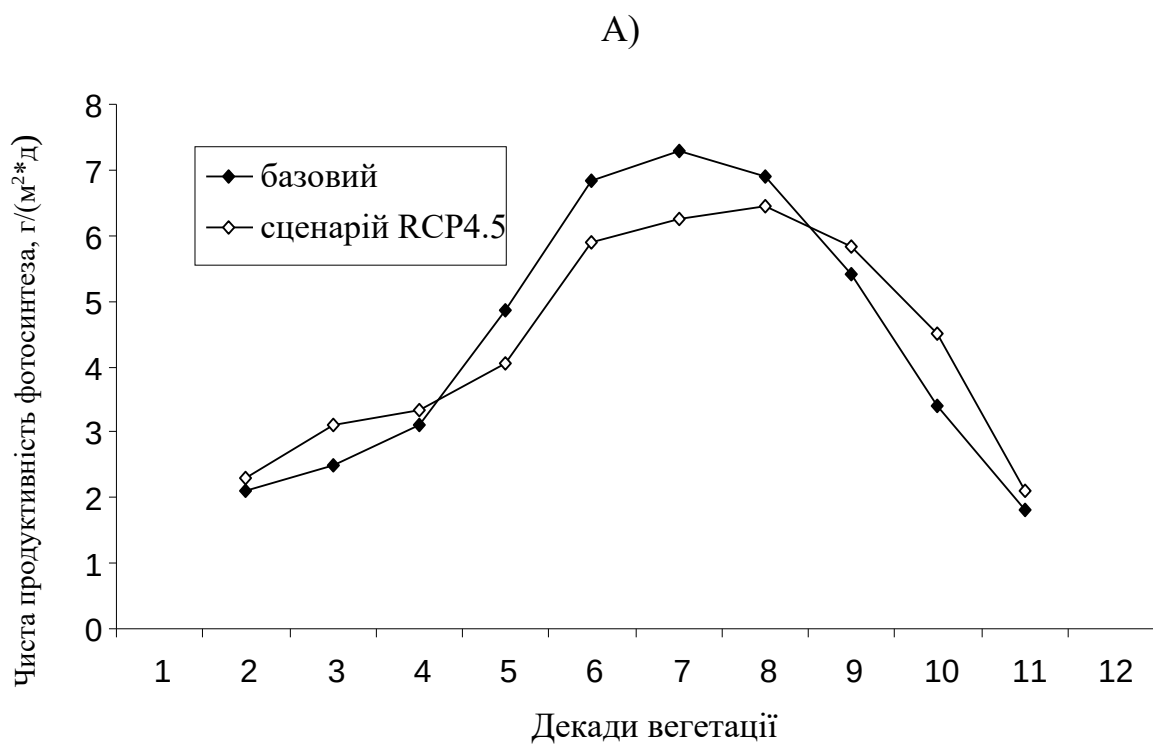


Рис. 7.6. Динаміка чистої продуктивності фотосинтезу озимого жита в Поліссі (А) та Лісостепу (Б) в умовах зміни клімату за сценарієм RCP4.5 на 2021-2050 рр. у порівнянні з базовим періодом (1986-2005 рр.).

7.2.4. Фотосинтетична продуктивність озимого жита при реалізації сценарію RCP8.5 зміни клімату в Україні

Розглянемо динаміку показників фотосинтетичної діяльності посівів озимого жита, що зумовлює рівень урожайності цієї культури протягом вегетації за базовими середньо багаторічними значеннями та при реалізації сценарію RCP8.5 зміни клімату в Україні.

На рис. 7.7 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.

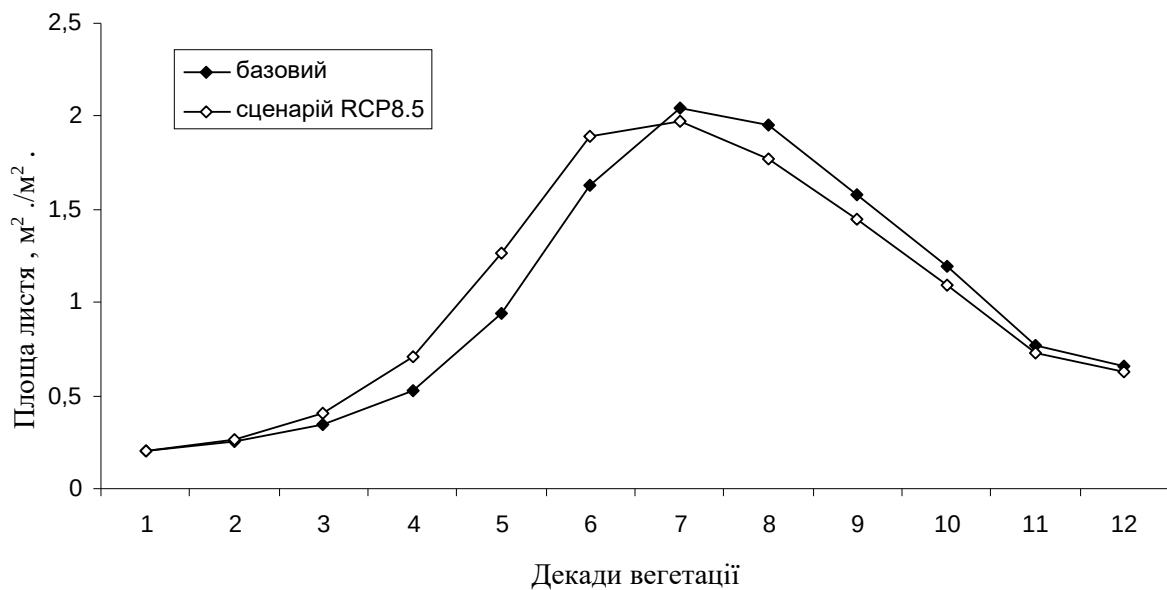


Рис. 7.7. Динаміка відносної площі листя посівів озимого жита в Поліссі за умов зміни клімату за сценарієм RCP8.5 (2021-2050 рр.) у порівнянні з базовим періодом (1986-2005 рр.)

При реалізації сценарію RCP8.5 зміни клімату в Україні зростання площі листя інтенсивно проходить до шостої декади вегетації, далі у 7-му декаду вегетації відносна площа листя досягає свого максимуму і становить $2,04 \text{ м}^2/\text{м}^2$. Така ж ситуація спостерігається й для середньо багаторічного варіанта, максимальне значення відносної площі листя становить $1,97 \text{ м}^2/\text{м}^2$.

На рис. 7.8 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.).

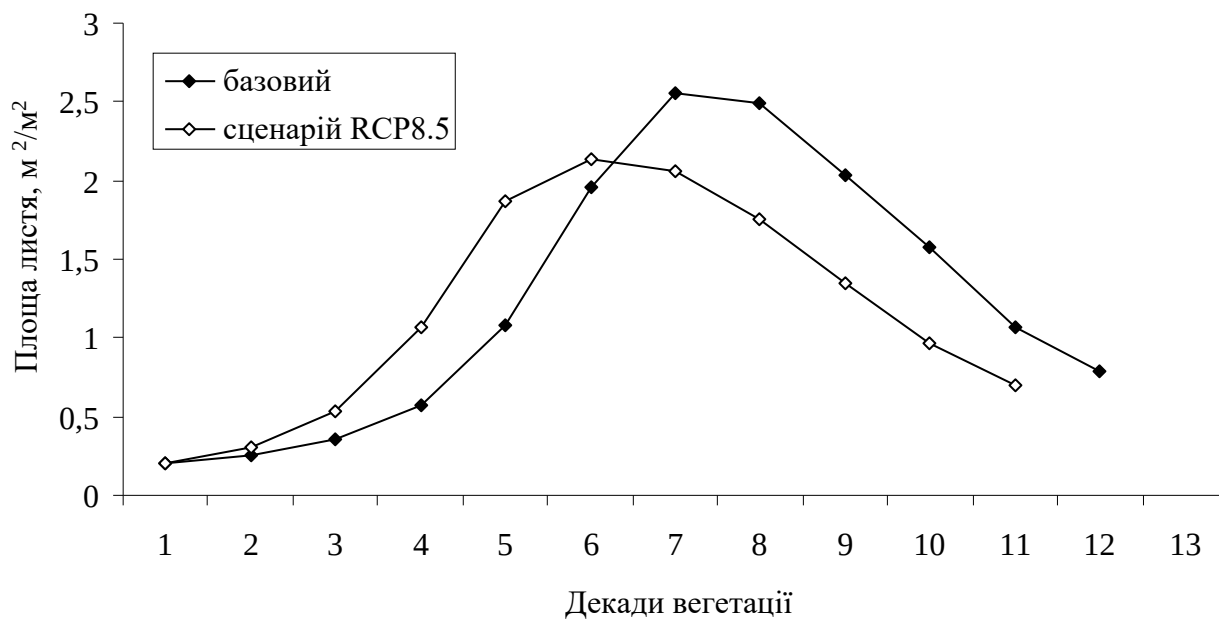


Рис. 7.8. Динаміка відносної площі листя посівів озимого жита в Лісостепу за умов зміни клімату за сценарієм RCP8.5 (2021-2050 рр.) у порівнянні з базовим періодом (1986-2005 рр.)

Максимальних значень площа листової поверхні досягає у сьому декаду і становить 2,6 $\text{м}^2/\text{м}^2$. За рахунок зміни кліматичних умов відбудеться зменшення максимальної відносної площі листя до 2,1 $\text{м}^2/\text{м}^2$ (табл. 7.12).

Таблиця 7.12. Показники фотосинтетичної продуктивності посівів озимого жита в умовах зміни клімату за сценарієм RCP8.5 (2021-2030 рр.) у порівнянні з базовим періодом (1986-2005 рр.)

Період	Варіант	Період максимального росту		Чиста продуктивність фотосинтезу, г/(м ² д)	Урожай, %
		площа листової поверхні, м ² /м ²	приріст загальної сухої біомаси, г/(м ² д)		
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 листкової поверхні при зниженому температурному режимі призведе до нижчих рівнів інтенсивності фотосинтезу (рис. 7.9) порівняно з базовим періодом.

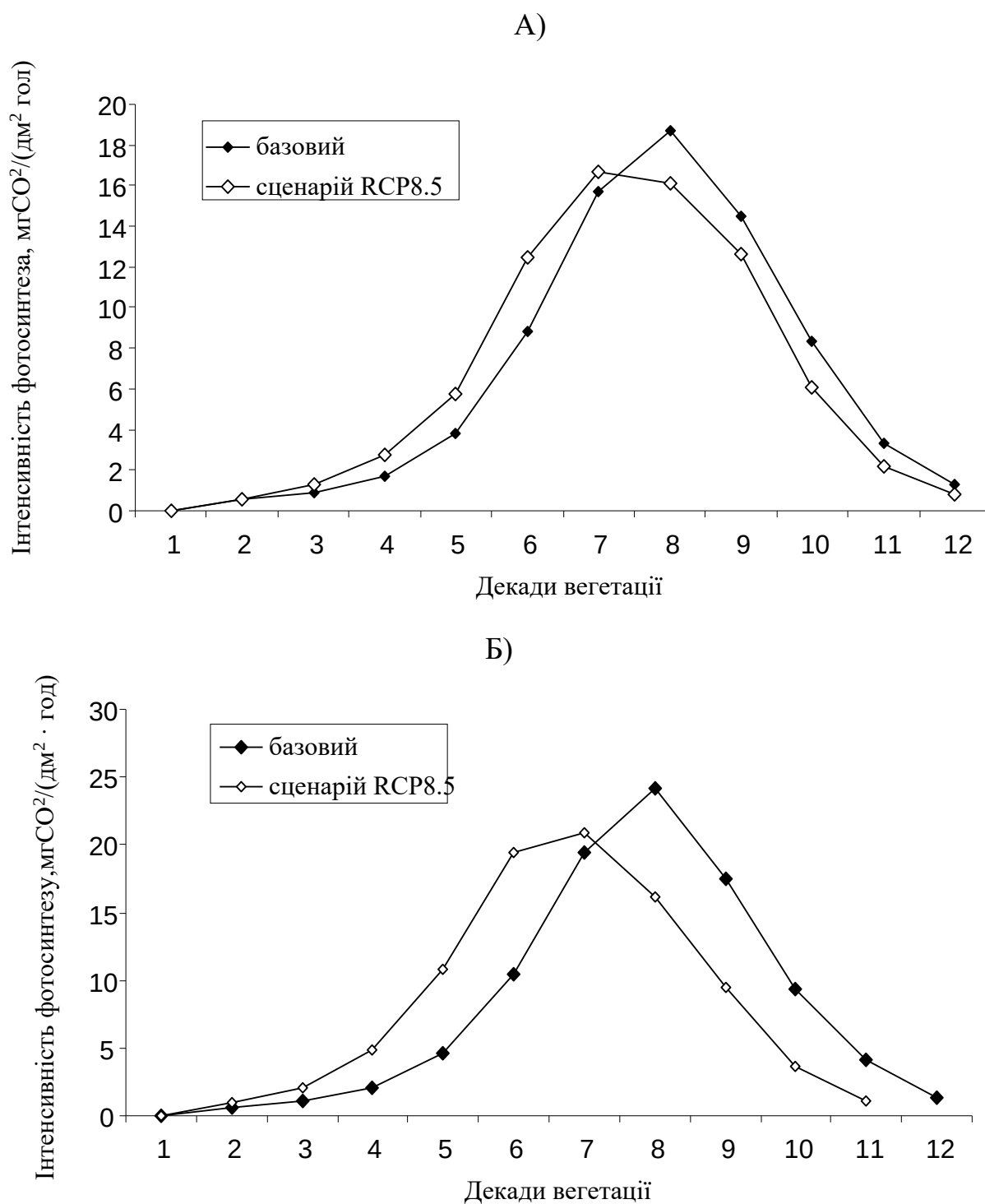


Рис. 7.9. Динаміка середньої за декаду інтенсивності фотосинтезу озимого жита в Поліссі (А) та Лісостепу (Б) в умовах зміни клімату за сценарієм RCP8.5 у порівнянні з базовим періодом (1986-2005 рр.)

В умовах Полісся максимальне значення інтенсивності фотосинтезу за сценарієм зміни клімату RCP8.5 становить 16,7 мг $\text{CO}_2/(\text{дм}^2 \cdot \text{год})$, а в умовах Лісостепу досягає 20,9 мг $\text{CO}_2/(\text{дм}^2 \cdot \text{год})$ в порівнянні з базовим - 18,7 та 24,9 $\text{CO}_2/(\text{дм}^2 \cdot \text{год})$ відповідно.

Такий хід площі асимілюючої поверхні та інтенсивності фотосинтезу зумовив і відповідний рівень динаміки загальної сухої біомаси посівів озимого жита. На рисунку 7.10 представлена суха маса цілої рослини озимого жита в умовах зміни клімату RCP4.5 в порівнянні з базовим періодом (1986-2005 рр.) для умов Полісся.

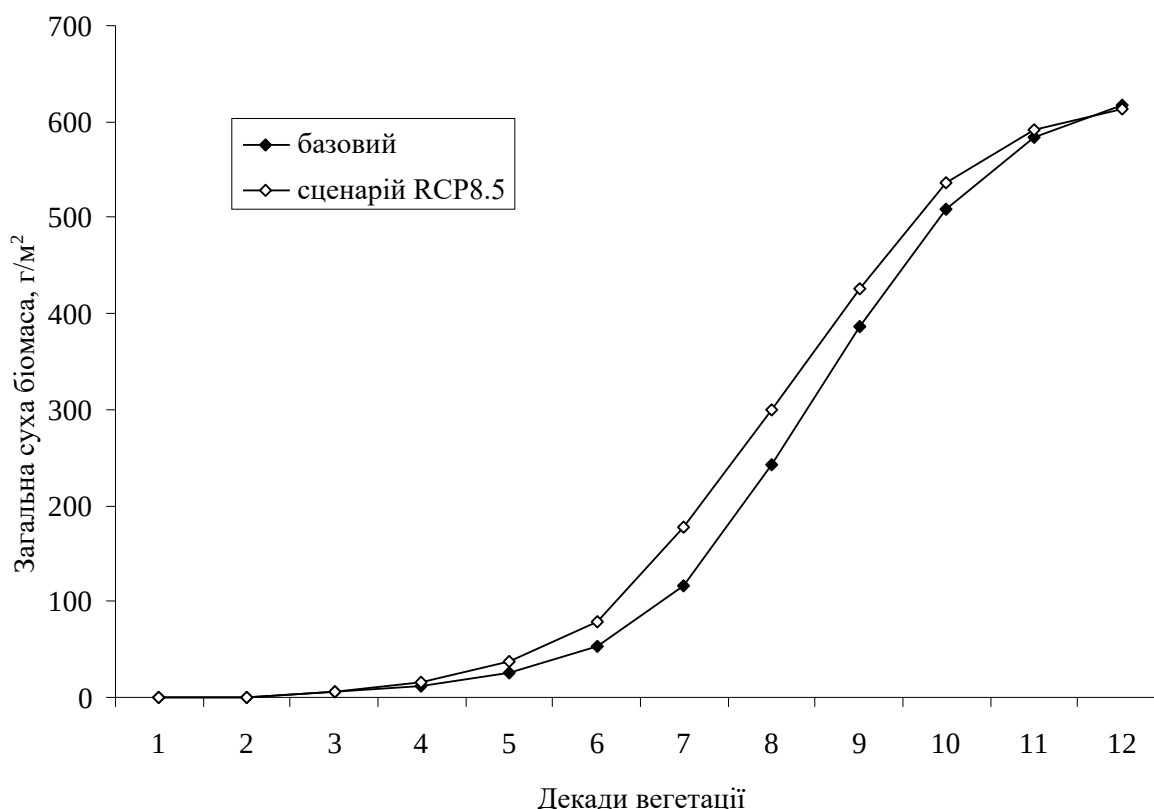


Рис. 7.10. Динаміка загальної сухої біомаси озимого жита в Поліссі в умовах зміни клімату за сценарієм RCP8.5 у порівнянні з базовим періодом (1986-2005 рр.)

Найбільш високі прирости загальної біомаси будуть спостерігатись в 7-й – 8-й декадах вегетації в Поліссі. За рахунок змін кліматичних умов сценарного періоду максимальний приріст зменшиться з 14,5 до 12,7 г/м² за день (на 12 %). Загальна суха біомаса посіву за рахунок зміни кліматичних умов в Поліссі зменшиться зовсім незначно, лише до 613 г/м² (базове значення становить 617 г/м²).

В умовах Лісостепу найбільш високі прирости загальної біомаси будуть спостерігатися раніше – в 6-й – 7-й декадах вегетації. За рахунок

змін кліматичних умов сценарного періоду максимальний приріст зменшиться з 18,8 до 16,3 г/м² за день (на 12 %). Загальна суха біомаса посіву за рахунок зміни кліматичних умов в Поліссі зменшиться до 1710 г/м² (базове значення становить 777 г/м²) (рис. 7.11).

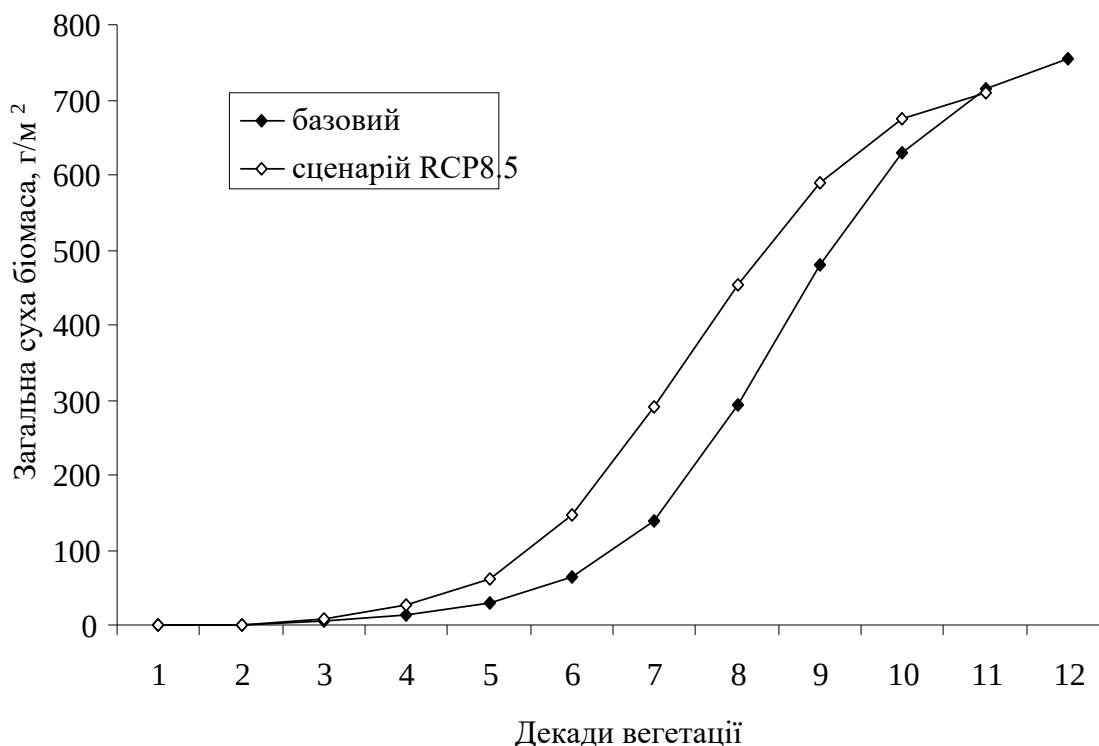


Рис. 7.11. Динаміка загальної сухої біомаси озимого жита в Лісостепу в умовах зміни клімату за сценарієм RCP8.5 у порівнянні з базовим періодом (1986-2005 рр.).

Чиста продуктивність фотосинтезу (ЧПФ) визначає 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 RCP8.5 у порівнянні з базовим періодом (1986-2005 рр.) представлені на рис. 7.12 А – в Поліссі та на рис. 7.12 Б – в Лісостепу. Як бачимо з рисунка, максимальні значення ЧПФ в Поліссі будуть спостерігатися в 6-й – 8-й 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-й – 7-й 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 %).

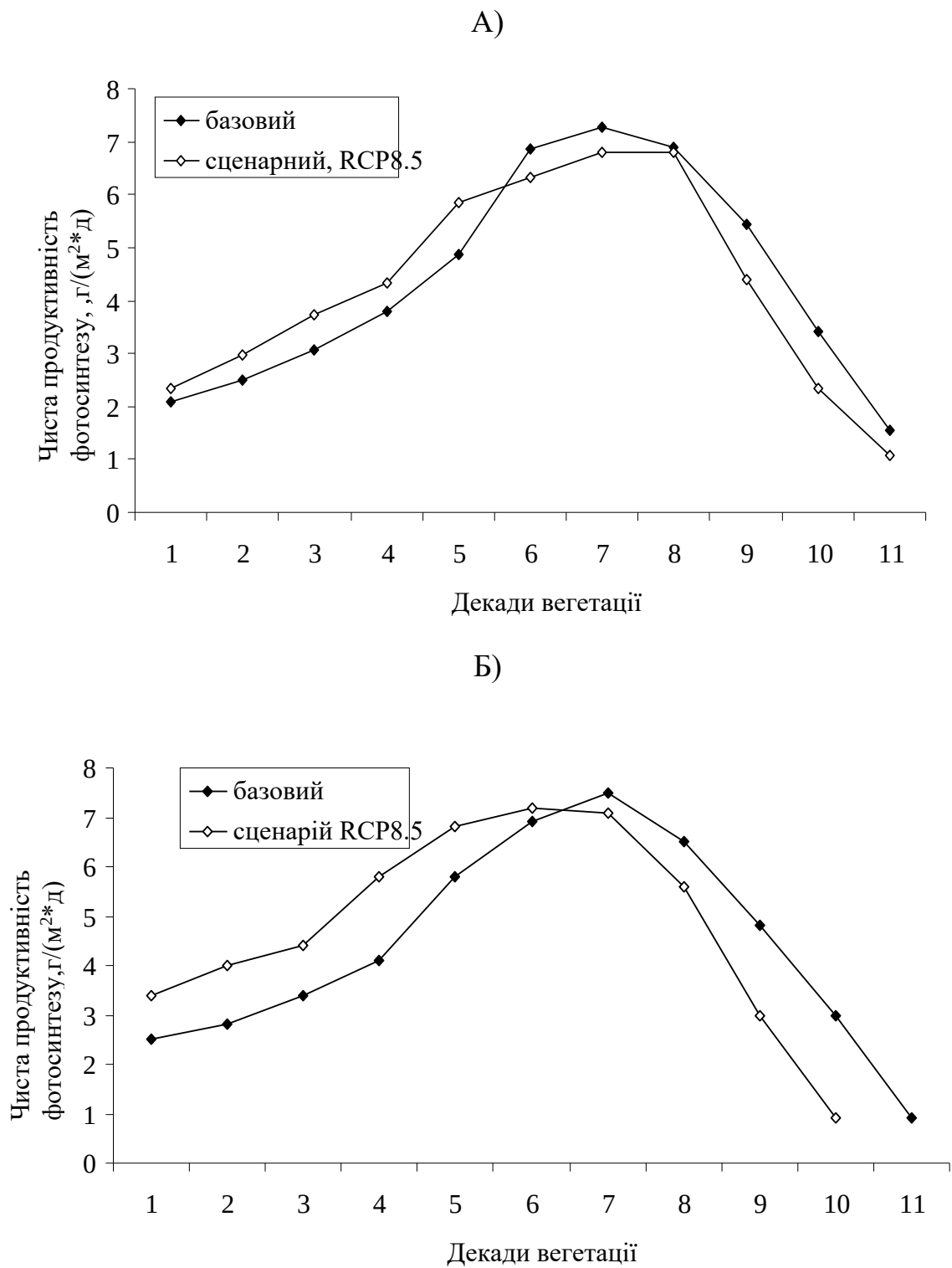


Рис. 7.12. Динаміка чистої продуктивності фотосинтезу озимого жита в Поліссі (А) та Лісостепу (Б) в умовах зміни клімату за сценарієм RCP8.5 у порівнянні з базовим періодом (1986-2005 рр.)

Таким чином, можна зробити висновок, що хоч умови вегетації й будуть проходити за умов зниження температурного режиму за рахунок змін кліматичних умов сценарного періоду, але до значного погіршення умов вирощування озимого жита це не призведе. Величина врожаю за рахунок змін кліматичних умов становитиме в Поліссі – 94 %, а в Лісостепу - 96 % у порівнянні з середньо багаторічними значеннями.

7.2.5. 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 з 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 %) областях – це свідчить про значне перезволоження зони (рис. 7.13).

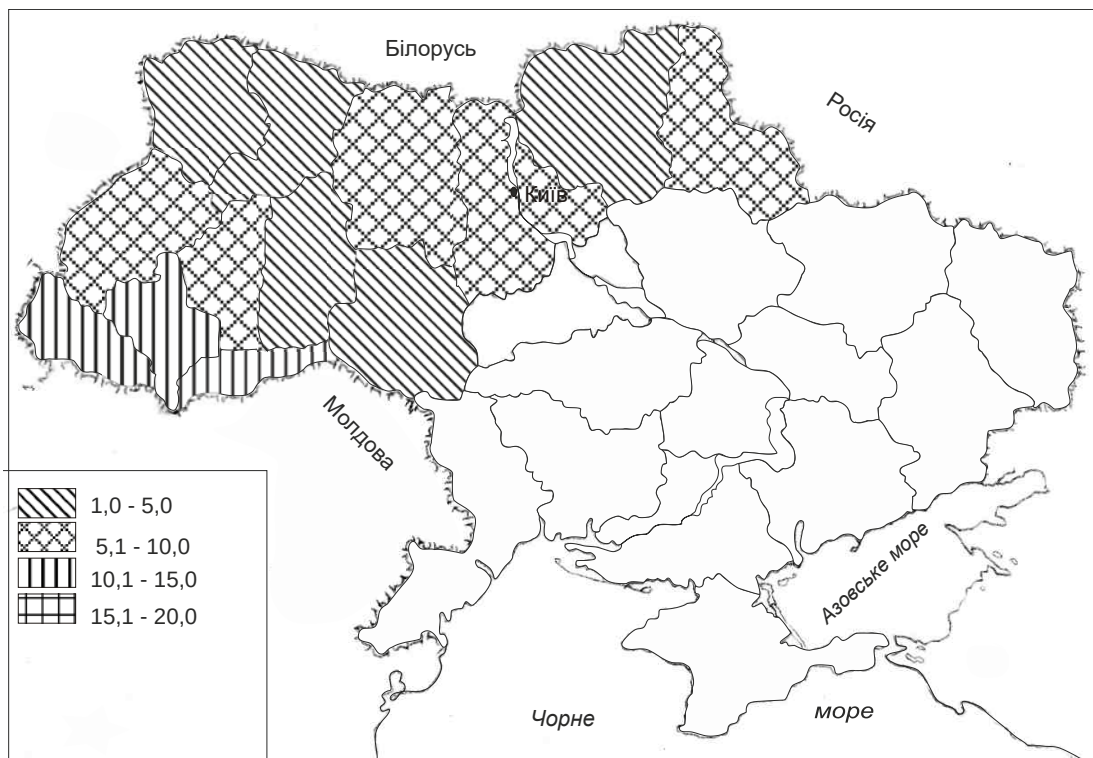


Рис. 7.13. Карта розподілу ризиків недобору врожаю озимого жита в (%) за середніми багаторічними значеннями (базовий період 1986 – 2005 рр.).

Найменші ризики недобору врожаю спостерігаються в Чернігівській області (1,4 %), це свідчить, що зона достатньо зволожена (табл. 7.13).

Таблиця 7.13. Ризики недобору врожаю озимого жита за сценарієм зміни клімату RCP4.5 та RCP8.5 у порівнянні з базовим періодом (1986-2005 pp.), %

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

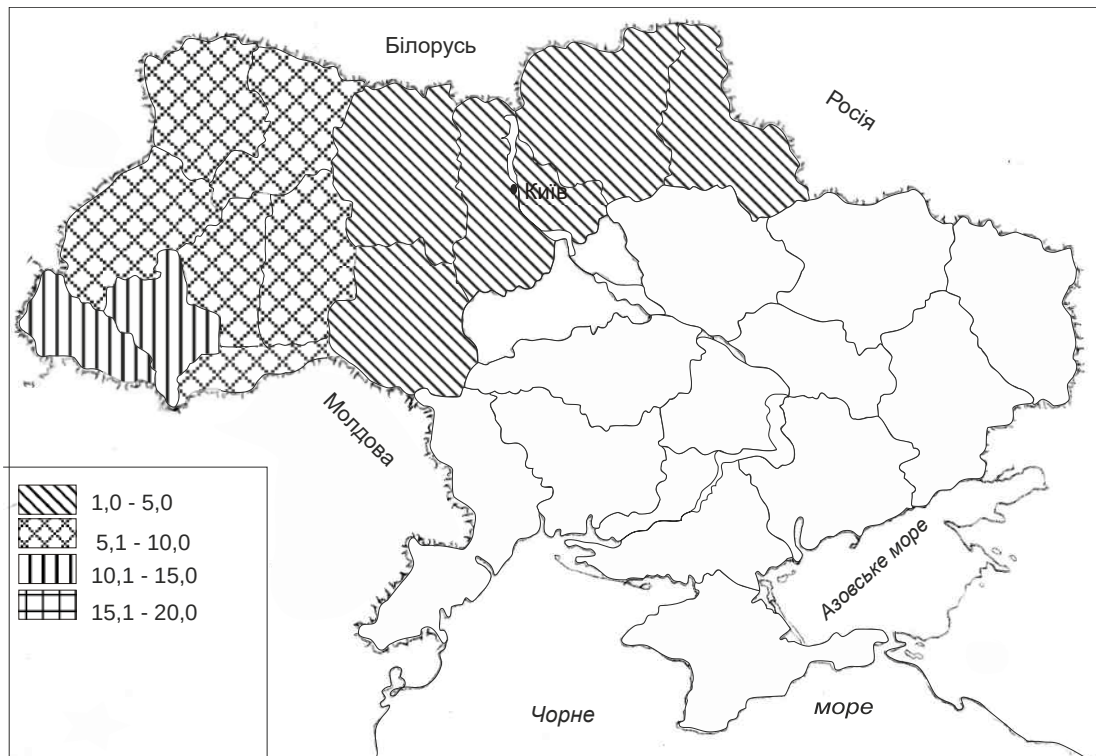
Примітка. 1,0-5,0 % - достатньо зволожена зона, 5,1-10,0 % – слабо перезволожена зона, 10,1-15,0 % - перезволожена зона; 15,1-20,0 дуже перезволожена зона.

В умовах Лісостепу найбільші ризики недобору врожаю озимого жита за середніми багаторічними характеристиками спостерігаються в Чернівецькій (14 %) та Київській (8,0 %) областях – це свідчить про значне перезволоження зони (рис. 7.14 А).

Найменші ризики недобору врожаю спостерігаються в Вінницькій області (2,1 %), це свідчить, що зона достатньо зволожена (табл. 7.13).

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 %) областях. Можна зробити висновок, що до збільшення значень ризиків призвело зниження температурного режиму (рис. 7.14 А). Найменші ризики недобору врожаю спостерігатимуться також в Чернігівській області (2,1 %), це свідчить, що зона достатньо зволожена (табл. 7.13).

А)



Б)

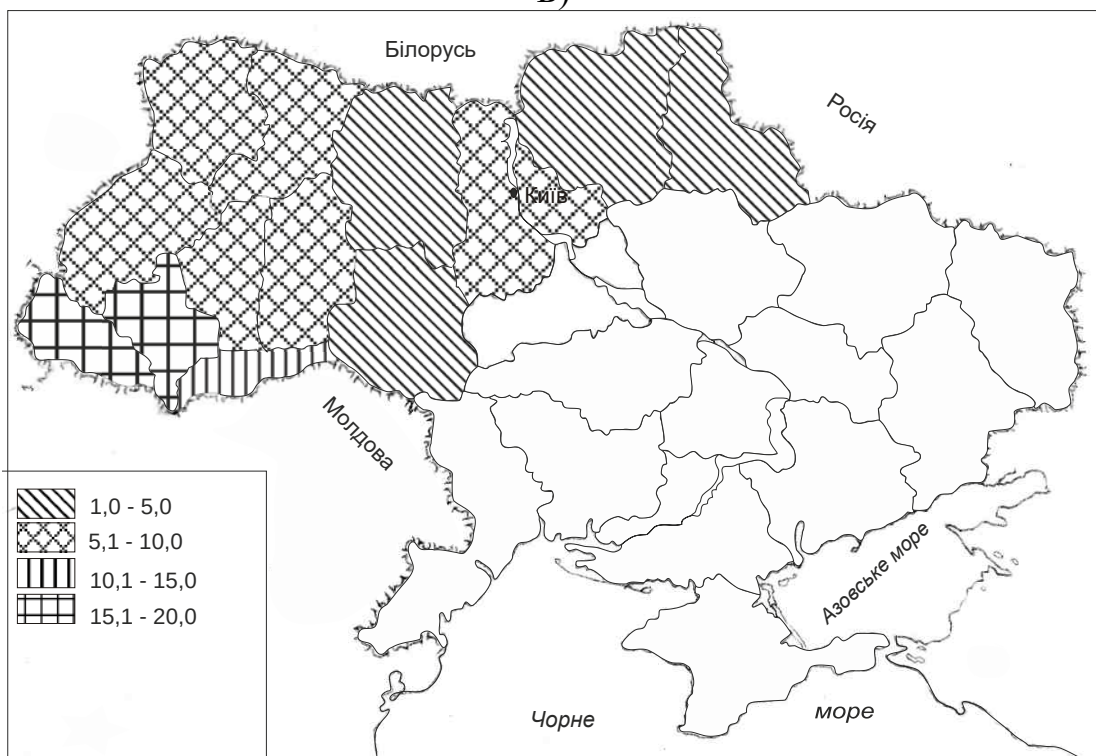


Рис. 7.14. Карта розподілу ризиків недобору врожаю озимого жита в (%) за сценарієм зміни клімату RCP4.5 (А) та сценарієм зміни клімату RCP8.5 (Б).

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 і 1,1 % відповідно, це свідчить, що зона достатньо зволожена (табл. 7.13).

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 %) областях. Можна зробити висновок, що до збільшення значень ризиків також призвело зниження температурного режиму (рис. 7.14 Б). Найменші ризики недобору врожаю спостерігатимуться також в Чернігівській області (1,3 %), це свідчить, що зона достатньо зволожена (табл. 7.13).

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. 7.13).

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, за яких спостерігається максимальна продуктивність посівів озимого жита. Проведено порівняння показників фотосинтетичної продуктивності озимого жита за середньо багаторічними даними і за сценаріями зміни клімату RCP4.5 та RCP8.5. Проведено порівняння сухої біомаси озимого жита за середньо багаторічними даними і 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 областях. 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 областях. Найменші ризики недобору врожаю озимого жита спостерігатимуться в Сумській області.

7.3. 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 і 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 і ячмінну крупу, у складі яких 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 RCP4.5 за період 2021 – 2050 рр.;
- кліматичні умови періоду 2021 – 2050 рр. за сценарієм RCP4.5 (кліматична норма + CO₂;
- кліматичні умови розрахункового періоду за сценарієм RCP8.5 за період 2021 – 2050 рр.;
- кліматичні умови періоду 2021–2050 рр. за сценарієм RCP8.5 при збільшенні CO₂ в атмосфері.

Як теоретична основа для виконання розрахунків і 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 RCP4.5 та RCP8.5.

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. 7.14, середні багаторічні терміни сівби ярого ячменю спостерігались з 23 березня в степовій зоні України, зміщувались на пізніші терміни в Лісостеповій зоні, а саме, до 7 квітня і ще пізніше в Поліссі – до 16 квітня.

Таблиця 7.14. Фази розвитку ярого ячменю за середніми багаторічними даними (1986-2005 pp.) і сценаріями зміни клімату RCP4.5 і RCP8.5

Період	Посів	Сходи	Колосіння	Воскова стиглість	Тривалість вегетаційного періоду, дні
Полісся					
1986-2005	16.IV	30.IV	19.VI	19.VII	94
RCP4.5	8.IV	30.IV	25.VI	25.VII	108
Різниця	-8	0	+6	+6	+14
RCP8.5	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
RCP4.5	7.IV	28.IV	23.VI	25.VII	109
Різниця	0	+6	+10	+11	+11
RCP8.5	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
RCP4.5	3.IV	24.IV	15.VI	14.VII	102
Різниця	-4	+3	+7	+7	+11
RCP8.5	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
RCP4.5	26.III	18.IV	7.VI	2.VII	98
Різниця	-3	-4	+3	+2	+5
RCP8.5	21.III	18.IV	6.VI	3.VII	103
Різниця	-8	-4	+2	+3	+10

За умов реалізації сценаріїв змін клімату RCP4.5 та RCP8.5, 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 RCP4.5 вони становитимуть не більше 3 днів, а за сценарієм RCP8.5 – 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 RCP4.5 та RCP8.5 відхилення термінів сходів очікуються однакові за обома сценаріями і наставатимуть в терміни, близькі до середніх багаторічних у Поліссі, раніші від середніх багаторічних на 4 дні - в Степу, і пізніші за середні багаторічні на 4 – 6 днів в Лісостеповій зоні.

Наступні за сходами фази розвитку ярого ячменю – колосіння і 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. Внаслідок 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 і 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. 7.15).

За сценарієм зміни клімату RCP4.5 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 нижча від базової на 0,3 °C в Північному Степу та на 1,8 °C в Західному Лісостепу. В Південному Степу вона буде вища від середніх багаторічних значень на 0,5 °C.

Середня температура повітря за сценарієм зміни клімату RCP8.5 в період сходів до колосіння коливатиметься від 13,8 °C в Поліссі та Західному Лісостепу до 15,7 °C в Північному Степу (табл. 7.15). В Поліссі та Західному Лісостепу середня температура зменшиться від базового рівня на 0,7 °C і 1,2 °C відповідно. А в Північному і Південному Степу середня температура збільшиться від базової на 0,3 °C та 0,8 °C відповідно.

Сума опадів в період від сходів до колосіння за середніми багаторічними даними коливалась від 63 мм в Північному Степу до 127 мм в Західному Лісостепу. Кількість опадів від сходів до колосіння за сценарієм RCP4.5 збільшиться в Поліссі та Західному Лісостепу на 4 %, а в

Таблиця 7.15. Агрокліматичні умови вирощування ярого ячменю за середньобігаторічними даними (1986-2005 рр.) та сценаріями зміни клімату RCP4.5 і RCP8.5

Періоди розрахунку	Сходи – колосіння						Колосіння – воскова стиглість						Вегетаційний період	
	середня температура, °C	сума опадів, мм	сумарне випаровування, мм	випаровування, мм	вологозабезпеченість, відн.од	середня температура, °C	сума опадів, мм	сумарне випаровування, мм	вологозабезпеченість, відн. од	сума опадів, мм	сумарне випаровування, мм	вологозабезпеченість, відн. од	сума опадів, мм	сумарне випаровування, мм
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		
RCP4.5	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%		
RCP8.5	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		
RCP4.5	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%		
RCP8.5	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%		

Кінець таблиці 7.15

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
РСР4.5	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%
РСР8.5	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
РСР4.5	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%
РСР8.5	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%

Південному Степу –на 12 %. Особливо різке збільшення опадів спостерігатиметься в Північному Степу (на 57 %).

За сценарієм RCP4.5 сума опадів від сходів до колосіння зросте більше і буде на 12 % в Поліссі, 18 % - в Західному Лісостепу, 55 % в Північному Степу і на 31 % - в Південному Степу вища від середніх багаторічних сум.

Сумарне випаровування за сценаріями зміни клімату RCP4.5 та RCP8.5 зменшиться в Поліссі на 17 % і 15 %, в Західному Лісостепу на 24 % і 19 % відповідно. В Північному Степу та Південному Степу сумарне випаровування за сценаріями зміни клімату RCP4.5 та RCP8.5 збільшиться: в Північному Степу на 11 % і 14 %, а в Південному Степу на 6 % і 5 % відповідно.

Як показують розрахунки за сценарієм зміни клімату RCP4.5 в період від сходів до колосіння випаровуваність в Поліссі, Західному Лісостепу і Північному Степу в порівнянні з базовою зменшиться до 36 %. В Південному Степу випаровуваність збільшиться в порівнянні з базовим значенням на 12 %.

Від сходів до колосіння випаровуваність в Західному Лісостепу за сценарієм зміни клімату RCP8.5 збільшиться на 35 % в порівнянні з базовою, а в Поліссі, Північному Степу та Південному Степу випаровуваність зменшиться на 25 % (табл. 7.15).

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 RCP4.5 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 RCP8.5 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 RCP4.5 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 від середньої температури базового періоду. В Західному Лісостепу середня температура повітря становитиме 18,7 °C, що буде майже на рівні середньої багаторічної.

За сценарієм зміни клімату RCP8.5 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 нижча на 0,2°C та 0,7 °C відповідно від 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 RCP8.5 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 випаровування 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 RCP4.5 сумарне випаровування збільшиться в Поліссі та Західному Лісостепу на 28 % і 45 % відповідно. В Північному і Південному Степу сумарне випаровування зменшиться на 6 % і 30 % відповідно.

За сценарієм зміни клімату RCP8.5 сумарне випаровування зросте в Поліссі до 76 мм, в Західному Лісостепу до 82 мм, Південному Степу до 34 мм. І тільки в зоні Північного Степу сумарне випаровування зменшиться до 47 мм, що на 11% нижче від середнього багаторічного.

Від колосіння до воскової стиглості випаровуваність за сценарієм зміни клімату RCP8.5 збільшиться в Поліссі та Західному Лісостепу від 7 % до 26 % відповідно. Випаровуваність зменшиться в Північному Степу на 13 % і в Південному Степу на 16 % (табл. 7.15).

Випаровуваність в період від колосіння до воскової стиглості за сценарієм зміни клімату RCP8.5 зменшиться в Поліссі, Північному і 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 RCP8.5 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 RCP8.5 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 RCP8.5 за вегетаційний період збільшиться в Поліссі та Північному Степу на 8 % і 17 %, а в Західному Лісостепу і Південному Степу зменшиться на 3 % і 11 %, відповідно.

За умов реалізації сценарію зміни клімату RCP8.5 сума опадів за вегетаційний період збільшиться в Поліссі, в Західному Лісостепу та Північному Степу на 8 %, 3 % і 19 % відповідно. І тільки в Південному Степу сума опадів буде близька до середньо багаторічних значень.

Вологозабезпеченість за умов реалізації сценаріїв змін клімату RCP4.5 та RCP8.5 збільшиться в Поліссі, Західному Лісостепу та Північному Степу, окрім Південного Степу, де вологозабезпеченість зменшиться (табл. 7.15).

Зміни агрокліматичних умов спричинять зміну показників фотосинтетичної діяльності посівів ярого ячменю, що зумовить 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 і урожай біомаси зерна, коефіцієнт господарської ефективності, який показує частку 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 RCP4.5 та RCP8.5 в порівнянні з показниками фотосинтетичної продуктивності ярого ячменю, які розраховані за середніми багаторічними даними (табл. 7.16).

Динаміка окремих показників фотосинтетичної діяльності наводиться на рис. 7.15 – 7.30.

Як видно із табл. 7.16 та рис. 7.15- 7.18 *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 RCP4.5 по варіанту «клімат» показують, що збільшення площі листя відбудеться за сценарієм RCP4.5 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 %.

Таблиця 7.16. Порівняння показників фотосинтетичної продуктивності ярого ячменю за середніми багаторічними даними (1986-2005 pp.) та сценаріями зміни клімату RSP4.5 і RSP8.5

Період	Варіант	Площа листя в період максимального розвитку, $\text{м}^2/\text{м}^2$	Чиста продуктивність фотосинтезу в період максимального розвитку, $\text{г}/(\text{м}^2 \cdot \text{дек})$	Приріст маси в період максимального розвитку, $\text{г}/(\text{м}^2 \cdot \text{дек})$	Суха біомаса, $\text{г}/\text{м}^2$	Фотосинтетичний потенціал, $\text{м}^2/\text{м}^2$
Поліся						
1986-2005 RCP4.5	Базовий	1,62	81	124	454	79
	Клімат	1,99	77	148	568	101
	Клімат + CO ₂	2,09	79	159	605	106
RCP8.5	Клімат	1,87	84	157	594	100
	Клімат + CO ₂	2,00	86	172	647	106
Західний Лісостеп						
1986-2005 RCP4.5	Базовий	1,52	88	126	475	74
	Клімат	2,31	86	191	692	116
	Клімат + CO ₂	2,44	88	205	739	121
RCP8.5	Клімат	2,16	94	203	712	112
	Клімат + CO ₂	2,32	96	223	777	119
Північний Степ						
1986-2005 RCP4.5	Базовий	1,44	83	102	334	65
	Клімат	1,96	95	179	563	90
	Клімат + CO ₂	2,08	97	192	600	93
RCP8.5	Клімат	2,34	100	224	677	104
	Клімат + CO ₂	2,51	102	245	736	110
Південний Степ						
1986-2005 RCP4.5	Базовий	2,66	89	174	499	114
	Клімат	2,92	90	188	579	127
	Клімат + CO ₂	3,08	91	202	617	133
RCP8.5	Клімат	3,42	100	296	714	137
	Клімат + CO ₂	3,69	102	324	778	150

В разі реалізації сценарію RCP8.5 за варіантом «клімат» розрахунки показують, що відбудеться більш значне збільшення площі листя в порівнянні із середніми багаторічними значеннями і 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. 7.15, 7.16).

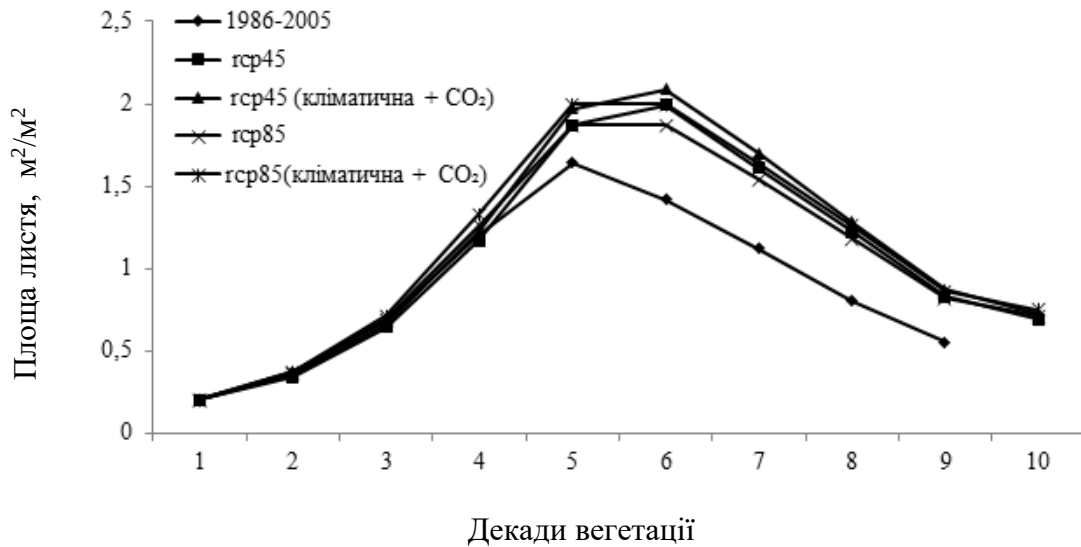


Рис. 7.15. Динаміка площі листя ярого ячменю в Поліссі за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценаріями зміни клімату RCP4.5 і RCP8.5

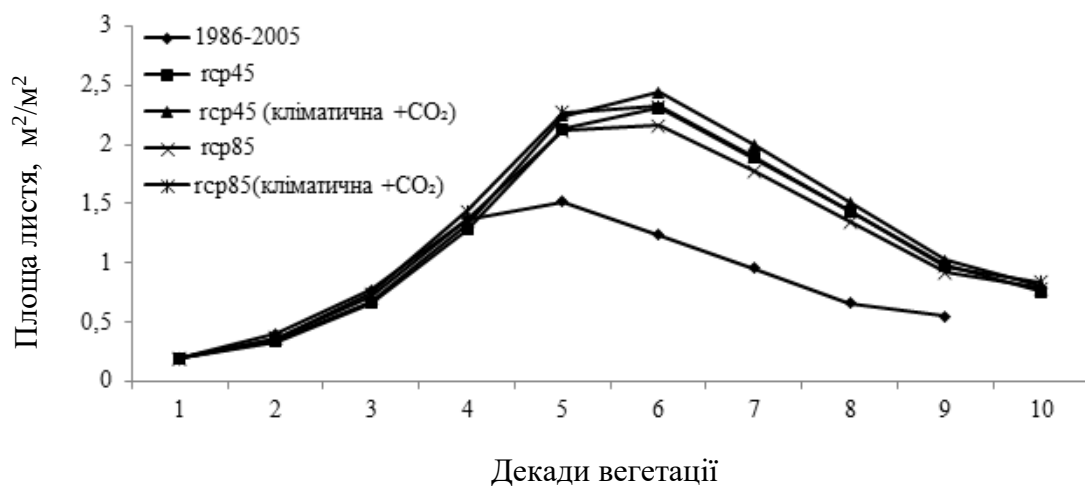


Рис. 7.16. Динаміка площі листя ярого ячменю в Західному Лісостепу за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценаріями зміни клімату RCP4.5 і RCP8.5

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 зросте 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. 7.17, 7.18)

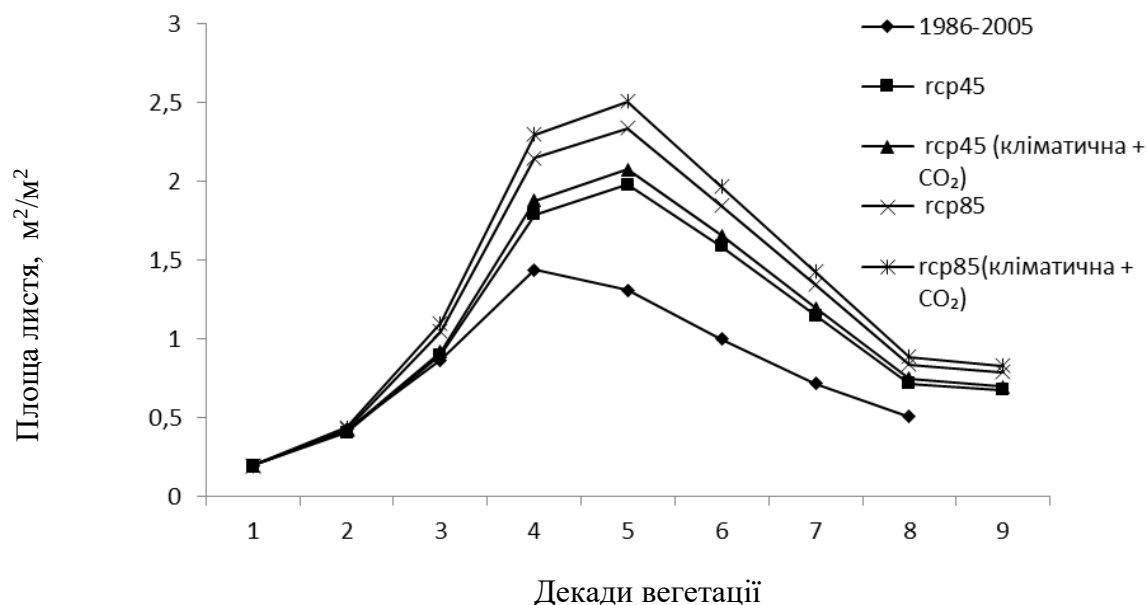


Рис. 7.17. Динаміка площі листя ярого ячменю в Північному Степу за середньобаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценаріями зміни клімату RCP4.5 і RCP8.5.

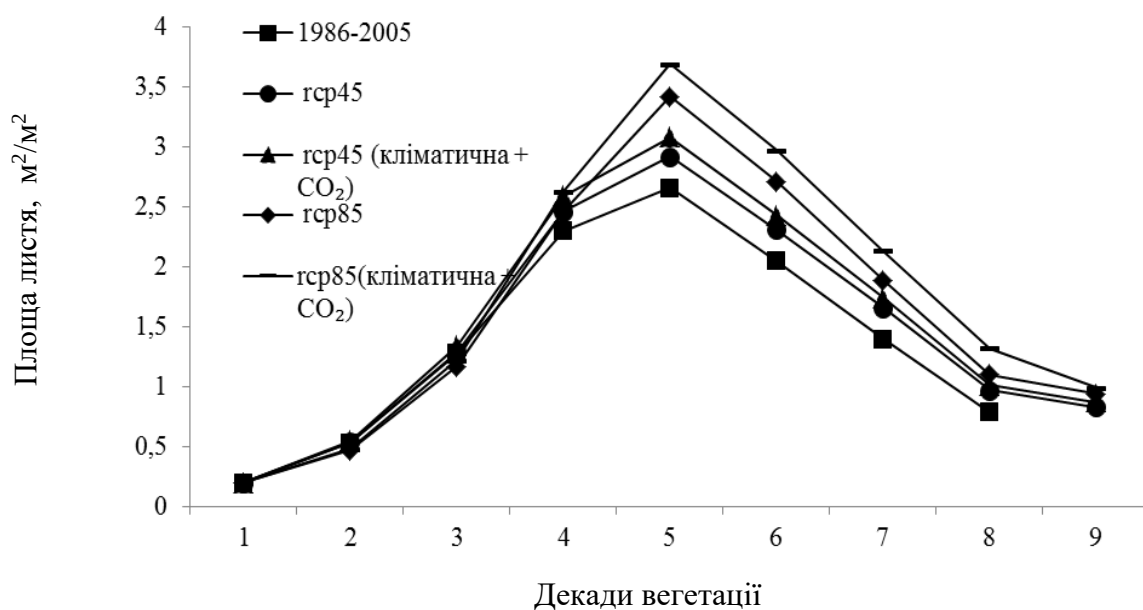


Рис. 7.18. Динаміка площі листя ярого ячменю в Південному Степу за середньобаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценаріями зміни клімату RCP4.5 і RCP8.5.

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. 7.16, а її динаміка впродовж вегетаційного періоду на рис. 7.19 – 7.22.

В базовий період середні багаторічні значення сухої маси змінювались від 454 г/м² в Поліссі, поступово збільшувались на південь і досягли в Південному Степу 499 г/м².

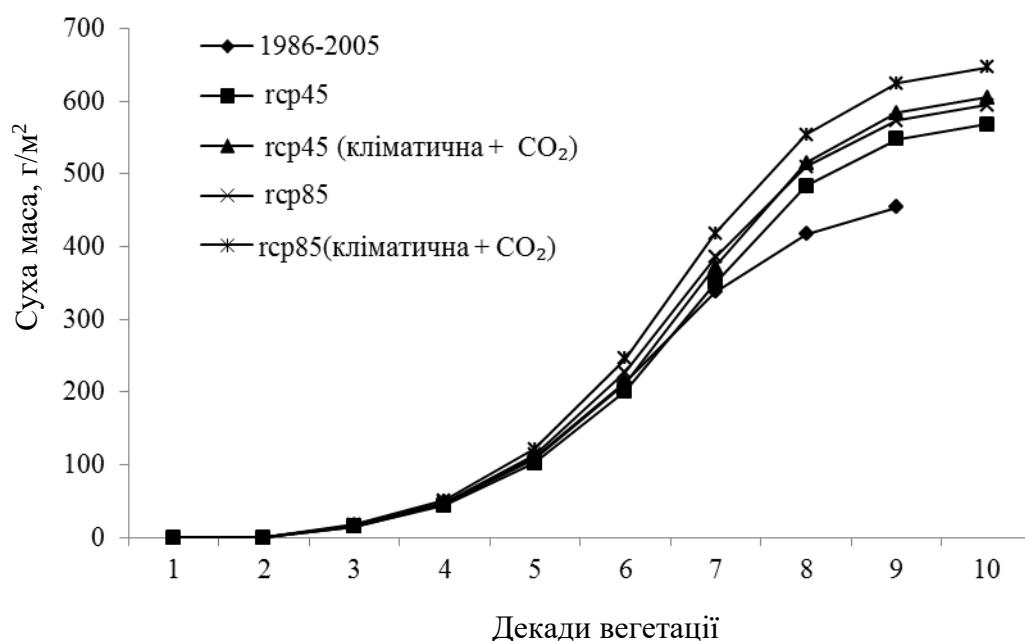


Рис. 7.19. Суха маса ярого ячменю в Поліссі за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценаріями зміни клімату RCP4.5 і RCP8.5.

Розрахунки сухої маси за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 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 RCP4.5 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 варіанта «клімат» і становитиме відповідно 605, 739, 600 та 617 г/м², що більше від середніх багаторічних значень сухої маси на 25, 36, 44 та 19 % відповідно (рис. 7.19 – 7.22).

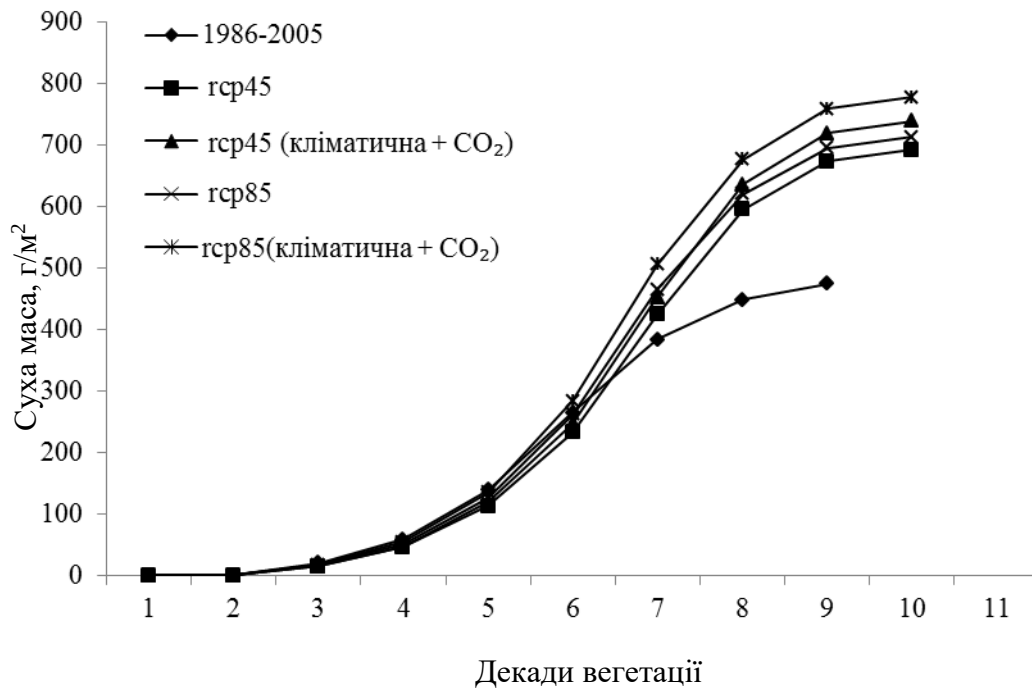


Рис. 7.20. Суша маса ярого ячменю в Західному Лісостепу за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценаріями зміни клімату RCP4.5 і RCP8.5

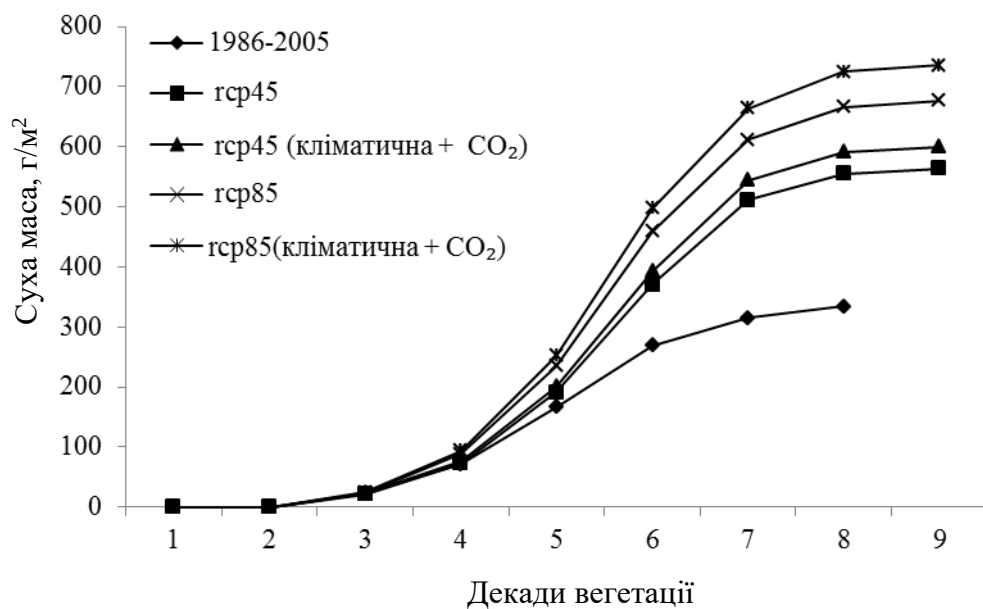


Рис. 7.21. Суша маса ярого ячменю в Північному Степу за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценаріями зміни клімату RCP4.5 і RCP8.5.

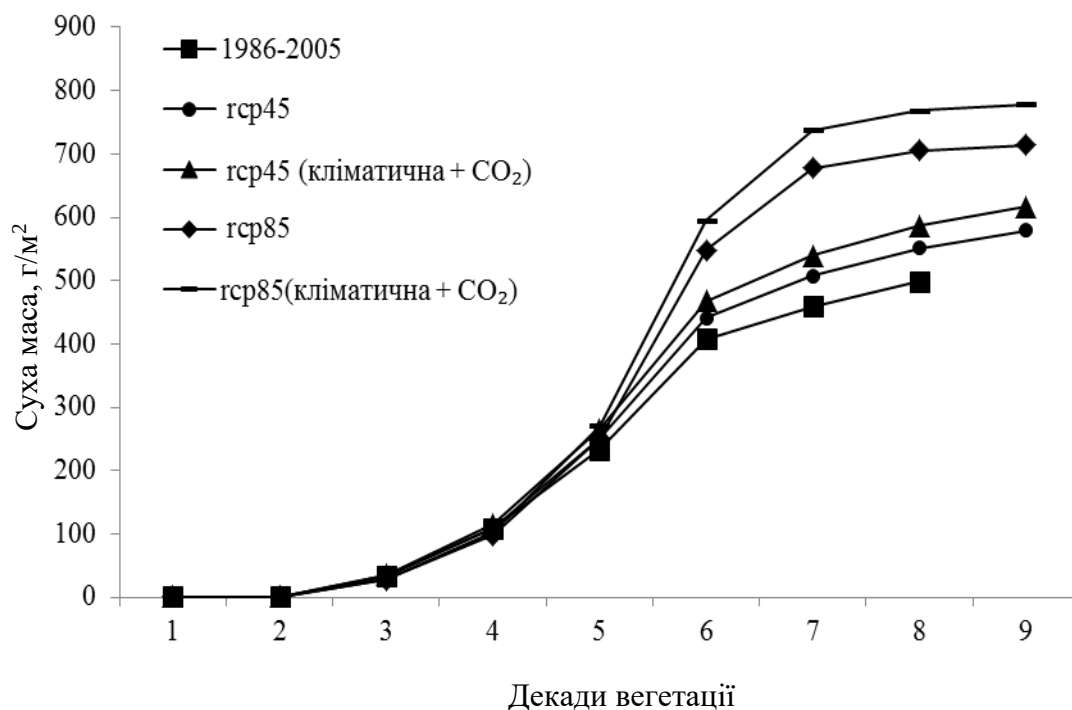


Рис. 7.22. Суха маса ярого ячменю в Південному Степу за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценаріями зміни клімату RCP4.5 і RCP8.5.

В разі реалізації сценарію RCP8.5 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 - 2 %).

У варіанті «клімат + CO₂» в Поліссі збільшення сухої маси в порівнянні із варіантом «клімат» не буде спостерігатись. В інших зонах збільшення сухої маси буде 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 і сухої маси рослин буде змінюватись і значення фотосинтетичного потенціалу (табл. 7.16, рис. 7.23 – 7.25).

Як видно із табл. 7.16 та рис 7.23 – 7.26, 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 і 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 RCP4.5 та RCP8.5, 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» і «клімат + CO₂» у Поліссі фотосинтетичний потенціал зростає на 21 – 25 % у порівнянні із середніми багаторічними значеннями (рис. 7.23).

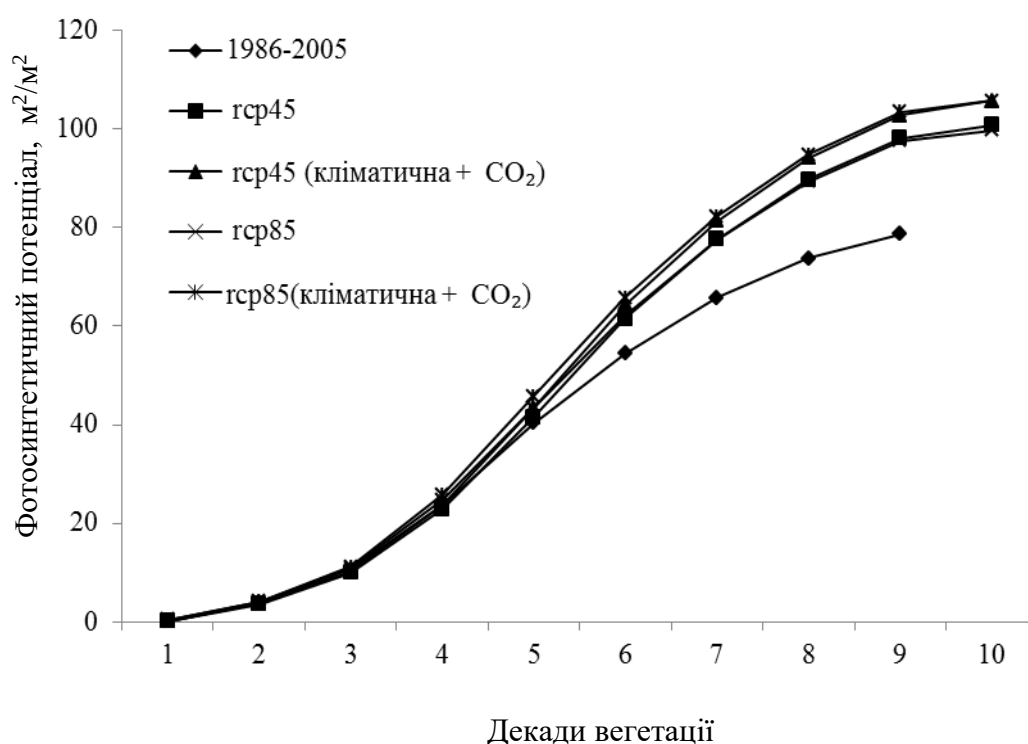


Рис. 7.23. Фотосинтетичний потенціал ярого ячменю в Поліссі за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценаріями зміни клімату RCP4.5 і RCP8.5

В Західному Лісостепу фотосинтетичний потенціал за обома сценаріями буде зростати на 34 - 36 % у варіанті «клімат» і на 38 – 39 % у варіанті «клімат + CO₂» і становитиме 112 і 116 м²/м² відповідно (рис. 7.24). Значення фотосинтетичного потенціалу в Північному Степу за обома сценаріями зростатимуть, але зростання буде більш відчутним за сценарієм RCP8.5 як у варіанті «клімат», так і у варіанті «клімат + CO₂» і становитиме за першим сценарієм 90 та 93 м²/м² , і за другим 104 і 110 м²/м² відповідно, або на 28 - 30 % і на 37 - 41 % більше, ніж середні багаторічні (рис. 7.25).

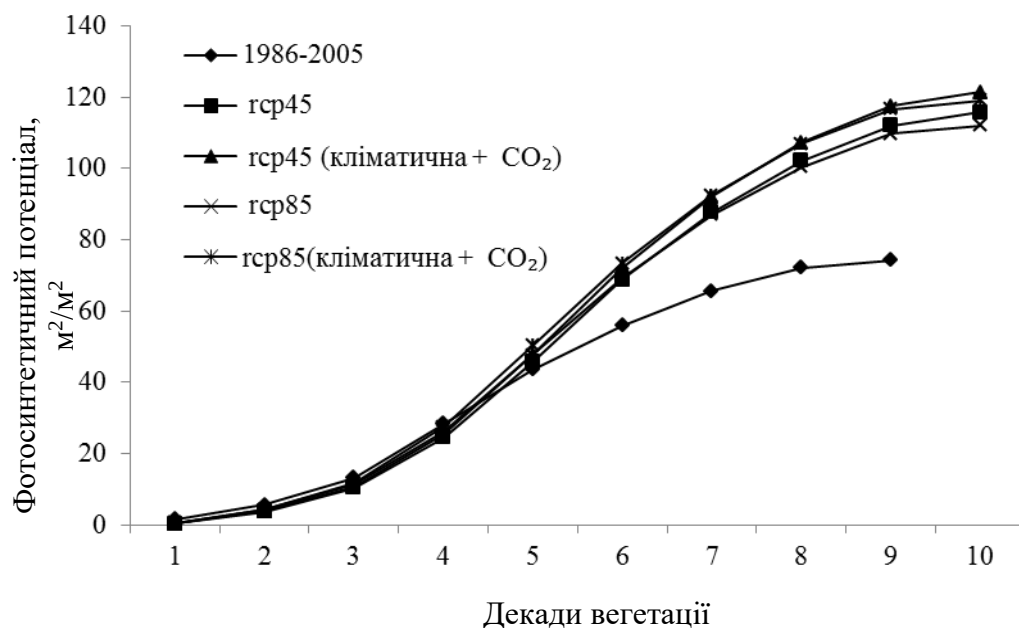


Рис. 7.24. Фотосинтетичний потенціал ярого ячменю в Західному Лісостепу за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценаріями зміни клімату RCP4.5 і RCP8.5

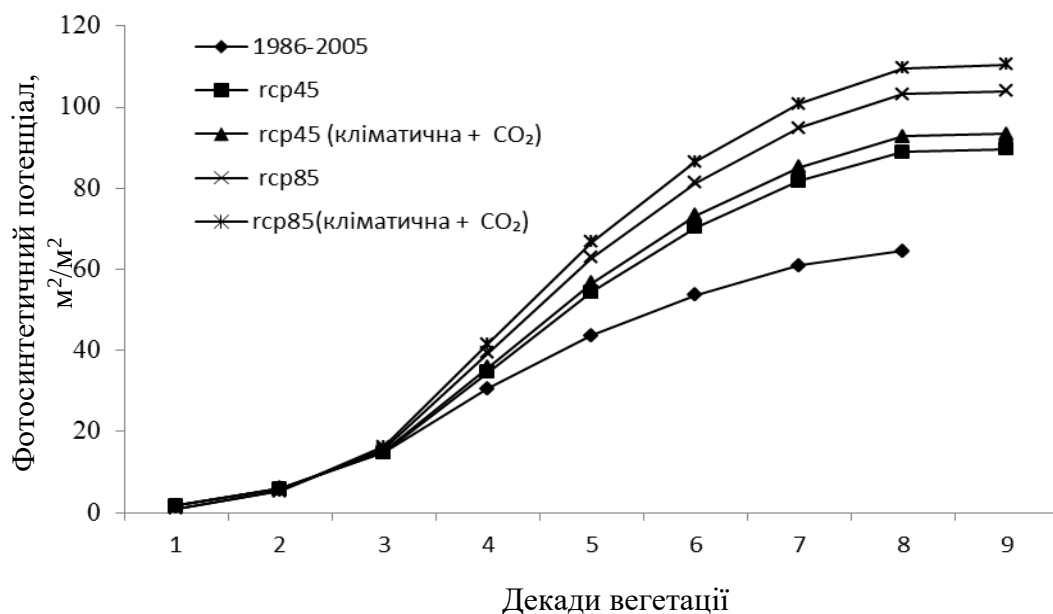


Рис. 7.25. Фотосинтетичний потенціал ярого ячменю в Північному Степу за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценаріями зміни клімату RCP4.5 і RCP8.5

В Південному Степу середні багаторічні значення фотосинтетичного потенціалу найвищі - 114 м²/м², але зростання його за розрахунками за сценаріями в обох варіантах буде найменше по Україні і становитиме за

сценарієм RCP4.5 відповідно 10 і 14 % , за сценарієм RCP8.5 – 17 і 24 % відповідно (рис. 7.26).

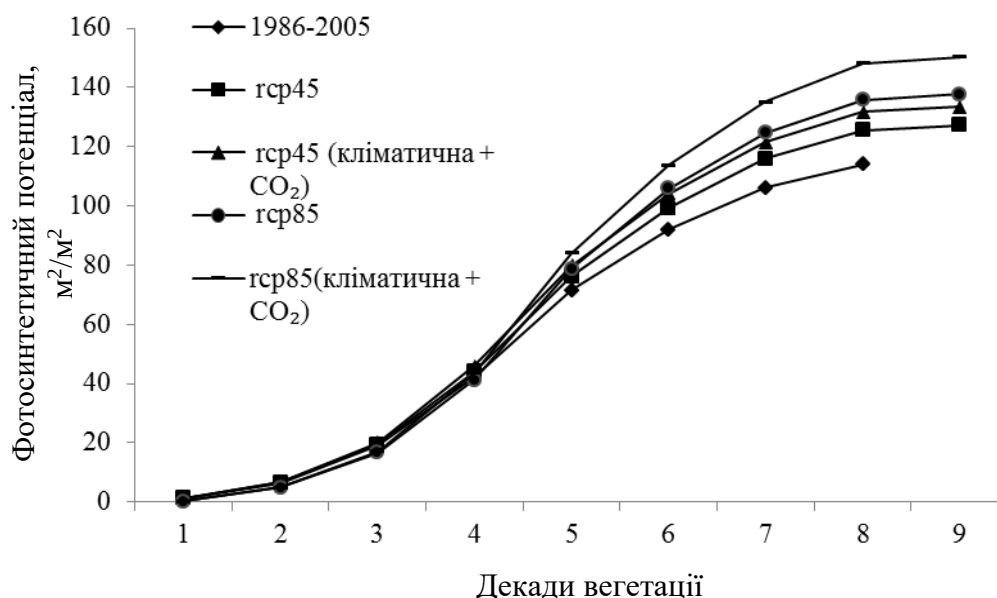


Рис 7.26. Фотосинтетичний потенціал ярого ячменю в Південному Степу за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценаріями зміни клімату RCP4.5 і RCP8.5

Ще одним показником фотосинтетичної діяльності рослин є чиста продуктивність фотосинтезу (рис. 7.27). Найвищі значення чистої продуктивності фотосинтезу за середніми багаторічними даними спостерігались в Південному Степу і становили 89 г/(м².д). В Західному Степу вона становила 88 г/(м². д), в Північному Степу – 83 г/(м². д) і у Поліссі – 81 г/(м². д) .

В разі реалізації сценарію RCP4.5 чиста продуктивність фотосинтезу у варіантах «клімат» і «клімат + CO₂» зменшиться на 2 – 4 г/(м². д) в Поліссі. В Західному Лісостепу у варіанті «клімат» вона зменшиться на 2 г/(м². д) , у варіанті «клімат + CO₂» буде на рівні середнього значення базового періоду. Якщо ж реалізується сценарій RCP8.5, то спостерігатиметься збільшення чистої продуктивності фотосинтезу в обох варіантах до 94 і 96 г/(м². д), (рис. 7.28).

В Північному Степу теж відбудеться збільшення чистої продуктивності фотосинтезу за обома сценаріями в обох варіантах. За сценарієм RCP4.5 чиста продуктивність становитиме 95 і 97 г/(м². д) відповідно, тобто на 12 і 15 г/(м². д) буде вища від середнього багаторічного. За сценарієм RCP8.5 вона зросте ще більше і становитиме відповідно 100 і 102 г/(м². д), що на 17 і 19 г/(м². д) більше, ніж середня багаторічна (рис. 7.29).

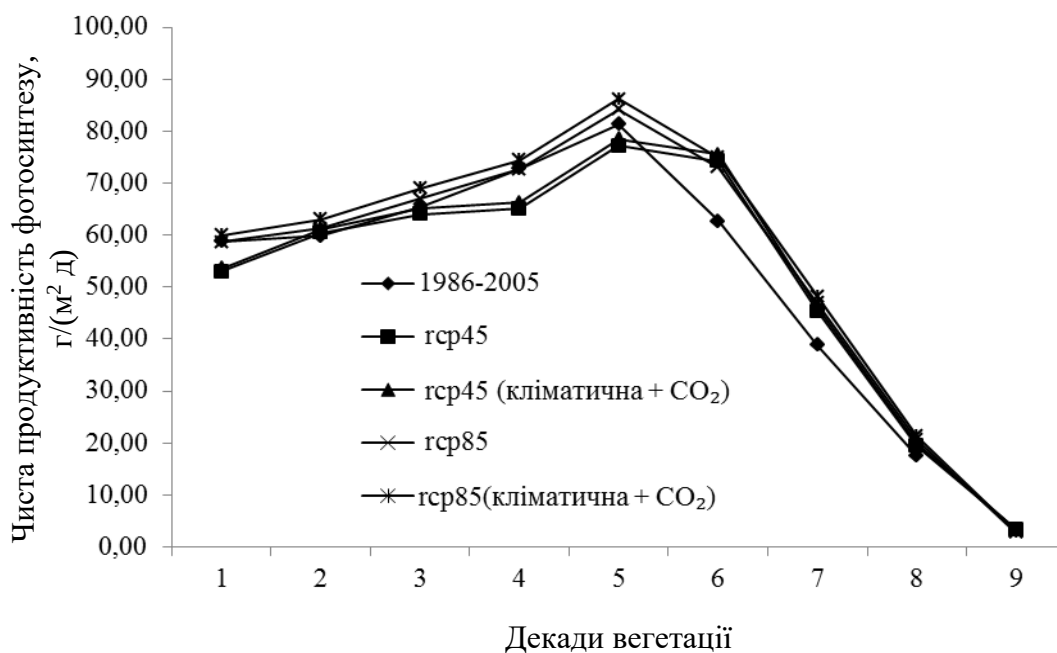


Рис 7.27. Чиста продуктивність фотосинтезу ярого ячменю в Поліссі за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценаріями зміни клімату RCP4.5 і RCP8.5

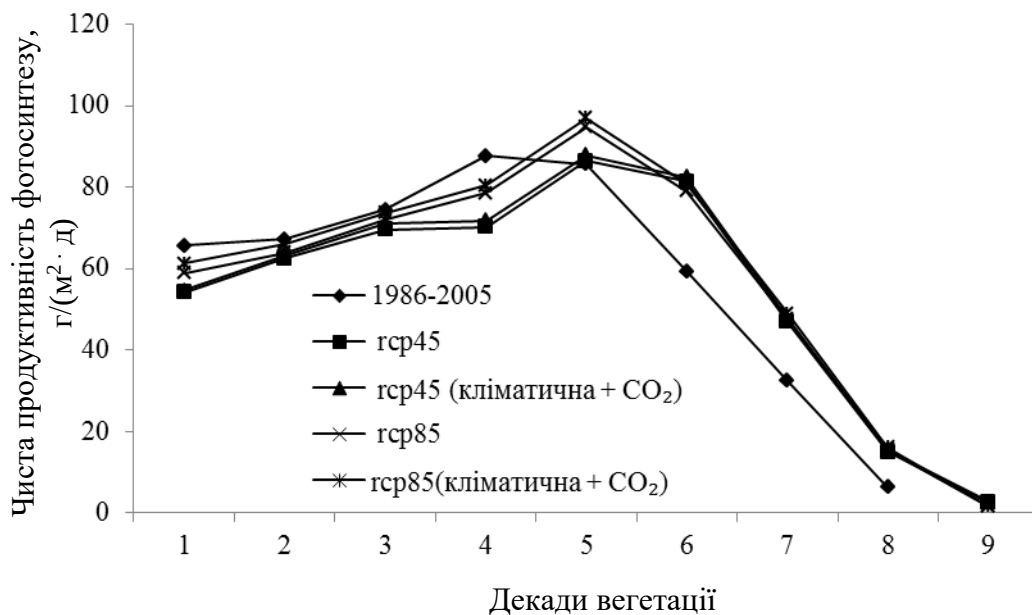


Рис. 7.28. Чиста продуктивність фотосинтезу ярого ячменю в Західному Лісостепу за середніми багаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценаріями зміни клімату RCP4.5 і RCP8.5

В Південному Степу чиста продуктивність фотосинтезу за сценарієм RCP4.5 зростає в обох варіантах до 90 і 91 г/(м²·д), що вище від середньої багаторічної всього на 2-3 г/(м²·д). За сценарієм RCP8.5 вона зростатиме

інтенсивніше, буде такою ж як і у Північному Степу і становитиме відповідно 100 і 102 г/(м². д), що на 11 і 19 г/(м². д) більше, ніж середня багаторічна (рис. 7.29, 7.30).

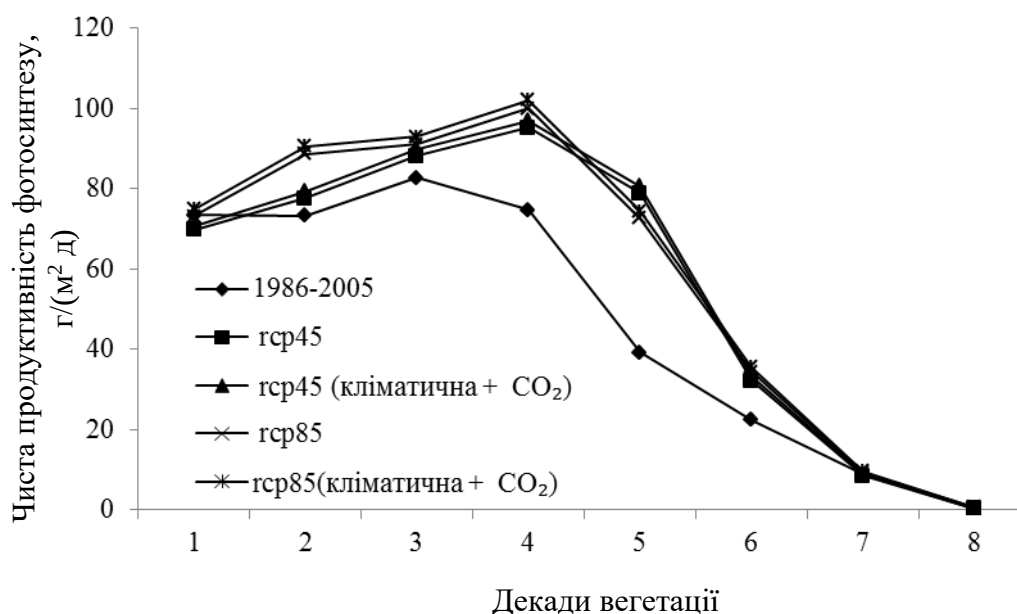


Рис. 7.29. Чиста продуктивність фотосинтезу ярого ячменю в Північному Степу за середніми багаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценаріями зміни клімату RCP4.5 і RCP8.5

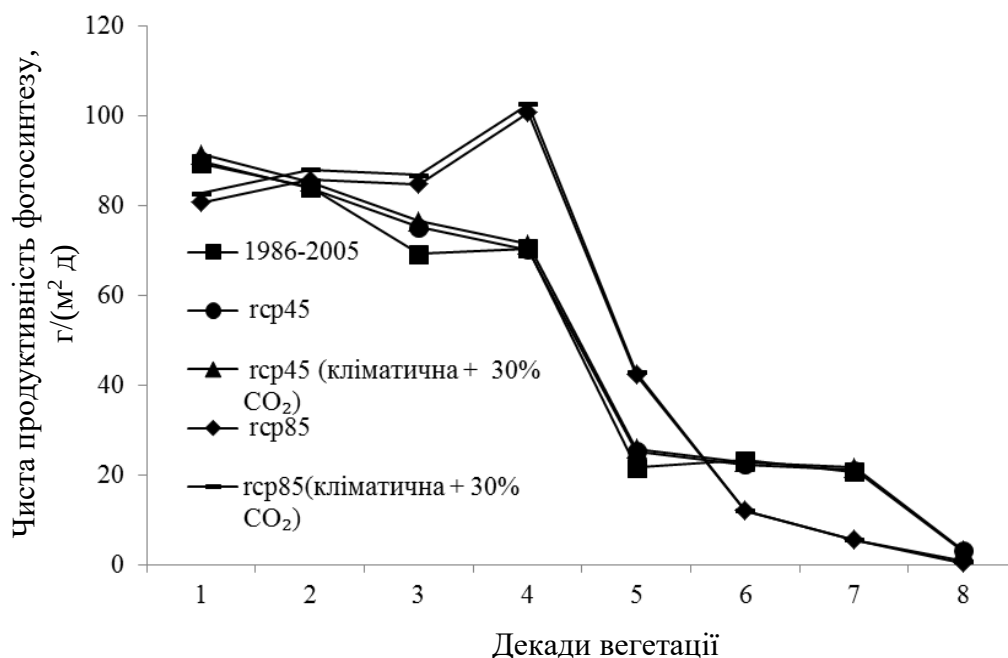


Рис. 7.30. Чиста продуктивність фотосинтезу ярого ячменю в Південному Степу за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценаріями зміни клімату RCP4.5 і RCP8.5

Як видно із табл. 7.16, 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 RCP4.5 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 від 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 RCP4.5 в обох варіантах до 43 та 45 ц/га, що вище від середнього багаторічного на 30 – 35 % відповідно. За сценарієм RCP8.5 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 від середнього багаторічного відповідно.

В Північному Степу очікуються найбільші прирости врожаїв: до 44 – 47 % більше від середнього багаторічного за першим сценарієм та до 54 – 58 % – за другим.

В Південному Степу за сценарієм RCP4.5 урожаї збільшаться в обох варіантах відповідно на 10 і 15 % і становитимуть 29 – 31 ц/га. За другим сценарієм в цій зоні урожаї в обох варіантах зростуть відповідно на 28 і 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 RCP4.5 та RCP8.5 на території України майже однорідний. На рис. 7.31 і табл. 7.17 наводиться розподіл очікуваних ризиків недобору врожаю ярого ячменю в 2021-2050 рр. за сценарієм RCP4.5.

За сценарієм RCP4.5 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 і в західних областях Південного Степу 9,6 – 13,5 %. Найбільші очікувані ризики недобору врожаю ярого ячменю спостерігатимуться в центральних областях Південного Степу і коливатимуться від 13,6 до 17,5 %.

На рис. 7.32 і табл. 7.18 наводиться розподіл очікуваних ризиків недобору врожаю ярого ячменю в 2021-2050 рр. за сценарієм RCP8.5.

Таблиця 7.17. Очікувані ризики недобору врожаю ярого ячменю в 2021-2050 рр. за сценарієм RCP4.5
(0-5 % – низькі, 6-15 % – середні, 16-25 % – високі, >25 % – значно високі)

№ п/п	Область	Ризики недобору врожаю,		Середньо- 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



Рис. 7.31. Розподіл очікуваних ризиків (%) недобору врожаю ярого ячменю в 2021-2050 рр. за сценарієм RCP4.5 .

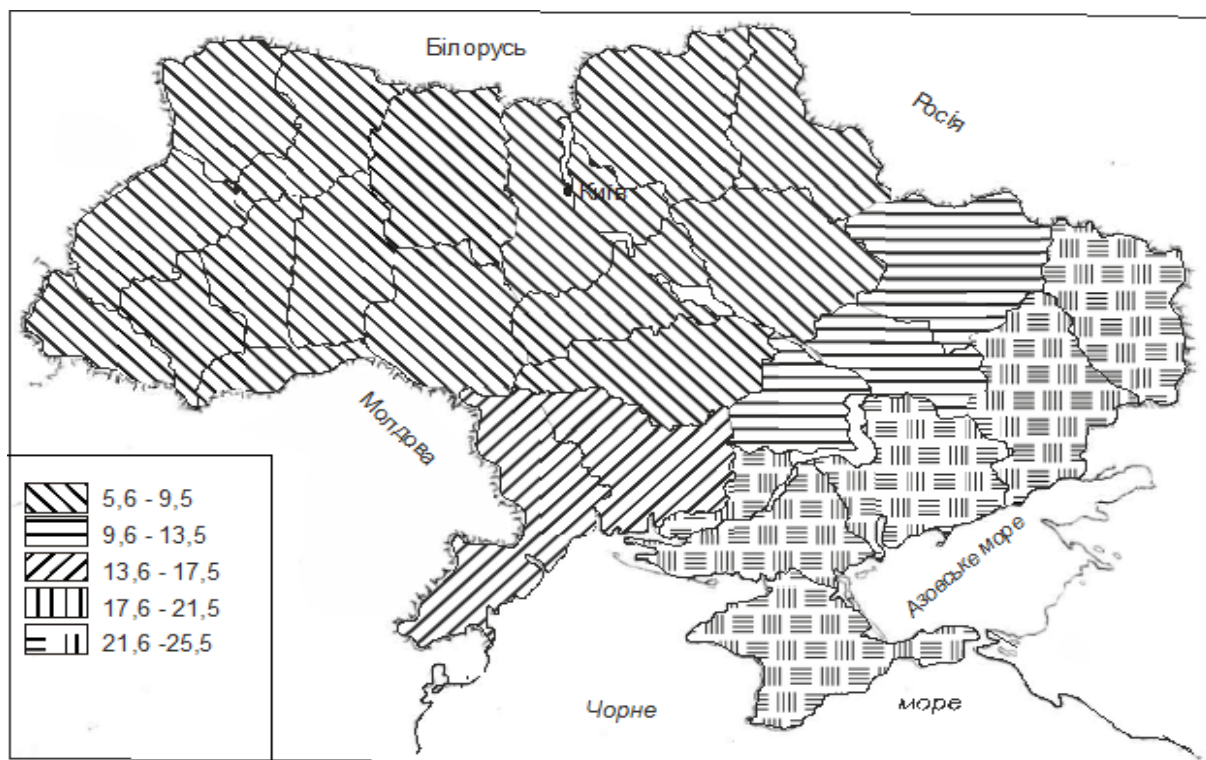


Рис. 7.32. Розподіл очікуваних ризиків (%) недобору врожаю ярого ячменю в 2021-2050 рр. за сценарієм RCP8.

Таблиця 7.18. Очікувані ризики недобору врожаю ярого ячменю в 2021-2050 рр. за сценарієм RCP8.5
(0-5 % – низькі, 6-15 % – середні, 16-25 % – високі, >25 % – значно високі)

№ п/ п	Область	Ризики недобору врожаю,		Середньо- 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

За сценарієм RCP8.5 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

ризика недобору врожаю ярого ячменю спостерігатимуться в Південному Степу і коливатимуться від 13,6 до 17,5 %. Найбільш високі очікувані ризики недобору врожаю ярого ячменю спостерігатимуться в центральних областях Південного Степу і становитимуть 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.

Оцінка коливань його урожайності показала, що при зміні клімату за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 складуться сприятливі умови для вирощування ярого ячменю. При чому за реалізації сценарію RCP8.5 умови будуть сприятливішими, ніж за реалізації сценарію RCP4.5. Але очікувані ризики недобору врожаю ярого ячменю за сценарієм RCP8.5 будуть вищі ніж за сценарієм RCP4.5.

7.4. ОЦІНКА АГРОКЛІМАТИЧНИХ УМОВ ВИРОЩУВАННЯ КУКУРУДЗИ ЗА СЦЕНАРІЄМ RCP4.5 (ПЕРІОД 2021-2050 РР.)

Рівень продуктивності кукурудзи, як і будь-якої сільськогосподарської культури, визначається агрокліматичними умовами. За сценарієм, що розглядався (RCP4.5 – 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. 7.33).

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. 7.34).

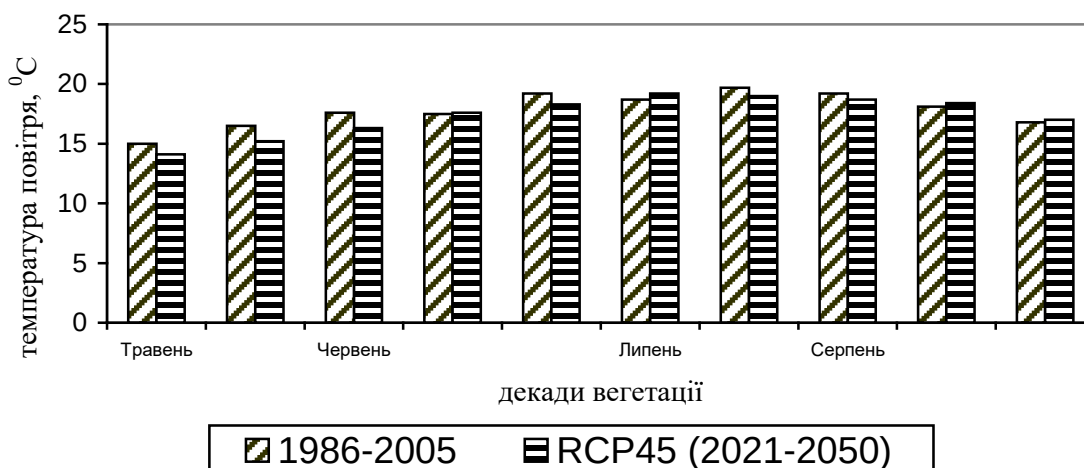


Рис. 7.33. Середня декадна температура повітря по декадах вегетації за сценарієм RCP4.5 (2021-2050) та період 1986-2005. 26 травня – 25 серпня.

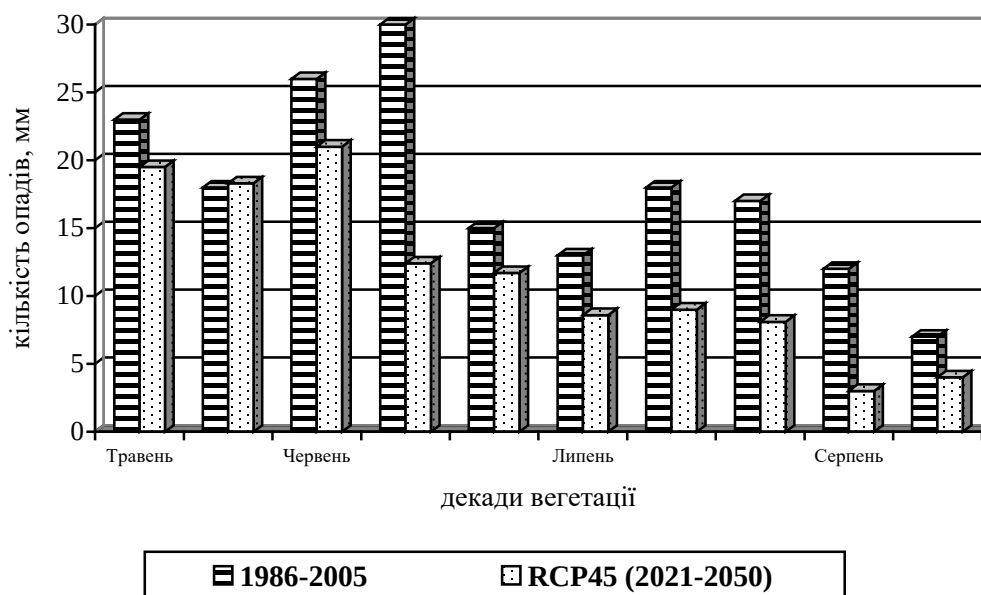


Рис. 7.34. Кількість опадів (мм) по декадах вегетації за сценарієм RCP4.5 (2021-2050) та період 1986-2005. 26 травня – 25 серпня.

Вінницька область.

Середня температура повітря вегетаційного періоду (друга декада травня – третя декада серпня) буде нижча майже на 1°. За сучасних умов вона становить 18,2°, за сценарієм – 17,3° (Рис. 7.35).

Кількість опадів за цей же період буде менша від сучасної на 26 % - відповідно сучасна 256 мм, за сценарієм 191 мм (Рис. 7.36). Дефіцит вологості повітря знизиться на 5 %.

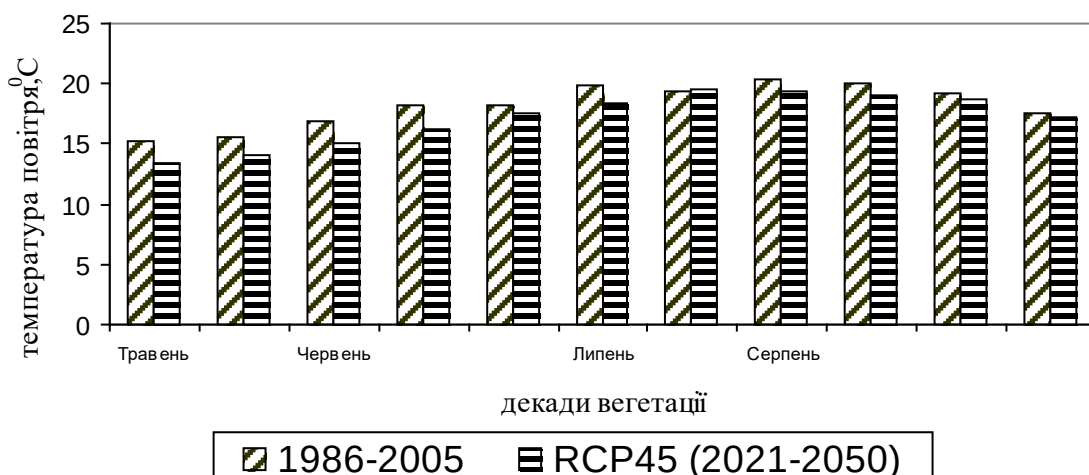


Рис. 7.35. Середня декадна температура повітря (°C) по декадах вегетації за сценарієм RCP4.5 (2021-2050) та період 1986-2005.
18 травня – 25 серпня

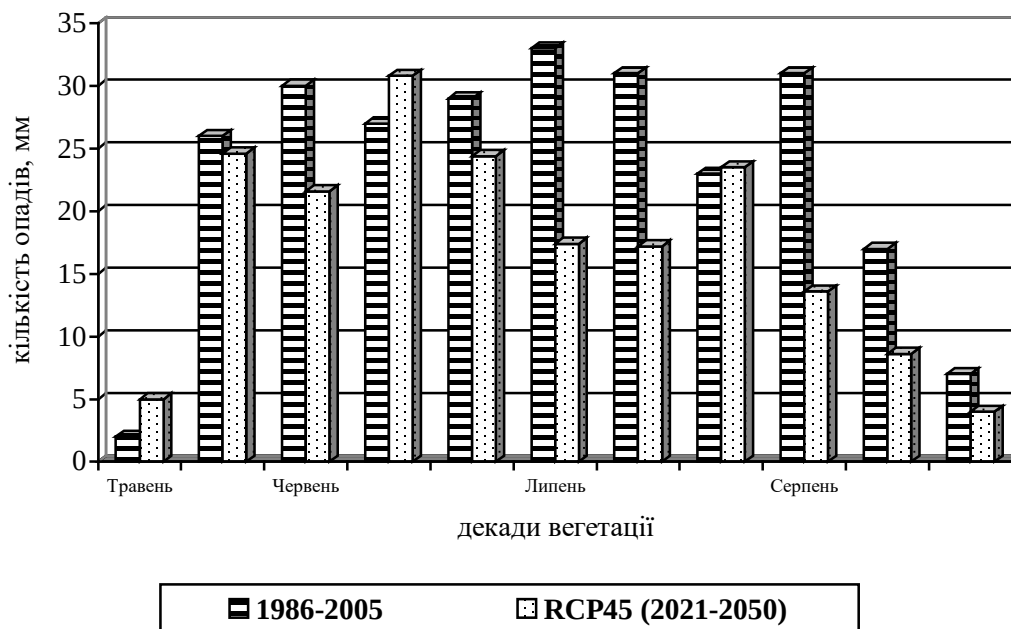


Рис. 7.36. Кількість опадів (мм) по декадах вегетації за сценарієм RCP4.5 (2021-2050) та період 1986-2005. 18 травня – 25 серпня.

Дніпропетровська область.

Середня температура повітря періоду третя декада травня – друга декада серпня майже не зміниться - за сучасних умов вона становить 20,4 °С, за сценарієм – 20,2 °С (Рис. 7.37).

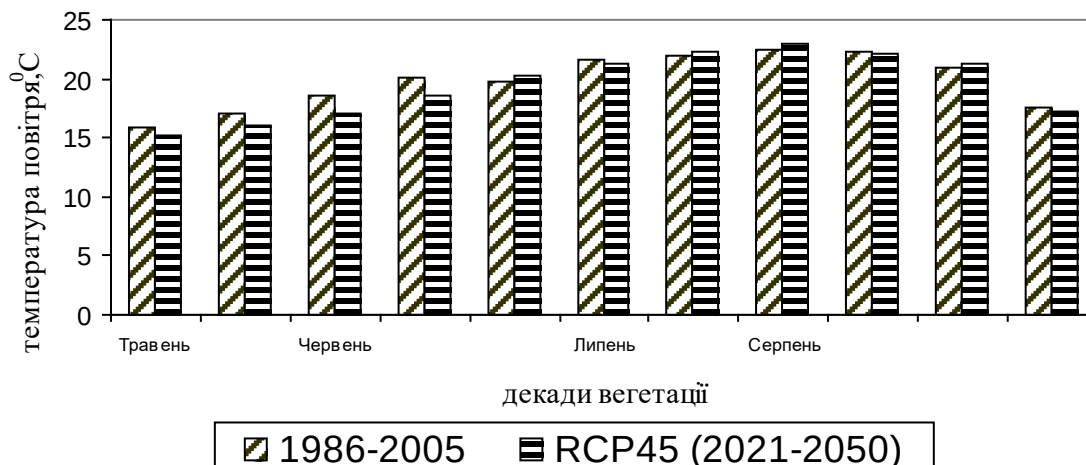


Рис. 7.37. Середня декадна температура повітря по декадах вегетації за сценарієм RCP4.5 (2021-2050) та період 1986-2005. 20 травня – 14 серпня

Кількість опадів за цей же період зазнає значної зміни - від сучасної 156 мм до 116 мм за сценарієм, або зменшиться на 36 % (Рис. 7.38). Дефіцит вологості повітря підвищиться на 10 %.

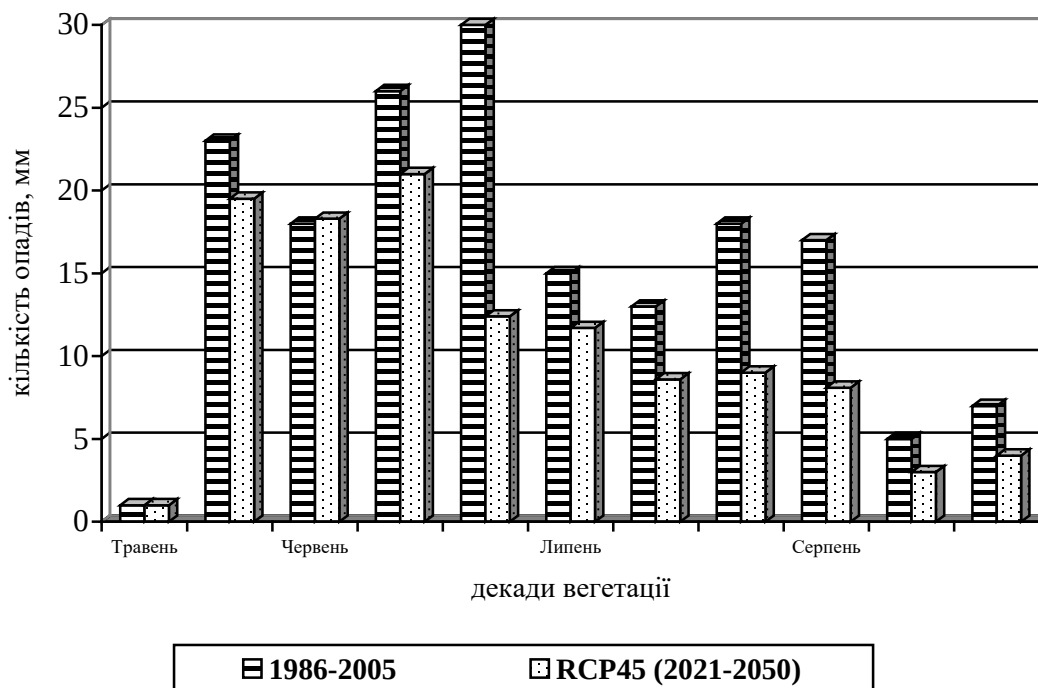


Рис. 7.38. Кількість опадів (мм) по декадах вегетації за сценарієм RCP4.5 (2021-2050) та період 1986-2005. 20 травня – 14 серпня

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. 7.39).

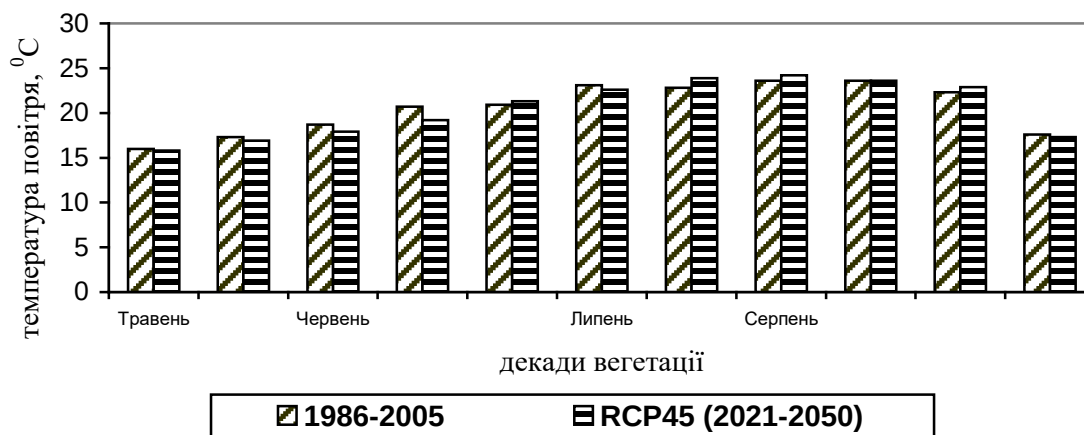


Рис. 7.39. Середня декадна температура повітря по декадах вегетації за сценарієм RCP4.5 (2021-2050) та період 1986-2005.
16 травня – 16 серпня

Кількість опадів за цей же період зменшиться майже вдвічі (на 45%) - від сучасної 167 мм до 90 мм за сценарієм (Рис. 7.40). Дефіцит вологості повітря майже не зміниться.

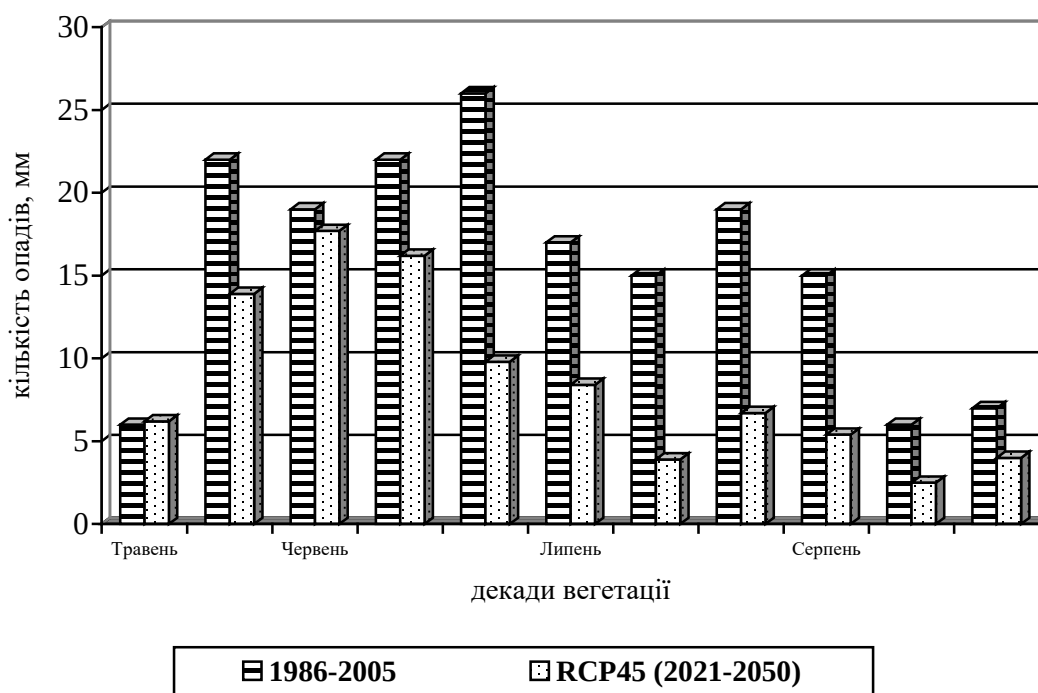


Рис. 7.40. Кількість опадів (мм) по декадах вегетації за сценарієм RCP4.5 (2021-2050) та середні багаторічні (1986-2005). 16 травня – 16 серпня

Теплозабезпечення

Модельні розрахунки показують, що у зв'язку із тим, що за сценарієм RCP4.5 (2021-2050) ні в одній із областей, які розглядались, 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, взятим 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 зміняться незначно (не більше ніж на 1-3 дні), відповідно і тривалість міжфазних періодів та вегетаційного періоду в цілому також буде близька 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, ймовірне значне погіршення вологозабезпечення. Про це свідчить порівняння (рис. 7.41-7.44).розрахункових запасів води метрового шару по декадах вегетації та середніх багаторічних фактичних показників по областях, що розглядались.

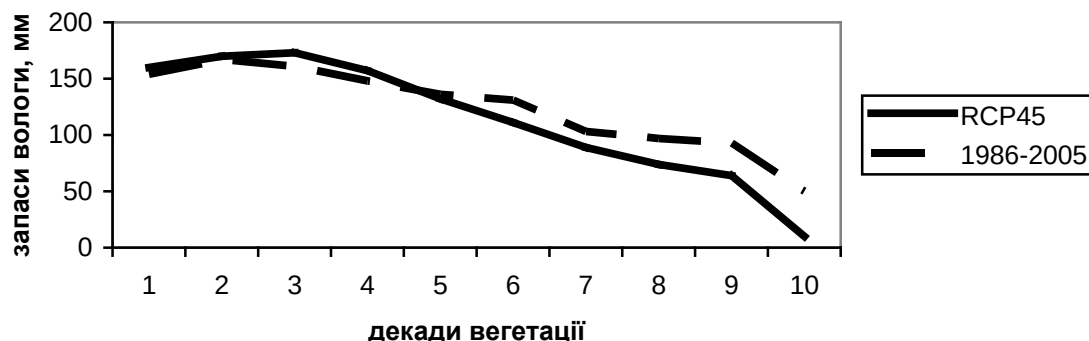


Рис. 7.41. Розрахункові запаси води (мм) по декадах вегетації у метровому шарі ґрунту за сценарними даними RCP45 (2021-2050) та середні багаторічні за період 1986-2005. Житомирська обл.

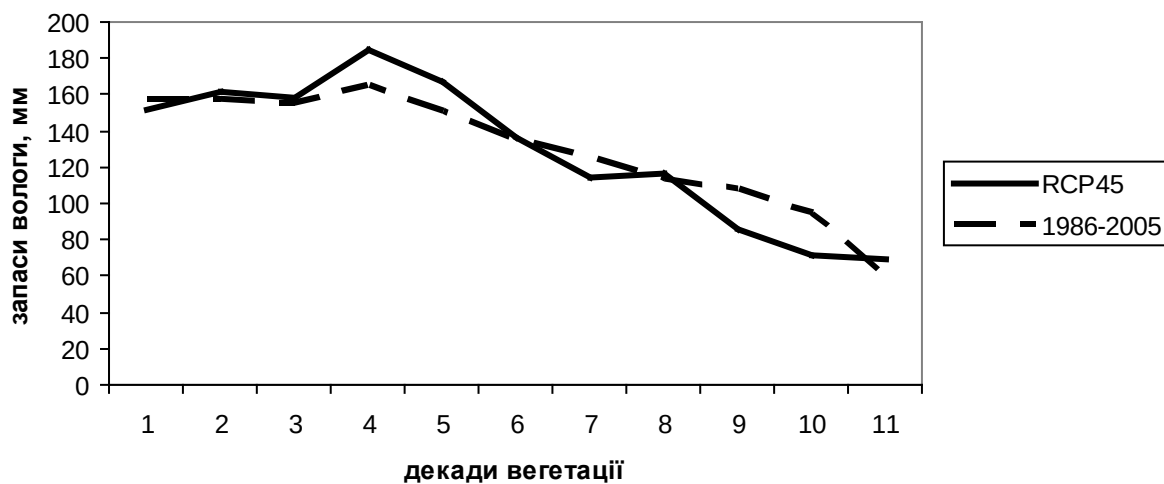


Рис. 7.42. Розрахункові запаси вологи (мм) по декадах вегетації у метровому шарі ґрунту за сценарними даними RCP4.5 (2021-2050) та середні багаторічні за період 1986-2005. Вінницька обл.

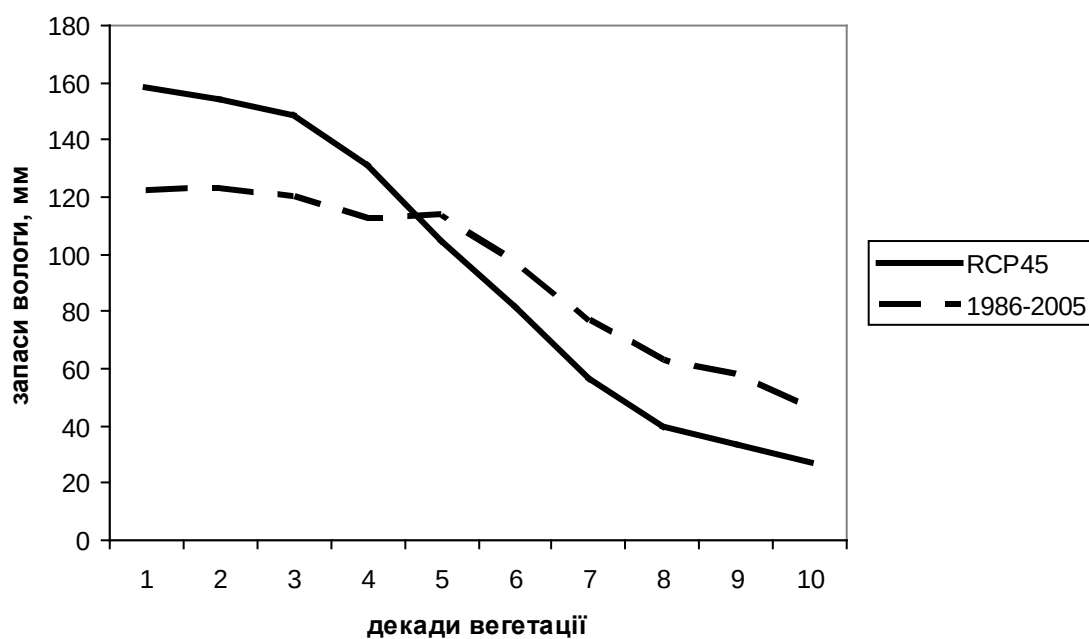


Рис. 7.43. Розрахункові запаси вологи (мм) по декадах вегетації у метровому шарі ґрунту за сценарними даними RCP4.5 (2021-2050) та середні багаторічні за період 1986-2005. Дніпропетровська обл.

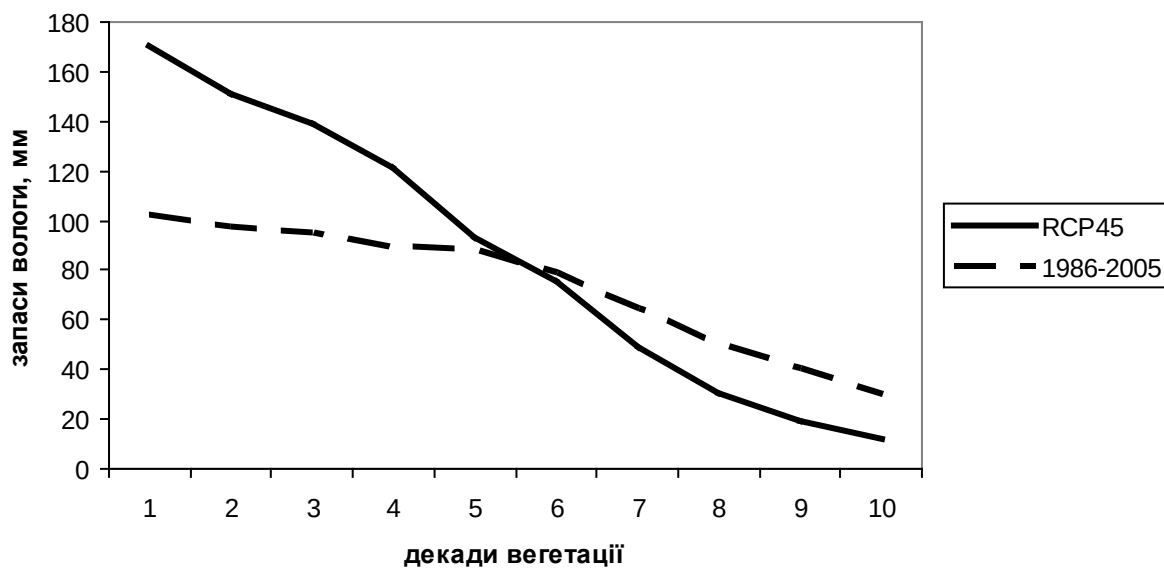


Рис. 7.44. Розрахункові запаси вологи (мм) по декадах вегетації у метровому шарі ґрунту за сценарними даними RCP4.5 (2021-2050) та середні багаторічні за період 1986-2005. Херсонська обл.

Продуктивність.

На графіках (Рис. 7.45-7.48) представлено динаміку приростів біомаси кукурудзи по областях, які розглядалися, за сценарієм та розрахункові за середніми багаторічними показниками.

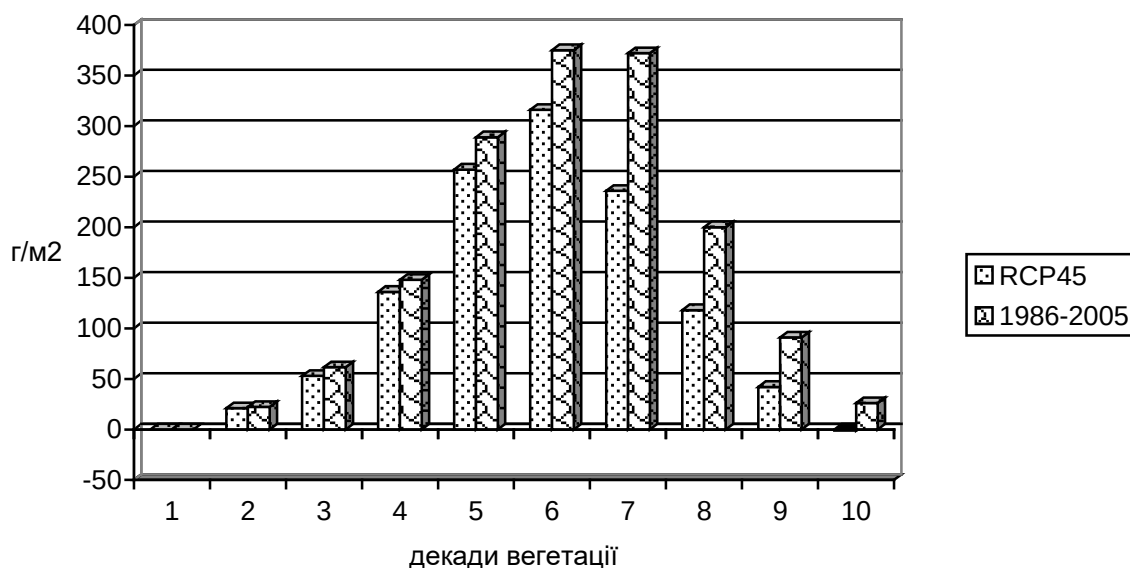


Рис. 7.45. Динаміка приростів загальної біомаси кукурудзи (г/м²) за сценарієм зміни клімату та середніми багаторічними даними у Житомирській обл.

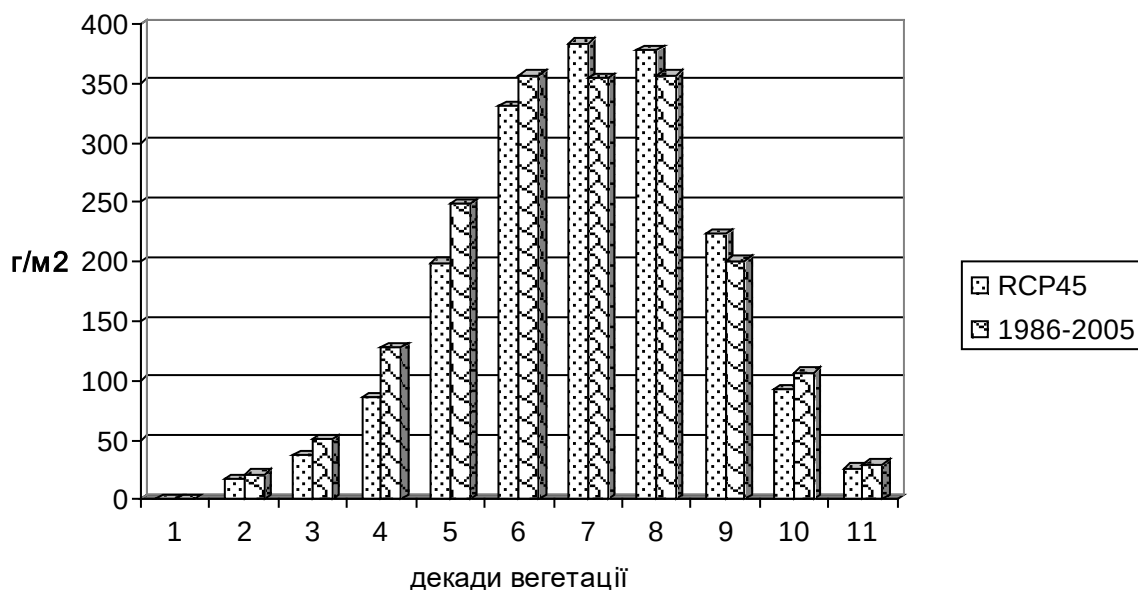


Рис. 7.46. Динаміка приростів загальної біомаси кукурудзи (г/м²) за сценарієм зміни клімату та середніми багаторічними даними у Вінницькій обл.

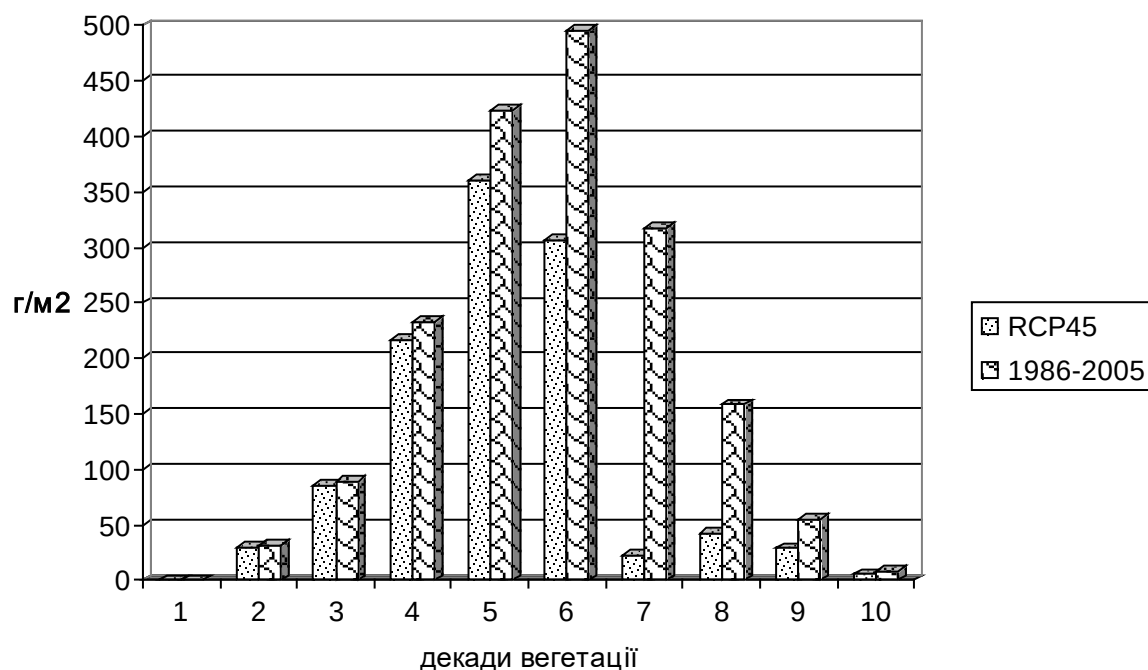


Рис. 7.47. Динаміка приростів загальної біомаси кукурудзи (г/м²) за сценарієм зміни клімату та середніми багаторічними даними у Дніпропетровській обл.

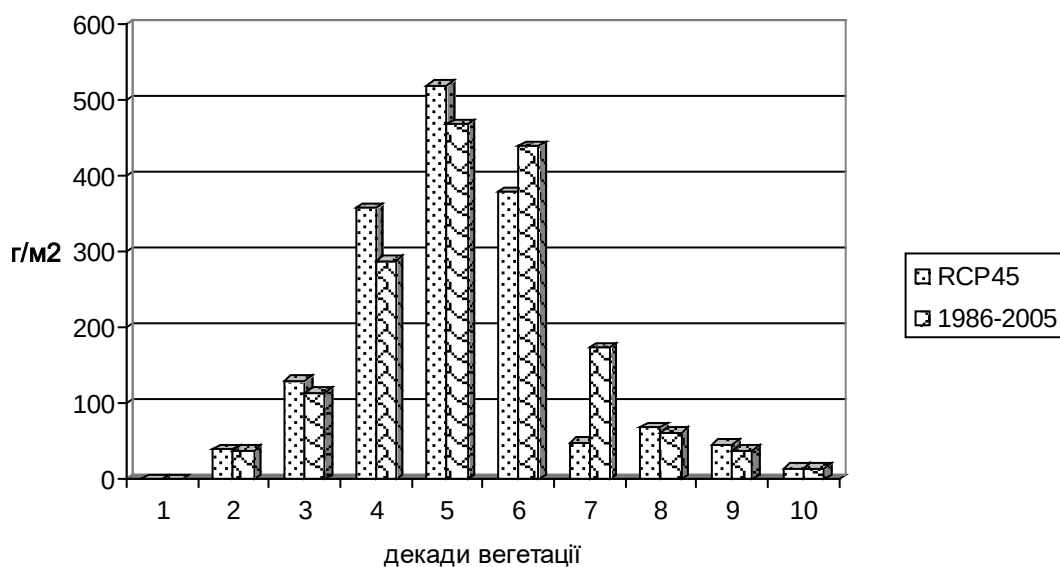


Рис. 7.48. Динаміка приростів загальної біомаси кукурудзи (г/м²) за сценарієм зміни клімату та середніми багаторічними даними у Херсонській обл.

Урожайність

Моделювання рівня урожайності кукурудзи за сценарними даними в кінцевому підсумку показало такі результати щодо можливої урожайності порівняно із максимальною урожайністю, яка була отримана на території областей за період 1990 -2014 рр. (Рис. 7.49):

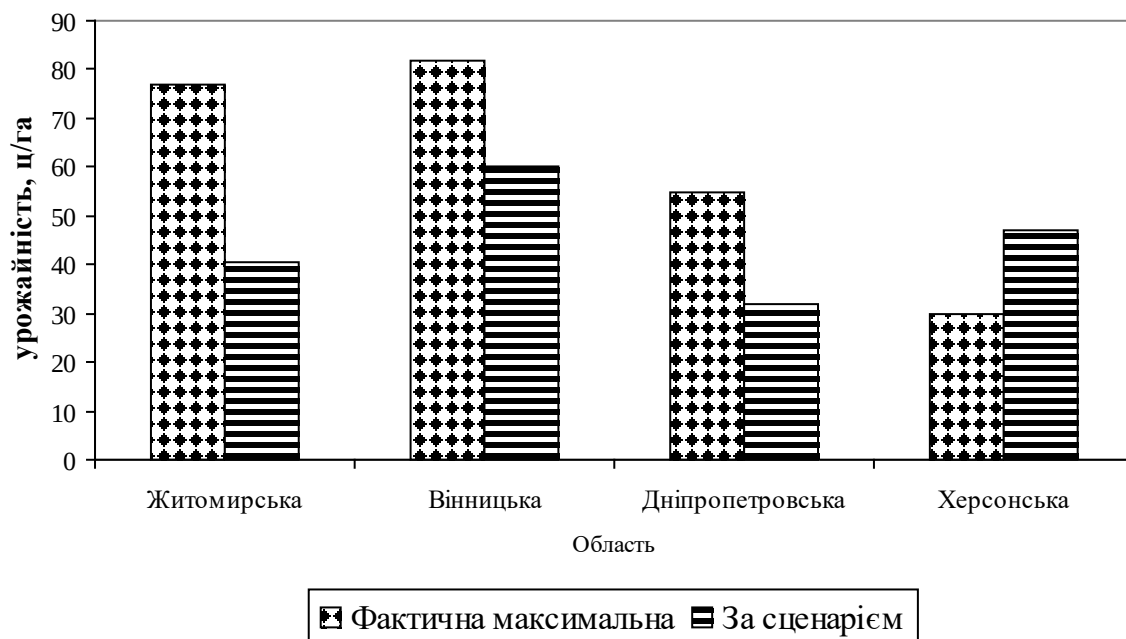


Рис. 7.49. Розрахункова урожайність кукурудзи за сценарієм RCP4.5 (2021-2050) та максимальна фактична урожайність кукурудзи за період 1990-2015 рр.

Дніпропетровська область – зниження урожайності на 42 %;
Вінницька область – зниження урожайності на 27 %;
Житомирська область – зниження урожайності на 49 %
Херсонська область – збільшення урожайності на 60 %;

Таким чином, найбільше погіршення агрокліматичних умов, разом із цим і падіння урожайності майже вдвічі, ймовірно у Дніпропетровській та Житомирській областях за сценарієм RCP4.5.

7.5. 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 народногосподарською цінністю 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 олії становить 50 %.

На цей 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 спрямовуватись на підвищення врожайності олії.

Зважаючи на це, розглянемо як будуть змінюватись умови розвитку соняшнику під впливом змін клімату. Для оцінки впливу на ріст, розвиток і формування врожаю соняшнику можливих змін клімату були використані сценарії змін клімату в Україні RCP4.5 та RCP8.5. Дослідження формування врожаю соняшнику виконувалось 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., як базовий. 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.

7.5.1. Оцінка термінів сівби та фаз розвитку соняшнику

Розглянемо, як під впливом змін клімату будуть змінюватись терміни сівби й дати настання фаз розвитку соняшнику.

Із табл. 7.19 видно, що середні багаторічні терміни сівби соняшнику спостерігались практично однакові в Східному Лісостепу (29 квітня) і Північному Степу (30 квітня), і зміщувались на більш ранні терміни в Південному Степу, а саме, до 25 квітня.

Таблиця 7.19. 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 вона становитиме 14 днів, а за сценарієм RCP 8.5 – 19 днів.

Відповідно змістяться і строки появи сходів. Сходи соняшнику за середніми багаторічними даними базового періоду спостерігались 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 листоутворення і 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 наставатиме раніше від 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.

Внаслідок зміщення термінів настання фаз розвитку соняшнику в бік більш ранніх тривалість періоду його вегетації мало відрізнятиметься від середньої багаторічної.

7.5.2. Оцінка агрокліматичних умов вирощування соняшнику

Зміни клімату впливатимуть на агрокліматичні умови вирощування соняшнику (табл. 7.20). В період від сходів до цвітіння простежується зростання середньої температури повітря за середніми багаторічними значеннями з півночі на південь: від 18,9 °С в Східному Лісостепу до 19,9 °С в Південному Степу.

Таблиця 7.20. Агрокліматичні умови вирощування соняшнику за середньо багаторічними даними (1986-2005 pp.) 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	Вологозабезпеченість, відн.од	середня температура, °С	сума опадів, мм	сумарне випаровування, мм	випаровуваність, мм	Вологозабезпеченість, відн.од	сума опадів, мм	Вологозабезпеченість, відн.од	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Західний Лісостеп													
1986-2005	18,9	163	192	288	288	0,66	18,4	99	91	217	0,42	262	0,56
Сценарій RCP4.5													
2021-2050	17,0	126	216	276	276	0,84	20,2	8	80	295	0,25	155	0,61
Різниця	-1,9	-23 %	+13%	-4%	-4%	+27%	+1,8	-92%	-12%	+36%	-40%	-41%	+9%
Сценарій RCP8.5													
2021-2050	16,5	139	191	316	316	0,83	19,1	35	64	248	0,26	163	0,61
Різниця	-2,4	-15%	-12%	+10%	+10%	+26	+0,7	-65%	-30%	+14%	-38%	-38%	+9%
Північний Степ													
1986-2005	19,3	96	193	277	277	0,70	20,6	89	89	281	0,32	185	0,51
Сценарій RCP4.5													
2021-2050	17,9	110	176	289	289	0,61	21,8	36	72	303	0,24	146	0,53
Різниця	-1,4	+15%	-9%	+4%	+4%	-13%	+1,2	-60%	-19%	+7%	-25%	-21%	+4%

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
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%
Південний Стел												
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%

За сценарієм зміни клімату RCP4.5 в цей період середня температура коливатиметься від 17,0 °С в Східному Лісостепу до 17,9 °С в Північному Степу. Розрахунки за сценарієм показують, що в цей період очікується середня температура нижча від базової на -1,9 °С в Східному Лісостепу, на - 1,4 °С – в Північному Степу, а в Південному Степу вона буде нижча від середніх багаторічних значень на -2,6 °С.

Середня температура повітря за сценарієм зміни клімату RCP8.5 в період сходи - цвітіння коливатиметься від 16,5 °С в Східному Лісостепу до 18,2 °С в Північному Степу (табл. 7.20). В Східному Лісостепу та в Південному Степу середня температура зменшиться від базового рівня на - 2,4 °С, а в Північному Степу на -1,1 °С.

Сума опадів в період від сходів до цвітіння за середніми багаторічними даними коливалась 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 нижча від середніх багаторічних сум. В Північному Степу, як за сценарієм RCP.45 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 на 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 %. В 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 рівнем в Східному Лісостепу і на 11 % в Північному Степу, а в Південному Степу випаровуваність зменшиться на 23 % (табл. 7.20).

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 RCP.45 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 в Північному Степу зменшиться на 16 %. В період від цвітіння до збиральної стиглості також простежується зростання середньої температури повітря за середніми багаторічними значеннями з півночі на південь від 18,4 °C в Східному Лісостепу до 22,6 °C 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 вища в Північному Степу на 1,2 °C за обома сценаріями, в Східному Лісостепу на 1,8 °C і 0,7 °C, та в Південному Степу на 0,8 °C і 1,0 °C відповідно.

В період від цвітіння до збиральної стиглості (табл. 7.20) 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 випаровування 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 випаровування зменшиться в Східному Лісостепу на 12 % та Північному Степу на 19 %. В Південному Степу сумарне випаровування збільшиться на 28 %.

Сумарне випаровування 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 Південного Степу сумарне випаровування збільшиться до 80 мм, що на 38 % вище від 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. 7.20).

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. 7.20).

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 %.

7.5.3. Оцінка показників фотосинтетичної діяльності посівів соняшнику

Агрокліматичні умови, які змінюються під впливом змін клімату, спричиняють зміну показників фотосинтетичної діяльності посівів соняшнику, що зумовить 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, розрахованими за середніми багаторічними даними (табл. 7.21).

Таблиця 7.21. 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, $\text{м}^2/\text{м}^2$	Чиста продуктивність фотосинтезу в період максимального розвитку, $\text{г}/(\text{м}^2 \cdot \text{дек})$	Приріст маси в період максимального розвитку, $\text{г}/(\text{м}^2 \cdot \text{дек})$	Суха біомаса, $\text{г}/\text{м}^2$	Фотосинтетичний потенціал, $\text{м}^2/\text{м}^2$
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

Для соняшнику на фоні зміни кліматичних умов за розрахунковий період з 2021 по 2050 рр. нами розглядались такі варіанти:

- базовий період (1986 – 2005 рр.)
- кліматичні умови розрахункового періоду за сценарієм RCP4.5 за період 2021 – 2050 рр.;
- кліматичні умови періоду 2021 – 2050 рр. за сценарієм RCP4.5 (кліматична норма + CO₂);
- кліматичні умови розрахункового періоду за сценарієм RCP8.5 за період 2021 – 2050 рр.;
- кліматичні умови періоду 2015–2050 рр. за сценарієм RCP8.5 при збільшенні CO₂ в атмосфері.

Динаміка площі листя та загальної біомаси наводиться на рис. 7.50 – 7.55.

За результатами розрахунків площа листя (табл. 7.21 та рис. 7.50- 7.52) 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 RCP4.5 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 з 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 і вона практично досягне значень першого сценарію (3,9 м²/м² і 4,2 м²/м²). В Північному Степу відбудеться зменшення площі листя в порівнянні із середніми багаторічними значеннями і 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. 7.50- 7.52).

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.

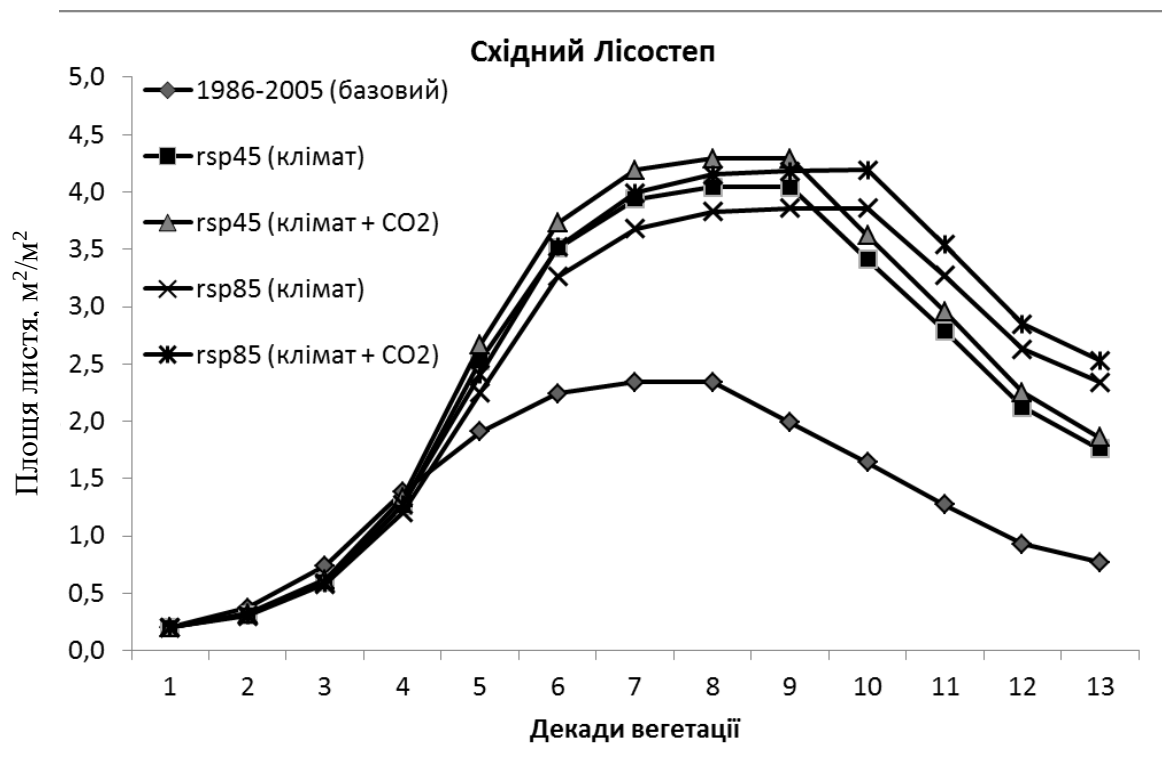


Рис. 7.50. Динаміка площі листя соняшнику в Східному Лісостепу за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценаріями змін клімату RCP4.5 і RCP8.5

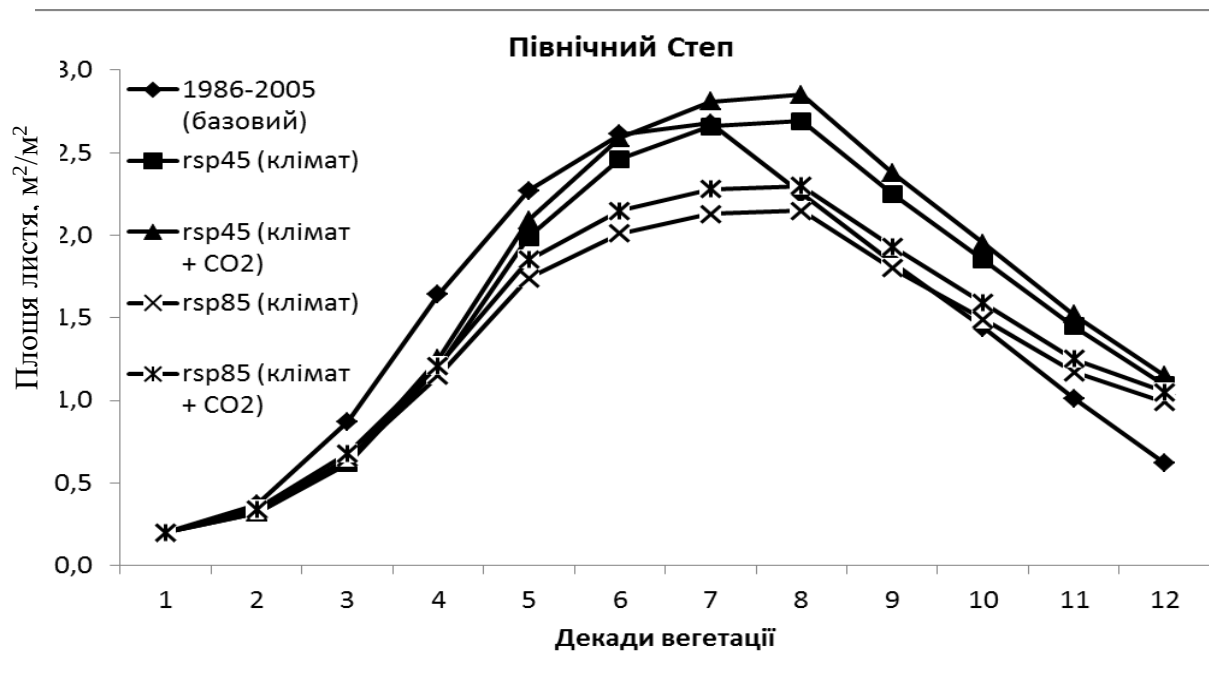


Рис. 7.51. Динаміка площі листя соняшнику в Північному Степу за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценаріями змін клімату RCP4.5 і RCP8.5

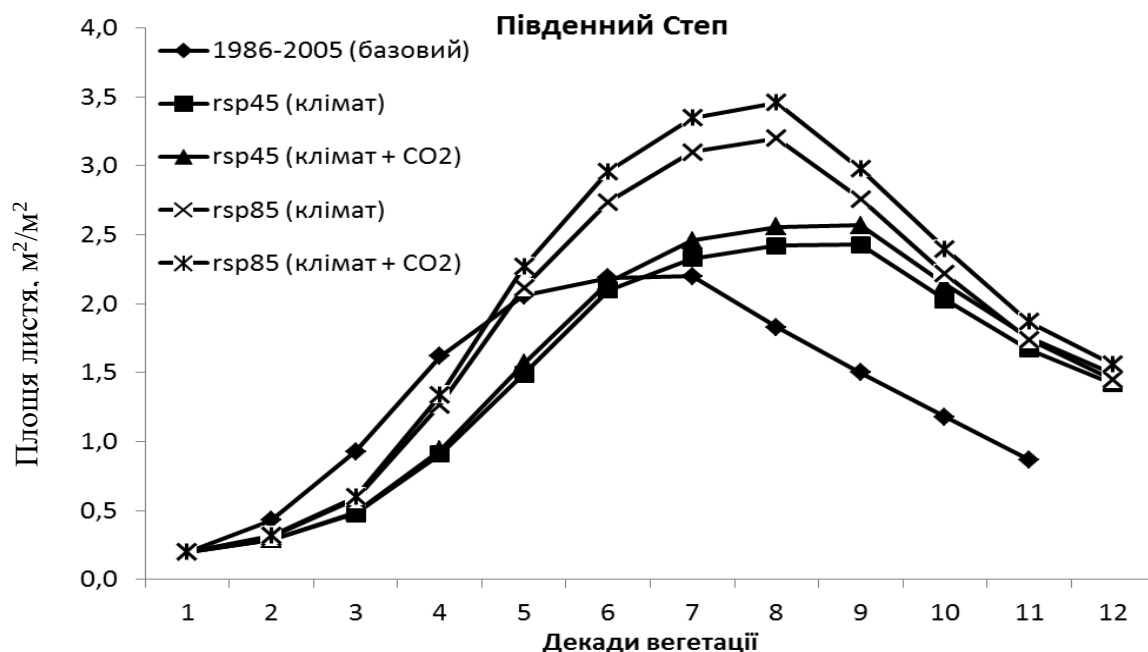


Рис. 7.52. Динаміка площі листя соняшнику в Південному Степу за середньобаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценаріями змін клімату RCP4.5 і RCP8.5.

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. 7.21, а її динаміка впродовж періоду вегетації – на рис.7.53 –7.55.

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 і 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 варіанта «клімат» і становитиме відповідно 1090 г/м² та 578 г/м², що більше від середніх багаторічних значень сухої маси на 42 і 19 % відповідно, а в Північному Степу буде дорівнювати середній багаторічній (757 г/м²).

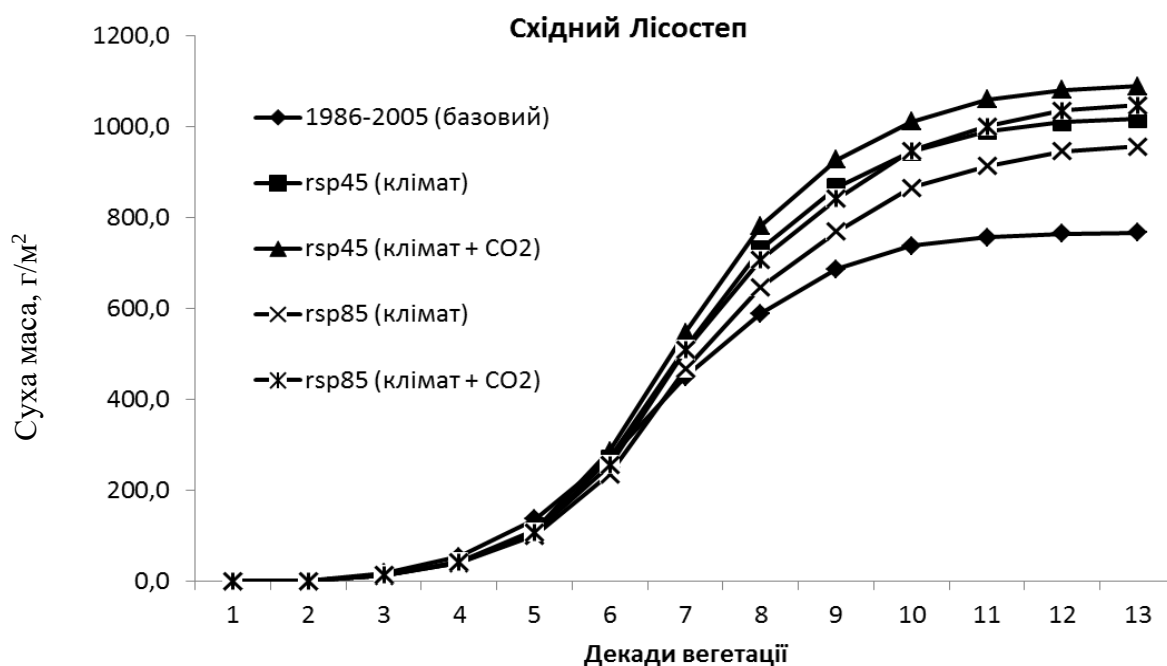


Рис. 7.53. Динаміка сухої маси соняшнику в Східному Лісостепу за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценаріями змін клімату RCP4.5 і RCP8.5.

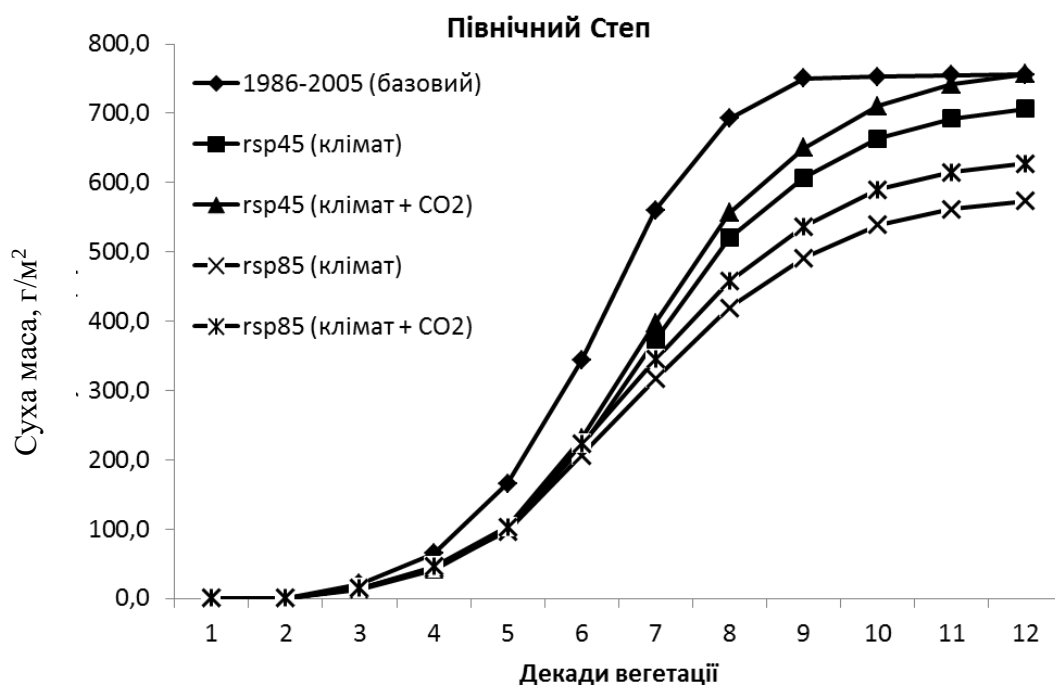


Рис.7.54. Динаміка сухої маси соняшнику в Північному Степу за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценаріями змін клімату RCP4.5 і RCP8.5

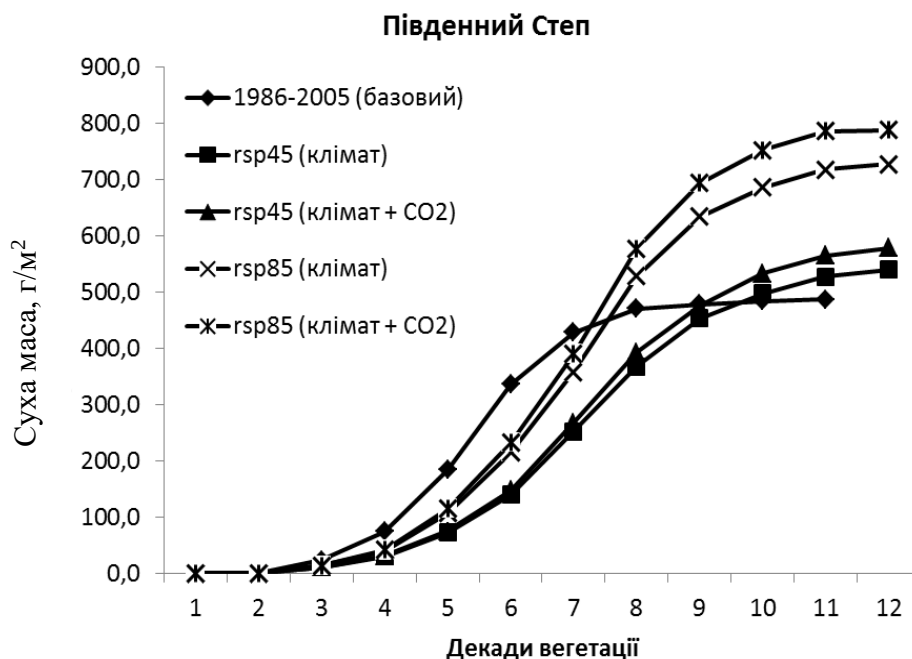


Рис. 7.55. Динаміка сухої маси соняшнику в Південному Степу за середньобаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценаріями змін клімату RCP4.5 і RCP8.5

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 значуще, 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 в порівнянні із середніми багаторічними буде збільшення сухої маси на 36 %. На 17 % зменшуватиметься суха маса в Північному Степу (табл. 7.21, рис. 7.53 – 7.55).

Із змінами площі листя, сухої маси рослин відповідно змінюватиметься і значення фотосинтетичного потенціалу соняшнику (табл. 7.21).

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 значущий 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. 7.21).

В Південному Степу середні багаторічні значення фотосинтетичного потенціалу найнижчі - 157 м²/м², але ріст за розрахунками за сценаріями в обох варіантах становитиме за сценарієм RCP4.5 відповідно 7 і 14 %, за сценарієм RCP8.5 – 30 і 74 % відповідно.

Значення фотосинтетичного потенціалу в Північному Степу за сценарієм RCP4.5 незначно, але зростатиме і становитиме, як у варіанті «клімат», так і у варіанті «клімат + CO₂» 187 м²/м², або на 6 % більше, ніж середній багаторічний (табл. 7.21).

Винятком 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. 7.21). В разі реалізації сценарію RCP4.5 чиста продуктивність фотосинтезу у варіантах «клімат» та «клімат + CO₂» збільшиться на 2 г/м² в Східному Лісостепу, а 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 і 17 г/м² вище від середнього багаторічного. За сценарієм RCP8.5 вона зменшиться ще більше і становитиме відповідно 58 і 57 г/м², що на 27 і 26 г/м² менше, ніж середня багаторічна (табл. 7.21). В Південному Степу чиста продуктивність фотосинтезу за сценарієм RCP4.5 зменшиться в обох варіантах до 50 та 51 г/м², що нижче від 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. 7.21).

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.

7.5.4. Оцінка ризиків недобору врожаю насіння соняшнику 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 спричинятимуть зниження продуктивності посівів соняшнику, через що врожай насіння може знижуватись до 5-10 ц/га.

Для оцінки ступеня вразливості території та кліматичного ризику великих неврожаїв соняшнику в основних районах його вирощування були виконані розрахунки очікуваних ризиків недобору врожаю насіння соняшнику за сценаріями змін клімату RCP4.5 і RCP8.5 (тал. 7.22, рис. 7.56 і 7.57).

Таблиця 7.22. Очікувані ризики недобору врожаю насіння соняшнику в 2021-2050 рр. за сценаріями змін клімату RCP4.5 і RCP8.5

№ п/п	Область	Сценарій					
		RCP4.5			RCP8.5		
		Ризики недобору врожаю,		Середньо-річне ГТК, від.од.	Ризики недобору врожаю,		Середньо-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)

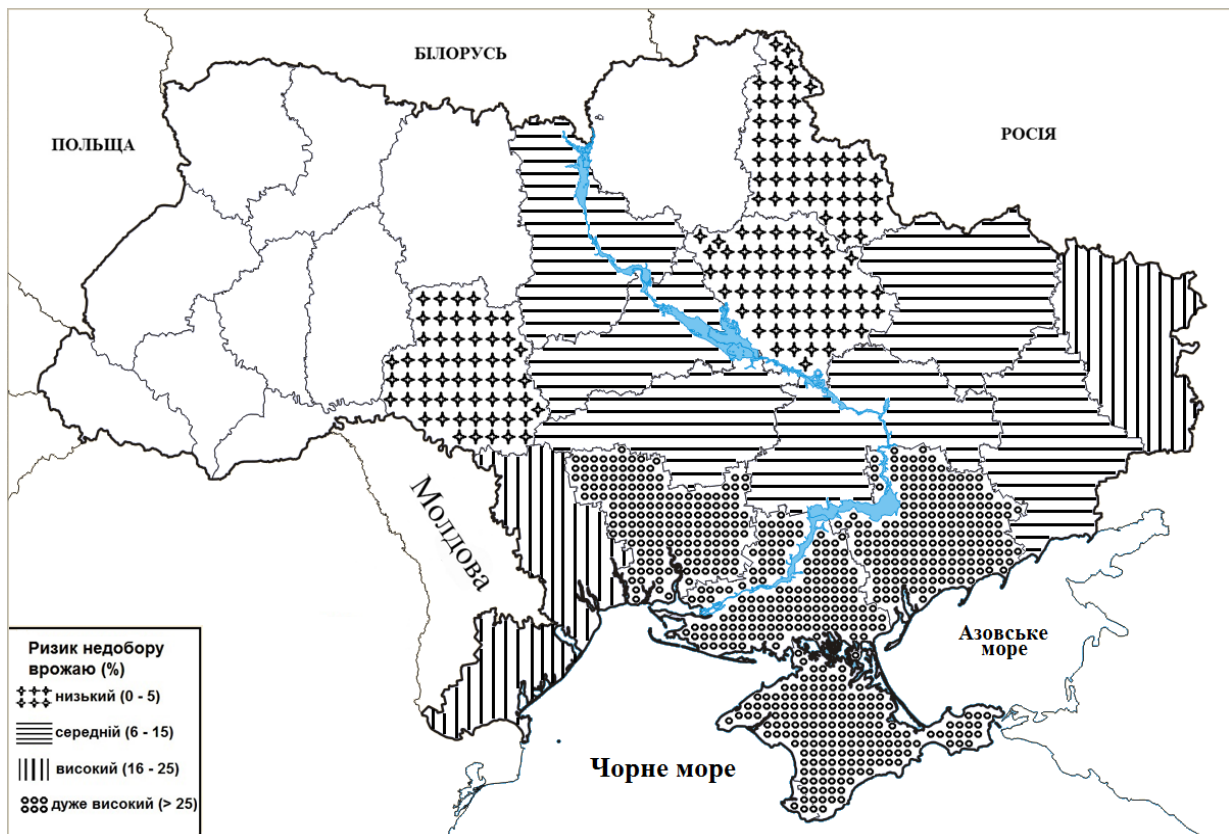


Рис. 7.56. Розподіл очікуваних ризиків недобору врожаю насіння соняшнику (%) в Україні за сценарієм змін клімату RCP4.5

Як показують розрахунки за сценарієм зміни клімату RCP45 низькі ризики 2-4 % слід очікувати в Західному та Східному Лісостепу (таб. 7.22, рис. 7.56). 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 вищі ризики недобору врожаю (26 %).

В разі реалізації сценарію RCP8.5 дуже високих ризиків недобору врожаю не очікується (рис. 7.57). Однак в зоні Південного Степу повсюдно відбудуться високі ризики недобору врожаю (15,5 – 18,0 %). В центрі та на сході Степової і 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 %.

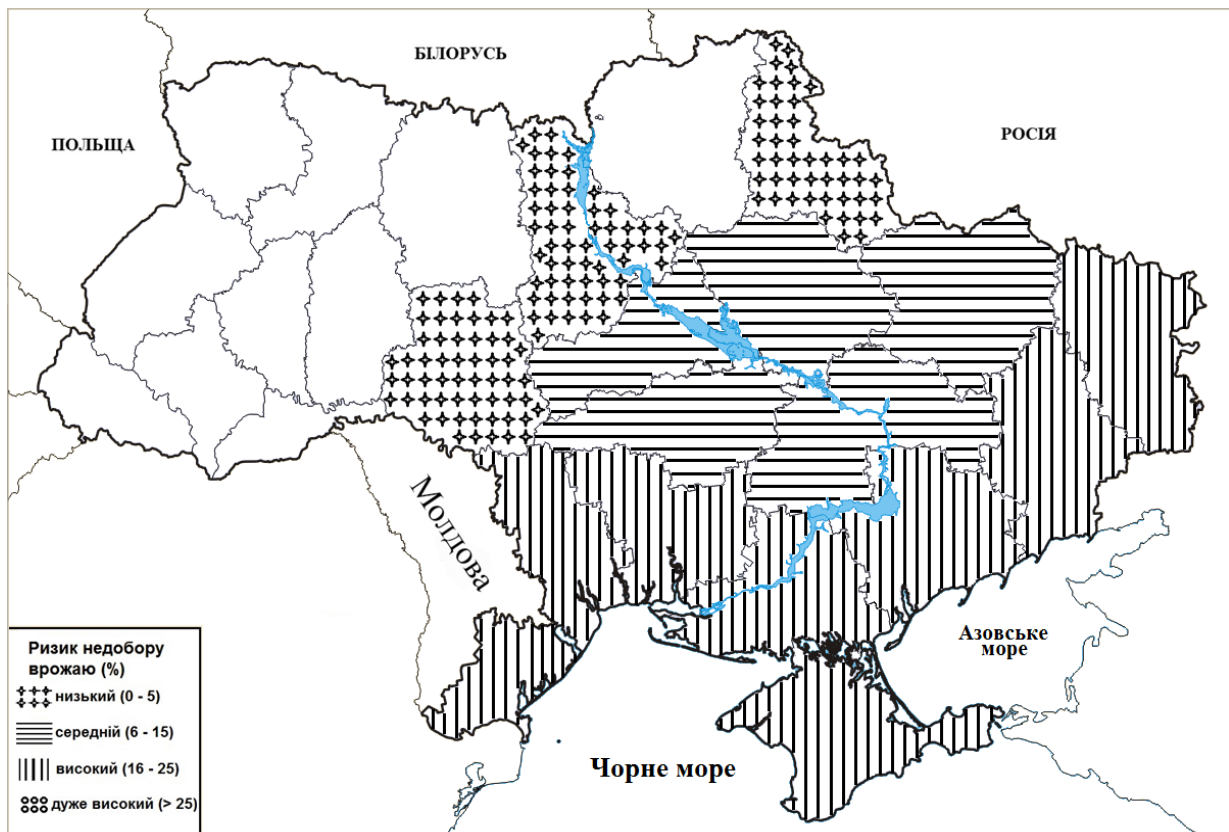


Рис. 7.57. Розподіл очікуваних ризиків недобору врожаю насіння соняшнику (%) в 2021-2050 рр. в Україні за сценарієм змін клімату RCP8.5

Слід зазначити, що за сценарієм змін клімату RCP4.5 ризик недобору врожаю в Полтавській області очікується меншим на 7 % (табл. 7.22). 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 становитимуть 6,1 %, очікувані ризики за цим сценарієм будуть низькі – 4,2 %.

7.6. 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 дні, в Степу на 2 дні, 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 дні пізніше, а в Східному Лісостепу на 3 дні раніше в порівнянні з середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) (табл. 7.23).

Таблиця 7.23. 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 вегетаційно го 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.) спостерігались 26.V, а за сценарієм зміни клімату RCP4.5 очікуються 23.V,

що на 3 дні раніше, а за сценарієм зміни клімату RCP8.5 – 21.V, що на 5 днів раніше в порівнянні з середньо багаторічними даними (1986-2005 pp.), в'янення бадилля за середньо багаторічними даними (1986-2005 pp.) 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 спостерігатиметься 13.VIII, що на 5 днів пізніше.

Тривалість вегетаційного періоду в Західному Лісостепу за середньо багаторічними даними (1986-2005 pp.) становила 74 дні, а за сценарієм зміни клімату RCP4.5 - 83 дні, що на 9 днів більше, за сценарієм RCP8.5 тривалість вегетаційного періоду становила 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.) спостерігались 29.V, а за сценарієм зміни клімату RCP4.5 24.V, що на 5 днів раніше, за сценарієм зміни клімату RCP8.5 сходи картоплі спостерігатимуться 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 спостерігатиметься 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 у випадку з середньо багаторічними даними.

В Степу сходи картоплі за середньо багаторічними даними (1986-2005 pp.) спостерігались 14.V, а за сценарієм зміни клімату RCP4.5 очікуються 11.V, що на 3 дні раніше, за сценарієм зміни клімату RCP8.5 сходи картоплі спостерігатимуться 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 буде 24.VII, що на 1 день пізніше, за сценарієм зміни клімату RCP8.5 в'янення бадилля спостерігатиметься 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 становила 70 днів, а за сценарієм зміни клімату RCP4.5 буде 74 дні, що на 4 дня більше, за сценарієм зміни клімату RCP8.5 буде 71 день, що на 1 день більше за середні багаторічні.

В Східному Лісостепу сходи картоплі за середньо багаторічними даними (1986-2005 pp.) спостерігались 26.V, а за сценарієм зміни клімату RCP4.5 очікуються 21.V, що на 5 днів раніше, за сценарієм RCP8.5 – 23.V, що на 3 дні раніше в порівнянні з середньо багаторічними даними,

в'янення бадилля за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) спостерігалось 09.VIII, а за сценарієм зміни клімату RCP4.5 буде 10.VIII, що на 1 день пізніше, за сценарієм RCP8.5 в'янення бадилля в Східному Лісостепу очікуються 12.VIII, що на 3 дні пізніше, в порівнянні з середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.). Тривалість вегетаційного періоду за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) в Східному Лісостепу склала 75 днів, а за сценаріями зміни клімату RCP4.5 та RCP8.5 буде 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 спостерігатимуться раніше від 3 до 8 днів, тривалість вегетаційного періоду буде 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. 7.24).

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 нижча 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 нижча 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. 7.24).

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 %

Таблиця 7.24. 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 бадили			Весь вегетаційний період		
	середня температура, °C	сума температур, °C	сума опадів, мм	середня температура, °C	середня температура, °C	сума температур, °C	сума опадів, мм	середня температура, °C	сума температур, °C	сума опадів, мм
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
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	

Кінець таблиці. 7.24									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Східний Лісостеп									
1986 – 2005	17,2	598	90	19,8	772	94	18,5	1370	184
РСР4.5	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
РСР8.5	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
РСР4.5	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
РСР8.5	17,0	575	70	21,4	811	42	19,2	1386	112
Різниця	-0,8	-94	-10	0	+110	-34	-0,4	+16	-44

Сума температур за період сходи – цвітіння за сценарієм RCP4.5 збільшиться в Західному Лісостепу на 24 °С, в Східному Лісостепу на 42 °С, в Степу на 1 °С, а зменшиться в Поліссі на 14 °С.

За сценарієм зміни клімату RCP8.5 сума температур за період сходи – цвітіння збільшиться в Західному Лісостепу на 47 °С, в Поліссі на 21 °С, а зменшиться в Степу на 94 °С і в Східному Лісостепу на 2 °С (табл. 7.24).

Сума температур за період цвітіння – в'янення бадилля за сценарієм зміни клімату RCP4.5 збільшиться в Західному Лісостепу на 62 °С, в Поліссі зменшиться на 67 °С, в Степу збільшиться на 29 °С, а в Східному Лісостепу збільшиться на 13 °С, за сценарієм зміни клімату RCP8.5 збільшиться в Західному Лісостепу на 46 °С, зменшиться у Поліссі на 107 °С, та збільшиться у Степу на 110 °С і у Східному Лісостепу на 49 °С.

Таким чином, сума температур за весь вегетаційний період за сценарієм зміни клімату RCP4.5 збільшиться в Західному Лісостепу на 86 °С, в Поліссі зменшиться на 81 °С, в Степу збільшиться на 30 °С, в Східному Лісостепу збільшиться на 55 °С, за сценарієм зміни клімату RCP8.5 збільшиться в Західному Лісостепу на 93 °С, в Поліссі зменшиться на 86 °С, в Степу збільшиться на 16 °С, в Східному Лісостепу збільшиться на 47 °С.

Площа листя картоплі в період максимального розвитку за сценарієм зміни клімату RCP4.5 збільшиться в Поліссі на 1,86 м²/м², в Західному Лісостепу на 1,56 м²/м², в Східному Лісостепу на 2,07 м²/м², 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. 7.25).

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 становити 235 ц/га, що на 62 ц/га більше, ніж за середньо багаторічними

даними (1986-2005). В Західному Лісостепу урожай картоплі буде 190 ц/га, що на 54 ц/га більше, чим за середньо багаторічними даними.

Таблиця 7.25. 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 дек)	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

Урожай картоплі в Східному Лісостепу за сценарієм зміни клімату RCP4.5 буде 200 ц/га, що на 57 ц/га більше, чим за середньо багаторічними даними. В Степу урожай картоплі складе 157 ц/га, що на 50 ц/га більше, чим за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.).

Урожай картоплі за сценарієм зміни клімату RCP8.5 в Поліссі буде становити 206 ц/га, що на 33 ц/га більше, ніж за середньо багаторічними даними. В Західному Лісостепу урожай картоплі складе 174 ц/га, що на 38 ц/га більше, чим за середньо багаторічними даними. Урожай картоплі в Східному Лісостепу за сценарієм зміни клімату RCP8.5 складе 218 ц/га, що на 75 ц/га більше, чим за середньо багаторічними даними, в Степу урожай картоплі складе 163 ц/га, що на 56 ц/га більше, чим урожай картоплі 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. 7.26).

Таблиця 7.26. 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 випаровування, мм	Сумарна випаровуваність, мм	Вологозабезпеченість, від.од	Сумарне випаровування, мм	Сумарна випаровуваність, мм	Вологозабезпеченість, від.од	
	Полісся						
1986-2005 RCP4.5 Різниця	78 75 -3	144 95 -49	0,72 1,05	79 50 -29	139 126 -13	0,76 0,52	0,74 0,75
	Західний Лісостеп						
1986-2005 RCP4.5 Різниця	91 87 -4	159 97 -62	0,76 1,19	93 85 -8	155 177 +22	0,80 0,64	0,78 0,83
	Східний Лісостеп						
1986-2005 RCP4.5 Різниця	72 81 +9	159 98 -61	0,60 1,90	75 79 +4	155 156 +1	0,65 0,68	0,63 0,84
	Степ						
1986-2005 RCP4.5 Різниця	80 74 -6	126 131 +5	0,85 0,75	67 48 -19	124 200 +76	0,72 0,32	0,79 0,49

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.

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 складе 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 складе 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, буде 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. 7.27). 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.

Таблиця 7.27. 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	Вологозабез- печеність, від.од	
Полісся							
1986-2005 RCP8.5 Різниця	78 77 -1	144 93 -51	0,72 1,1	79 56 -23	139 124 -15	0,76 0,60	0,74 0,82
Західний Лісостеп							
1986-2005 RCP8.5 Різниця	91 88 -3	159 93 -66	0,76 1,4	93 86 -7	155 177 +22	0,80 0,65	0,78 0,86
Східний Лісостеп							
1986-2005 RCP8.5 Різниця	72 78 +6	159 87 -72	0,60 1,2	75 78 +3	155 158 +3	0,65 0,66	0,63 0,85
Степ							
1986-2005 RCP8.5 Різниця	80 86 +6	126 111 -15	0,85 1,04	67 85 +18	124 214 +90	0,72 0,53	0,79 0,70

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 становитиме 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 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 становитиме 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, становитиме 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 – 5,77 м²/м².

Площа листя картоплі за сценаріями зміни клімату RCP4.5 та RCP8.5 буде збільшуватись до п'ятої декади вегетації і складе максимальне значення у п'яту декаду вегетації – 6,98-7,63 м²/м². Площа листя картоплі в Поліссі в період максимального розвитку за сценаріями зміни клімату збільшилась на 1,21-1,86 м²/м² в порівнянні з середньо багаторічними даними. В умовах збільшення CO₂, в Поліссі площа листя картоплі зростала до п'ятої декади вегетації і максимальне значення площі листя картоплі за умов збільшення CO₂ складає 7,54-8,10 м²/м². В умовах збільшення CO₂ площа листя картоплі збільшилась на 1,77-2,33 м²/м², в порівнянні з площею листя картоплі за середньо багаторічними даними (рис. 7.58).

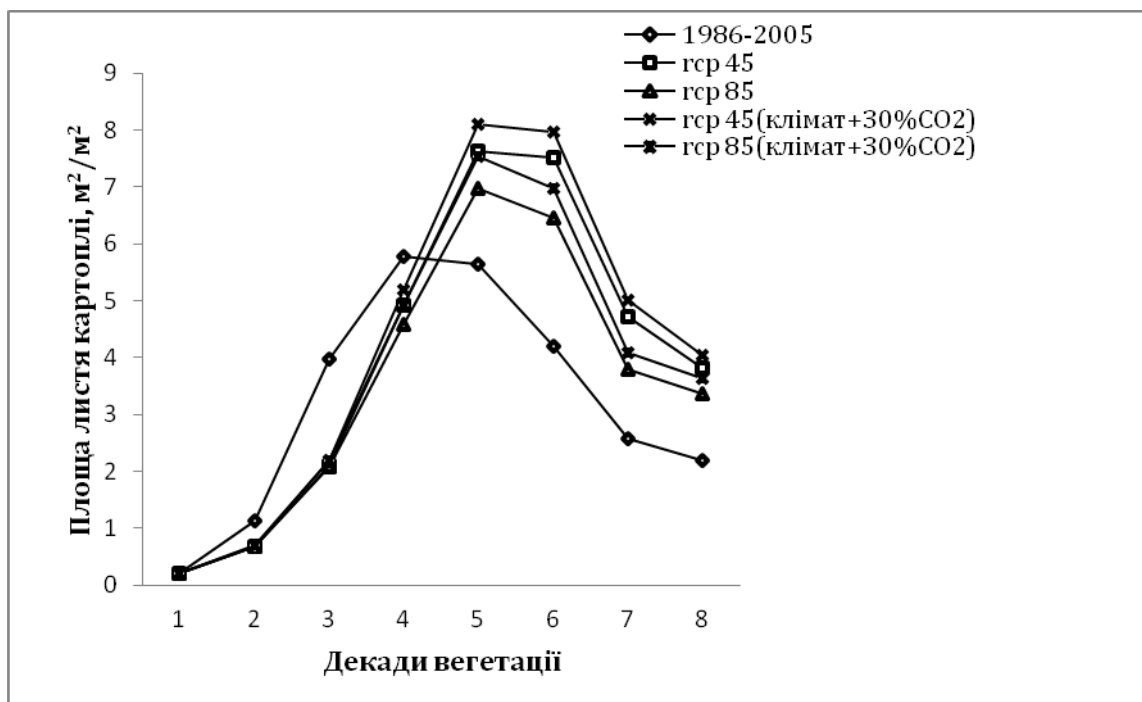


Рис. 7.58. Динаміка площі листя картоплі в Поліссі за середньо багаторічними даними та за сценаріями зміни клімату RCP4.5 та RCP8.5.

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 - 4,16 м²/м² (рис. 7.59). Площа листя картоплі в Західному Лісостепу за сценаріями зміни клімату RCP4.5 та RCP8.5 збільшуватиметься до шостої декади вегетації і набуде максимального значення у шосту декаду вегетації – 5,35-5,72 м²/м².

Площа листя картоплі в період максимального розвитку за сценаріями зміни клімату збільшиться на 1,19-1,56 м²/м² в порівнянні з середньо багаторічними даними (рис. 7.59). В умовах збільшення CO₂, в Західному Лісостепу площа листя картоплі зростає до шостої декади вегетації і максимальне значення площі листя картоплі за умов збільшення CO₂ за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 в шосту декаду вегетації складе 5,79-6,08 м²/м². В умовах збільшення CO₂ площа листя картоплі збільшиться на 1,63-1,92 м²/м², 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 $4,07 \text{ м}^2/\text{м}^2$, а максимальна площа листя картоплі за сценаріями зміни клімату дорівнюватиме $6,77\text{-}7,41 \text{ м}^2/\text{м}^2$ (рис. 7.60).

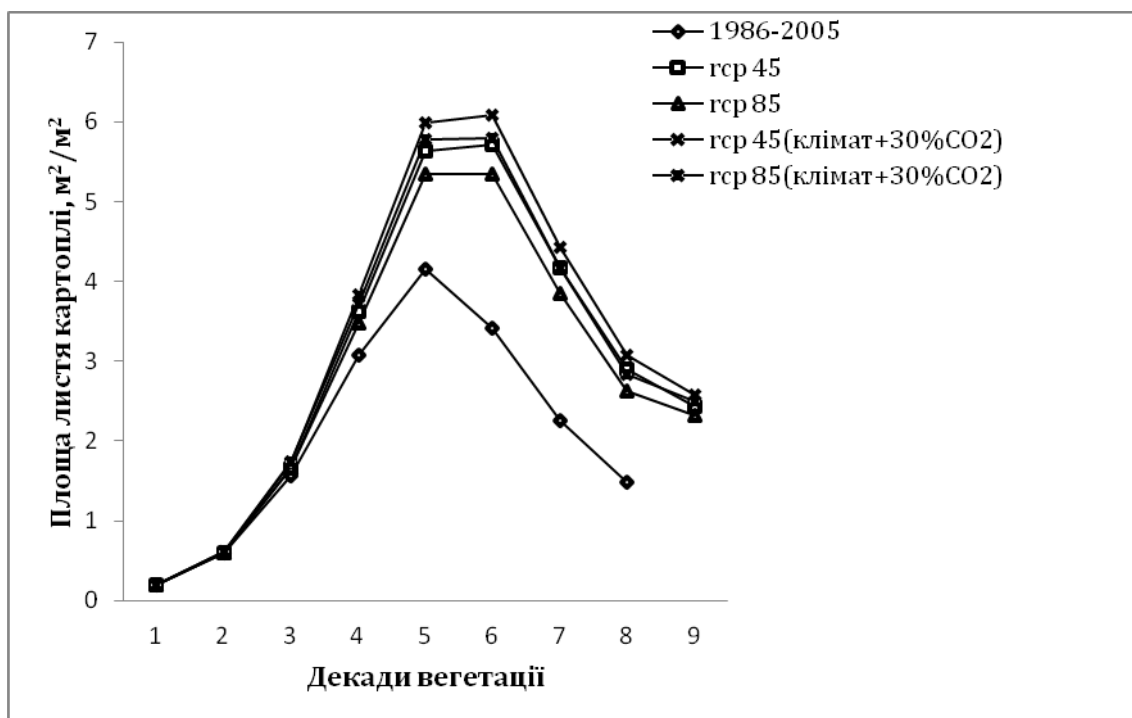


Рис. 7.59. Динаміка площі листя картоплі в Західному Лісостепу за середньо багаторічними даними та за сценаріями зміни клімату RCP4.5 та RCP8.5.

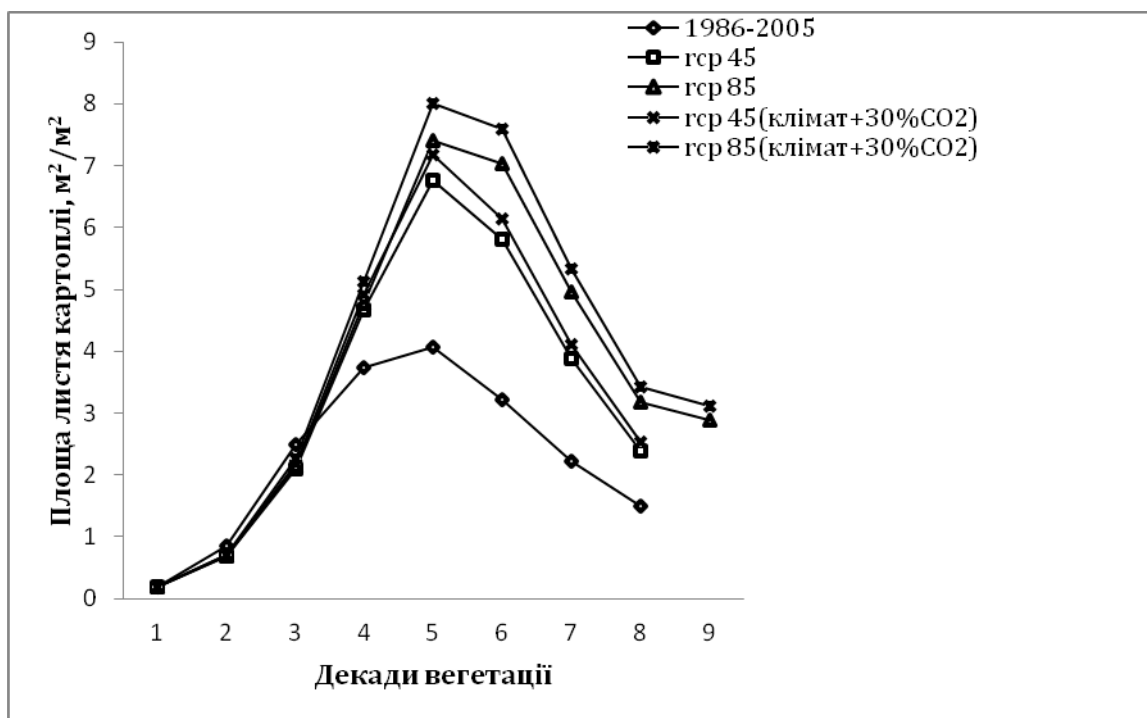


Рис. 7.60. Динаміка площі листя картоплі в Східному Лісостепу за середньо багаторічними даними та за сценаріями зміни клімату RCP4.5 та RCP8.5.

Максимальна площа листя картоплі в Східному Лісостепу за сценаріями зміни клімату RCP4.5 і RCP8.5 збільшувалась 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 досягне 7,17-8,0 м²/м². В умовах збільшення CO₂ площа листя картоплі збільшиться 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 становила 2,65 м²/м², а за сценаріями зміни клімату RCP4.5 та RCP8.5, максимальна площа листя картоплі становитиме 6,01-7,97 м²/м² (рис. 7.61).

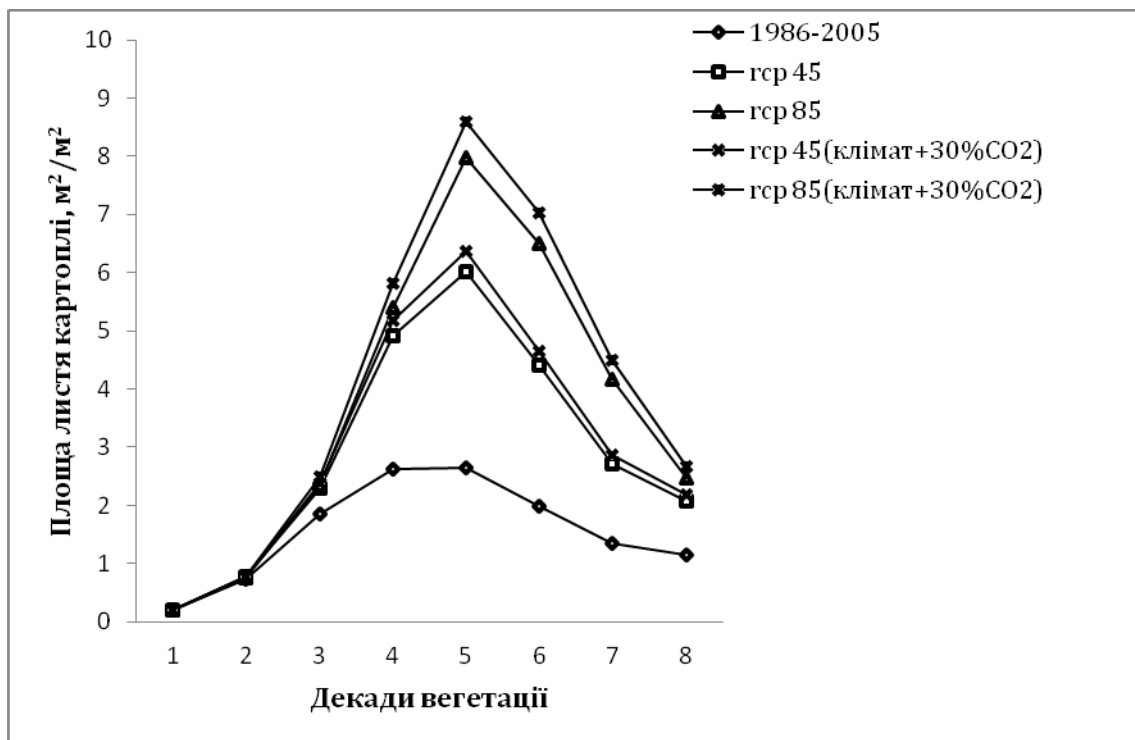


Рис. 7.61. Динаміка площі листя картоплі в Степу за середньо багаторічними даними та за сценаріями зміни клімату RCP4.5 та RCP8.5.

Максимальна площа листя картоплі в Степу за сценаріями зміни клімату RCP4.5 та RCP8.5 збільшиться на 3,36-5,32 м²/м², в порівнянні з середньо багаторічними даними. В умовах збільшення CO₂, в Степу площа листя картоплі зростатиме до п'ятої декади вегетації за сценаріями зміни клімату RCP4.5 і RCP8.5, максимальне значення площі листя картоплі за умов збільшення CO₂ становитиме 6,36-8,60 м²/м². В умовах збільшення

CO₂ площа листя картоплі за сценаріями зміни клімату RCP4.5 та RCP8.5 збільшиться на 3,71-5,95 м²/м² в порівнянні з площею листя картоплі за середньо багаторічними даними.

В Поліссі чиста продуктивність фотосинтезу збільшувалась з першої по третю декади 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 92-102 г/(м²·дек), за сценарієм RCP8.5, чиста продуктивність фотосинтезу картоплі набула максимального значення у третю і четверту декаду вегетації і склала 95 г/(м²·дек), в умовах збільшення CO₂ в Поліссі чиста продуктивність фотосинтезу за сценаріями зміни клімату RCP4.5 та RCP8.5 становила 96-102 г/(м²·дек) (рис. 7.62). В Поліссі максимальне значення чистої продуктивності фотосинтезу картоплі за сценаріями зміни клімату зменшиться на 7-10 г/(м²·дек), в порівнянні з середньо багаторічними даними. Чиста продуктивність фотосинтезу картоплі в Західному Лісостепу збільшуватиметься з першої по третю декади вегетації за сценаріями зміни клімату та набуде максимального значення у третю декаду вегетації – 89-90 г/(м²·дек). Чиста продуктивність фотосинтезу в Західному Лісостепу набула максимального значення за середньо багаторічними даними в другу декаду вегетації і дорівнювала 86 г/(м²·дек). В умовах збільшення CO₂ в Західному Лісостепу чиста продуктивність фотосинтезу картоплі становила 91-93 г/(м²·дек) (рис. 7.63).

В Західному Лісостепу максимальне значення чистої продуктивності фотосинтезу картоплі за сценаріями зміни клімату збільшилось на 3-4 г/(м²·дек), в порівнянні з середньо багаторічними даними, за умов збільшення CO₂ максимальне значення чистої продуктивності фотосинтезу картоплі збільшилось на 5-7 г/(м²·дек), в порівнянні з середньо багаторічними даними. В Східному Лісостепу чиста продуктивність фотосинтезу за сценарієм зміни клімату RCP4.5 збільшувалась з першої по третю декаду вегетації, набула максимального значення у третю декаду вегетації і становила 97 г/(м²·дек), за сценарієм RCP8.5 чиста продуктивність фотосинтезу збільшувалась з першої по четверту декаду вегетації і досягла 95 г/(м²·дек), за середньо багаторічними даними чиста продуктивність фотосинтезу збільшується до третьої декади і становить 100 г/(м²·дек) (рис. 7.64). В Східному Лісостепу максимальне значення чистої продуктивності фотосинтезу картоплі за сценаріями зміни клімату RCP4.5 та RCP8.5 зменшилось на 3-5 г/(м²·дек), в порівнянні з середньо багаторічними даними. За умов збільшення CO₂ чиста продуктивність фотосинтезу зменшилась на 3 г/(м²·дек), в порівнянні з середньо багаторічними даними.

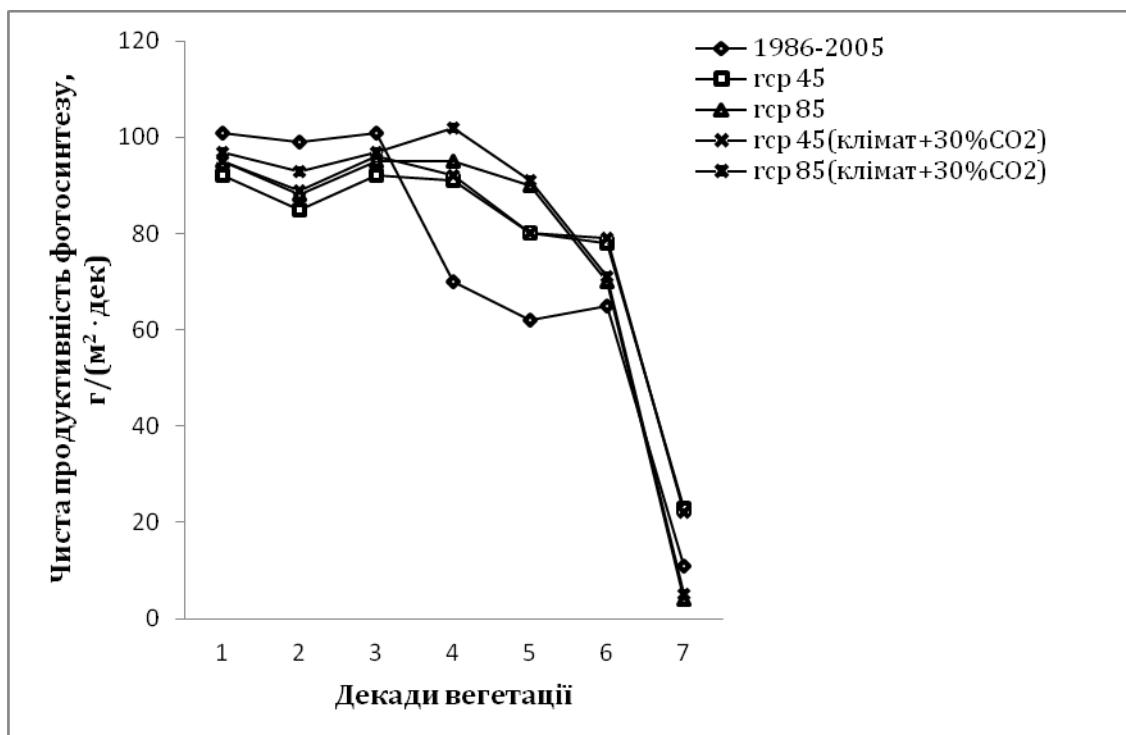


Рис. 7.62. Чиста продуктивність фотосинтезу картоплі в Поліссі за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценаріями зміни клімату RCP4.5 та RCP8.5.

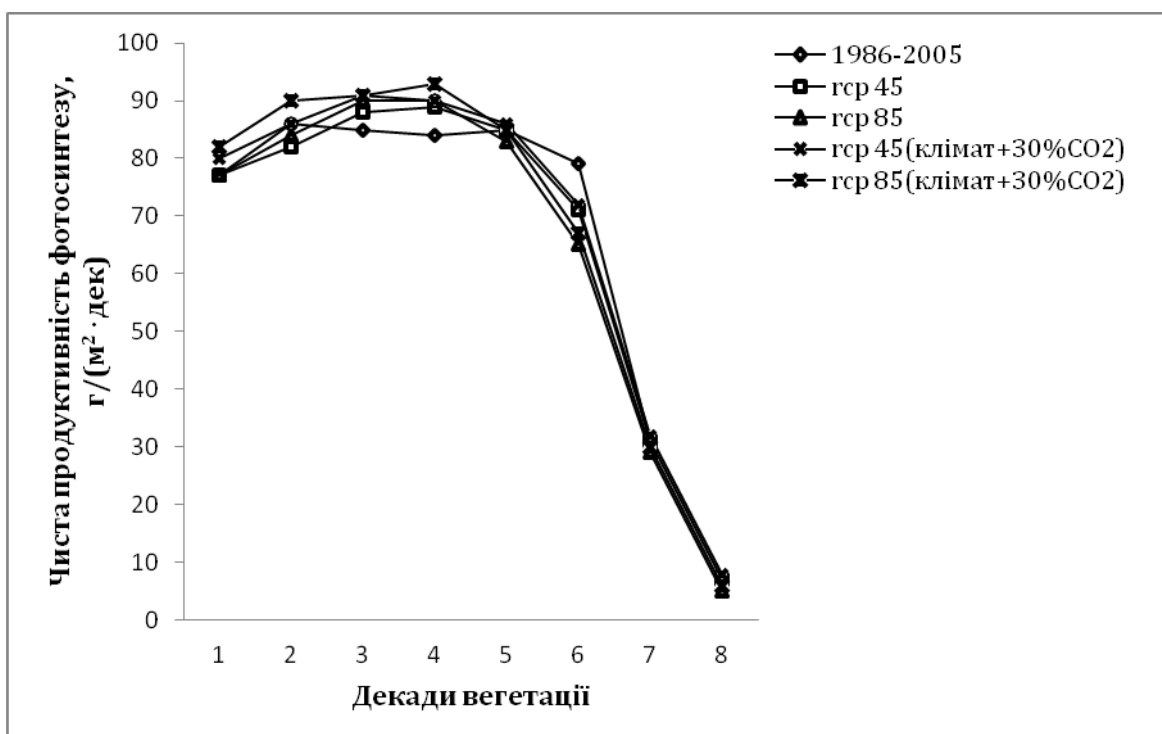


Рис. 7.63. Чиста продуктивність фотосинтезу картоплі в Західному Лісостепу за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценаріями зміни клімату RCP4.5 та RCP8.5.

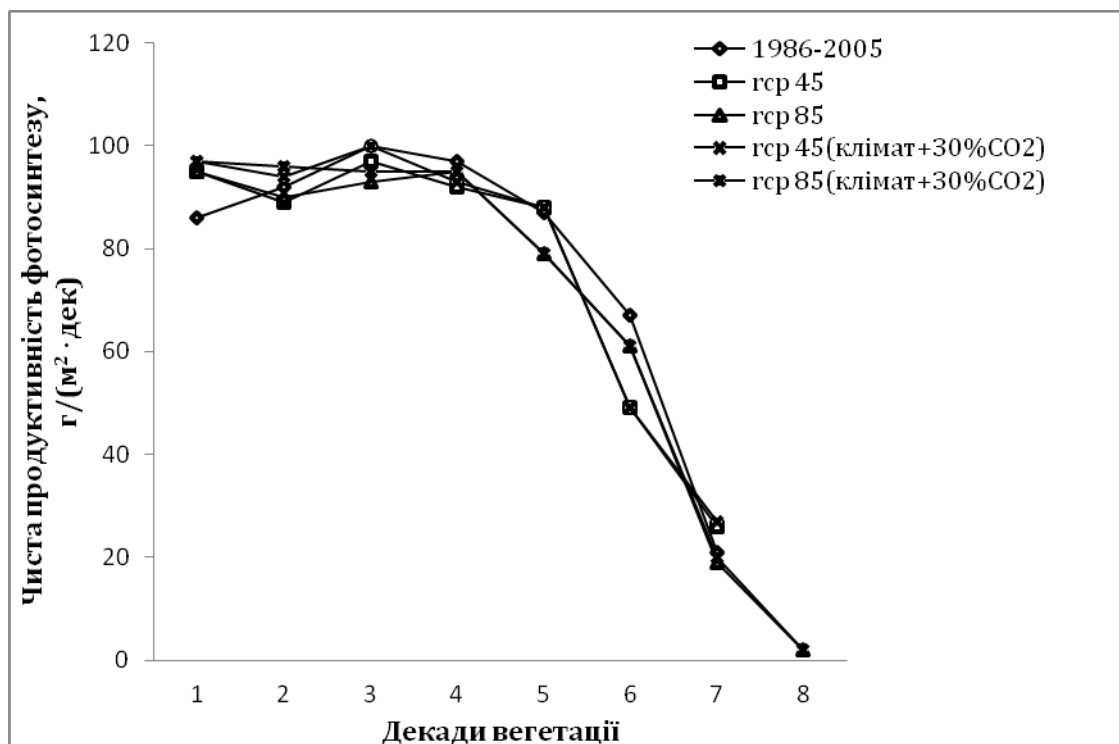


Рис. 7.64. Чиста продуктивність фотосинтезу картоплі в Східному Лісостепу за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценаріями зміни клімату RCP4.5 та RCP8.5.

В Східному Лісостепу максимальне значення чистої продуктивності фотосинтезу картоплі за сценаріями зміни клімату RCP4.5 та RCP8.5 зменшилось на 3-5 г/(м²·дек), в порівнянні з середньо багаторічними даними. За умов збільшення CO₂ чиста продуктивність фотосинтезу зменшилась на 3 г/(м²·дек), в порівнянні з середньо багаторічними даними.

В Степу чиста продуктивність фотосинтезу збільшувалась з першої по третю декаду вегетації, потім почала знижуватись, як за середньо багаторічними даними, так і за сценаріями зміни клімату. (рис. 7.65).

Максимальне значення чистої продуктивності фотосинтезу за середньо багаторічними даними становить 114 г/(м²·дек). За сценаріями зміни клімату RCP4.5 та RCP8.5 максимальне значення чистої продуктивності фотосинтезу становитиме 93-103 г/(м²·дек). В умовах збільшення CO₂ в Степу чиста продуктивність фотосинтезу набуде максимального значення у третю декаду вегетації і досягне 94-104 г/(м²·дек). В Степу максимальне значення чистої продуктивності фотосинтезу картоплі за сценаріями зміни клімату зменшиться на 11-21 г/(м²·дек), в порівнянні з середньо багаторічними даними, за умов збільшення CO₂ максимальне значення чистої продуктивності фотосинтезу картоплі зменшилось на 10-20 г/(м²·дек) в порівнянні з середньо багаторічними даними. Фотосинтетичний потенціал картоплі в Поліссі за середньо багаторічними даними і за сценаріями зміни клімату RCP4.5 та

RCP8.5 почав збільшуватись з першої по восьму декади вегетації (рис. 7.66).

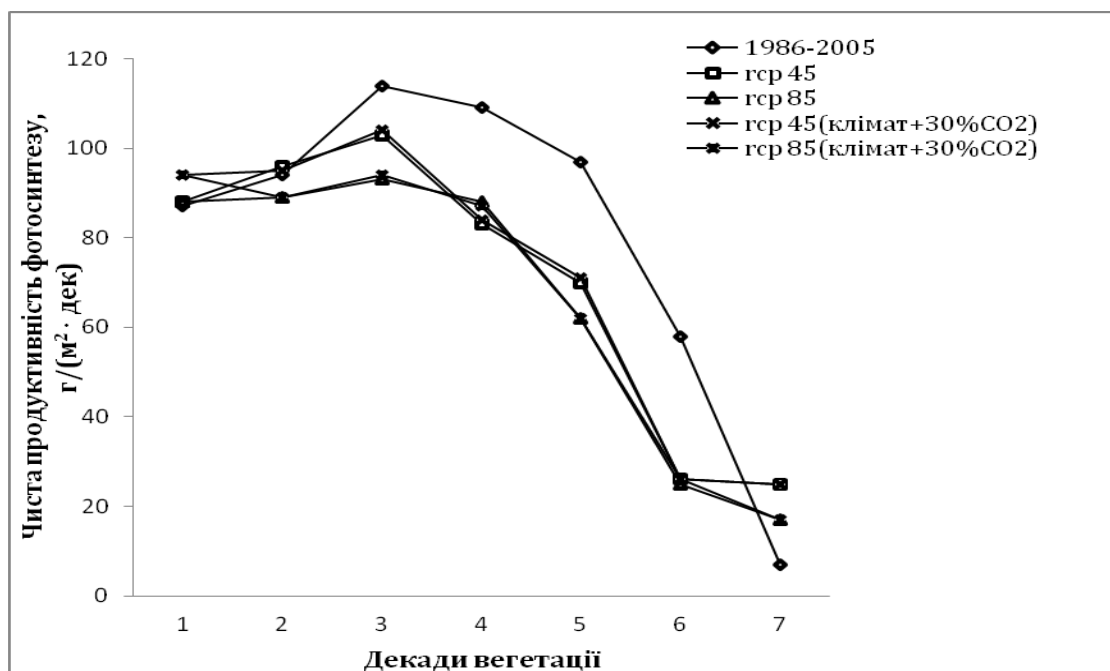


Рис. 7.65. Чиста продуктивність фотосинтезу картоплі в Степу за середньобаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценаріями зміни клімату RCP4.5 та RCP8.5.

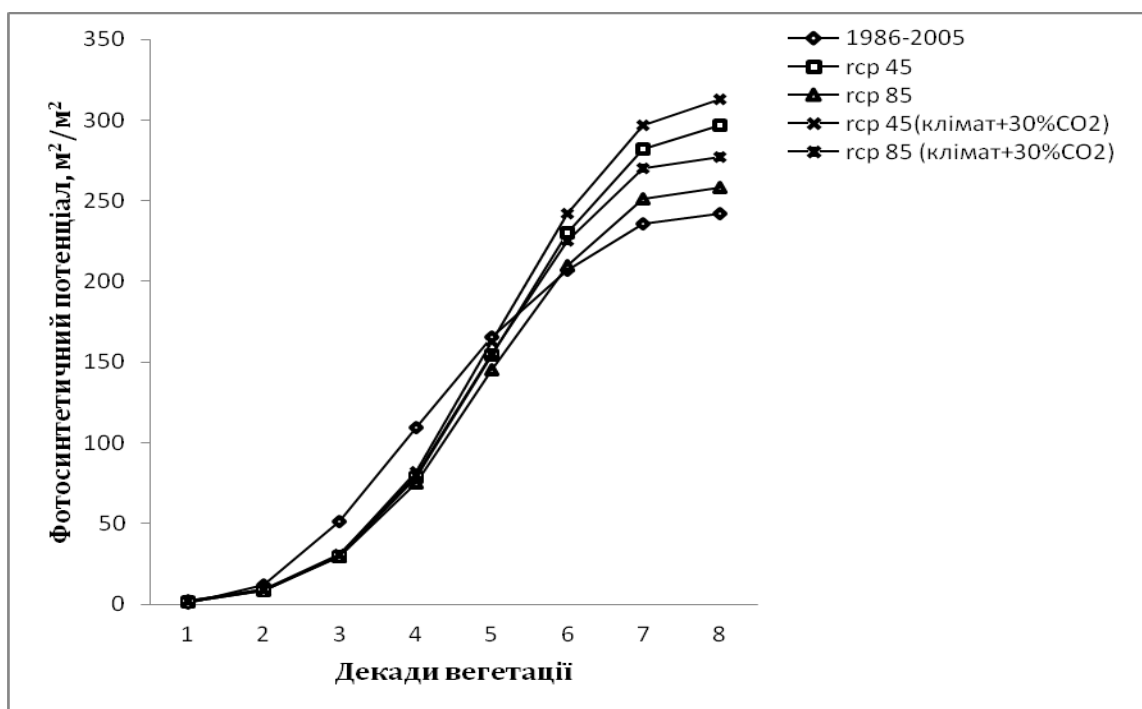


Рис. 7.66. Фотосинтетичний потенціал картоплі в Поліссі за середньобаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценаріями зміни клімату RCP4.5 та RCP8.5.

За середньо багаторічними даними максимальне значення фотосинтетичного потенціалу картоплі в Поліссі досягло $242 \text{ м}^2/\text{м}^2$, за сценарієм RCP4.5 фотосинтетичний потенціал картоплі збільшиться до $297 \text{ м}^2/\text{м}^2$, за сценарієм RCP8.5 фотосинтетичний потенціал картоплі збільшиться до $258 \text{ м}^2/\text{м}^2$. В умовах збільшення CO_2 в Поліссі фотосинтетичний потенціал картоплі складає $276\text{-}313 \text{ м}^2/\text{м}^2$.

В Поліссі максимальне значення фотосинтетичного потенціалу картоплі за сценаріями зміни клімату збільшиться на $16\text{-}55 \text{ м}^2/\text{м}^2$, в порівнянні з середньо багаторічними даними, а в умовах збільшення CO_2 максимальне значення фотосинтетичного потенціалу картоплі збільшиться на $35\text{-}71 \text{ м}^2/\text{м}^2$ в порівнянні з середньо багаторічними даними.

Фотосинтетичний потенціал картоплі в Західному Лісостепу за середньо багаторічними даними почав збільшуватись з першої по восьму декади вегетації, а за сценаріями зміни клімату RCP4.5 та RCP8.5 фотосинтетичний потенціал картоплі збільшуватиметься з першої по дев'яту декади вегетації (рис. 7.67).

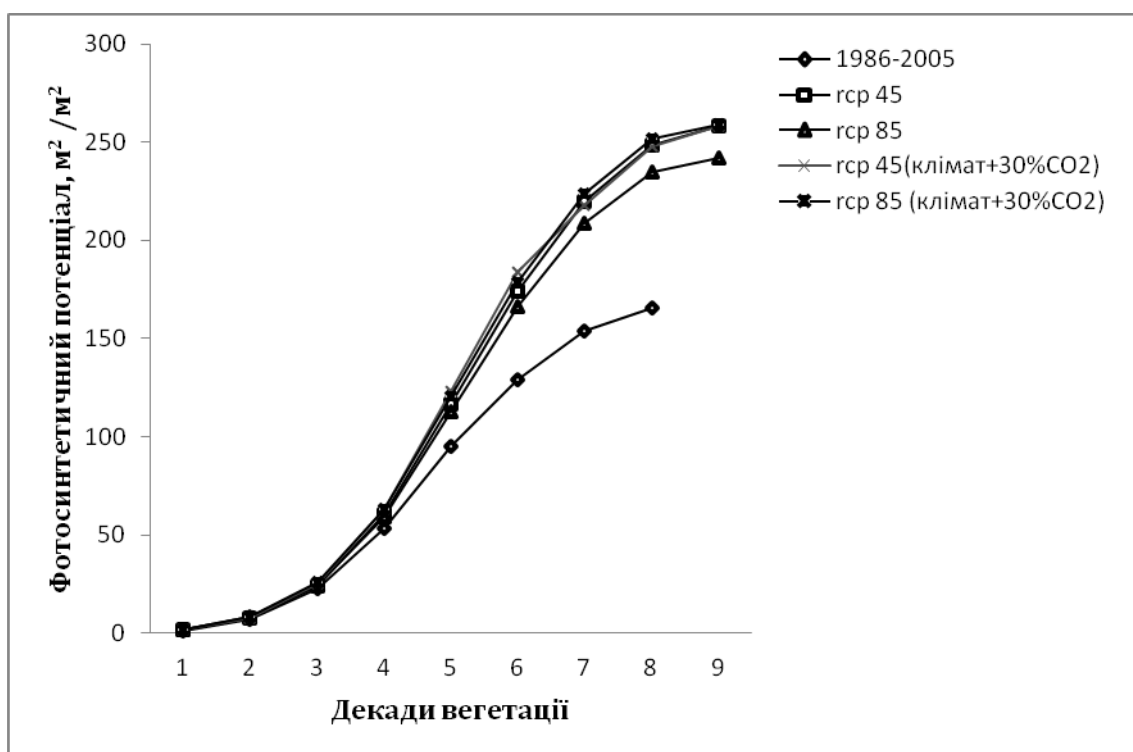


Рис. 7.67. Фотосинтетичний потенціал картоплі в Західному Лісостепу за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценаріями зміни клімату RCP4.5 та RCP8.5.

За середньо багаторічними даними максимальне значення фотосинтетичного потенціалу картоплі в Західному Лісостепу становить $166 \text{ м}^2/\text{м}^2$, а за сценаріями зміни клімату RCP4.5 та RCP8.5 значення фотосинтетичного потенціалу збільшиться і становитиме $242\text{-}258 \text{ м}^2/\text{м}^2$. В

умовах збільшення CO_2 в Західному Лісостепу фотосинтетичний потенціал картоплі збільшується і становить $258\text{--}259 \text{ м}^2/\text{м}^2$. В Західному Лісостепу максимальне значення фотосинтетичного потенціалу картоплі за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 збільшиться 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.

Фотосинтетичний потенціал картоплі в Східному Лісостепу за середньо багаторічними даними почав збільшуватися з першої по восьму декади вегетації, максимальне значення фотосинтетичного потенціалу досягло $182 \text{ м}^2/\text{м}^2$. За сценарієм RCP4.5 фотосинтетичний потенціал картоплі збільшувався з першої по восьму декади вегетації, максимальне значення фотосинтетичного потенціалу становитиме $268 \text{ м}^2/\text{м}^2$, а за сценарієм RCP8.5 фотосинтетичний потенціал картоплі збільшувався з першої по дев'яту декади вегетації, максимальне значення фотосинтетичного потенціалу становитиме $313 \text{ м}^2/\text{м}^2$ (рис. 7.68).

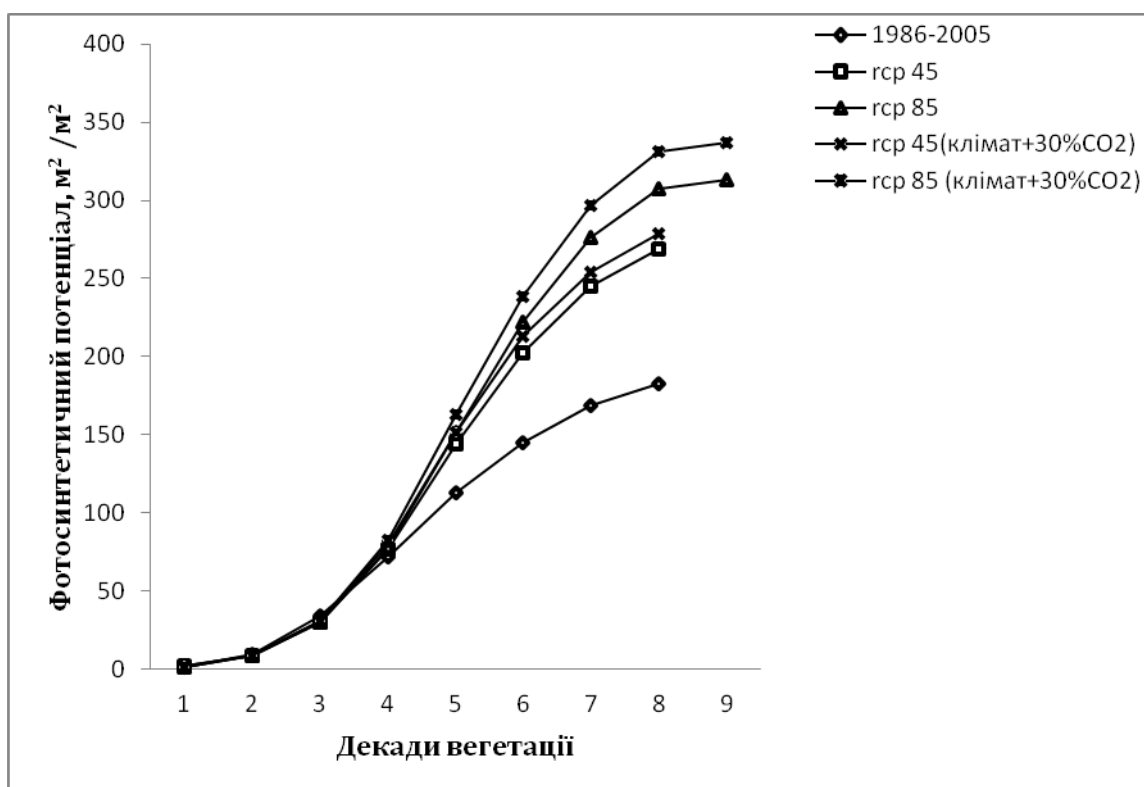


Рис. 7.68. Фотосинтетичний потенціал картоплі в Східному Лісостепу за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценаріями зміни клімату RCP4.5 та RCP8.5.

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 досягне $279 \text{ м}^2/\text{м}^2$, а за сценарієм зміни клімату RCP8.5 фотосинтетичний потенціал картоплі збільшувався з першої по дев'яту декаду вегетації і максимальне значення фотосинтетичного потенціалу становитиме $337 \text{ м}^2/\text{м}^2$.

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 і за сценаріями зміни клімату RCP4.5 та RCP8.5 почав збільшуватися з першої по восьму декади вегетації (рис. 7.69).

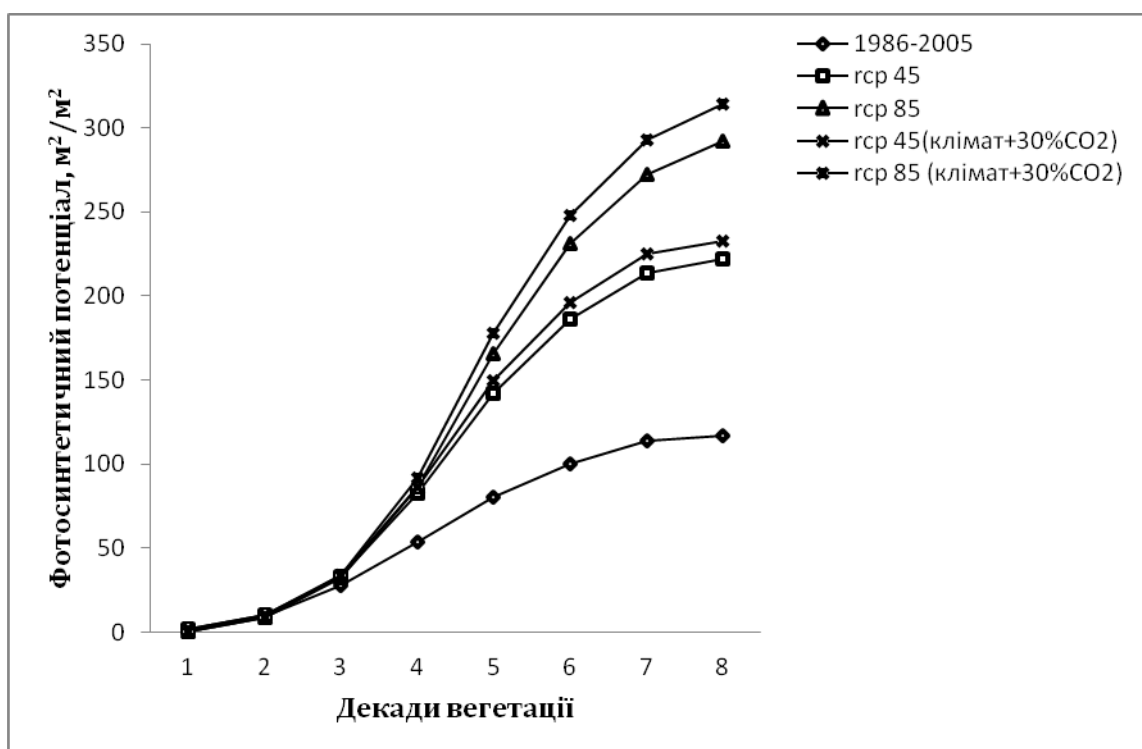


Рис. 7.69. Фотосинтетичний потенціал картоплі в Степу за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценаріями зміни клімату RCP4.5 та RCP8.5.

За середньо багаторічними даними максимальне значення фотосинтетичного потенціалу картоплі в Степу досягає $117 \text{ м}^2/\text{м}^2$, а за сценаріями зміни клімату RCP4.5 та RCP8.5, максимальне значення фотосинтетичного потенціалу картоплі становить $221\text{-}292 \text{ м}^2/\text{м}^2$.

В умовах збільшення CO_2 в Степу максимальне значення фотосинтетичного потенціалу картоплі за сценаріями зміни клімату RCP4.5 та RCP8.5 досягне 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 збільшиться 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.

Суха біомаса бульб картоплі в Поліссі 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 Поліссі становила 991 $\text{г}/\text{м}^2$ (рис. 7.70).

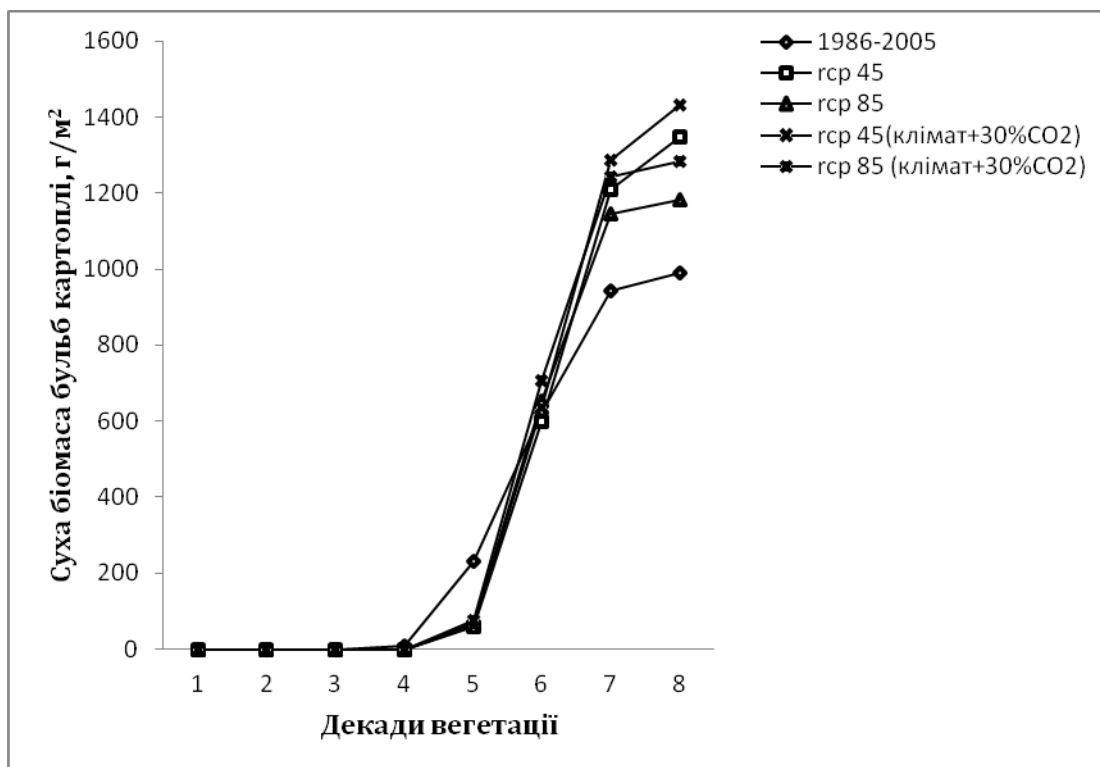


Рис. 7.70. Суха біомаса бульб картоплі в Поліссі за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценаріями зміни клімату RCP4.5 та RCP8.5.

За сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 в Поліссі, 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 становила 1182-1345 г/м².

Суха біомаса бульб картоплі в Поліссі за умов збільшення CO₂ почала набирати масу з п'ятої по восьму декаду вегетації і в восьму декаду вегетації становила 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 CO₂ 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 становила 781 г/м² (рис. 7.71).

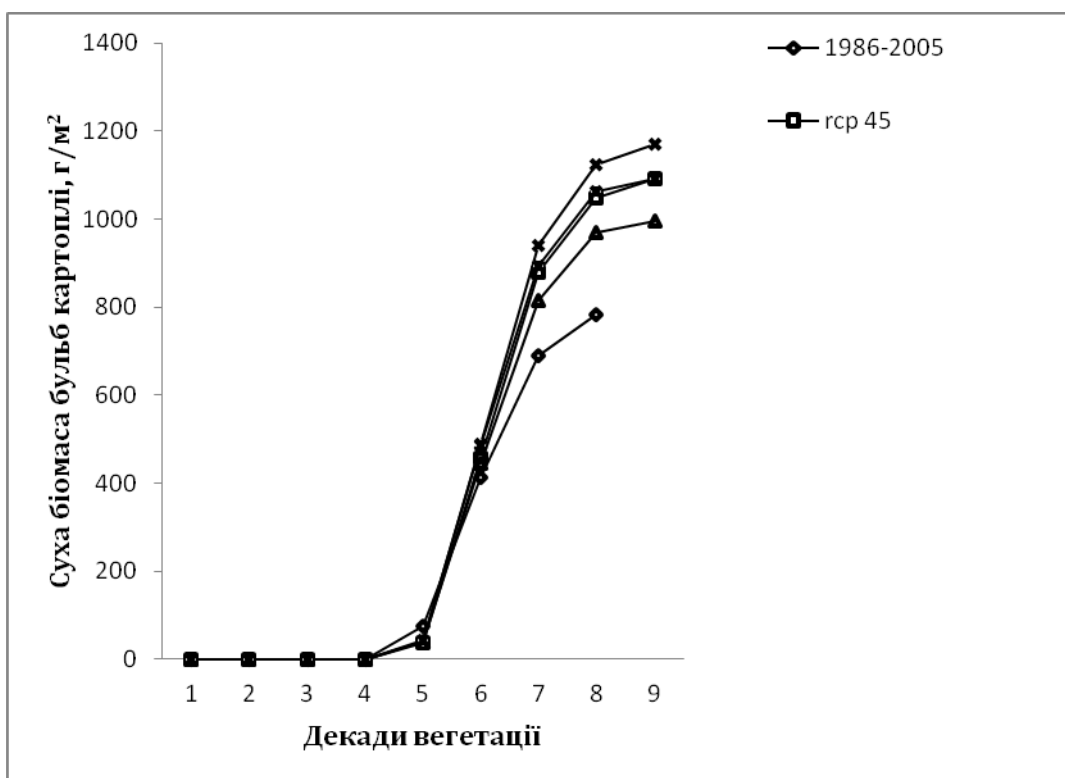


Рис. 7.71. Суха біомаса бульб картоплі в Західному Лісостепу за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценаріями зміни клімату RCP4.5 та RCP8.5.

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 становила 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 становила 996 г/м².

Суха біомаса бульб картоплі за умов збільшення CO₂ 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 CO₂ 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 у восьму декаду вегетації суха біомаса бульб картоплі в Східному Лісостепу склала 817 г/м² (рис. 7.72).

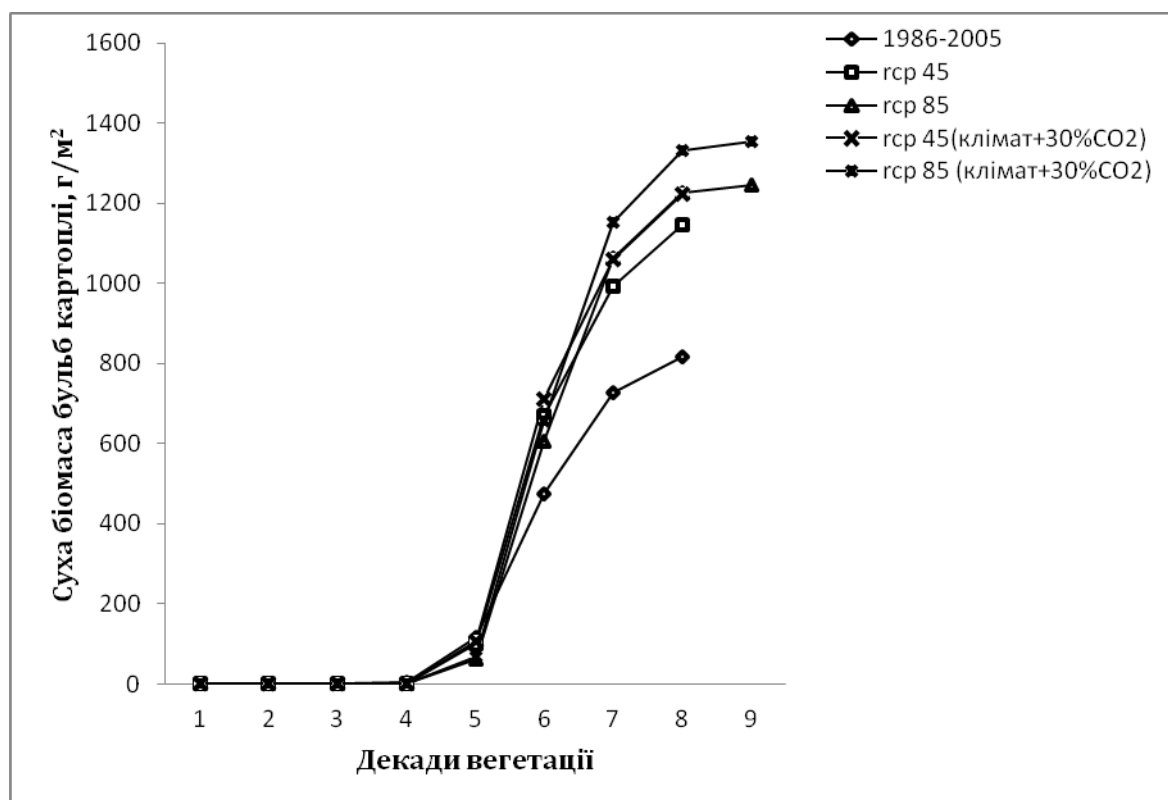


Рис. 7.72. Суха біомаса бульб картоплі в Східному Лісостепу за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценаріями зміни клімату RCP4.5 та RCP8.5.

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 у восьму декаду становила 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 досягла 1246 г/м².

Суха біомаса бульб картоплі за сценарієм RCP4.5 в Східному Лісостепу, при збільшенні CO₂ почала набирати масу з п'ятої по восьму декаду вегетації і у восьму декаду вегетації становила 1222 г/м². Суха біомаса бульб картоплі за сценарієм RCP8.5, при збільшенні CO₂ почала набирати масу з п'ятої по дев'яту декаду вегетації і в дев'яту декаду вегетації досягла 1353 г/м². Суха біомаса бульб картоплі в Східному Лісостепу в період максимального розвитку за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 збільшилась на 328-429 г/м² в порівнянні з середньо багаторічними даними, а за умов збільшення CO₂ суха біомаса бульб картоплі збільшилась на 405-536 г/м² в порівнянні з середньо багаторічними даними.

Суха біомаса бульб картоплі в Степу за середньо багаторічними даними, почала набирати масу з четвертої декади вегетації і до восьмої декади вегетації і у восьму декаду вегетації суха біомаса бульб картоплі в Степу становила 615 г/м² (рис. 7.73).

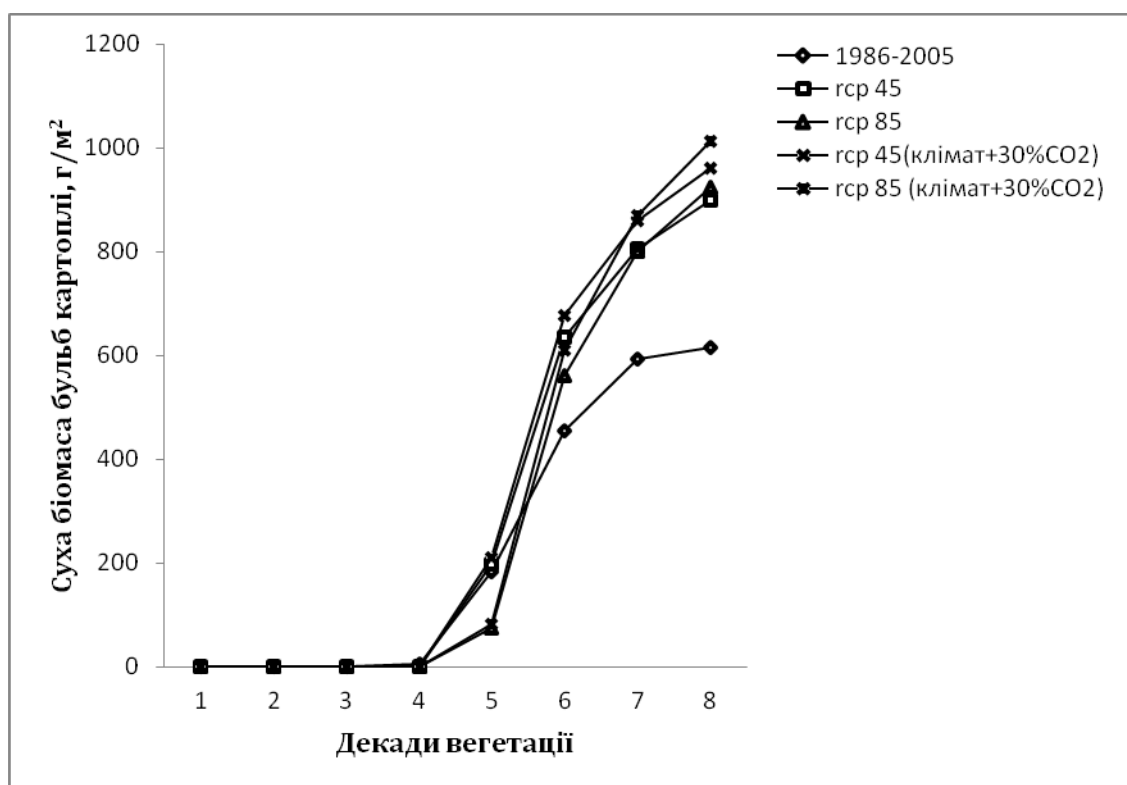


Рис. 7.73. Суха біомаса бульб картоплі в Степу за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценаріями зміни клімату RCP4.5 та RCP8.5.

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 становила 900-932 г/м². Суха біомаса бульб картоплі в Степу за умов збільшення CO₂ почала набирати масу з п'ятої декади вегетації і по восьму декаду вегетації і в восьму декаду вегетації становила 961-1013 г/м². Суха біомаса бульб картоплі в Степу в період максимального розвитку за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 збільшилась на 285-317 г/м², в порівнянні з середньо багаторічними даними, а суха біомаса бульб картоплі в Степу за умов збільшення CO₂ збільшилась на 346-398 г/м² 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 становитиме 70 % (табл. 7.28).

Високі ризики недобору врожаю картоплі очікуються в Дніпропетровській, Донецькій, Херсонській, Запорізькій та Кіровоградській областях – 55-60 %, в цих областях значення ГТК дорівнює 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 становитиме 0,5 відн.од. Високі ризики недобору врожаю картоплі також очікуються в Західному і Східному Лісостепу в Черкаській і Харківській областях. В цих областях спостерігається слабка посуха, значення ГТК становить 0,6-0,8 відн.од., ризик недобору врожаю картоплі буде 48-54 %.

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 область 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 зволожені, на це вказує значення ГТК, яке дорівнює 1,5-1,8 відн.од.. У 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 %.

Таблиця 7.28. 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

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 становить 0,5 відн.од., ризик недобору врожаю становить 47 %. Високі ризики недобору врожаю картоплі – і 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. 7.29).

Таблиця 7.29. 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		Середньорічне 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

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 цій 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 зволожені, на це вказує значення ГТК, яке дорівнює 1,7 відн.од. У 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. 7.74).

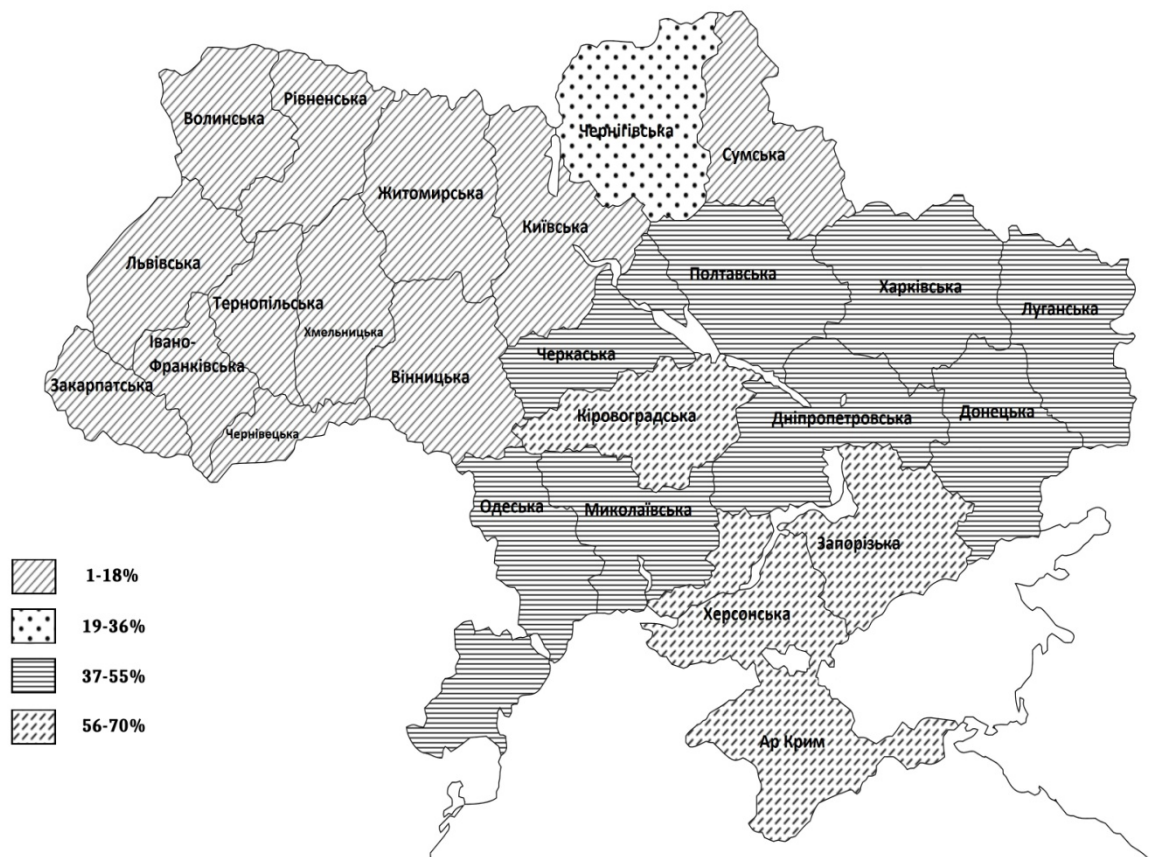


Рис. 7.74. Карта розподілу ризиків недобору врожаю картоплі за сценарієм зміни клімату RCP4.5, %.

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 %.

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. 7.75).



Рис. 7.75. Карта розподілу ризиків недобору врожаю картоплі за сценарієм зміни клімату RCP8.5, %.

В Закарпатській, Івано-Франківській, Тернопільській, Хмельницькій і Чернівецькій областях будуть найменші ризики недобору врожаю картоплі 1-3 %. Трохи більші ризики недобору врожаю картоплі будуть у 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 %.

Високі ризики недобору урожаю картоплі спостерігатимуться в Південному Степу. В Одеській, Херсонській і Миколаївській областях 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 і за сценаріями зміни клімату RCP4.5 та RCP8.5. Проведено порівняння сухої біомаси бульб картоплі за середньо багаторічними даними і 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 урожаю 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.

7.7. ОЦІНКА ВПЛИВУ ЗМІН КЛІМАТУ НА РІСТ, РОЗВИТОК І ФОРМУВАННЯ ВРОЖАЙНОСТІ ЦУКРОВОГО БУРЯКУ

7.7.1. 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 і 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 розглядалися такі варіанти:

- кліматичні умови періоду;
- кліматичні умови періоду + збільшення CO₂ в атмосфері з 380 до 437 ppm (сценарій RCP4.5) і до 455 ppm (сценарій RCP8.5).

Як теоретична основа для виконання розрахунків і 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 CO_2 в атмосфері.

Ідентифікація моделі формування урожайності сільськогосподарських культур виконана на основі матеріалів агрометеорологічних спостережень метеорологічних станцій Полісся й Лісостепу і даних середньої обласної урожайності цукрового буряку. Розглядалось формування урожайності культури в умовах зміни клімату по двох вищеперелічених зонах.

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 і відносних величинах;
- сумарне випаровування і 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 в Херсонській області та АР Крим, а також у Закарпатській області. Результати розрахунків дат настання фаз розвитку цукрового буряку за базовими та кліматичними даними представлені у табл. 7.30. За даними 1986-2005 рр. (базовими), терміни сівби цукрового буряку майже співпадають з датами переходу температури повітря через 10°C , і в залежності від зони вирощування культури коливаються від 20 квітня (Лісостеп) до 24 квітня (Полісся).

Поява 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.

Таблиця 7.30. Фази розвитку цукрового буряку за середніми багаторічними даними (1986-2005 рр.) та сценаріями зміни клімату RCP4.5 та RCP8.5

Період	Дати настання фаз			
	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.	20.04	06.05	02.06	23.08
RCP4.5	29.04	15.05	12.06	06.09
Різниця	+9	+9	+10	+14
RCP8.5	24.04	10.05	07.06	02.09
Різниця	+4	+4	+5	+10

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) і 15 травня, тобто на 9 днів пізніше (Лісостеп).

Аналізуючи результати досліджень за другим сценарієм RCP8.5, можна зробити такі висновки. На території Полісся буде спостерігатись зміщення строків посіву в бік 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 листа, які будуть спостерігатися в Лісостепу 6 вересня, тобто на два тижні пізніше. У Поліссі фаза пожовтіння нижнього листа 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 очікується пізніше, ніж у базовий період, а саме 7 червня, тобто на 5 днів пізніше. Фаза пожовтіння нижнього листа 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 листа очікується 28 серпня, тобто на 2 дні раніше від базових умов.

У таблиці 7.31 представлені агрокліматичні умови вирощування цукрового буряку на досліджуваній території за умов реалізації обох сценаріїв у порівнянні з базовими значеннями.

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 в коренеплоді. Тому за умов реалізації обох сценаріїв зміни клімату тривалість вегетаційного періоду цукрового буряку суттєво не зміниться, і згідно з біологічними особливостями культури, буде становити не менше ніж 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 °C, за сценарними варіантами вона зміниться несуттєво. Так, період сходів – початок росту коренеплоду буде проходити при знижених температурах: на 0,5 °C за умов реалізації сценарію RCP4.5 та на 0,9 °C за умов реалізації сценарію RCP8.5 (табл. 7.31).

Таблиця 7.31. Агрокліматичні умови вирощування цукрового буряку за середніми багаторічними даними (1986-2005 рр.) та сценаріями зміни клімату RCP4.5 та RCP8.5

Період	Період сходів –початок росту коренеплоду			Період початок росту коренеплоду-пожовіння нижнього листа			Вегетаційний період				Сумар не випаро вуванн я, мм	Випар овува ність, мм	Волого- забезпе- ченість, відн.од	
	Трива лість, дні	середня температ ура, °C	сума опадів, мм	Трива лість, дні	середня температ ура, °C	сума опадів, мм	сума активних температур, °C	сума опадів, мм	у % від кліматичної норми					
Полісся														
1986-2005	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	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		

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 в 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 розглянути суми опадів за міжфазні періоди цукрового буряку та весь вегетаційний період. За базовим варіантом кількість опадів за період сходи – початок росту коренеплоду в Поліссі становить 85 мм. Кількість опадів у період сходи – 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 в 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 становлять 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 становить 83 %. За умов реалізації сценарію RCP8.5 умови вологозабезпеченості у порівнянні з базовим значенням покращаться більш суттєво і значення вологозабезпеченості становитиме 86 %.

У порівнянні з базовим варіантом у Лісостепу тривалість періоду сходи – 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 сходи – початок росту коренеплоду буде проходити при знижених температурах: на 0,1 °С за умов реалізації сценарію RCP4.5 та на 0,4 °С а умов реалізації сценарію RCP8.5 (табл. 7.31).

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 більша 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 °С за умов реалізації сценарію RCP4.5 і на 1,0 °С за умов реалізації сценарію RCP8.5).

Сума температур за вегетаційний період цукрового буряку в Лісостепу становить за базовим варіантом 2535 °С. За умов реалізації сценарію RCP4.5 вона зменшиться до 2380 °С, тобто на 155 °С. За умов реалізації сценарію RCP8.5 це зменшення буде ще більш суттєвим - до 2365 °С, тобто на 170 °С.

Для аналізу зволоження доцільно було розглянути суми опадів за міжфазні періоди цукрового буряку та за весь вегетаційний період. За базовим варіантом кількість опадів за період сходи – початок росту коренеплоду в Лісостепу становить 50 мм. Кількість опадів у період сходи – початок росту коренеплоду збільшиться для умов першого сценарію до 63 мм (на 26 %), а для 2-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 в Лісостепу зменшиться досить суттєво.

Кількість опадів за вегетаційний період цукрового буряку в 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 становлять 7 % і 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 становить 82 %. За умов реалізації сценарію RCP8.5 умови вологозабезпеченості у порівнянні з базовим значенням покращаться більш суттєво і значення вологозабезпеченості досягне 85 %.

7.7.2. 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 з теорією

фотосинтетичної продуктивності посівів такими показниками є розміри фотосинтезуючої площі та фотосинтетичний потенціал посівів, а також кількісні показники приростів рослинної біомаси (табл. 7.32).

Таблиця 7.32. Показники фотосинтетичної продуктивності посівів цукрового буряку за базовий період (1986-2005 рр.) та за сценаріями зміни клімату RCP4.5 та RCP8.5

Варіант	Період максимального росту		Фотосинтетични й потенціал посівів м²/м² за вегетаційний період	Загальна суха біомаса, г/м²	Урожай корене- плодів, ц/га
	площа листової поверхні, м²/м²	приріст загальної сухої біомаси, г/м² за день			
Полісся					
1986–2005 рр.	4,8	49,0	444	2626	408
RCP4.5	5,4	54,8	488	2900	432
RCP4.5+ CO₂	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+ CO₂	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+ CO₂	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+ CO₂	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 і кліматичним періодами,
- друге число – різниця між базовим і кліматичним періодами з врахуванням зміни CO₂

Тривалість періоду початок росту коренеплоду – пожовтіння нижнього листа 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 листа 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 в 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 розглянути суми опадів за міжфазні періоди цукрового буряку та за весь вегетаційний період. За базовим варіантом кількість опадів за період сходи – початок росту коренеплоду в Поліссі становить 85 мм. Кількість опадів у період сходи – 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 %).

Розглянемо динаміку цих показників протягом вегетації цукрового буряку за базовим і кліматичними (сценарними) варіантами. На рис. 7.76 представлена динаміка накопичення відносної площі листа 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 листа посіву цукрового буряку найбільш інтенсивно проходить у п'яту - шосту декади вегетації, а у 8 декаду вегетації відносна площа листа досягає свого максимуму, після чого відбувається поступове її зменшення (рис. 7.76).

Основні показники фотосинтетичної продуктивності посівів за базовими та сценарними умовами суттєво відрізняються (табл. 7.32). За рахунок зміни кліматичних умов за сценарієм RCP4.5 періоду в Поліссі відбудеться підвищення максимальної відносної площі листа до 5,40 м²/м² (проти 4,80 м²/м² у базовий період). За умов збільшення CO₂ максимальна відносна площа листа збільшиться до 6,00 м²/м².

Як видно з даних таблиці 7.32, зміна кліматичних умов і збільшення вмісту CO₂ в умовах реалізації цього сценарію призведе до підвищення відносної площі листа в декаду з її максимальними значеннями на 0,6 та 1,2 м²/м², що становить 13-25 % відповідно.

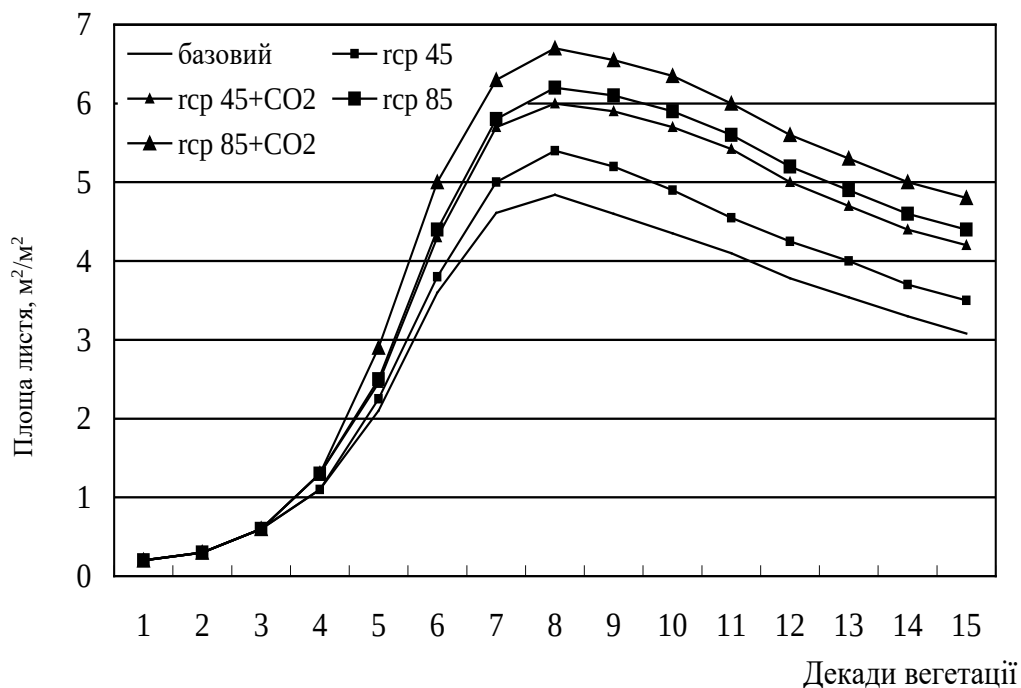


Рис. 7.76. Динаміка накопичення відносної площі листя посіву цукрового буряку за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 у порівнянні з базовим періодом.

За рахунок зміни кліматичних умов за сценарієм RCP8.5 періоду в 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. 7.32, зміна кліматичних умов і 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 дорівнює у Поліссі $444 \text{ м}^2/\text{м}^2$. Як видно з даних табл. 7.32, 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.) і $562 \text{ м}^2/\text{м}^2$ (за умови збільшення CO_2). Тобто різниця становить 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 становить 136 та $186 \text{ м}^2/\text{м}^2$ або 31-42 % відповідно. Динаміка площі асимілюючої поверхні та інтенсивності фотосинтезу зумовлює і відповідний рівень динаміки загальної сухої біомаси посівів цукрового буряку. На рис. 7.77 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.

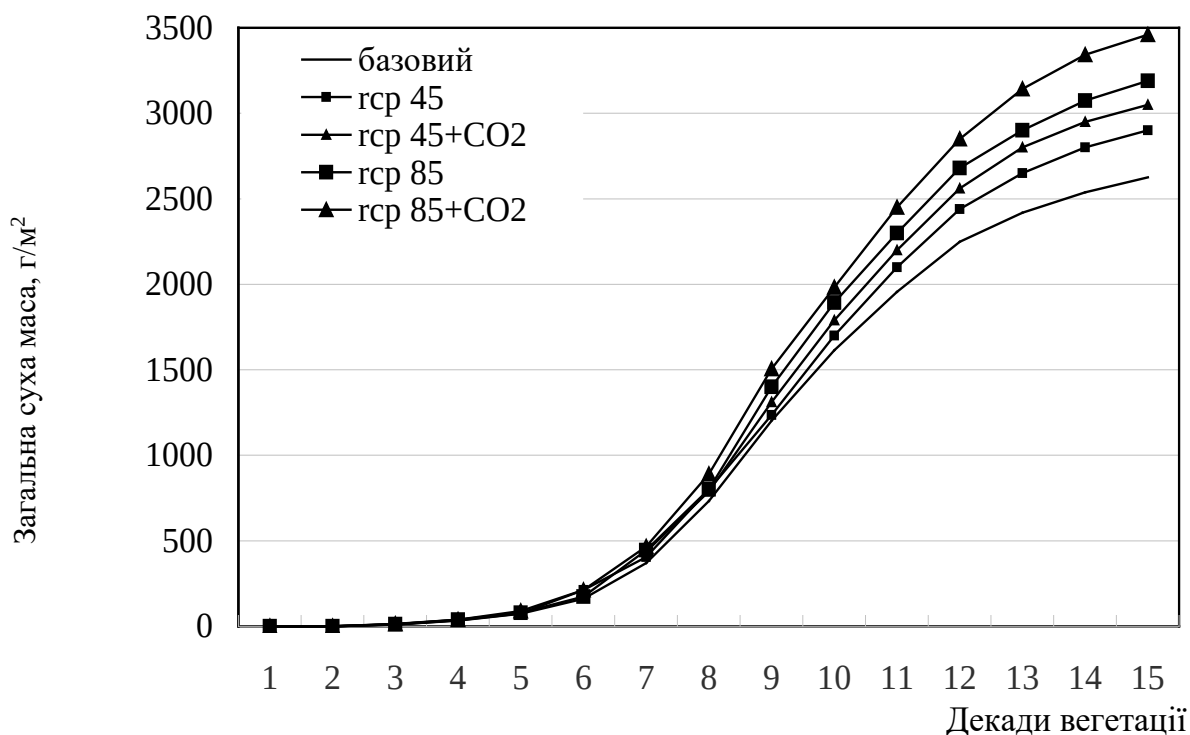


Рис. 7.77. Динаміка накопичення сухої загальної маси посіву цукрового буряку в Поліссі за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 у порівнянні з базовим періодом

Можна бачити, що накопичення загальної сухої біомаси до дев'ятої декади вегетації проходить досить швидкими темпами. Найбільш високі прирости загальної біомаси спостерігаються в 8-й – 9-й декадах вегетації. За рахунок змін кліматичних умов сценарію RCP4.5 приріст сухої загальної біомаси у період максимального росту в 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. 7.32, 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 CO_2 в атмосфері це збільшення буде ще суттєвішим - до 3050 г/м^2 . Тобто збільшення становить відповідно 274 та 424 г/м^2 , або 10-16 %.

За рахунок змін кліматичних умов сценарію RCP8.5 суха загальна біомаса посіву на кінець вегетації у Поліссі збільшиться до 3189 г/м^2 . З врахуванням зміни вмісту CO_2 в атмосфері це збільшення також буде ще суттєвішим - до 3460 г/м^2 . Тобто збільшення становить відповідно 563 та 834 г/м^2 , 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 зумовить і збільшення сухої маси коренеплоду, а також кінцевого урожаю коренеплодів при стандартній вологості (рис. 7.78, табл. 7.32).

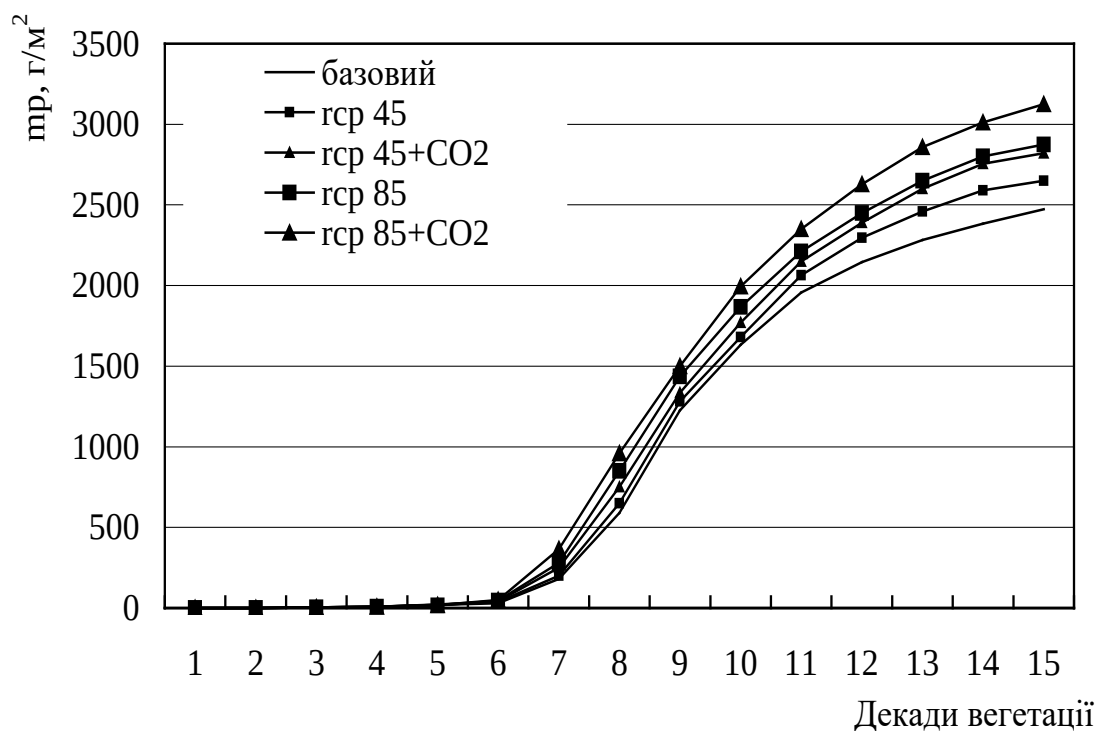


Рис. 7.78. Динаміка накопичення сухої маси коренеплоду (г/м²) цукрового буряку в Поліссі за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 у порівнянні з базовим періодом

Можна бачити, що ріст маси коренеплоду найбільш інтенсивно проходить протягом 7-ї—10-ї декад вегетації, наприкінці вегетаційного періоду темп росту дещо зменшується, у коренеплоді активно накопичується цукор. Така ж ситуація спостерігається для всіх варіантів.

За рахунок змін кліматичних умов сценарію RCP4.5 відбудеться підвищення сухої маси коренеплоду до 2650 г/м^2 (проти 2474 г/м^2 у

базовий період). За умов збільшення CO_2 суха маса коренеплоду збільшиться до 2820 г/м^2 . 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 CO_2 в атмосфері зумовить 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/м^2 (проти 2474 г/м^2 у базовий період). За умов збільшення CO_2 суха маса коренеплоду збільшиться до 125 г/м^2 . 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 CO_2 в атмосфері зумовить відповідне зростання рівня урожаю цукрового буряку до 515 ц/га (на 107 ц/га або 26 %).

На рисунку 7.79 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 $5,20 \text{ м}^2/\text{м}^2$ (проти $4,50 \text{ м}^2/\text{м}^2$ у базовий період). За умов збільшення CO_2 максимальна відносна площа листя збільшиться до $5,60 \text{ м}^2/\text{м}^2$.

За рахунок зміни кліматичних умов сценарію RCP8.5 відбудеться підвищення сухої маси коренеплоду до 2875 г/м^2 (проти 2474 г/м^2 у базовий період). За умов збільшення CO_2 суха маса коренеплоду збільшиться до 125 г/м^2 . 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 CO_2 в атмосфері зумовить відповідне зростання рівня урожаю цукрового буряку до 515 ц/га (на 107 ц/га або 26 %).

На рисунку 7.79 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 $5,20 \text{ м}^2/\text{м}^2$ (проти $4,50 \text{ м}^2/\text{м}^2$ у базовий період). За умов збільшення CO_2 максимальна відносна площа листя збільшиться до $5,60 \text{ м}^2/\text{м}^2$.

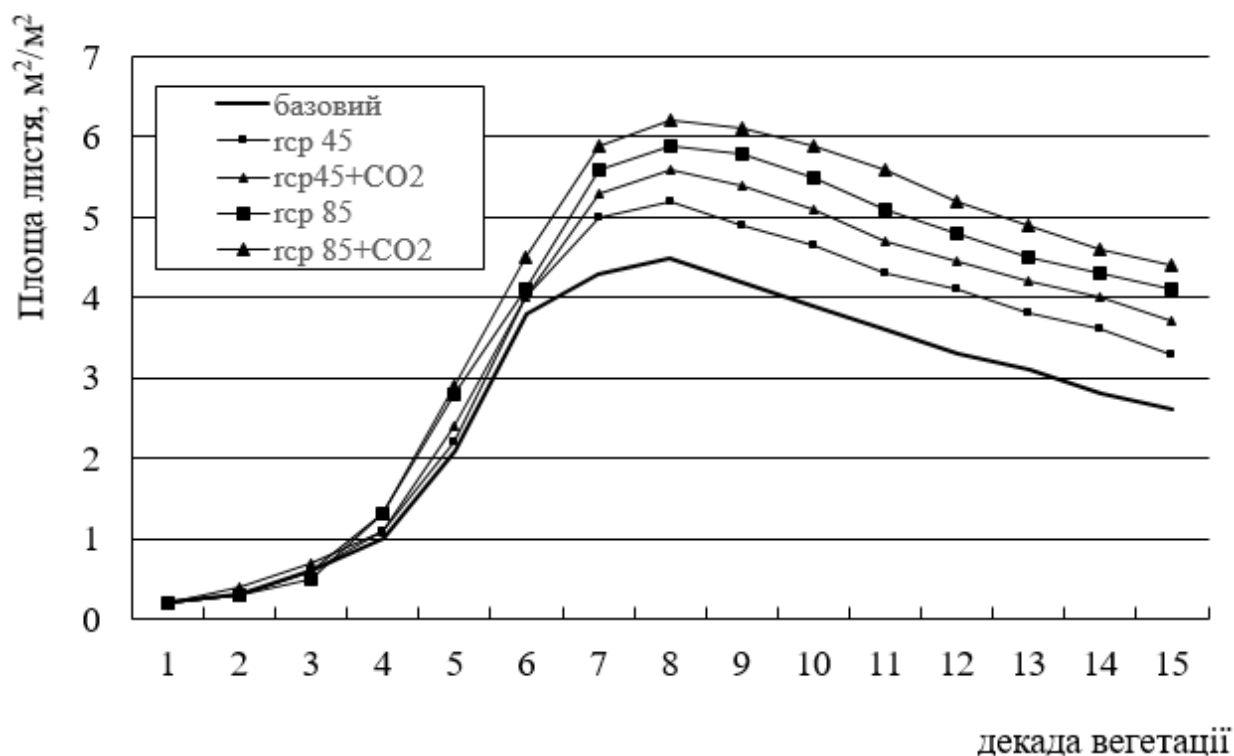


Рис. 7.79. Динаміка накопичення відносної площі листя посіву цукрового буряку в Лісостепу за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 у порівнянні з базовим періодом

Таким чином, як видно з даних табл. 7.32, зміна кліматичних умов за цим сценарієм та збільшення вмісту CO_2 призведе до підвищення відносної площі листя в декаду з її максимальними значеннями на 0,7 та 1,1 $\text{м}^2/\text{м}^2$, що становить 16-24 % відповідно.

Фотосинтетичний потенціал посівів за вегетаційний період при базових умовах становить у Лісостепу 403 $\text{м}^2/\text{м}^2$. Як видно з даних табл. 7.32, зміна кліматичних умов та збільшення вмісту CO_2 призведе до підвищення фотосинтетичного потенціалу посіву до 473 $\text{м}^2/\text{м}^2$ (за сценарієм RCP4.5 на 2021-2050 рр.) та до 513 $\text{м}^2/\text{м}^2$ (за умови збільшення CO_2). Тобто різниця становитиме 70 та 110 $\text{м}^2/\text{м}^2$ або 17-27 % відповідно.

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. 7.32, 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 досягне 145 та $183 \text{ м}^2/\text{м}^2$ або 36-45 % відповідно.

Динаміка площі асимілюючої поверхні та інтенсивності фотосинтезу зумовлює і відповідний рівень динаміки загальної сухої біомаси посівів цукрового буряку. На рис. 7.80 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.

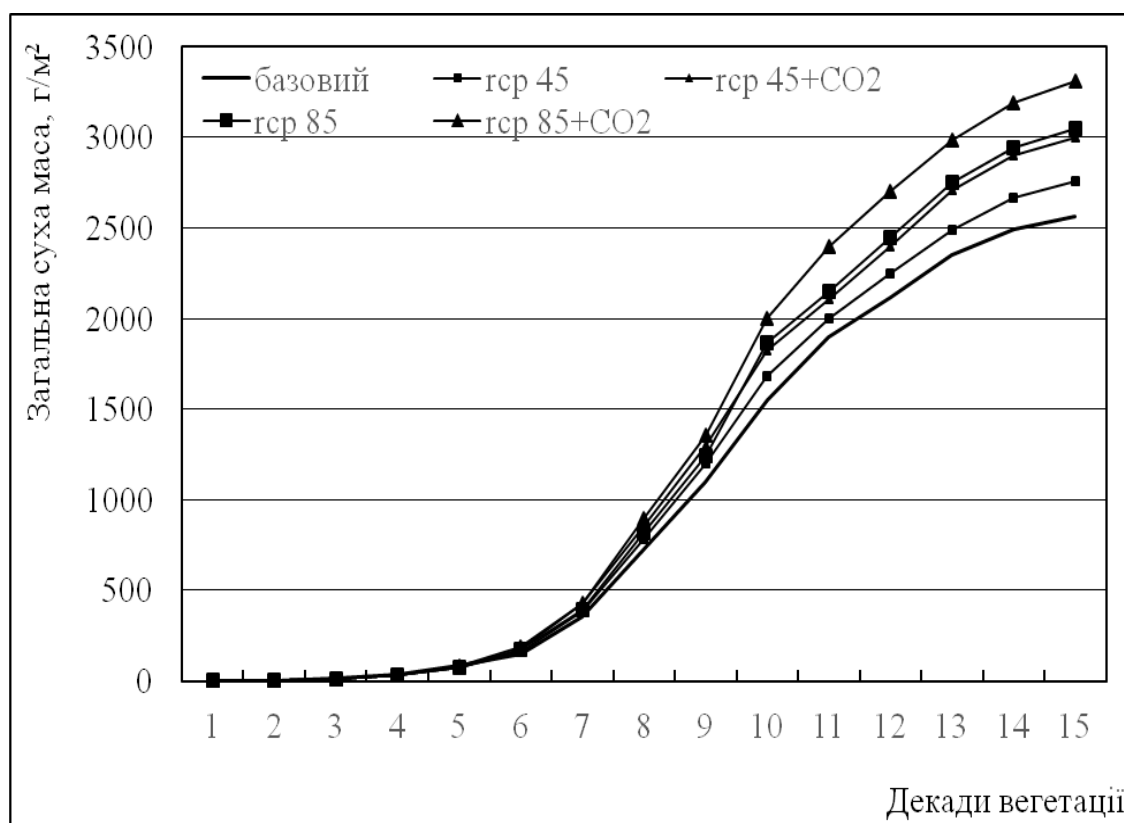


Рис. 7.80. Динаміка накопичення сухої загальної маси посіву цукрового буряку в Лісостепу за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 у порівнянні з базовим періодом

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-й – 9-й декадах вегетації. За рахунок змін кліматичних умов першого сценарію приріст сухої загальної біомаси у період максимального росту збільшиться з $47,0$ до $51,4 \text{ г}/\text{м}^2$ за день. З врахуванням зміни вмісту CO_2 в атмосфері це зростання буде ще більшим – до $54,8 \text{ г}/\text{м}^2$ за день. Це зростання становить відповідно 4,4 та 7,8 $\text{г}/\text{м}^2$, 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 %.

Як видно з даних табл. 7.32, 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 CO₂ в атмосфері це збільшення також буде ще суттєвішим - до 3310 г/м². Тобто збільшення становить відповідно 486 та 746 г/м², 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 зумовить і збільшення сухої маси коренеплоду, а також кінцевого урожаю коренеплодів при стандартній вологості (рис. 7.81, табл. 7.32).

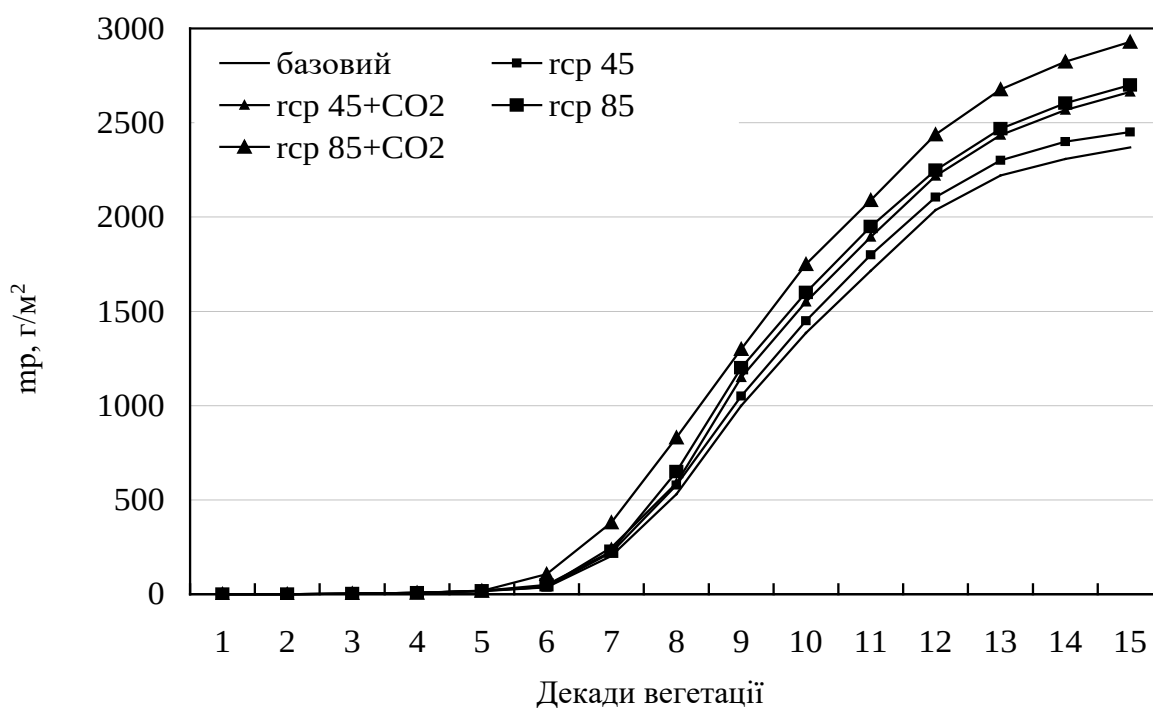


Рис. 7.81. Динаміка накопичення сухої маси коренеплоду цукрового буряку (мр) в Лісостепу за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 у порівнянні з базовим періодом

Можна бачити, що ріст маси коренеплоду найбільш інтенсивно проходить протягом 6-ї –12-ї 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/м² (проти 2370 г/м² у базовий період). За умов збільшення CO₂ суха маса коренеплоду збільшиться до 2665 г/м². За рахунок зміни кліматичних умов другого сценарію відбудеться підвищення сухої маси коренеплоду до 2700 г/м² (проти 2370 г/м² у базовий період). За умов збільшення CO₂ суха маса коренеплоду збільшиться до 2928 г/м².

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 CO₂ в атмосфері зумовить 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 CO₂ в атмосфері зумовить 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.

7.7.3. 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. 7.33 та на рис. 7.82.

Як можна бачити з таблиці 7.33, 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 перевищать 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 і високих урожаїв цукрового буряку. На території Західного Лісостепу ризики також не перевищуватимуть 4 %.

Таблиця 7.33. 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

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 вирощують цукровий буряк, а також на території Черкаської та Полтавської областей ризики будуть середніми (до 15,5 %).

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 %).

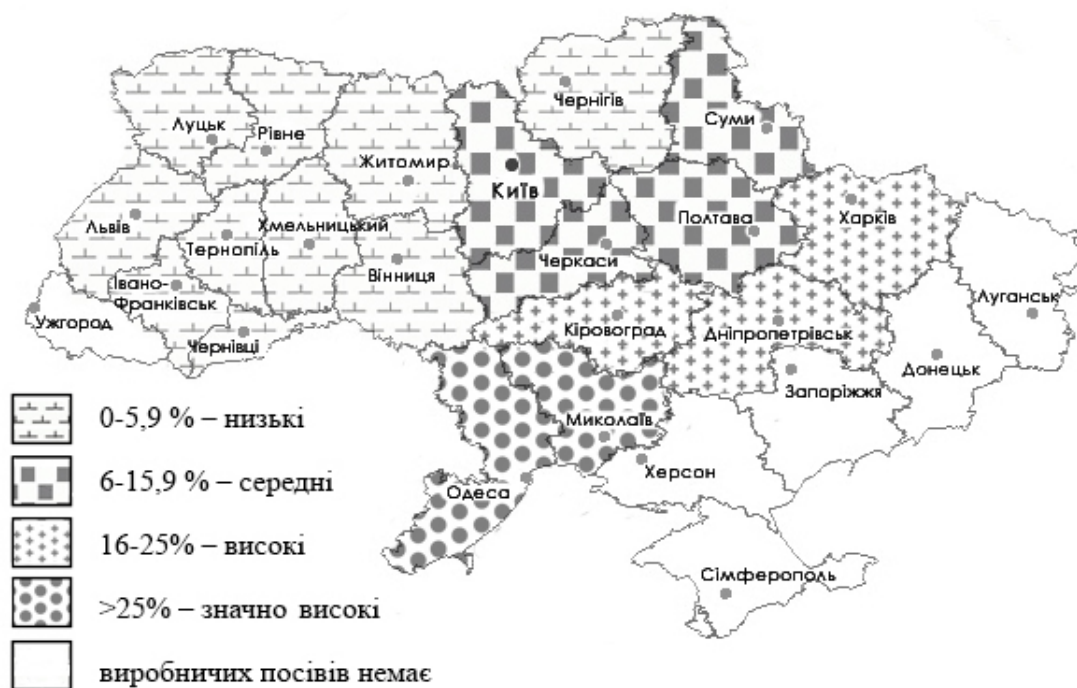


Рис. 7.82. Карта-схема очікуваних ризиків недобору урожаїв цукрового буряку в Україні за умов реалізації сценарію зміни клімату RCP4.5

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 урожаїв (25-27 %), тому не має сенсу розміщувати виробничі посіви цукрового буряку на території цих областей. Результати розрахунків за сценарієм RCP8.5 представлені у табл. 7.34 та на рис. 7.83.

Як можна бачити з табл. 7.34 та рис. 7.83, 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 %.

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 урожаїв: 9,8 % для Черкаської області та більш суттєві (15,2 %) – для Харківської області

Стосовно бурякосійної території Степу України, то умови, що очікуються за сценарієм RCP8.5 на цій території, будуть відрізнятися за сприятливістю для вирощування культури. Так, на території Кіровоградської та Дніпропетровської областей умови зволоження за

сценарієм RCP8.5 будуть кращі 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 зрошування посівів цукрового буряку.

Таблиця 7.34. 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		Середньорічний 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	Тернопільська	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	Кіровоградська	15,0	середні	0,82
15	Дніпропетровська	15,9	середні	0,65
16	Одеська	21,0	високі	0,59
17	Миколаївська	22,5	високі	0,58
Закарпаття та Прикарпаття				
18	Івано-Франківська	0	низькі	1,79
19	Чернівецька	0	низькі	1,56



Рис. 7.83. Карта-схема очікуваних ризиків недобору урожаїв цукрового буряку в Україні за умов реалізації сценарію зміни клімату RCP8.5

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 урожаїв: 9,8 % для Черкаської області та більш суттєві (15,2 %) – для Харківської області.

Стосовно бурякосійної території Степу України, то умови, що очікуються за сценарієм RCP8.5 на цій території, будуть відрізнятися за сприятливістю для вирощування культури. Так, на території Кіровоградської та Дніпропетровської областей умови зволоження за сценарієм RCP8.5 будуть кращі 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 зрошування 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, оцінка 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 і скоротити їх на користь культур, менш вибагливих до зволоження протягом вегетаційного періоду.

7.8. ОЦІНКА ВПЛИВУ ЗМІН КЛІМАТУ НА РІСТ, РОЗВИТОК І ФОРМУВАННЯ ВРОЖАЙНОСТІ ГОРОХУ

Зернобобові культури – одна з найважливіших груп сільськогосподарських рослин. Зерно цих культур використовують на харчові, кормові і технічні цілі. Урожайність їх залежить від технології вирощування, клімату, сортів та багатьох інших факторів.

Горох – найбільш поширена зернобобова культура, що пояснюється його високою середньою урожайністю і цінними продовольчими й кормовими якостями. Зерно гороху містить від 16 до 36 % білка, до 54 % вуглеводів, 1,6 % жиру, понад 3 % зольних речовин.

Сучасний рівень валового виробництва зерна зернобобових культур в Україні не задовольняє потреби народного господарства. Розрахунки показують, що вони можуть бути задоволені при доведенні валових зборів зерна їх в Україні не менш як до 10 - 12 млн. т. Основний напрям успішного вирішення цієї проблеми – подальше підвищення середньої врожайності зернобобових культур в усіх районах їх вирощування.

Зважаючи на важливість цієї культури, розглянемо як будуть змінюватись умови розвитку гороху під впливом змін клімату.

Для сільськогосподарських культур на фоні зміни кліматичних умов за розрахунковий період з 2015 по 2050 рр. нами розглядались такі варіанти:

- базовий період (1986 – 2005 рр.)
- кліматичні умови розрахункового періоду за сценарієм RCP4.5 за період 2015 – 2050 рр.;
- кліматичні умови періоду 2015 – 2050 рр. за сценарієм RCP4.5 (кліматична норма + збільшення CO₂ до 470 ppm);

Виконана робота є продовженням досліджень з оцінки впливу кліматичних змін на галузі економіки України, результати яких узагальнені в роботі. Для дослідження використовувався сценарій можливих змін клімату RCP4.5 на період до 2050 року.

Як теоретична основа для виконання розрахунків і 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 CO_2 в атмосфері.

Розрахунки виконувались для природно-кліматичних зон України: Полісся, Лісостеп, Північний Степ, Південний Степ.

Слід підкреслити, що вплив зміни клімату на формування продуктивності сільськогосподарських культур розглядався за умов сучасної агротехніки і сучасних сортів гороху в припущенні, що вони суттєво не зміняться.

Тенденції зміни агрокліматичних ресурсів розглядались нами стосовно основних агрокліматичних зон за різні проміжки часу. Для оцінки змін агрокліматичних ресурсів при можливих змінах клімату було використано сценарій зміни клімату в Україні RCP4.5.

7.8.1. Оцінка термінів сівби та фаз розвитку гороху

Розглянемо, як під впливом змін клімату будуть змінюватись дати настання фаз розвитку гороху, показники розвитку його по міжфазних періодах, показники фотосинтетичної продуктивності та урожай.

Як видно із таблиці 7.35, середні багаторічні терміни сівби гороху спостерігались з 30 березня в Південному Степу України, зміщувались на більш пізні терміни в Лісостеповій зоні, а саме, до 8 квітня і ще пізніше в Поліссі – до 15 квітня.

За умов реалізації сценарію зміни клімату RCP4.5, терміни сівби гороху змістяться на більш ранні строки в порівнянні з середніми багаторічними в усіх зонах України. Відчутніші відхилення спостерігатимуться у Поліссі (5 днів), в Лісостепу та Північному Степу (6 днів), менші – в Південному Степу (2 дні).

Відповідно змістяться і строки появи сходів. Сходи гороху за середніми багаторічними даними базового періоду спостерігались в Поліссі 30 квітня, в Лісостепу 25 квітня, Північному Степу – 21 квітня, і в Південному Степу 18 квітня. За сценарієм зміни клімату RCP4.5 відхилення термінів сходів наставатимуть пізніше від середніх багаторічних термінів на 7 днів у Поліссі, на 8 днів - в Лісостепу і пізніше від середніх багаторічних на 3 – 6 днів в степовій зоні.

Наступні за сходами фази розвитку гороху цвітіння та досягання за сценарієм RCP4.5 в усіх природно – кліматичних зонах наставатимуть

пізніше, ніж в базовий період: на 3 дні в Поліссі і Лісостепу, на 5 - 6 днів в Північному та Південному Степу.

Таблиця 7.35. Фази розвитку гороху за середніми багаторічними даними (1986-2005 рр.) та сценарієм зміни клімату RCP4.5

Період	Дати				Тривалість вегетаційного періоду, дні
	посів	сходи	цвітіння	достигання	
Полісся					
1986-2005	15.04	30.04	15.06	12.07	89
RCP4.5	10.04	6.05	18.06	24.07	104
Різниця	-5	+7	+3	+12	+15
Лісостеп					
1986-2005	8.04	25.04	12.06	12.07	95
RCP4.5	2.04	3.05	15.06	22.07	111
Різниця	-6	+8	+3	+12	+16
Північний Степ					
1986-2005	7.04	21.04	7.06	06.7	90
RCP4.5	1.04	27.04	12.06	16.07	97
Різниця	-6	+6	+5	+10	+7
Південний Степ					
1986-2005	30.03	18.04	4.06	30.06	91
RCP4.5	1.04	21.04	10.06	12.07	96
Різниця	-2	+3	+6	+12	+5

Внаслідок зміни термінів настання фаз розвитку гороху зміниться і тривалість його вегетаційного періоду. Вона зросте від 89 днів (середня багаторічна) до 104 днів в Поліссі, від 95 днів (середня багаторічна) до 111 днів в Лісостепу, від 90 днів (середня багаторічна) до 97 днів в степовій зоні.

7.8.2. Оцінка агрокліматичних умов вирощування гороху

Під впливом змін клімату зміняться агрокліматичні умови вирощування гороху (таблиця 7.36)

В період від сходів до цвітіння середня температура повітря за середніми багаторічними значеннями коливалась від 12,9°C в Південному Степу до 14,6°C в Північному Степу, в Поліссі 14,9°C, в Лісостепу 14,4 °C.

За сценарієм зміни клімату RCP4.5 від сходів до цвітіння середня температура коливатиметься від 11,1 °C в Лісостепу до 13,3 °C в Поліссі та від 13,6°C в Північному Степу до 14,4°C в Південному Степу.

Таблиця 7.36. Агрокліматичні умови вирощування гороху за середньо багаторічними даними (1986-2005 рр.) та сценарієм зміни клімату RCP4.5

Періоди розра- хунку	сходи – цвітіння					цвітіння – Достигання					Вегетаційний період	
	серед- ня темпер- атура, °C	сума опадів, мм	сумар- не випа- рвання, мм	випаро- вува- ність, мм	волого- забезпе- ченість, відн.од	серед- ня темпе- рату- ра, °C	сума опадів, мм	сумар- не випа- рвання, мм	випа- рову- ва- ність, мм	волого- забезпе- ченість, відн.од	сума опадів, мм	волого- забезпе- ченість, відн.од
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Полісся												
1986-2005	14,9	95	124	132	1,06	18,2	117	107	112	1,05	211	1,06
RCP 4.5	13,3	115	112	121	1,08	17,8	106	94	109	1,16	222	1,12
Різниця	-1,6	+17%	-10%	-8 %	+2 %	-0,4	-9 %	-12 %	-3 %	+11 %	+5 %	+6 %
Лісостеп												
1986-2005	14,4	100	147	159	1,08	18,9	93	110	113	0,97	190	1,03
RCP 4.5	11,1	119	121	123	1,4	18,1	96	102	109	1,4	216	1,4
Різниця	-3,3	+19%	-18%	-23	+31	-0,8	+3 %	-7 %	-4 %	+44 %	+14 %	+36 %
Північний Степ												
1986-2005	14,6	44	120	167	0,8	20,0	64	99	143	0,6	108	0,7
RCP 4.5	13,6	77	94	121	1,14	19,7	60	59	145	0,7	138	0,9
Різниця	-1,0	+75%	-22 %	-28 %	+43%	-0,3	-6 %	-40 %	+1 %	+17%	+28 %	+29 %
Південний Степ												
1986-2005	12,9	46	121	180	0,7	19,4	74	70	151	0,5	120	0,6
RCP 4.5	14,4	66	80	155	0,8	21,0	40	30	141	0,6	104	0,7
Різниця	+1,5	+43%	-34%	-14 %	+14 %	-8 %	-46%	-57%	-7 %	+20%	-13 %	+17 %

Розрахунки за сценарієм показують, що в цей період очікується середня температура нижча від базової на $-1,6^{\circ}\text{C}$ в Поліссі, на $-3,3^{\circ}\text{C}$ в Лісостепу та на $-1,0^{\circ}\text{C}$ в Північному Степу. В Південному Степу вона буде вища від середніх багаторічних значень на $1,5^{\circ}\text{C}$.

Сума опадів в період від сходів до цвітіння за середніми багаторічними даними коливалась від 44 мм в Північному Степу до 100 мм в Лісостепу.

Кількість опадів від сходів до цвітіння за сценарієм RCP4.5 збільшиться в Поліссі та Лісостепу на 17-19 %, а в Південному Степу – на 12 %. Особливо різке збільшення опадів спостерігатиметься в Північному Степу (на 75%) і Південному Степу (на 43 %).

Сумарне випаровування за сценарієм зміни клімату RCP4.5 зменшиться в Поліссі на 10 %, в Лісостепу на 18 %, в Північному Степу на 22 %, а в Південному Степу на 34 %

Як показують розрахунки за сценарієм зміни клімату RCP4.5 в період від сходів до цвітіння випаровуваність в Поліссі, Лісостепу та Північному Степу в порівнянні з базовим зменшиться від 8 % до 28 %.

За середніми багаторічними значеннями вологозабезпеченість посівів гороху від сівби до цвітіння коливалась від 0,7 відн. од в Північному Південному Степу до 1,08 відн. од. в Лісостепу.

За умов реалізації сценарію зміни клімату RCP4.5 вологозабезпеченість посівів гороху збільшиться в Поліссі на 2 %, в Лісостепу на 31 %, в Північному Степу на 43 % і Південному Степу на 14 %.

Середня температура повітря за середніми багаторічними значеннями в період від цвітіння до досягання коливалась від $18,2^{\circ}\text{C}$ в Поліссі до $20,0^{\circ}\text{C}$ в Північному Степу.

В період з 2011 до 2050 рр. за сценарієм зміни клімату RCP4.5 від цвітіння до досягання середня температура становитиме $21,0^{\circ}\text{C}$ в Південному Степу, що вище від середньої температури базового періоду на $0,6^{\circ}\text{C}$. В Поліссі, Лісостепу та Північному Степу середня температура повітря коливатиметься в межах $17,8-19,7^{\circ}\text{C}$, що буде нижче рівня середньої багаторічної на $0,3-0,8^{\circ}\text{C}$.

В період від цвітіння до досягання сума опадів коливалась в середньому багаторічному від 64 мм в Північному Степу до 117 мм в Поліссі. За сценарієм зміни клімату RCP4.5 сума опадів зросте на 3 % в Лісостепу, а в Поліссі, Північному Степу та Південному Степу зменшиться на 9 %, 6 % та 46 % відповідно.

Сумарне випаровування в період від цвітіння до досягання за середніми багаторічними значеннями коливалось від 70 мм в Південному Степу до 110 мм в Лісостепу.

В період цвітіння-досягання за сценарієм зміни клімату RCP4.5 сумарне випарування зменшиться в Поліссі на 12 %, в Лісостепу на 7 % і

45 %. В Північному і Південному Степу сумарне випаровування зменшиться на 40 % і 57 % відповідно.

Від цвітіння до досягання випаровуваність за сценарієм зміни клімату RCP4.5 збільшиться в Північному Степу на 1 %. Випаровуваність зменшиться в Поліссі на 3 %, в Лісостепу на 4% в Південному Степу на 7 %.

За середніми багаторічними значеннями вологозабезпеченість посівів гороху від цвітіння до досягання коливалась від 0,5 відн.од в Південному Степу до 1,05 відн. од. в Поліссі. За умов реалізації сценарію зміни клімату RCP4.5 за період 2015 – 2050 рр. вологозабезпеченість зростає в Поліссі та Лісостепу від 1,16 відн.од. до 1,4 відн.од., в Північному Степу до 0,7 відн. од., в Південному Степу вологозабезпеченість збільшиться до 0,6 відн. од., що на 20 % більше від середньо багаторічного значення.

Кількість опадів за умов реалізації сценарію зміни клімату RCP4.5 за вегетаційний період збільшиться в Поліссі на 5 %, в Лісостепу на 14 %, в Північному Степу на 28 %, а в Південному Степу зменшиться на 13 %.

Вологозабезпеченість за умов реалізації сценарію зміни клімату RCP4.5 збільшиться в усіх зонах (табл. 7.36).

7.8.3. Оцінка показників фотосинтетичної діяльності посівів гороху

Зміни агрокліматичних умов спричинять зміну показників фотосинтетичної діяльності посівів гороху, що зумовить 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 частку урожаю господарсько-цінної частини врожаю в загальному врожаї біомаси посівів (табл. 7.37).

Розглянемо розподіл цих показників у природно-кліматичних зонах України при зміні кліматичних умов за сценарієм RCP4.5 в порівнянні з показниками фотосинтетичної продуктивності гороху, які розраховані за середніми багаторічними даними (табл. 7.37). Динаміка окремих показників фотосинтетичної діяльності наводиться на рис. 7.84 – 7.99. Як видно з таблиці 7.37 та рис. 7.84 – 7.87, площа листя в період максимального розвитку в середньому за базовий період коливалась від 1,78 м²/м² в Поліссі до 2,0 м²/м² в Лісостепу. Розрахунки за сценаріями RCP4.5 за варіантом «клімат» показують, що збільшення площі листя відбудеться за сценарієм RCP4.5 на 9 % у Поліссі та Лісостепу, на 15 % у Північному Степу, зниження на 25 % відбудеться у Південному Степу.

Таблиця 7.37. Порівняння показників фотосинтетичної продуктивності гороху за середніми багаторічними даними (1986-2005 рр.) та сценарієм зміни клімату RCP4.5

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)	Суха біомаса г/м ²	Фотосинтетичний потенціал, м ² /м ²
Полісся						
1986-2005	Базовий	1,78	67	107	383	88
RCP4.5	Клімат	1,95	71	131	426	100
	Клімат + збільшення CO ₂	2,05	72	141	455	107
Лісостеп						
1986-2005	Базовий	2,0	76	135	451	91
RCP4.5	Клімат	2,2	69	145	510	109
	Клімат + збільшення CO ₂	2,3	71	155	544	121
Північний Степ						
1986-2005	Базовий	1,96	86	143	423	85
RCP4.5	Клімат	2,3	75	158	503	108
	Клімат + збільшення CO ₂	2,4	76	169	537	113
Південний Степ						
1986-2005	Базовий	1,95	78	125	384	79
RCP4.5	Клімат	1,6	73	92	298	75
	Клімат + збільшення CO ₂	1,64	75	98	317	77

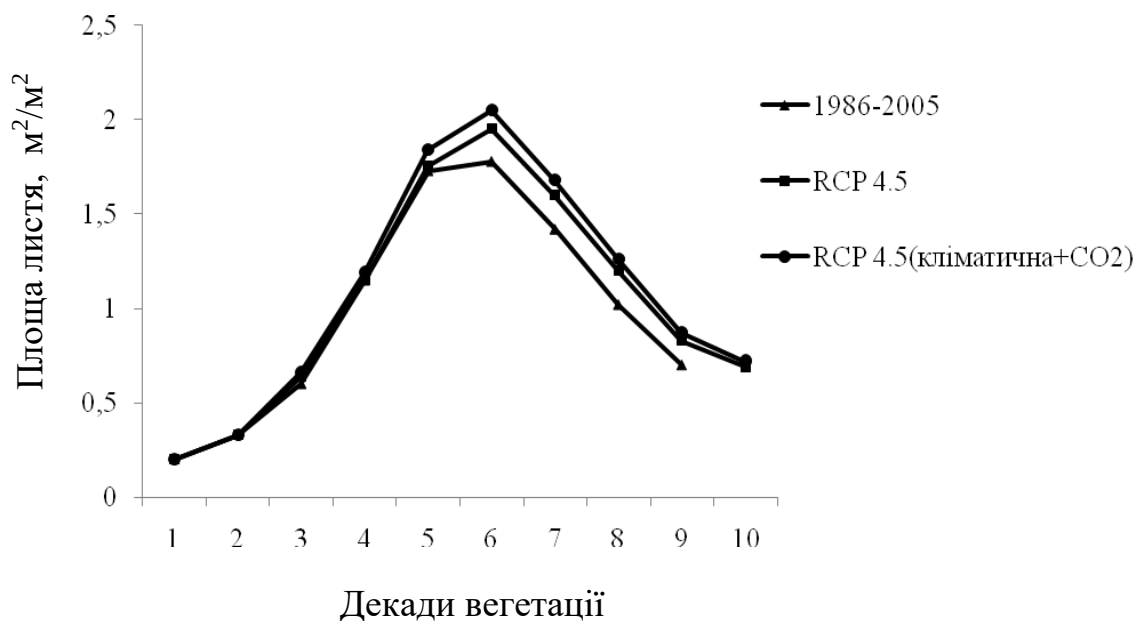


Рис. 7.84. Динаміка площі листя гороху в Поліссі за середньобогаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценарієм зміни клімату RCP4.5.

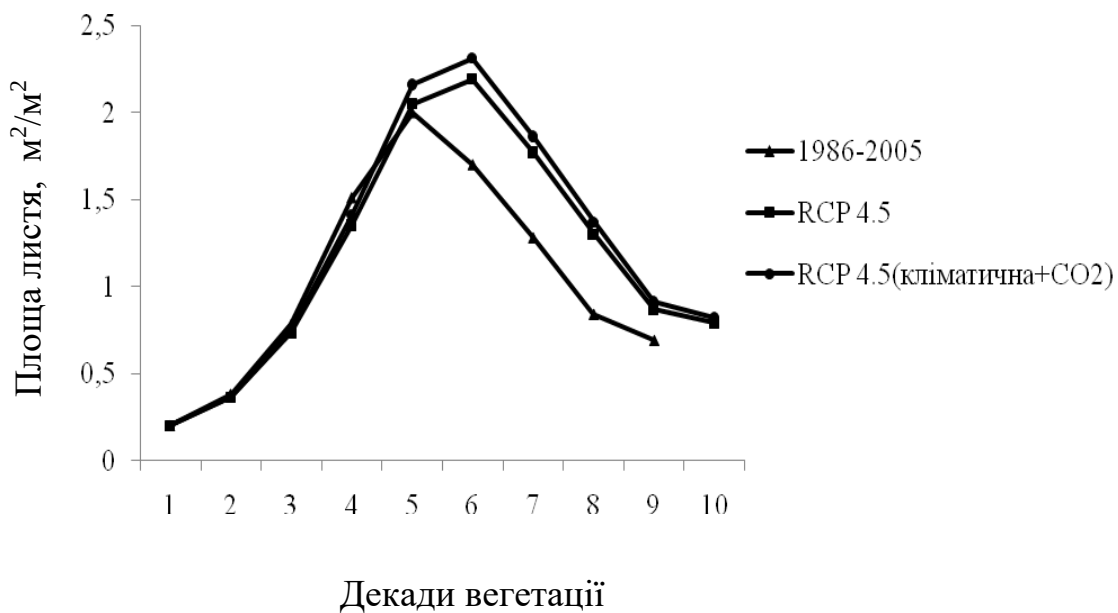


Рис. 7.85 Динаміка площі листя гороху в Лісостепу за середньобогаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценарієм зміни клімату RCP4.5.

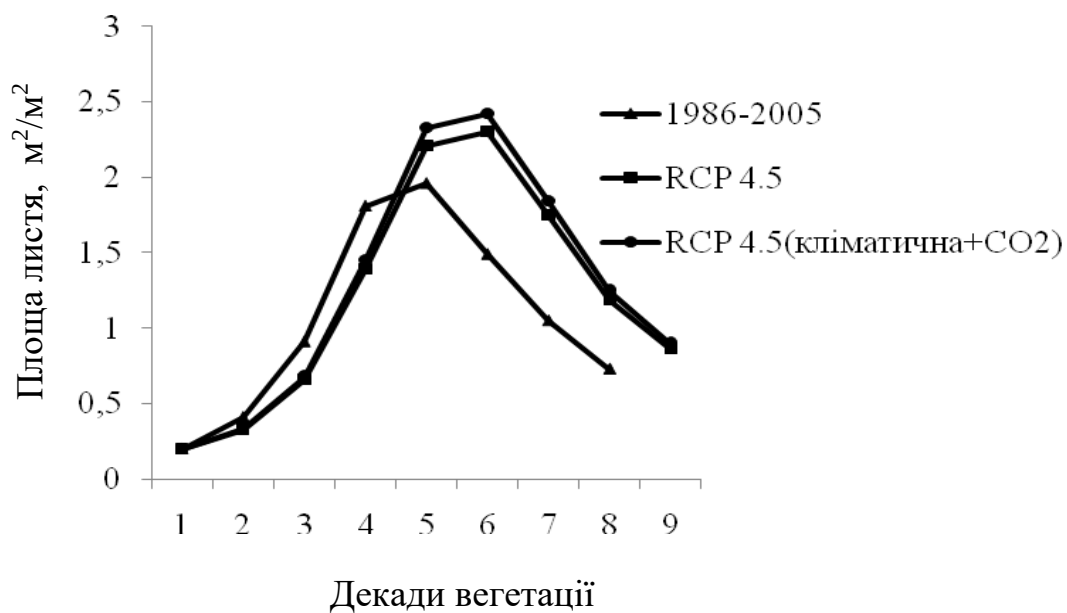


Рис. 7.86. Динаміка площі листя гороху в Північному Степу за середньобаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценарієм зміни клімату RCP4.5.

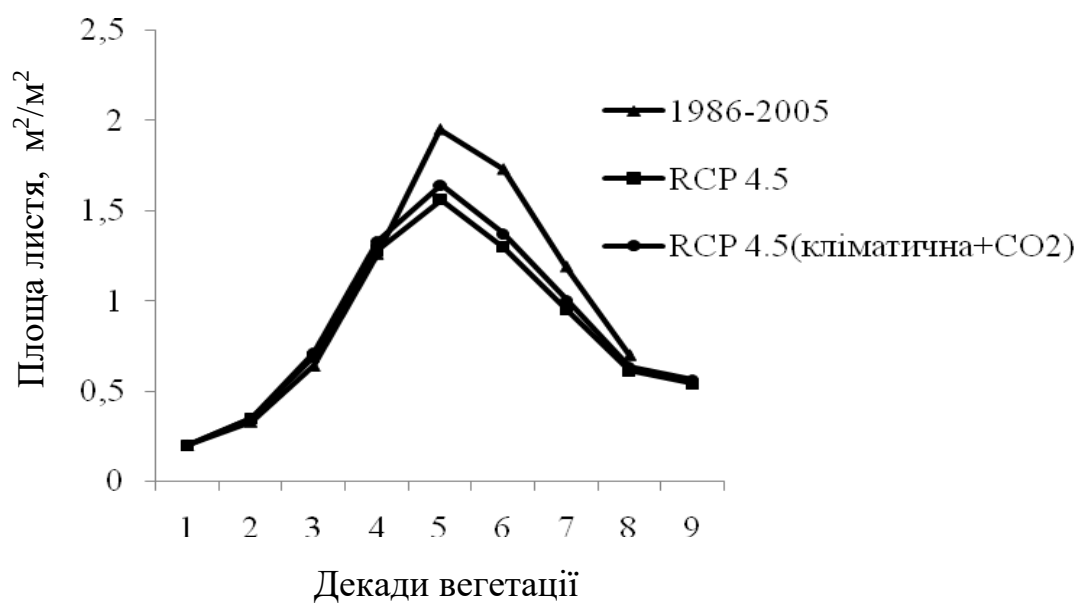


Рис. 7.87. Динаміка площі листя гороху в Південному Степу за середньобаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценарієм зміни клімату RCP4.5.

Розрахунки за варіантом «клімат + збільшення CO₂ до 470 ppm» вказують на збільшення площі листя в порівнянні із її середнім багаторічним значенням і в порівнянні з варіантом «клімат», а саме: у Поліссі на 13 %, в Лісостепу – на 13 %, в Північному Степу – на 19 %, в Південному Степу спостерігається зниження на 19 %. За умови реалізації сценарію зміни клімату RCP4.5 буде очікуватись більш інтенсивне формування площі асимілюючої поверхні в порівнянні з середніми багаторічними даними. Ще одним показником фотосинтетичної діяльності посівів гороху є суха біомаса рослин.

Середні багаторічні величини сухої маси і розрахунки її величин за варіантами наводяться в таблиці 7.37, а її динаміка впродовж вегетаційного періоду на рис. 7.88.– 7.91.

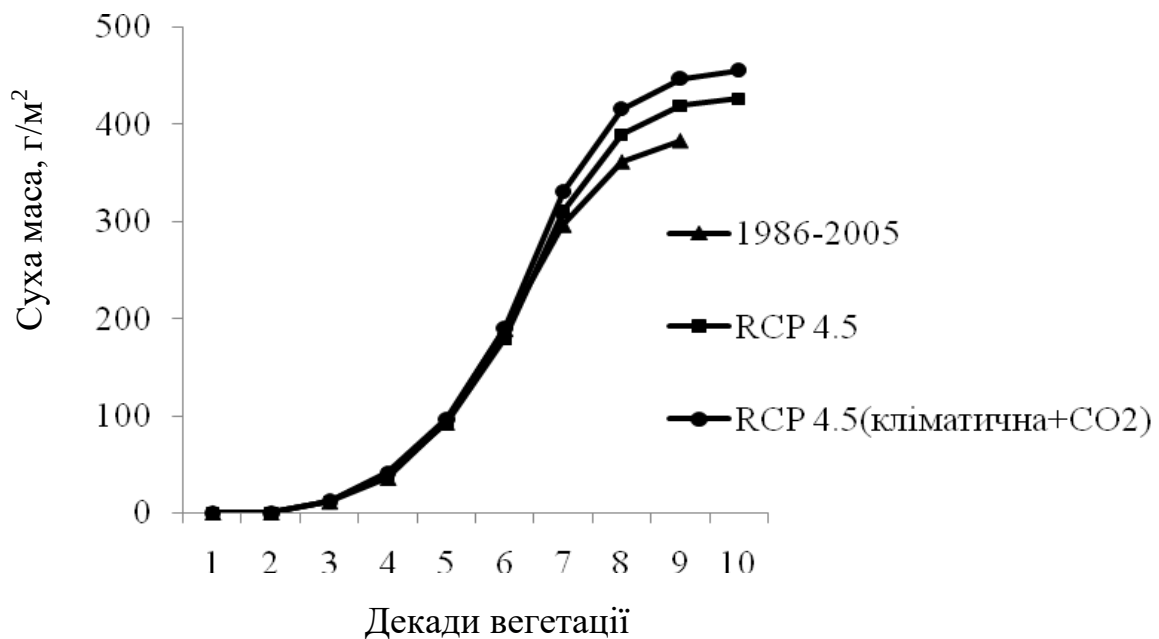


Рис. 7.88. Суха маса гороху в Поліссі за середньобіомасовими даними (1986-2005 рр.) та за сценарієм зміни клімату RCP4.5.

Так, в разі реалізації сценарію RCP4.5 у варіанті «клімат» збільшення буде в Поліссі на 10 %, в Лісостепу – 12 %, в Північному Степу – 16 %, а в Південному Степу спостерігається зниження до 29 %.

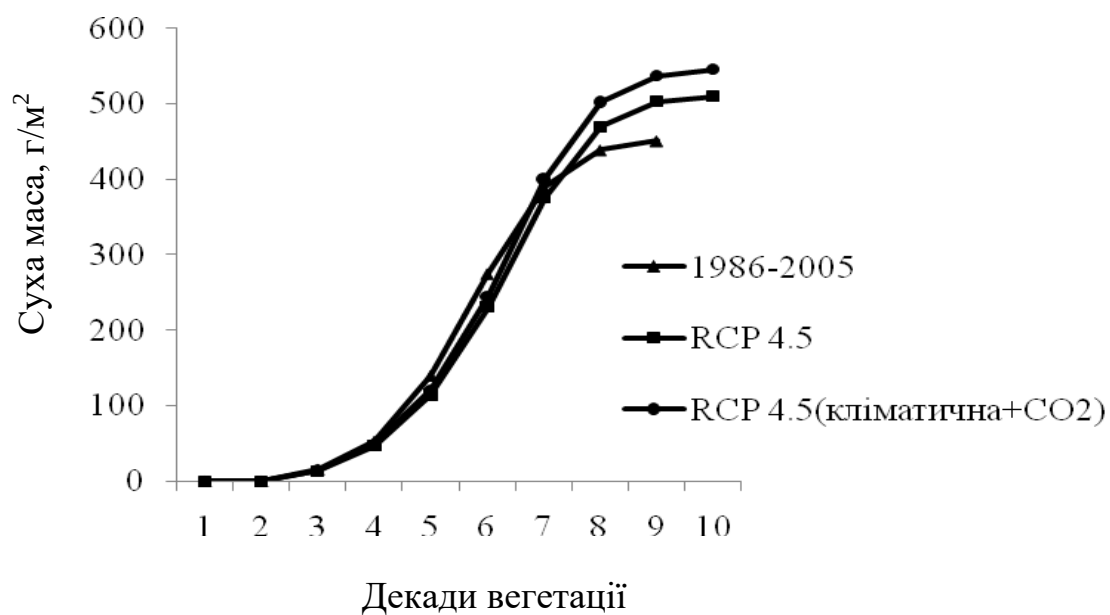


Рис. 7.89. Суха маса гороху в Лісостепу за середньобаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценарієм зміни клімату RCP4.5.

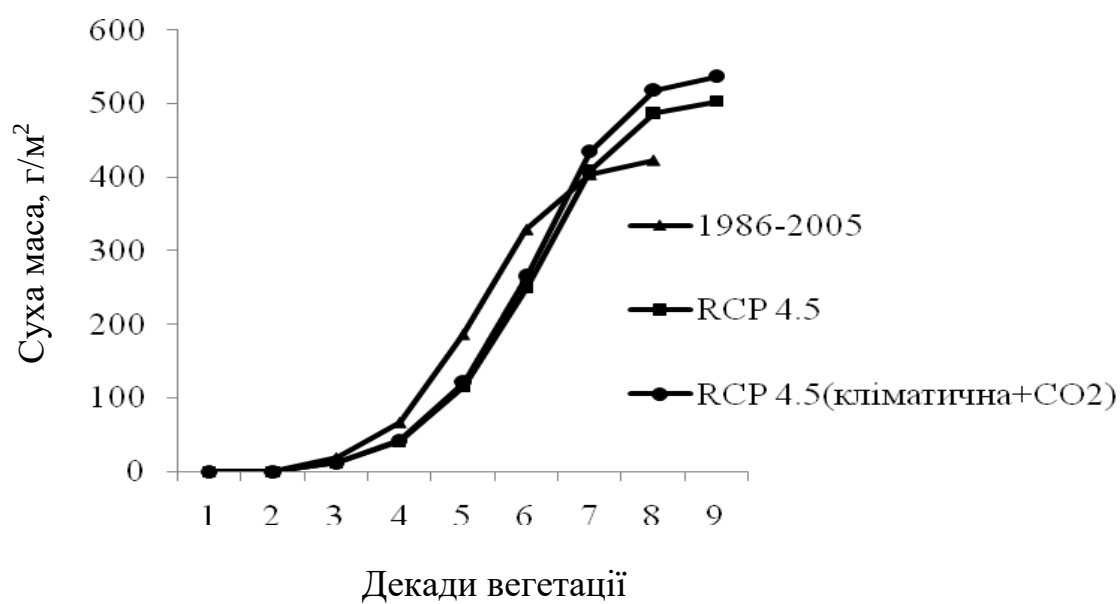


Рис. 7.90. Суха маса гороху в Північному Степу за середньобаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценарієм зміни клімату RCP4.5.

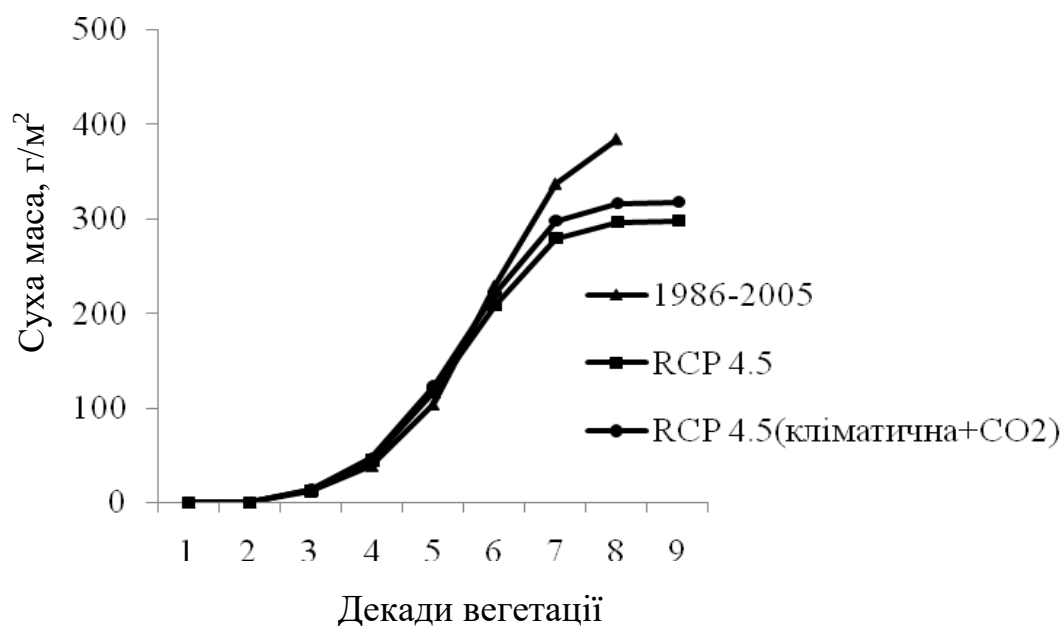


Рис. 7.91. Суха маса гороху в Південному Степу за середньобагаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценарієм зміни клімату RCP4.5.

В базовий період середні багаторічні значення сухої маси змінювались від 384 г/м² в Південному Степу, поступово збільшувались на захід і досягли в Лісостепу 451 г/м².

Розрахунки сухої маси за сценарієм RCP4.5 показують, що як і площа листя, суха маса збільшується в усіх варіантах в усіх зонах (лише в Південному Степу суха маса знижується), але темпи збільшення в різних зонах різні.

Так, в разі реалізації сценарію RCP4.5 у варіанті «клімат» збільшення буде в Поліссі на 10 %, в Лісостепу – 12 %, в Північному Степу – 16 %, а в Південному Степу спостерігається зниження до 29 %.

У розрахунках за цим же сценарієм у варіанті «клімат + збільшення CO₂» збільшення сухої маси буде вище в порівнянні як із середньою багаторічною, так і в порівнянні зі значеннями варіанта «клімат» і становитиме відповідно 455, 544, 537 г/м², що більше від середніх багаторічних значень сухої маси на 16, 17, 21 % відповідно.

У Південному Степу суха маса становитиме 317 г/м², що нижче від середньо багаторічних значень на 21 % (рис. 7.91).

У відповідності із змінами площі листя, сухої маси рослин буде змінюватись і значення фотосинтетичного потенціалу (ФСП) (табл. 7.37, рис. 7.92 – 7.95).

Як видно із таблиці 7.37. та рис. 7.92. – 7.95, за базовий період значення фотосинтетичного потенціалу були найменшими в Південному Степу і становили $79 \text{ м}^2/\text{м}^2$, найбільшими – в Лісостепу – $91 \text{ м}^2/\text{м}^2$. Відповідно 88 та $85 \text{ м}^2/\text{м}^2$ в Поліссі та Північному Степу.

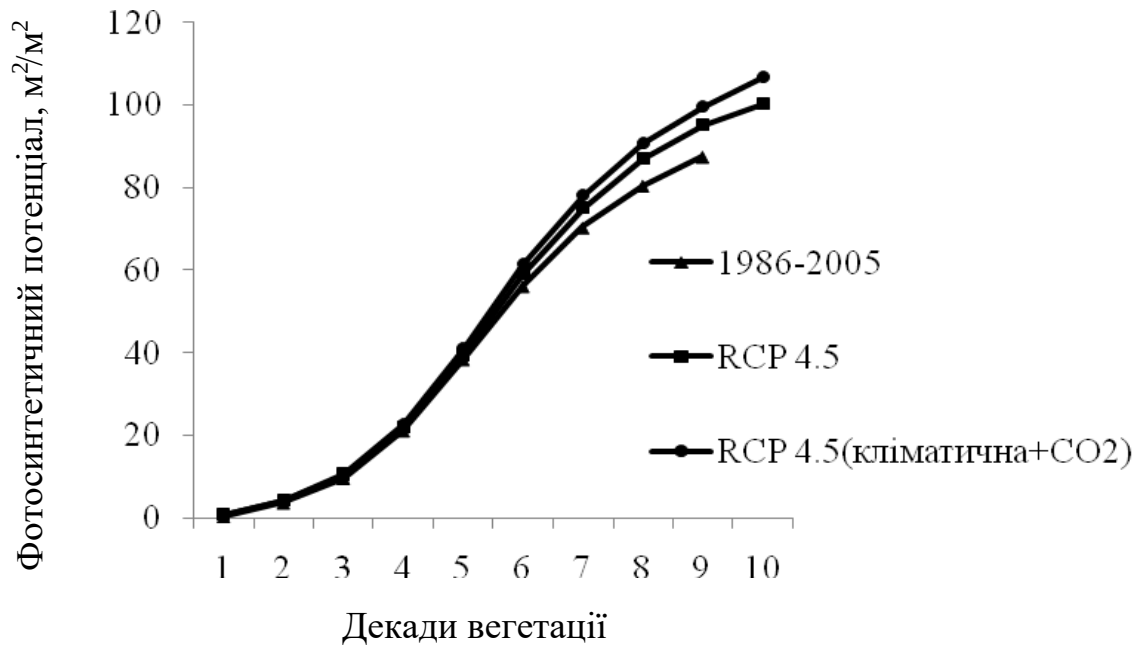


Рис. 7.92. Фотосинтетичний потенціал гороху в Поліссі за середньобаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценарієм зміни клімату RCP4.5.

Розрахунки за сценарієм 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 сценарієм RCP4.5, 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 гороху по агрокліматичних зонах.

За сценарієм RCP4.5 у варіантах «клімат» і «клімат + збільшення CO_2 » у Поліссі фотосинтетичний потенціал зросте на 12 – 18 % у порівнянні із середніми багаторічними значеннями (рис. 7.92.).

В Лісостепу фотосинтетичний потенціал за сценарієм RCP4.5 буде зростати на 17 % у варіанті «клімат» і на 25 % у варіанті «клімат + збільшення CO_2 » і становитиме 109 та $121 \text{ м}^2/\text{м}^2$ відповідно (рис. 7.93.).

Значення фотосинтетичного потенціалу в Північному Степу за сценарієм RCP 4.5 будуть зростати і становитимуть у варіанті «клімат»

108 м²/м² (21 %), у варіанті «клімат + збільшення CO₂» 113 м²/м² (25 %) (рис. 7.94.).

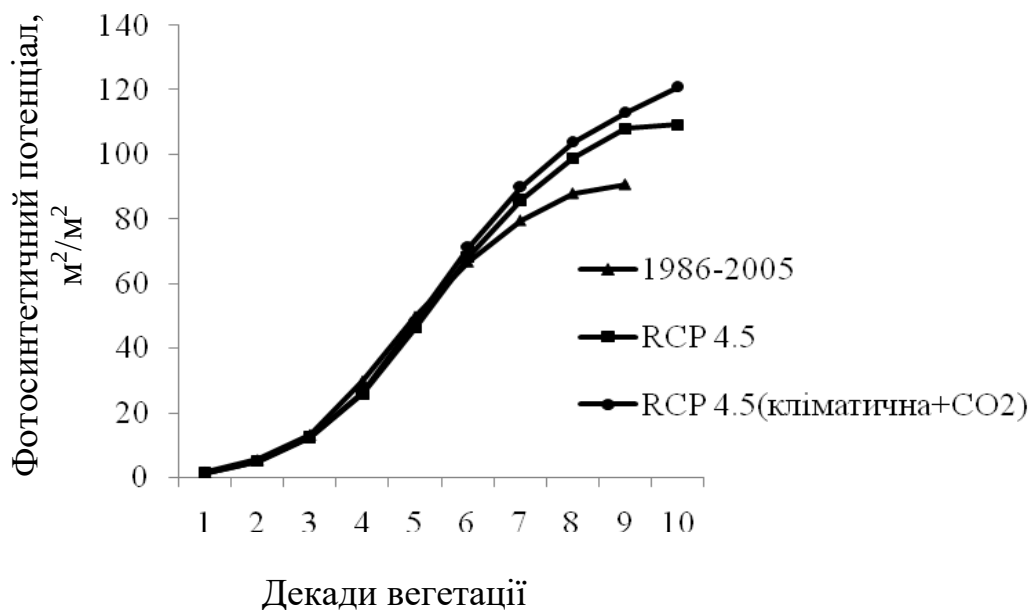


Рис. 7.93. Фотосинтетичний потенціал гороху в Лісостепу за середньобаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценарієм зміни клімату RCP4.5.

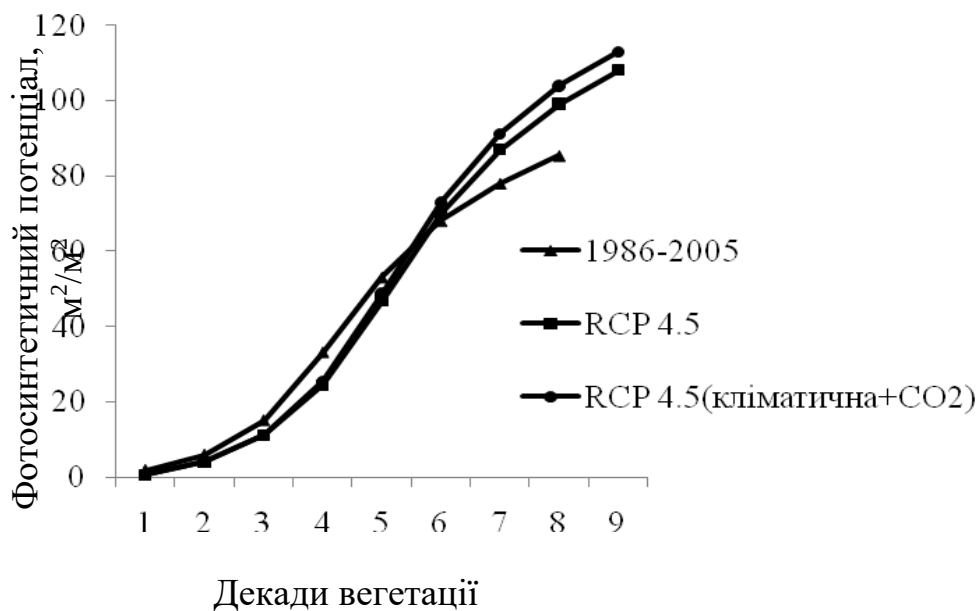


Рис. 7.94. Фотосинтетичний потенціал гороху в Північному Степу за середньобаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценарієм зміни клімату RCP4.5.

В Південному Степу середні багаторічні значення фотосинтетичного потенціалу найнижчі – $79 \text{ м}^2/\text{м}^2$. Значення фотосинтетичного потенціалу за сценарієм RCP 4.5 за обома варіантами будуть нижчі від середніх багаторічних (рис. 7.95.). Так, у варіанті «клімат» він становитиме $75 \text{ м}^2/\text{м}^2$, а за варіантом «клімат + збільшення CO_2 » $77 \text{ м}^2/\text{м}^2$, що на 5 та 3 % нижче відсереднього багаторічного відповідно.

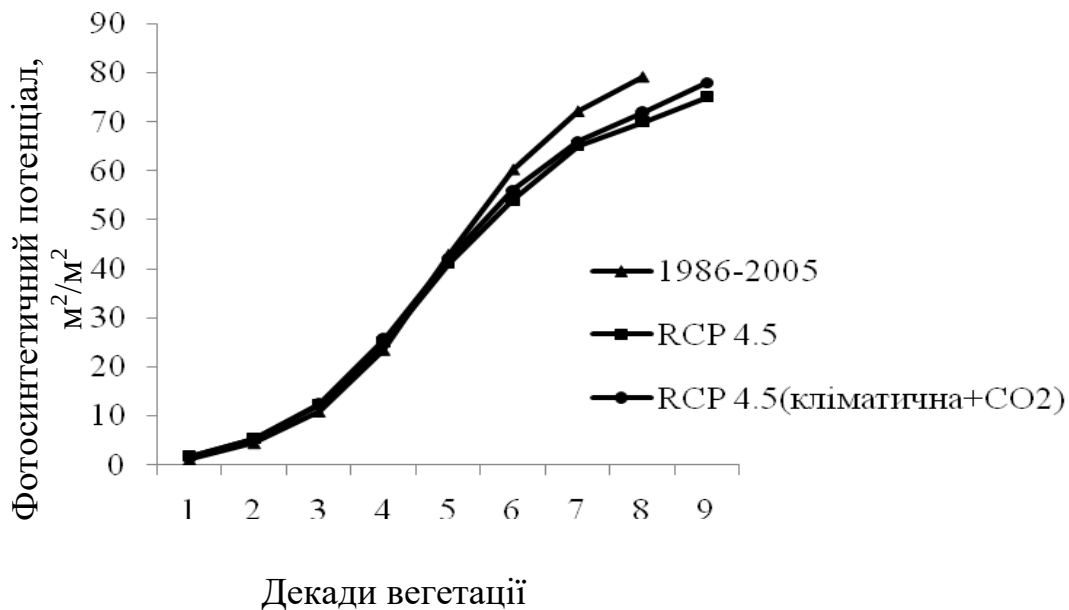


Рис. 7.95. Фотосинтетичний потенціал гороху в Південному Степу за середньобагаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценарієм зміни клімату RCP4.5.

Ще одним показником фотосинтетичної діяльності рослин є чиста продуктивність фотосинтезу (ЧПФ). Найвищі значення чистої продуктивності фотосинтезу за середніми багаторічними даними спостерігались в Північному Степу і становили $85 \text{ г}/\text{м}^2$. В Лісостепу вона становила $76 \text{ г}/\text{м}^2$, в Південному Степу – $78 \text{ г}/\text{м}^2$ і у Поліссі – $67 \text{ г}/\text{м}^2$ (рис. 7.96 – 7.99).

В разі реалізації сценарію RCP4.5 чиста продуктивність фотосинтезу у варіантах «клімат» і «клімат + збільшення CO_2 » збільшиться на $6 - 8 \text{ г}/\text{м}^2$ в Поліссі (рис. 7.96). В Лісостепу (рис. 7.97) у варіанті «клімат» вона зменшиться на $7 \text{ г}/\text{м}^2$ (10%), у варіанті «клімат + збільшення CO_2 » – на $5 \text{ г}/\text{м}^2$ (17 %).

В Північному Степу теж відбудеться зниження чистої продуктивності фотосинтезу за сценарієм RCP 4.5 в обох варіантах.

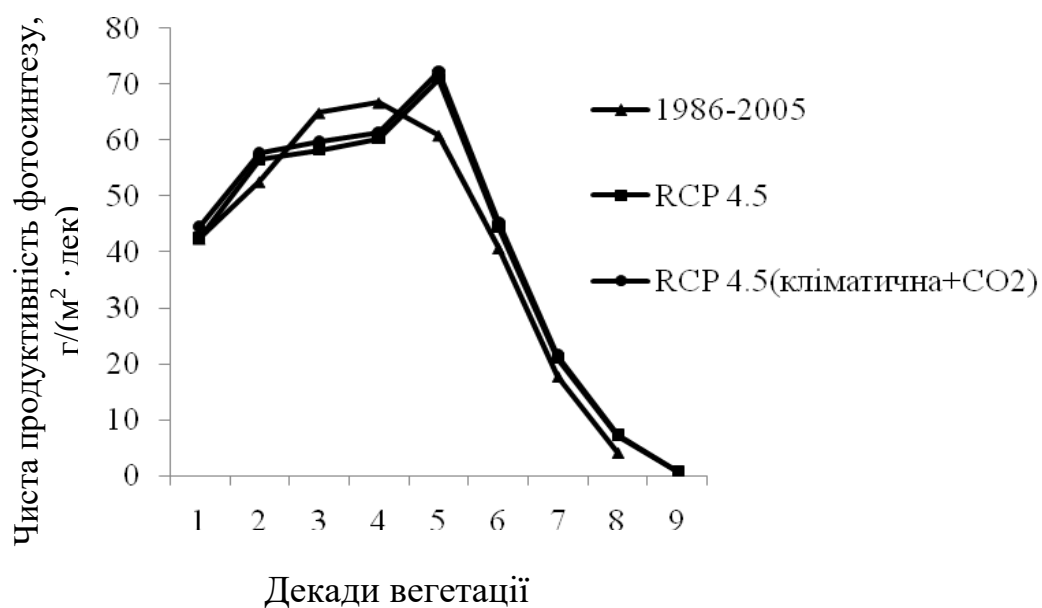


Рис. 7.96. Чиста продуктивність фотосинтезу гороху в Поліссі за середньобаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценарієм зміни клімату RCP4.5.

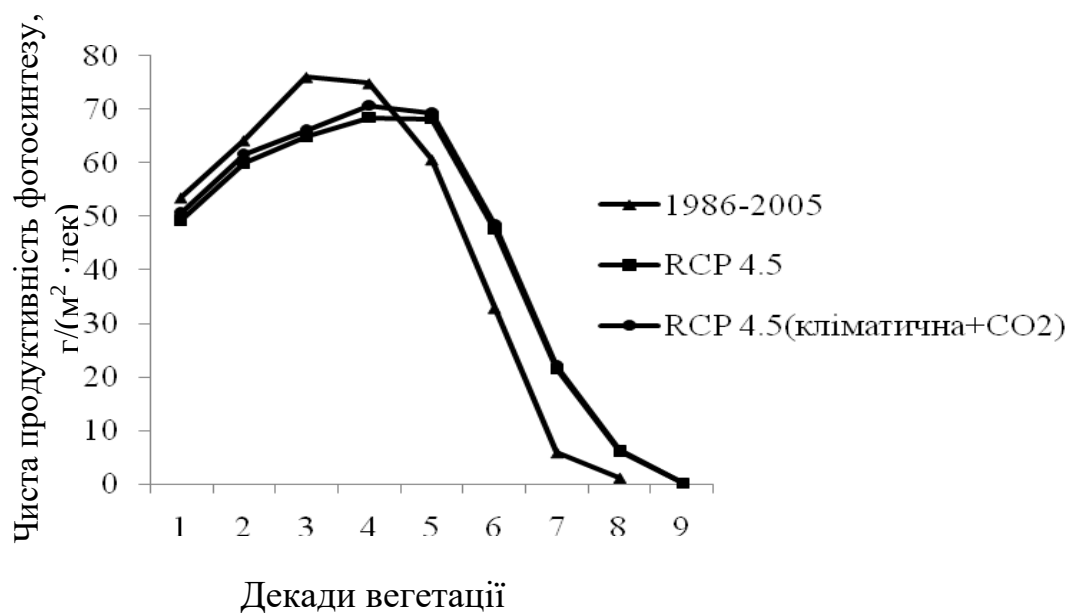


Рис. 7.97. Чиста продуктивність фотосинтезу гороху в Лісостепу за середньобаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценарієм зміни клімату RCP4.5.

За сценарієм RCP4.5 чиста продуктивність становитиме 75 та 76 г/м² відповідно, тобто на 11 і 10 г/м² нижче від середнього багаторічного (рис. 7.98).

В Південному Степу чиста продуктивність фотосинтезу за сценарієм RCP 4.5 знизиться в обох варіантах до 75 та 77 г/м², що нижче від середньої багаторічної всього на 3-5 г/м² (рис. 7.99).

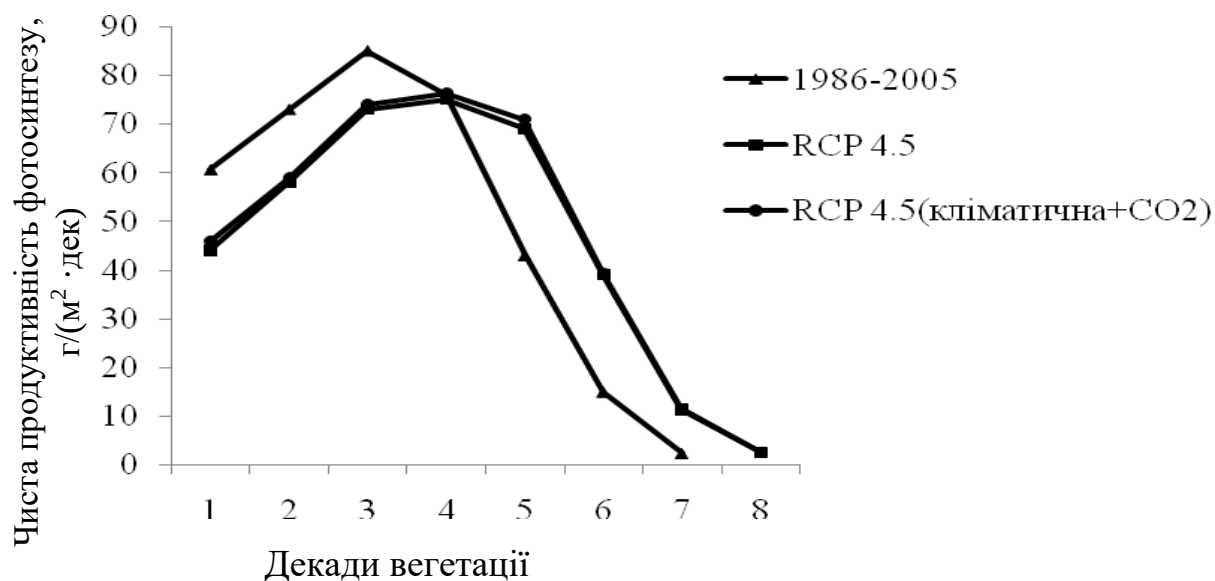


Рис. 7.98. Чиста продуктивність фотосинтезу гороху в Північному Степу за середньобагаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценарієм зміни клімату RCP4.5.

Збільшення до 2050 р. усіх показників фотосинтетичної продуктивності посівів гороху в Поліссі, Лісостепу та Північному Степу спричинить підвищення його врожаїв.

Як видно із таблиці 7.37, в базовий період найменші врожаї відзначались в Південному Степу і становили 19 ц/га. У Північному Степу вони становили 22 ц/га, в Поліссі – 20 ц/га, в Лісостепу – 24 ц/га.

Так, у Поліссі очікується підвищення врожаю за сценарієм RCP4.5 на 13-17 % і становитиме він 23 – 24 ц/га.

В Лісостепу за сценарієм RCP4.5 в обох варіантах очікуються найбільші прирости врожаю – до 27 та 29 ц/га, що вище від середнього багаторічного на 11 – 17 % відповідно.

В Північному Степу очікуються такі прирости врожаїв: до 15 – 21 % більше від середнього багаторічного за сценарієм RCP4.5 і становитимуть вони 26 – 28 ц/га.

В Південному Степу за сценарієм RCP4.5 урожаї знизяться в обох варіантах відповідно на 19 та 27 % і становитимуть 15 – 16 ц/га.

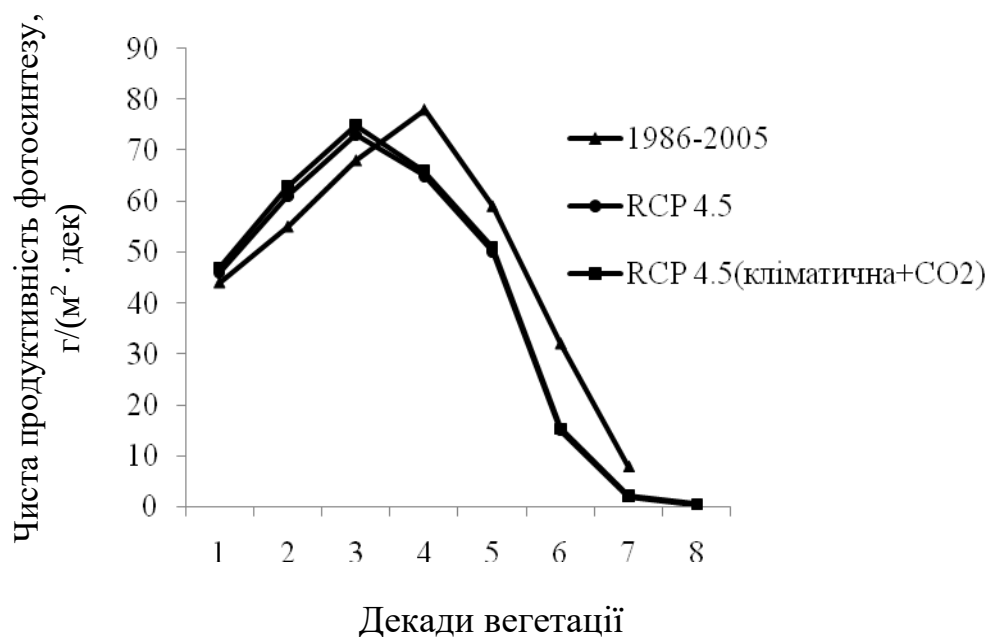


Рис. 7.99. Чиста продуктивність фотосинтезу гороху в Південному Степу за середньобогаторічними даними (1986-2005 рр.) та за сценарієм зміни клімату RCP4.5.

В цілому можна сказати, що за сценарієм в усіх зонах очікується значна зміна агрокліматичних умов росту, розвитку та формування продуктивності гороху по території України. Оцінка коливань його урожайності показала, що при зміні клімату за сценарієм RCP4.5 складуться сприятливі умови для вирощування гороху.

7.9. ОЦІНКА ВПЛИВУ ЗМІН КЛІМАТУ НА АГРОКЛІМАТИЧНІ УМОВИ ВИРОЩУВАННЯ МІСКАНТУСУ ТА ФОРМУВАННЯ ЙОГО ВРОЖАЙНОСТІ

7.9.1. Міскантус як перспективна енергетична рослина в Україні

Проблема використання альтернативних джерел енергії з відновлюваної сировини стає дедалі актуальнішою для сучасного суспільства у зв'язку з енергетичною кризою і екологічним станом, який погіршується. Тому за теперішнього часу зниження викидів в атмосферу парникових газів (CO₂, метану та ін.) з енергосистеми при одночасному

задоволенні глобального попиту на енергопостачання стало однією з головних світових проблем [8, 16].

Найбільш доступною і такою, що не потребує значних капітальних вкладень в устаткування, є енергія, яку видобувають при спалюванні біомаси. При такому спалюванні вивільняється CO₂ в кількості, що дорівнює поглиненому за час життя рослини. Використання енергетичних рослин становить суттєвий інтерес, оскільки вони є одним з поновлюювальних джерел палива [38].

Енергетичні культури – це рослини, які спеціально вирощуються для використання безпосередньо в якості палива або для виробництва біопалива. На сьогоднішній день в світі не існує єдиної загальноприйнятої класифікації, що застосовується для таких культур. Енергетичні культури розрізняють за такими категоріями (в дужках вказані відповідні приклади):

- цикл вирощування – однорічні (ріпак, соняшник) і багаторічні (верба, тополя);
- тип – деревоподібні (верба, тополя), трав'янисті (міскантус або слонова трава, просо прутіподібне або свічграс);
- характеристики й, відповідно, отримуваний кінцевий продукт – олійні (ріпак/соняшник на біодизель), крохмале- та цукровмісні (цукровий буряк/кукурудза на біоетанол), лігноцелюлозні (верба/тополя для безпосереднього виробництва теплової та електричної енергії, виробництва твердих біопалив або отримання рідких біопалив 2-го покоління);
- «походження» – класичні культури, тобто з самого початку призначені суцього для енергетичних цілей (міскантус, двокісточни тростиніподібний) та звичайні сільськогосподарські культури, що вирощуються як для отримання харчових продуктів, так і з метою виробництва біопалив (ріпак на біодизель, цукровий буряк на біоетанол, кукурудза на біогаз) [4].

Технологія вирощування енергетичних культур набуває все більшого розповсюдження в країнах Західної Європи. Ряд провідних фірм, в тому числі - виробників сільськогосподарської техніки, пропонують технології та машини для обробітку енергетичних посадок. Перевагою вирощування енергетичних рослин є можливість застосування традиційних машин для збирання кормів (в окремих випадках потрібне використання спеціальних змінних адаптерів), що сприяє більш раціональному використанню сільськогосподарської техніки [38].

Пріоритетне місце серед цих культур займає міскантус або «слонова трава». Міскантус (*Miscanthus*) належить до відділу покритонасінних (*Angiospermales*), класу однодольні (*Monocotyledoneae*), родини злакові (*Gramineae*), роду (*Andropogon*). Відомо більш як 20 видів міскантусу, які поширені на теренах тропічної, субтропічної Азії, Африки, Австралії, а також у помірно теплих зонах Сходу Росії. Найбільш розповсюдженими з

них є 11 видів: *M. floridulus*, *M. intermedius*, *M. longiberbis*, *M. lutarioparius*, *M. oligostachyus*, *M. papiculatus*, *M. sacchariflorus*, *M. sinensis*, *M. tinctorius*, *M. transmorrisonensis*, *M. giganteus*.

На початку V ст. міскантус використовували лише в Китаї як протиерозійну культуру. В Європу він потрапив у XVI ст. Культивувався як декоративна рослина. У 1935 р. датський вчений А. Ольсен завіз у Європу з Японії зразки міскантусу, які було використано в 1983 р. в селекційній роботі на станції селекції рослин у Данії. З того часу проводяться інтенсивні дослідження цієї культури в Німеччині, Великій Британії, Італії, Франції, Іспанії, Польщі, Чехії та інших країнах Європи. Селекційні програми, що розробляються в різних країнах світу, націлені як на створення нових, так і вдосконалення існуючих форм міскантусу [26, 24].

З погляду селекції найбільш важливі 3 види: *M. sacchariflorus* – міскантус цукроквітковий, *M. sinensis* – міскантус китайський та *M. giganteus* – міскантус гігантський або гігантеус. В Україні селекція міскантусу ведеться, перш за все, на збільшення приросту біомаси, поліпшення її мінерального складу, отримання життєздатного насіння та збереження його протягом тривалого часу. Провідними установами з селекції міскантусу в Україні є Інститут біоенергетичних культур та цукрових буряків НААН, Національний ботанічний сад ім. М.М. Гришка НААН та ТОВ «АМАКО Україна». Хоча селекційна робота з міскантусом в Україні почалась значно пізніше, ніж в інших країнах-членах Міжнародного союзу з охорони нових сортів рослин – УПОВ (International Union for the Protection of New Varieties of Plants), кількість його сортів поданих на випробування за останні роки є більшою, ніж у будь-якій іншій країні-учасниці УПОВ [26].

У результаті інтродукційної і селекційної роботи фахівців Національного ботанічного саду ім. М.М. Гришка НААН було створено три сорти міскантусу – Снігопад (*M. Sacchariflorus*), Велетень (*M. Sinensis*) та Гулівер (*M. giganteus*) [24].

Також за останні роки Державною ветеринарною і фітосанітарною службою України занесено до Державного реєстру сортів рослин, придатних для поширення в Україні та до Державного реєстру прав інтелектуальної власності на сорти рослин, три нові вітчизняні сорти міскантусу гігантського – Універсальний, Поліський та Енергетичний, заявниками яких є Товариство з обмеженою відповідальністю «АМАКО Україна» [26].

7.9.2. Ботанічна та біологічна характеристики міскантусу

Міскантус є одною найперспективніших біоенергетичних культур у порівнянні з іншими видами багаторічних трав. Міскантус являє собою

багаторічну кореневищну траву, яка походить з Азії.

Стосовно продуктивності міскантусу в літературних джерелах є різні відомості. В умовах помірного клімату на третій рік вирощування продуктивність міскантусу становить від 10 до 30 т/га сухої маси, теплотворна здатність – від 14 до 17 МДж/кг [24]. Автори [42, 43] відзначають, що завдяки специфічній організації фотосинтетичної діяльності за шляхом C_4 міскантус характеризується високою ефективністю використання води та колосальною продуктивністю – урожайність сухої біомаси становить 40 т/га.

За даними [17] продуктивність культури становить 20-25 т/га сухої речовини, яку отримують вже на 2-3-й рік. Після одноразової посадки культуру можна збирати щорічно протягом 15 і більше років [4].

Міскантус добре зростає та дає високі врожаї на будь-яких ґрунтах - від пісків до високоструктурних органічних ґрунтів. Також він є толерантним до кислотності ґрунтів, але оптимальним для нього є значення показника рН 5,5-7,5. Для вирощування підходять ґрунти середньої щільності з низьким рівнем ґрунтових вод [44, 5].

Енергоплантації міскантусу перші 3–4 роки підживлюються з розрахунку 100–200 НРК по д. р. з переважанням азоту. В наступні роки норми внесення добрив зменшуються [16].

З точки зору екології міскантус – це ідеальна рослина ще й тому, що належить до C_4 рослин, в яких у процесі фотосинтезу проходить повна утилізація вуглекислого газу, тобто при фотодиханні CO_2 не вивільняється назовні, а знову включається в процес. При спалюванні біомаси вона не створюватиме парникового ефекту, кількість CO_2 не перевищує кількості, раніше абсорбованої рослинами під час фотосинтезу (утворюється замкнений цикл).

Міскантус містить велику кількість целюлози від 40 до 64-71% та відзначається великою витривалістю до механічних ушкоджень. З огляду на високий вміст целюлози і лігніну міскантус є також цінною сировиною для виробництва будівельних матеріалів, його використовують у целюлозно-паперовій промисловості та сільському господарстві.

Крім того, міскантус має позитивний енергетичний баланс і щодо гумусу, оскільки після чотирьох років вирощування він накопичує 15-20 т підземної біомаси, яка еквівалентна 7,2-9,2 т/га вуглецю. Тому культура не конкурує за землю з продовольчими культурами та може зростати на непродуктивних землях, іноді навіть з перспективою їх рекультивації. Тривалість використання плантації – близько 25 років, а комерційного вирощування – 20 років [13].

Дослідженнями [14] відзначається, що при вирощуванні культури протягом одного вегетаційного періоду відмічається зростання дихальної активності шару ґрунту 0-20 см на 15 % у порівнянні з паром. Це свідчить

про значне накопичення органічної речовини у ґрунті навіть під однорічною культурою міскантусу.

Міскантус – багаторічна високостеблова прямостояча рослина, за літературними даними висота стебла становить від 2 до 3,5 м [16]. Рослина формує потужну кореневу систему, що проникає на глибину до 2,5 м і утворює довгі пагони з ростовими бруньками (ризомі). Підземні пагони швидко колонізують ґрунтовий простір, створюючи суцільну і рівну плантацію. Розмноження відбувається виключно вегетативним шляхом.

Рослинам *M. Sacchariflorus* притаманний кореневищний тип кушіння. Кількість ризом у кущі становить від 18 до 37 шт., їх довжина – 10-15 см. *M. Sinensis* належить до рослин зі щільнокущовим типом кушіння. Окрема рослина може мати до 45 ризом, які сягають 5-8 см завдовжки. Таке унікальне активне коренеутворення дає змогу використовувати цю форму міскантусу для збереження висихаючих озер шляхом посадки рослин по берегах, а також для запобігання обвалам [24].

Рослини *M. giganteus* мають пухкокущовий тип кушіння. Однак селекціонери не виключають можливість появи форм рослин з кореневищним і щільнокущовим типом кушіння [24].

У перші два роки вирощування слабо конкурує з бур'янами. У наступні роки немає необхідності в боротьбі з ними, тому що опале взимку листя утворює товстий шар мульчі [41]. Дослідження [10] показали, що в умовах недостатнього зволоження найменша продуктивність сирої та сухої маси міскантусу першого року життя відмічалась у рослин, де внесення гербіцидів не проводилось, а найбільша – з внесенням системних гербіцидів. Урожайність сирої маси у першому випадку (без гербіцидів) становила при засушливих умовах 2015 р. 1,3 т/га, а в другому - 3,35 і 5,01 т/га (відповідно при внесенні гербіцидів Магнум та Балерина).

Міскантус не росте при температурі нижчій за 6 °С. Проте це порогове значення значно нижче, ніж, наприклад, для кукурудзи, а отже, сезон зростання – більш тривалий. Небезпеку становлять заморозки в період пізньої весни, в результаті яких гинуть пагони і скорочується загальний період росту культури [44].

Міскантус – культура морозостійка. В умовах України рослини витримують температуру -20 °С навіть без снігового покриву [23]. Для нормального росту та розвитку їм необхідно близько 700 мм опадів на рік [13].

Таким чином, аналіз літератури свідчить про те, що багаторічні види родини *Miscanthus* належать до найперспективніших енергетичних рослин у світі. Будучи рослинами з C₄-схемою фотосинтезу, вони ефективно використовують сонячну енергію, є посухо-, холодо-, морозо-, зимостійкими і стійкими до затоплення.

Представники цього роду мають широкі адаптаційні можливості, можуть ефективно вирощуватись в різних ґрунтово-кліматичних умовах

помірної широти, забезпечують високу продуктивність при мінімальних витратах на їх вирощування.

З огляду на це види роду *Miscanthus* є перспективними енергетичними рослинами для умов України, проте, відсутність комплексних досліджень біологічних, екологічних та біохімічних особливостей рослин, високопродуктивних, адаптованих до місцевих умов сортів, а також технологій вирощування і використання сировини для виробництва різних видів біопалива унеможлиблюють широке впровадження представників цього роду в культуру.

Відсутні зональні науково-обґрунтовані технології культивування міскантусів залежно від еколого-географічних особливостей. Остаточного не з'ясовано вимоги рослин до умов довкілля, особливості росту і розвитку, продуктивність основної та побічної продукції, якісні та кількісні характеристики сировини, енергетичний потенціал нових форм, гібридів і сортів.

Тому важливе значення має розробка і впровадження перспективних для України джерел біопалива шляхом підбору нових і малопоширених енергетичних рослин (*M. Sacchariflorus*, *M. Sinensis* та *M. giganteus*) та створення високоцінних сортів і гібридів інтродукційними, селекційними і біотехнологічними методами [24].

7.9.3. Агрокліматичні умови вирощування та продуктивність міскантусу при реалізації сценаріїв RCP4.5 та RCP8.5

Дослідження впливу змін клімату на агрокліматичні умови вирощування та урожайність міскантусу проводилися шляхом порівняння показників базових умов (період 1986-2005 рр.) і сценарних варіантів (період 2021-2050 рр.). Розглядалися два кліматичних сценарії: RCP4.5 та RCP8.5. Як теоретична основа для виконання розрахунків і порівняння результатів були використані розроблені А.М. Польовим моделі продукційного процесу сільськогосподарських культур.

Треба відзначити, що міскантус є новою культурою для України, тому на сьогоднішній день у агрометеорологів немає багаторічних матеріалів спостережень за міскантусом. Крім того, літературні відомості щодо фаз розвитку культури, є досить суперечливими. Так, автори [10] вважають, що в умовах Центральної Європи міскантус цвіте, однак схожого насіння не утворюється. В умовах Середнього Поволжя культура не дає генеративних органів, тому виділити фази розвитку неможливо. Закінчення вегетаційного періоду відзначається з настанням постійних заморозків, тому всі спостереження автори пропонують проводити за календарними строками (на кінець місяця).

Дослідники Національного ботанічного саду ім. М.М. Гришка та Сибірського науково-дослідного інституту рослинництва і селекції відмічають настання у рослин міскантусу тих фаз розвитку, що зазвичай спостерігаються у будь-якої злакової культури, а саме: сходи (відростання у рослин другого та подальших років життя), кущіння, вихід у трубку, поява волоті, цвітіння та плодоношення. Однак настання фази поява волоті у рослин *M. giganteus* залежить від року життя рослин і умов вегетації. Вона може настати на 3-й–4-й рік життя, але не у віх рослин [24, 14].

Дослідженнями особливостей росту і розвитку рослин різних видів, форм і сортозразків встановлено, що залежно від видових особливостей та року життя рослини завершують вегетацію у фазі виходу в трубку (*M. giganteus*), у фазі поява волоті (*M. Sinensis*) або у фазі цвітіння-плодоношення (*M. Sacchariflorus*) [24].

Тому для ідентифікації параметрів моделі були використані дані літературних джерел [24, 10, 9]. Також слід відзначити, що посіви міскантусу першого року вирощування накопичують досить невелику біомасу, тому зазвичай його не скошують. Як правило посіви починають експлуатувати з третього року життя і вони щорічно протягом 15-20 років забезпечують врожай сухої біомаси 10–14 т/га, що еквівалентно 8–11 тонам кам'яного вугілля [16]. Тому у якості об'єкта дослідження було обрано посіви міскантусу другого року життя.

У таблиці 7.38 представлені основні агрокліматичні показники вегетаційного періоду міскантусу другого року життя для основних ґрунтово-кліматичних зон України - Полісся, Лісостепу, Північного та Південного Степу.

У якості основних агрокліматичних характеристик температурного режиму та умов зволоження вегетаційного періоду міскантусу були розглянуті:

- суми активних температур повітря за період вегетації.
- суми опадів за вегетаційний період в абсолютних і відносних величинах;
- сумарне випаровування і випаровуваність за вегетаційний період;
- вологозабезпеченість за період вегетації.

Аналіз даних таблиці 7.38 дозволяє зробити висновок, що на території Полісся та Лісостепу сценарні суми температур за вегетаційний період міскантусу будуть дещо меншими, ніж базові. Так, сума температур у Поліссі за базових умов становить 2602 °С, а за умов реалізації сценарію RCP4.5 очікується її значення 2431 °С, тобто на 171 °С менше. За умов реалізації другого сценарію RCP8.5 різниця сум температур буде дуже несуттєвою – лише 38 °С.

Таблиця 7.38. Агрокліматичні умови вирощування міскантусу за середніми багаторічними даними (1986-2005 рр.) та сценаріями зміни клімату RCP4.5 та RCP8.5

Період	Сума активних температур, °С	Сума опадів		Сумарне випаровування, мм	Випаровуваність, мм	Вологозабезпеченість, %
		мм	% від клім. норми			
Полісся						
1986-2005	2602	371	100	510	625	82
RCP4.5	2431	295	80	416	592	70
Різниця	-171	-76	-20	-94	-33	-12
RCP8.5	2564	324	87	455	627	73
Різниця	-38	-47	-13	-55	2	-9
Лісостеп						
1986-2005	2812	391	100	543	666	81
RCP4.5	2452	287	73	407	619	66
Різниця	-360	-104	-27	-136	-47	-15
RCP8.5	2584	323	83	455	655	69
Різниця	-228	-68	-17	-88	-11	-12
Північний Степ						
1986-2005	3087	277	100	432	660	65
RCP4.5	3041	210	76	307	633	48
Різниця	-46	-67	-24	-125	-27	-17
RCP8.5	3091	202	73	300	633	47
Різниця	4	-75	-27	-132	-27	-18
Південний Степ						
1986-2005	3452	262	100	344	680	51
RCP4.5	3684	187	71	218	682	32
Різниця	232	-75	-29	-126	2	-19
RCP8.5	3413	183	70	225	648	35
Різниця	-39	-79	-30	-119	-32	-16

Сума температур у Лісостепу за базових умов становить 2812 °С, а за умов реалізації сценарію RCP4.5 очікується її значення 2452 °С, тобто на 360 °С менше. За умов реалізації другого сценарію RCP8.5 різниця сум температур буде також більш суттєвою – 228 °С (сценарне значення сум температур у цьому випадку становить 2584 °С).

Сума температур вегетаційного періоду у Північному Степу практично не зміниться - за базових умов 3087 °С, за сценаріями – 3041 та 3091 °С відповідно. У Південному Степу за реалізації першого сценарію

RCP4.5 суми активних температур вегетаційного періоду становитимуть 3684°C, що на 232 °C більше, ніж за базових умов (базове значення – 3452 °C). За умов реалізації сценарію RCP8.5 слід очікувати майже незмінного температурного режиму (базові та сценарні суми температур відрізняються лише на 39 °C).

У цілому можна сказати, що умови теплозабезпеченості вегетаційного періоду міскантусу у період 2021-2050 рр. на території України зміняться досить несуттєво і посіви цієї нової енергетичної культури будуть забезпечені теплом повністю.

Значних змін за умов реалізації сценаріїв RCP4.5 та RCP8.5 зазнають умови вологозабезпечення посівів. З таблиці 7.38 видно, що кількість опадів за вегетаційний період на всій території дослідження суттєво зменшиться.

Так на території Полісся очікувані за першим і другим сценаріями суми опадів за вегетаційний період становитимуть відповідно 295 мм до 324 мм, тоді як базова сума становить 371 мм. Тобто за сценарієм RCP4.5 сума опадів за вегетаційний період міскантусу зменшиться на 20 %, а за сценарієм RCP8.5 дещо менше – на 13 %.

На території Лісостепу базова сума опадів за вегетаційний період становить 391 мм. На цій території сценарні суми опадів зміняться більш суттєво. Так, за сценарієм RCP4.5 кількість опадів за цей період (287 мм) буде менша від базової на 104 мм або на 27 %. За сценарієм RCP8.5 сума опадів становитиме 323 мм і буде менша за базову на 68 мм або 17 %.

Сума опадів за вегетаційний період міскантусу на території Північного Степу становить 277 мм. За умов реалізації обох сценаріїв вона також зменшиться досить суттєво. Так, за умов першого сценарію вона становитиме 210 мм, а за умов другого – 202 мм, тобто суми зменшаться на 76 та 73 мм, що становить відповідно 24 і 27 %.

Найбільш суттєве зменшення сум опадів за вегетацію міскантусу очікується на території Південного Степу. Базове значення становить 262 мм, за сценарієм RCP4.5 – 187 мм, за сценарієм RCP8.5 – 183 мм. Таким чином зменшення сум опадів очікується на 75 та 79 мм відповідно, що становить 29 і 30 %. Зменшення сценарної кількості опадів за вегетаційний період призведе до зменшення сумарного випаровування в порівнянні з базовим по всій території дослідження.

У Поліссі базове значення становить 510 мм. Тут сумарне випаровування зменшиться до 416 мм за умов реалізації сценарію RCP4.5 і до 455 мм за умов реалізації сценарію RCP8.5, тобто ці зміни складуть 94 та 55 мм відповідно, тобто сценарне зменшення сумарного випаровування буде досить суттєвим.

На території Лісостепу базове значення сумарного випаровування становить 543 мм. Тут сумарне випаровування також зменшиться до 407 мм за умов реалізації сценарію RCP4.5 і до 455 мм за умов реалізації

сценарію RCP8.5. Тобто ці зміни становитимуть 136 та 88 мм відповідно, тобто і для території Лісостепу сценарне зменшення сумарного випаровування буде досить суттєвим.

У Північному Степу базове значення становить 432 мм. Тут сумарне випаровування зменшиться до 307 мм за умов реалізації сценарію RCP4.5 і до 300 мм за умов реалізації сценарію RCP8.5. Тобто ці зміни досягнуть 125 та 132 мм відповідно, тобто сценарне зменшення сумарного випаровування буде дуже суттєвим.

На території Південного Степу базове значення сумарного випаровування становить 344 мм. Тут сумарне випаровування також зменшиться до 218 мм за умов реалізації сценарію RCP4.5 і до 225 мм за умов реалізації сценарію RCP8.5. Тобто ці зміни становитимуть 126 та 119 мм відповідно, тобто і для території Південного Степу сценарне зменшення сумарного випаровування буде дуже суттєвим.

Також за умов реалізації обох сценаріїв дещо зміниться і величина випаровуваності. Для Полісся при базовому значенні 625 мм, випаровуваність за першим сценарієм зменшиться до 592 мм, а за другим сценарієм збільшиться до 627 мм. Таким чином, випаровуваність за першим сценарієм зменшиться не суттєво - на 33 мм, а за другим – залишиться без змін.

На території Лісостепу базове значення випаровуваності становить 666 мм. Тут випаровуваність також зменшиться до 619 мм за умов реалізації сценарію RCP4.5 і до 655 мм за умов реалізації сценарію RCP8.5. Ці зміни становитимуть 47 та 11 мм відповідно, тобто і для території Лісостепу сценарне зменшення сумарного випаровування буде не дуже суттєвим.

У Північному Степу базове значення випаровуваності становить 660 мм. За умов реалізації обох сценаріїв значення випаровуваності зменшиться до 633 мм. Тобто ці зміни становитимуть 27 мм, і сценарне зменшення випаровуваності також не буде дуже суттєвим.

Для Південного Степу при базовому значенні 680 мм, випаровуваність за першим сценарієм збільшиться до 682 мм, а за другим сценарієм зменшиться до 648 мм. Таким чином, випаровуваність за першим сценарієм залишиться без змін, а за другим зменшиться не суттєво - на 32 мм.

Основним із 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 міскантусу другого року життя в Поліссі за умов реалізації сценаріїв RCP4.5 та RCP8.5 протягом 2021-2050 рр. суттєво погіршаться, про що свідчить значення вологозабезпеченості відповідно 70 та 73 %, тоді як базове її значення становить 82 %. Таким чином в

умовах змін клімату вологозабезпеченість вегетаційного періоду зменшиться на 12 і на 9 % відповідно.

Базове значення вологозабезпеченості для Лісостепу становить 81 %. За умов реалізації сценарію RCP4.5 умови вологозабезпеченості міскантусу в порівнянні з базовим значенням для території Лісостепу погіршаться більш суттєво й значення вологозабезпеченості становитиме 66 %. Також погіршаться умови вологозабезпеченості й при реалізації сценарію RCP8.5, значення вологозабезпеченості досягне 69 %. Тож за умов змін клімату за обома сценаріями вологозабезпеченість міскантусу зменшиться на 15 та 12 % відповідно.

Умови вологозабезпеченості вегетаційного періоду міскантусу другого року життя в Північному Степу за умов реалізації сценаріїв RCP4.5 та RCP8.5 протягом 2021-2050 рр. також дуже суттєво погіршаться, про що свідчить значення відповідно 48 та 47 %, тоді як базове значення вологозабезпеченості становить 65 %. Таким чином в умовах змін клімату вологозабезпеченість вегетаційного періоду зменшиться на 17-18 % відповідно.

Умови вологозабезпеченості Південному Степу за умов реалізації сценаріїв RCP4.5 та RCP8.5 протягом 2021-2050 рр. будуть найгіршими, про що свідчить значення відповідно 32 та 35 %, тоді як базове значення вологозабезпеченості дорівнює 51 %. Таким чином в умовах змін клімату вологозабезпеченість вегетаційного періоду зменшиться на 19-16 % відповідно.

Таким чином, можна зробити висновок, що за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 у період 2021-2050 рр. на всій досліджуваній території не очікується значних змін температури повітря, то ж і теплозабезпечення вегетаційного періоду міскантусу другого року життя найімовірніше суттєво не зміниться.

Але у зв'язку із суттєвим зменшенням кількості опадів вегетаційного періоду, яке прогнозується за сценарієм, ймовірне значне погіршення вологозабезпечення посівів міскантусу по всій території України.

Під впливом зміни агрокліматичних умов вирощування міскантусу, відбудеться і зміна показників фотосинтетичної діяльності його посівів, які зумовлюють рівень урожайності культури.

Як уже відзначалося, для України міскантус є новою біоенергетичною культурою, недостатньо вивченою на сьогодні в агрометеорологічному плані. Також, оскільки за теперішнього часу відсутні багаторічні ряди середньообласної урожайності культури, порівняння розрахованих для умов зміни клімату урожаїв проводилося з літературними даними щодо продуктивності міскантусу. На рис. 7.100 представлені результати цього порівняння.

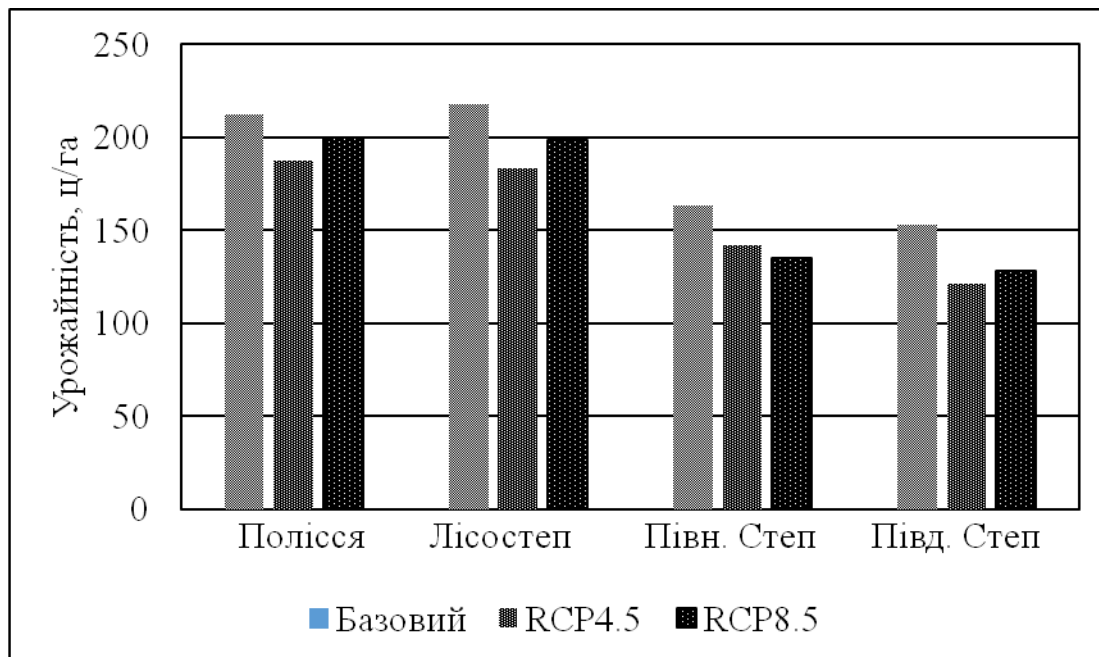


Рис. 7.100. Порівняння продуктивності урожаїв міскантусу за базовими і сценарними даними RCP4.5 та RCP8.5

Це порівняння показало такі результати:

Полісся – зниження урожайності на 12 і 6 % (у залежності від сценарію зміни клімату);

Лісостеп – зниження урожайності на 16 і 9 %;

Північний Степ – зниження урожайності на 13 і 17 %

Південний Степ – зниження урожайності на 21 і 16 %.

Таким чином, погіршення агрокліматичних умов вирощування міскантусу, а разом із цим і падіння урожайності культури, ймовірно на всій території України. Але для більшості досліджуваної території очікувані за сценарієм RCP8.5 агрокліматичні умови будуть дещо кращі, ніж за сценарієм RCP4.5.

7.10. ОЦІНКА ВПЛИВУ ЗМІН КЛІМАТУ І НОРМ ЗРОШЕННЯ НА ПРОДУКТИВНІСТЬ СОЇ

Соя належить до культур, вимогливих до умов вологозабезпеченості. Необхідною умовою для отримання високих врожаїв насіння сої є оптимальна вологість ґрунту. При наявності достатньої кількості вологи в ґрунті, зумовленої опадами або іншими чинниками, культурі полив не потрібен. Однак в умовах посушливого клімату півдня і центральної частини України соя досить добре реагує на зрошення. В Україні лідером з

виробництва сої на зрошуваних землях є Херсонська область. При зрошенні сільськогосподарських культур слід враховувати біологічні особливості рослин щодо потреби у воді, необхідній для отримання запланованого врожаю в конкретних природних умовах за оптимізації всіх технологічних процесів.

На основі чисельних експериментів і моделі формування продуктивності сої визначена оцінка впливу змін клімату на продуктивність посівів в Херсонській області при різних нормах зрошення (з.н.). Розрахунки виконувались за умов реалізації сценарію змін клімату RCP4.5. При цьому розглядались кілька варіантів для розрахункових періодів 2011-2030 рр. та 2031-2050 рр.:

- за сценарієм зміни клімату без зрошення при сучасному рівні CO₂ (варіант “клімат”);
- за сценарієм зміни клімату без зрошення при збільшенні рівня CO₂ до 470 ppm (варіант “клімат + CO₂”);
- за сценарієм зміни клімату при нормі зрошення 1200 м³/га (чотири поливи по 300 м³/га) і сучасному рівні CO₂;
- за сценарієм зміни клімату при нормі зрошення 1200 м³/га і збільшенні рівня CO₂ до 470 ppm;
- за сценарієм зміни клімату при нормі зрошення 1600 м³/га (чотири поливи по 400 м³/га) і сучасному рівні CO₂;
- за сценарієм зміни клімату при нормі зрошення 1600 м³/га і збільшенні рівня CO₂ до 520 ppm.

7.10.1. Порівняльна характеристика продуктивності сої в Херсонській області в умовах зміни клімату за розрахунковий період 2011-2030 гг.

Розглянемо, як змінюються основні показники фотосинтетичної продуктивності сої за період 2011-2030 рр. На рис. 7.101 представлена динаміка площі листя, розрахована в умовах вирощування сої без зрошення та при чотирьох поливах за вегетацію.

Як видно із рис. 7.101, максимальна площа листя спостерігається у восьму декаду вегетації за всіх варіантів розрахунків, але динаміка наростання площі листя сої суттєво відрізняється в залежності від умов зрошення і рівня CO₂. Слід зазначити, що збільшення норми зрошування (з 1200 до 1600 м³/га) при одній і тій же кількості поливів сприяє збільшенню площі листя.

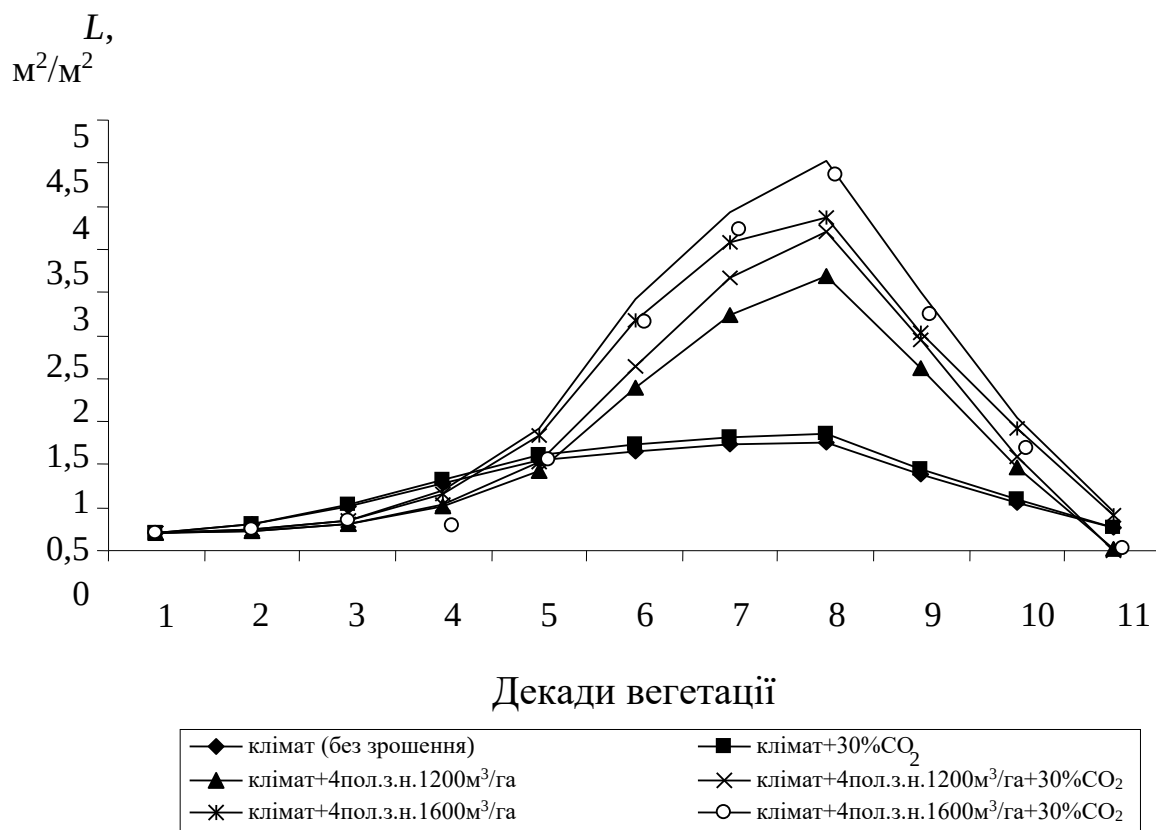


Рис. 7.101. Динаміка площі листя (L) сої в Херсонській області при реалізації сценарію зміни клімату за період 2011-2030 рр. в умовах вирощування сої без зрошення та при чотирьох поливах за вегетацію.

Максимальне значення площі листя на незрошуваному полі становить $1,2 \text{ м}^2/\text{м}^2$, а з врахуванням збільшення кількості CO_2 - $1,4 \text{ м}^2/\text{м}^2$. При зрошувальній нормі $1200 \text{ м}^3/\text{га}$ максимальна площа листя становить $3,2 \text{ м}^2/\text{м}^2$. При тій же зрошувальній нормі, але з урахуванням CO_2 , площа листя збільшується до $3,7 \text{ м}^2/\text{м}^2$, тобто на $0,5 \text{ м}^2/\text{м}^2$. При зрошувальній нормі $1600 \text{ м}^3/\text{га}$ максимальне значення площі листя становить $3,9 \text{ м}^2/\text{м}^2$. В умовах збільшення CO_2 за тих же умов зрошення, площа листя збільшиться на $0,6 \text{ м}^2/\text{м}^2$ і у восьму декаду вегетації досягне максимальних значень – $4,5 \text{ м}^2/\text{м}^2$.

Відповідно до збільшення площі листя сформується й більш висока суха біомаса бобів сої. Розглянемо, як змінюється суха біомаса бобів сої в Херсонській області при вирощуванні її без зрошення та при різних нормах зрошення (рис. 7.102).

Як видно з рис. 7.102, на початку вегетації суха біомаса бобів повільно збільшується. Починаючи з шостої декади вегетації, спостерігається суттєве збільшення сухої біомаси бобів сої. Для всіх розглянутих варіантів максимальних значень вона досягає в одинадцяту декаду вегетації.

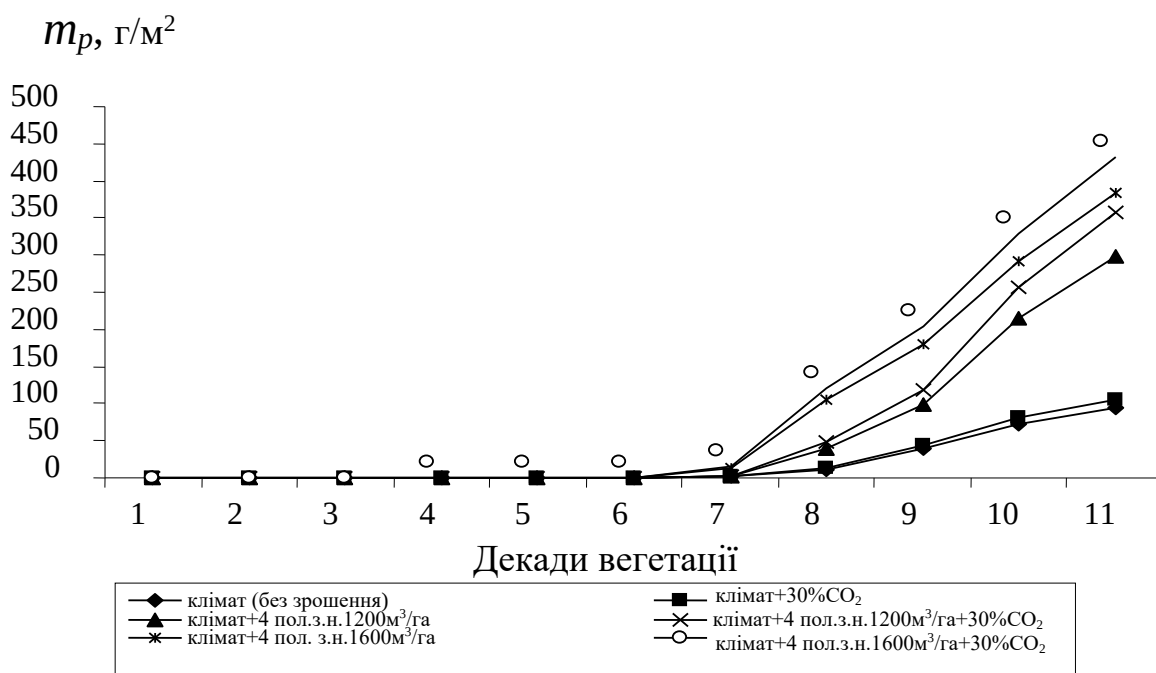


Рис. 7.102. Динаміка сухої біомаси бобів (m_p) сої в Херсонській області при реалізації сценарію зміни клімату за період 2011-2030 рр. в умовах вирощування сої без зрошення та при чотирьох поливах за вегетацію.

При вирощуванні сої на незрошуваних полях максимальна суха біомаса бобів становить 94,9 г/м². В умовах збільшення CO₂ без зрошення максимальна суха біомаса бобів сої зростає на 10,5 г/м², тобто до 105,4 г/м². Максимальні значення сухої біомаси бобів при зрошувальній нормі 1200 м³/га та з врахуванням CO₂ досягнуть відповідно 299,1 г/м² та 356,7 г/м². У порівнянні з варіантом без зрошення маса бобів зростає на 204,2 г/м², а в умовах підвищення концентрації CO₂ - на 251,3 г/м².

Аналогічна ситуація спостерігається і при зрошувальній нормі 1600 м³/га. Суха маса бобів сої досягне максимального значення також в одинадцяту декаду вегетації і становитиме 383,7 г/м². В умовах збільшення рівня CO₂ вона збільшиться до 430,9 г/м², досягаючи максимальних значень також в одинадцятій декаді вегетації. Таким чином збільшення маси за варіантами становить 47,2 г/м². Порівняння сухої біомаси бобів на незрошуваних полі з сухою біомасою бобів при вирощуванні зі зрошувальною нормою 1600 м³/га свідчить про суттєве збільшення останньої – на 288,8 г/м². Порівняння аналогічних величин в умовах збільшення рівня CO₂ свідчить про ще більш значну різницю – 325,5 г/м² (рис. 7.102).

Таким чином, зрошення зумовлює збільшення сухої біомаси бобів сої в порівнянні з сухою біомасою бобів сої на незрошуваних полях.

Розглянемо, як змінюється урожай сої за умов вирощування без зрошення і при чотирьох поливах за вегетацію при різній зрошувальній нормі - 1200 та 1600 м³/га (рис. 7.103).

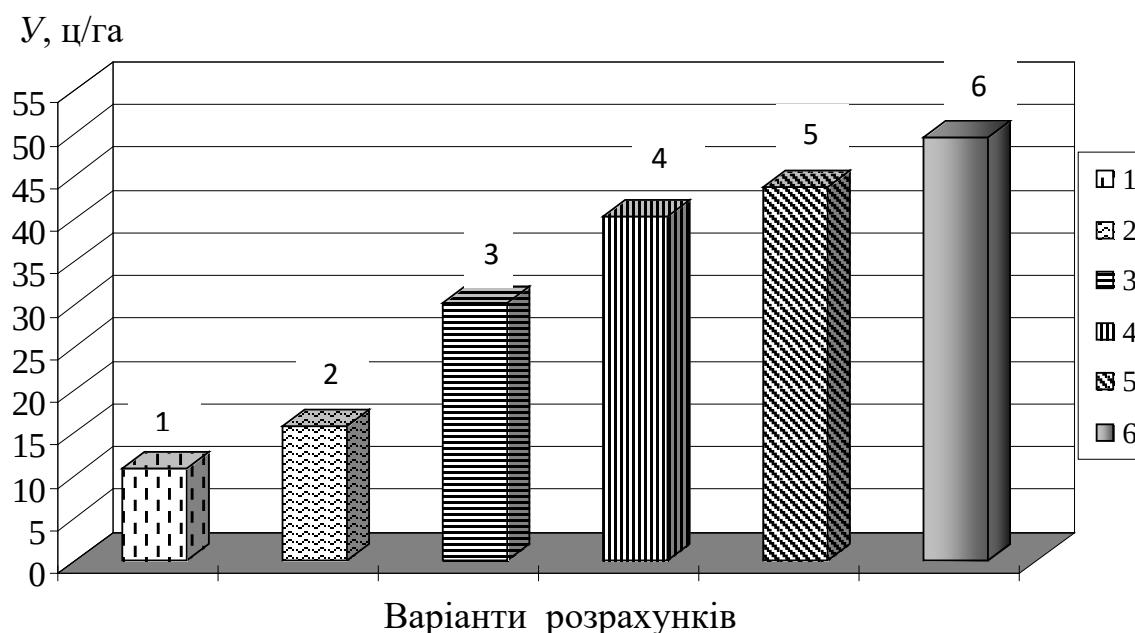


Рис. 7.103. Урожай сої при реалізації сценарію зміни клімату за період 2011-2030 рр. в умовах вирощування без зрошення та при різних нормах зрошення: 1 – клімат (без зрошення); 2 – клімат + 30% CO₂; 3 – клімат + 4 поливи з.н. 1200 м³/га; 4 – клімат + 4 поливи з.н. 1200 м³/га + 30% CO₂; 5 – клімат + 4 поливи з.н. 1600 м³/га; 6 – клімат + 4 поливи з.н. 1600 м³/га + 30% CO₂.

Як видно з рис. 7.103, у цей період урожай сої без зрошення становитиме 10,8 ц/га. При збільшенні норм зрошення від 1200 до 1600 м³/га він зростає до 34,1 і 43,7 ц/га або на 23,3 та 32,9 ц/га відповідно. В умовах збільшення CO₂ на 30% за тих же варіантів урожай сої відповідно становитиме 15,7, 40,7 та 49,5 ц/га. Тобто зрошення сприятиме збільшенню урожаю на 25 і 33,8 ц/га в залежності від з.н.

Таким чином, зрошення сприяє збільшенню урожаїв сої.

7.10.2. Порівняльна характеристика продуктивності сої в Херсонській області в умовах зміни клімату за розрахунковий період 2031-2050 гг.

Розглянемо, як змінюється продуктивність сої в Херсонській області за сценарієм кліматичних змін у другий розрахунковий період - 2031-2050 рр. Аналогічно першому періоду були проведені чисельні експерименти з розрахунку продуктивності сої в умовах зміни клімату при збільшенні рівня CO₂ від 380 ppm до 520 ppm із застосуванням зрошення.

Розрахунки проводилися за тими ж варіантами, що і за перший сценарний період. На рис. 7.104 представлена динаміка площі листя сої при реалізації сценарію зміни клімату в період 2031-2050 рр. в умовах без зрошення і при різних нормах зрошення (1200 та 1600 м³/га).

$L, \text{м}^2/\text{м}^2$

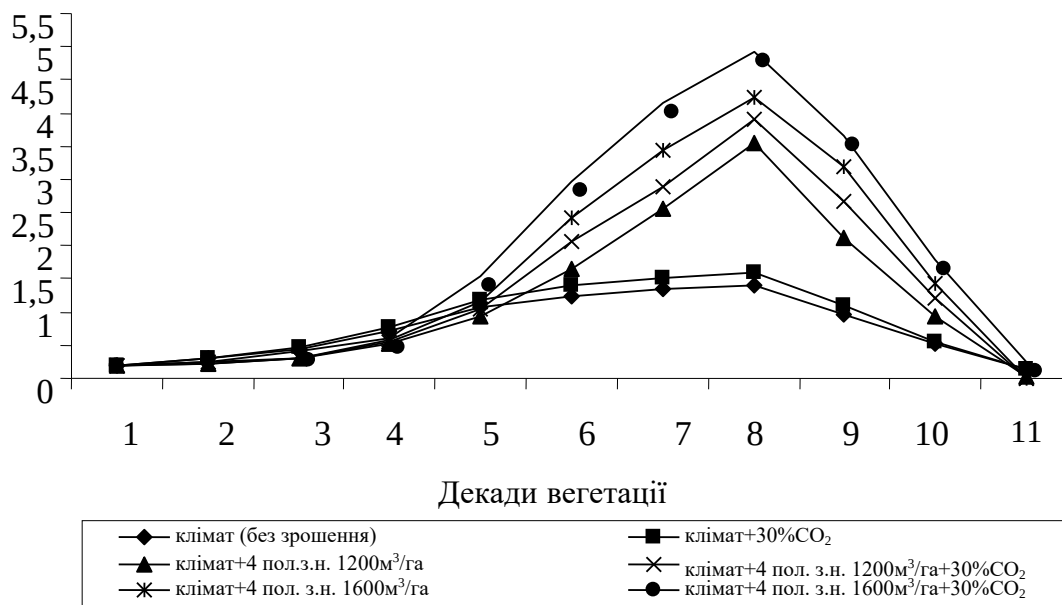


Рис. 7.104. Динаміка площі листя (L) сої в Херсонській області при реалізації сценарію зміни клімату за період 2031-2050 рр. в умовах вирощування без зрошення та при чотирьох поливах за вегетацію.

Як видно із рис. 7.104, динаміка наростання площі листя сої істотно відрізняється в залежності від умов зрошення та рівня CO₂, але для всіх варіантів розрахунків максимальне значення площі спостерігається у 8-му декаду вегетації. За варіантами “клімат” і “клімат + CO₂” максимальна площа листя становить відповідно 1,4 і 1,6 м²/м² (різниця становить 0,2 м²/м²). При чотирьох поливах зі зрошувальною нормою 1200 м³/га та при збільшенні концентрації CO₂ на 30 % максимальна площа листя складатиме відповідно 3,6 м²/м² і 4,0 м²/м², тобто без врахування збільшення концентрації CO₂ зростає на 2,2 м²/м², а з врахуванням – на 2,4 м²/м². При чотирьох поливах зі зрошувальною нормою 1600 м³/га та при збільшенні CO₂ площа листя досягне максимального значення також у восьму декаду вегетації і становитиме 4,2 і 4,9 м²/м² відповідно. Тобто в умовах збільшення CO₂, площа листя сої буде більшає на 0,7 м²/м². Порівняння максимальної площі листя сої на незрошуваних і зрошуваних при з.н. 1600 м³/га полях показує, що за умов зрошення ця площа зростає на 2,8 м²/м², а в умовах збільшення CO₂ – на 3,5 м²/м². З цього можна зробити висновок, що, як і для умов першого сценарного

періоду, зрошення зумовлює збільшення площі листя посіву сої, причому збільшення з.н. з 1200 до 1600 м³/га забезпечує більш суттєве зростання площі листової поверхні.

Також були виконані чисельні експерименти зі зміни сухої біомаси бобів сої в Херсонській області в умовах її вирощування без зрошення та при чотирьох поливах за вегетаційний період з різною зрошувальною нормою (рис. 7.105).

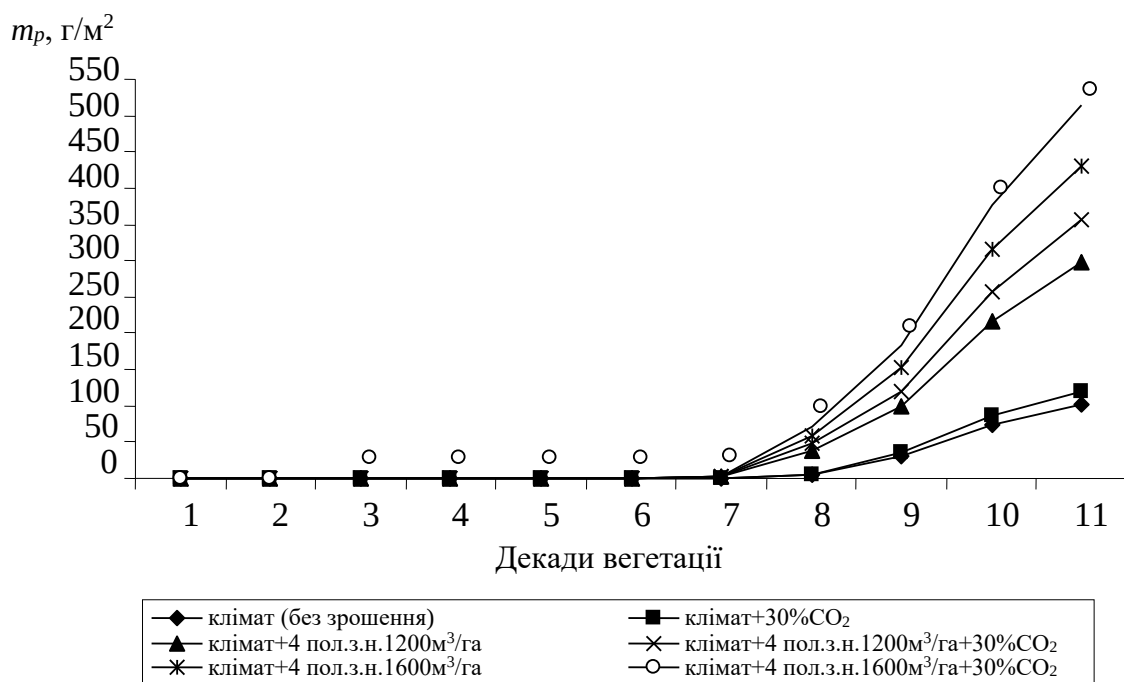


Рис. 7.105. Динаміка сухої біомаси бобів (m_p) сої в Херсонській області при реалізації сценарію зміни клімату за період 2031-2050 рр. в умовах вирощування сої без зрошення та при чотирьох поливах за вегетацію з різною нормою зрошення.

Як видно з рис. 7.105, у другий період суха біомаса бобів повільно збільшується. Тільки з сьомої декади вегетації спостерігається інтенсивне збільшення сухої біомаси бобів сої. У першому і в другому варіантах розрахунків суха біомаса становитиме відповідно 102,3 та 120,3 г/м², тобто зросте на 18 г/м². Максимальне значення сухої біомаси, як на полях без зрошення, так і на зрошуваних посівах досягається в одинадцятій декаді вегетації та становитиме 299,5 г/м² при з.н. 1200 м³/га (тобто зросте на 197,2 г/м²) та 431,3 г/м² при з.н. 1600 м³/га (тобто зросте на 329 г/м²). В умовах підвищення концентрації CO₂ на 30%, максимальні значення становитимуть у залежності від з.н. відповідно 356,9 та 515,4 г/м², тобто зростання становитиме 236,6 та 395,1 г/м². Отже, при зрошуванні та збільшенні рівня концентрації CO₂ сформується більш висока суха біомаса бобів сої.

На основі виконаних розрахунків були також розглянуті зміни урожаю сої в Херсонській області при реалізації сценарію зміни клімату в другий розрахунковий період 2031-2050 рр. в умовах вирощування сої без зрошення та при різних нормах зрошення за вегетацію (рис. 7.106).

У, ц/га

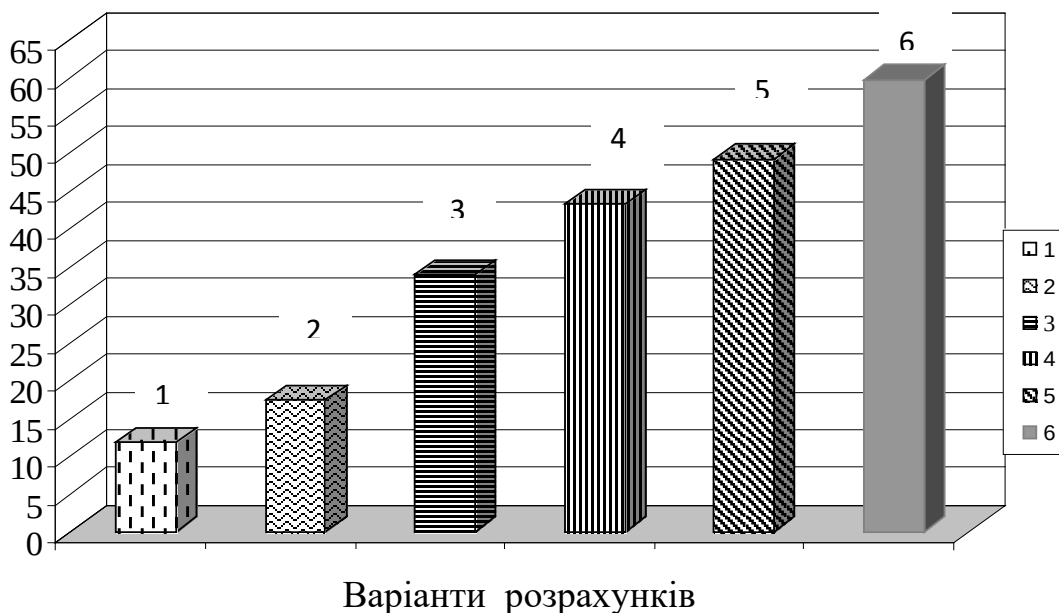


Рис. 7.106. Урожай сої при реалізації сценарію зміни клімату за період 2031-2050 рр. в умовах вирощування без зрошення та при різних нормах зрошення: 1 – клімат (без зрошення); 2 – клімат + 30% CO₂; 3 – клімат + 4 поливи з.н. 1200 м³/га; 4 – клімат + 4 поливи з.н. 1200 м³/га + 30% CO₂; 5 – клімат + 4 поливи з.н. 1600 м³/га; 6 – клімат + 4 поливи з.н. 1600 м³/га + 30% CO₂.

Як видно з рис. 7.106, у цей період урожай сої без зрошення становитиме 11,7 ц/га. При збільшенні норм зрошення від 1200 до 1600 м³/га він зростає до 34,4 і 49,2 ц/га або на 23,7 і 37,5 ц/га відповідно. В умовах збільшення CO₂ на 30% за тих же варіантів урожай сої відповідно становитиме 17,3, 43,7 і 59,6 ц/га. Тобто зрошення з врахуванням змін концентрації CO₂ сприятиме збільшенню урожаю на 26,4 і 42,3 ц/га в залежності від з.н.

На основі виконаних розрахунків в табл. 7.39 представлені узагальнені показники фотосинтетичної продуктивності сої в Херсонській області при різних нормах зрошення в умовах зміни клімату за кліматичним сценарієм.

Таблиця 7.39. Узагальнені показники фотосинтетичної продуктивності сої в Херсонській області в умовах змін клімату при різних нормах зрошення за сценарієм RCP4.5, для періодів 2011-2030 та 2031-2050 рр.

Період	Показник фотосинтетичної продуктивності	Варіанти розрахунків					
		Клімат (без зрошення)	Клімат + 30 % CO ₂	Клімат + 4 поливи зі з.н. 1200 м ³ /га	Клімат + 4 поливи зі з.н. 1200 м ³ /га + 30 % CO ₂	Клімат + 4 поливи зі з.н. 1600 м ³ /га	Клімат + 4 поливи зі з.н. 1600 м ³ /га + 30 % CO ₂
2011-2030 рр.	Площа листя (L), м ² /м ²	1,2	1,4	3,2	3,7	3,9	4,5
	Суха біомаса бобів (m _p), г/м ²	94,9	105,4	299,1	356,7	383,7	430,9
	Урожай сої (Y), ц/га	10,8	15,7	34,1	40,7	43,7	49,5
2031-2050 рр.	Площа листя (L), м ² /м ²	1,4	1,6	3,6	4,0	4,2	4,9
	Суха біомаса бобів (m _p), г/м ²	102,3	120,3	299,5	356,9	431,3	515,4
	Урожай сої (Y), ц/га	11,7	17,3	34,4	43,7	49,2	59,6

Можна бачити, що при реалізації цього сценарію слід очікувати підвищення урожаю сої як при зрошенні, так і при вирощуванні культури в богарних умовах. Але зрошення сприятиме суттєвому збільшенню урожаїв сої, причому, найкращі результати очікуються при збільшенні кількості поливів до чотирьох зі зрошувальною нормою 1600 м³/га. Також можна сказати, що умови другого сценарного періоду будуть більш сприятливими для вирощування сої.

7.11. ЕКОЛОГІЧНІ РИЗИКИ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ЗЕМЛЕКОРИСТУВАННЯ В УКРАЇНІ В УМОВАХ ЗМІН КЛІМАТУ

Сучасний стан сільськогосподарських земель. Україна має значні земельні ресурси. Загальний земельний фонд країни в межах її кордонів становить 60,3549 млн га, що дорівнює 0,4 % світової площі суходолу та 5,7 % площі європейського континенту. Земельний фонд за даними Держгеокадастру станом на 01.01.2016 р. (табл. 7.40) складається із земель, які мають різне функціональне використання, якісний стан і правовий статус. За видами економічної діяльності він структурно розподіляється таким чином (табл. 7.40): значна частка земельної площі (70,8 %, або 42,73 млн га) – це сільськогосподарські землі, у складі яких: сільськогосподарських угідь – 68,8 %, з них 53,9 % припадає на рілля; 9,0 % становлять пасовища; 4 % – сіножаті; 1,5 % – багаторічні насадження; 0,4 % – перелоги. Ліси та інші лісовкриті території займають 17,6 % (10,63 млн га) території країни, забудовані землі – 4,2 % (2,55 млн га); території, покриті поверхневими водами, – 4,0 %, відкриті заболочені землі – 1,6 %, інші землі (сухі відкриті землі з особливим рослинним покривом, відкриті землі без рослинного покриву або з незначним рослинним покривом (кам'янисті місця, піски, яри інші)) – 1,7 % [12]. Згідно з даними табл. 7.40, до господарського використання залучено понад 92 % всіх земель, при цьому найбільша частка належить сільському господарству. Власність на сільськогосподарські землі в Україні переважно приватна (30,9 млн га), у державній власності залишилось 10,7 млн га угідь; колективна форма власності знаходиться в стані трансформації. Землі сільськогосподарського призначення, в основному орні, розпайовано серед майже 7,0 млн землевласників. Земельні паї, як правило, здаються в оренду – до 84,5 %. Спостерігається процес консолідації розпайованих земель у великі вертикально побудовані об'єднання – холдинги [12, 30, 31]. У цілому, територія України характеризується надзвичайно високим показником сільськогосподарської освоєності. Сільськогосподарські угіддя країни становлять близько 19 % від загальноєвропейських, у тому числі рілля – близько 27 %.

Таблиця 7.40. Структура земельного фонду України

Види основних земельних угідь та економічної діяльності	Всього, тис. Га	Частка від загальної площі території країни (%)	Динаміка порівняно з 2015 р. (тис.га)
Сільськогосподарські землі	42726,4	70,8	-5,1
у тому числі:			
сільськогосподарські угіддя.	41507,9	68,8	-3,8
з них:			
<i>Рілля</i>	32541,3	53,9	10,2
<i>перелоги</i>	233,7	0,4	-5,7
<i>багаторічні насадження</i>	892,4	1,5	-0,5
<i>сіножаті</i>	2406,4	4,0	-0,9
<i>пасовища</i>	5434,1	9,0	-6,9
інші сільськогосподарські землі	1218,5	2,0	-1,3
Ліси та інші лісовкриті площі	10633,1	17,6	2,8
у тому числі:			
<i>вкриті лісовою рослинністю</i>	9698,9	16,1	3,7
<i>не вкриті лісовою рослинністю</i>	216,9	0,4	-0,4
<i>інші лісові землі</i>	313,2	0,5	-0,3
<i>чагарники</i>	404,1	0,7	-0,2
Забудовані землі	2552,9	4,2	2,5
у тому числі:			
<i>під житловою забудовою</i>	488,9	0,8	1,2
<i>землі промисловості</i>	224,7	0,4	0,6
<i>землі під відкритими розробками, кар'єрами, шахтами та відповідними спорудами</i>	157,1	0,3	0,8
<i>землі комерційного та іншого використання</i>	55,4	0,1	0,5
<i>землі громадського призначення</i>	281,3	0,5	-0,4
<i>землі змішаного використання</i>	29,0	0,0	-0,3
<i>землі, які використовуються для транспорту та зв'язку</i>	496,8	0,8	0,1
<i>землі, які використовуються для технічної інфраструктури</i>	74,2	0,1	-0,2
<i>землі, які використовуються для відпочинку та інші відкриті землі</i>	745,5	1,2	0,2
Відкриті заболочені землі	982,3	1,6	-0,3
Сухі відкриті землі з особливим рослинним покривом	13,2	0,0	-4,7
Відкриті землі без рослинного покриву або з незначним рослинним покривом (кам'янисті місця, піски, яри інші)	1020,6	1,7	-5,2
Всього земель (суша)	57928,5	96,0	0
Води (території, що покриті поверхневими водами)	2426,4	4,0	0
Разом (територія)	60354,9	100,0	0

Показник площі сільськогосподарських угідь у розрахунку на одну особу в Україні є найвищим серед європейських країн і дорівнює 0,9 га, у тому числі 0,7 га ріллі (середній показник для європейських країн – 0,44 га і 0,25 га відповідно). Дуже високим є і рівень розораності території, який перевищує 54 % (у розвинутих країнах Європи – до 35 %). Водночас частка природних кормових угідь у загальній площі угідь в Україні становить 9 % (5,4 млн га), що значно менше порівняно з іншим провідними сільськогосподарськими країнами світу – в більшості європейських країн цей показник коливається в межах 30–40 %, а у Великій Британії і США дорівнює 63 % і 56 % відповідно [12, 25, 30].

Наведені показники свідчать, що сільськогосподарське землекористування в Україні на сьогодні значно перевищує екологічно допустимі межі. Згідно з науково обґрунтованими рекомендаціями [22], в активний сільськогосподарський обробіток варто залучати не більше третини території. Стільки ж має бути відведено для іншої господарської діяльності, а одна третина повинна залишатись у природному стані. Вважають, що таке співвідношення різних видів угідь забезпечить екологічну рівновагу.

Наслідком тривалого різнопрофільного впливу діяльності людини на природне середовище став високий рівень освоєння земель України, який призвів до порушення екологічно збалансованого співвідношення сільськогосподарських угідь, лісів, водойм та інших категорій земель. Це негативно вплинуло на стійкість агроєкосистем і зумовило погіршення властивостей ґрунтів з подальшими негативними наслідками і для інших компонентів ландшафту.

В умовах посиленого навантаження на ґрунтовий покрив сільськогосподарських угідь підвищуються ризики активізації ерозійних процесів та деградації земельного фонду країни. Нині в Україні понад 1,1 млн га земель підлягають консервації, 143,4 тис. га – площа порушених земель, які потребують рекультивації, а 315,6 тис. га – це малопродуктивні угіддя [18]. Великої шкоди ґрунтам України завдала необґрунтована меліорація та недостатня увага (відсутність догляду) до стану меліоративних систем – майже 50 тис. га орних земель підтоплені. У Чорнобильській зоні відчуження розташовано 3,7 млн га землі [18, 25].

Згідно з оцінками багаторічної динаміки площі земель сільськогосподарського призначення, за час здійснення земельної реформи в Україні ці площі зменшились із 43,6 млн га до 42,7 млн га (рис. 7. 107), тобто на 900 тис. га. Вони переважно використані під забудову, а не на консервацію та переведення у природні угіддя деградованих земель, як це передбачалось державними програмами [32].

В останні роки в динаміці структури земельного фонду встановлюються позитивні, з екологічних позицій, тенденції до збільшення площі земель у лісгосподарській галузі – лісовкриті площі збільшились з

10,2 млн га до 10,6 млн га (на 408,8 тис. га) [18].

Однак у землекористуванні зберігаються диспропорції, поглиблення яких може становити загрозу для навколишнього природного середовища, ефективної господарської діяльності і стійкого розвитку національної економіки в цілому.

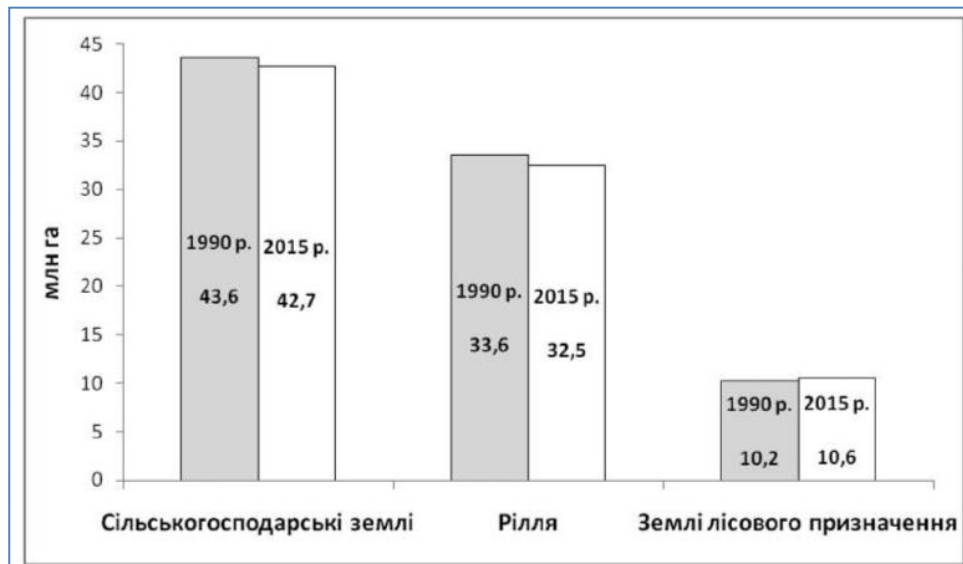


Рис. 7.107. Зміна складових структури землекористування в Україні за період 1990–2015 рр. [32]

Екологічний стан землекористування в Україні наблизився до небезпечної межі, за якою можуть настати незворотні екологічні процеси. Коефіцієнт екологічної стабільності землекористування, наведений у Національній доповіді про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2014 р. [18], в середньому по країні дорівнює 0,41, залишаючись протягом багатьох років незмінним (при задовільному значенні цього індикатора на рівні 0,51–0,67). У межах регіонів країни значення коефіцієнта коливаються від 0,74 (Закарпатська область) до 0,28 (Дніпропетровська область). Лише одна адміністративна область визнана екологічно стабільною – Закарпатська, п'ять областей знаходяться у межах середньої стабільності – Волинська, Івано-Франківська, Львівська, Рівненська, Чернівецька, а території всіх інших адміністративних областей є екологічно нестабільними (через надто високу частку сільськогосподарського землекористування у структурі їх земельного фонду) [18]. Економічна ефективність використання сільськогосподарських угідь в Україні характеризується позитивною динамікою. Цьому сприяє впровадження новітніх технологій обробки ґрунту, використання високопродуктивного насіннєвого матеріалу і відповідного догляду за посівами, нової техніки збирання врожаю тощо.

Поступово зростають виробництво валової продукції та урожайність сільськогосподарських культур. Зокрема, Україна займає лідируючі позиції в світі за виробництвом окремих видів продукції рослинництва на одну особу (зернових, зернобобових, соняшнику) [18]. Водночас середній рівень урожайності більшості сільськогосподарських культур ще далекий від бажаного. В останні роки суб'єктами сільськогосподарського землекористування не дотримуються екологічно обґрунтовані сівозміни, а надмірне застосування хімічних добрив і засобів боротьби з шкідниками створює загрозу «втоми» ґрунту, його хімічного забруднення і деградації.

У цілому, використання сільськогосподарських земель в Україні відбувається екстенсивним шляхом за рахунок високого рівня залучення земель до сільськогосподарського обробітку, з порушенням екологічних вимог до землекористування, наслідком чого є відставання України у рівні ефективності використання сільськогосподарських угідь порівняно з іншими країнами світу. Так, виробництво валової продукції сільського господарства в розрахунку на 1 га сільськогосподарських угідь в Україні в останні роки дорівнює 250–300 євро, тоді як у країнах-членах ЄС – понад 2 тис. євро. Нині українські аграрії 79 % прибутків одержують за рахунок природної родючості землі і лише 21 % – як результат впровадження новітніх агрофітотехнологій [18, 25, 32].

На сьогодні на державному рівні розроблено і реалізується ряд програм із підвищення ефективності використання сільськогосподарських земель в Україні, зокрема: «Державна цільова програма розвитку земельних відносин в Україні на період до 2020 року», «Державна програма запобігання і боротьби з підтопленням земель», «Національний план дій щодо боротьби з деградацією земель та опустелюванням», «План заходів щодо розширення площ зрошуваних земель у південних областях та забезпечення їх ефективного використання на період до 2017 року», «План дій з проведення земельної реформи та створення прозорого ринку земель сільськогосподарського призначення», «Єдина комплексна стратегія розвитку сільського господарства та сільських територій на 2015–2020 роки», «Стратегія удосконалення механізму управління в сфері використання та охорони земель сільськогосподарського призначення державної власності та розпорядження ними» й інші. Практичні заходи щодо охорони земель і ґрунтів реалізуються Державною службою України з питань геодезії, картографії та кадастру та її структурними ланками.

Ґрунти, їх властивості і стан. У структурі ґрунтового покриття України виділяється понад 800 видів ґрунтів, з них 60 % – це чорноземи (близько 8 % світової площі). Такий потенціал визначає потужну агресурсну конкурентоспроможність України в Європі та світі.

Просторовому розподілу ґрунтів властива широтна зональність на рівнинних просторах і висотна поясність в Українських Карпатах і Кримських горах. Згідно з агроґрунтовим районуванням, Україна

поділяється на шість агроґрунтових зон: мішаних лісів (Українське Полісся) – зону дерново-підзолистих типових та оглеєних ґрунтів, Лісостеп – зону чорноземів типових і сірих опідзолених ґрунтів, Степ – зону чорноземів звичайних і південних, сухостепову зону темно-каштанових і каштанових ґрунтів, зону буроземних ґрунтів Українських Карпат, зону дерново-карбонатних і коричневих ґрунтів гірського Криму. Основними інтразональними типами ґрунтів є дернові, лучні, торф'яні і торф'яно-болотні, солонці й солоді та їх видозміни [36].

Сільськогосподарські угіддя України представлені різноманітними ґрунтами, але більшість з них мають високу родючість. Так, у структурі генетичних типів розораних ґрунтів України чорноземи звичайні і типові, як найбільш родючі, займають близько 73 %, сірі опідзолені ґрунти та чорноземи опідзолені – понад 12 %, каштанові – близько 4%. Вміст гумусу в ґрунтах становить від 0,8 до 6,5 % [31]. Рівень сільськогосподарського освоєння різних типів ґрунтів України суттєво відрізняється (рис. 7.108), що зумовлено впливом як природних чинників (рельєфу, родючості ґрунтів, агрокліматичних умов тощо), так і соціально-економічних (рівня забезпечення населення земельними ресурсами, етногосподарськими традиціями землекористування, рівнем інвестицій у сільське господарство тощо).

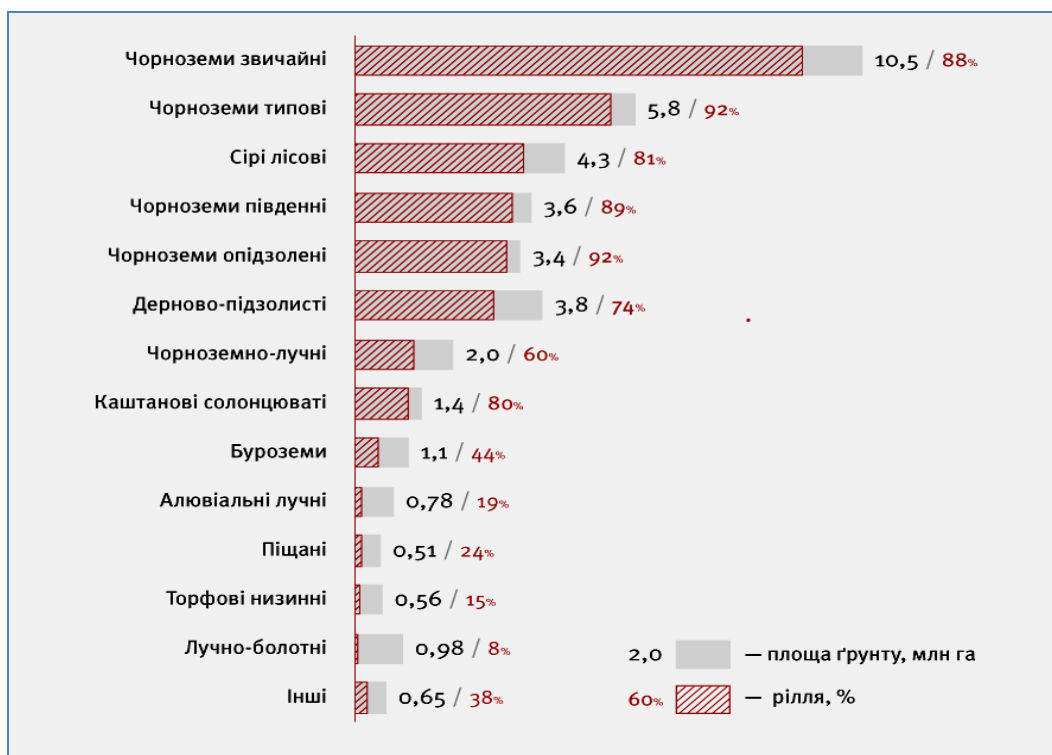


Рис. 7.108. Структура сільськогосподарського землекористування за типами ґрунтів на території України [31]

Результати моніторингу ґрунтів [18] свідчать, що за сучасного рівня розораності їхній стан в останні десятиріччя погіршився, і якщо не вжити необхідних заходів, то деградаційні процеси як природного, так і антропогенного характеру будуть продовжуватись і замість безцінних родючих чорноземів можна отримати малопродуктивні, деградовані ґрунти.

У Посланні комісії ЄС «До тематичної стратегії захисту ґрунтів» визначено 8 головних загроз деградації ґрунтів: ерозія, кількісне і якісне зменшення органічної речовини (гумусу), забруднення, засолення, ущільнення, зсуви та повені, втрата біотичного різноманіття, накриття ґрунту. Майже всі види деградації ґрунтів поширені на території України (табл. 7.41) [18].

Таблиця 7.41. Поширення основних процесів деградації ґрунтів на території України (за даними ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії»)

Види деградації ґрунтів	Поширення (% загальної площі) відповідно до ступеня інтенсивності			Всього
	слабкої	середньої	сильної	
Втрата гумусу й поживних речовин	12	30	1	43
Переущільнення	10	28	1	39
Запльованості і кіркоутворення	12	25	1	38
Водна ерозія	3	13	1	17
Підкислення	5	9	0	14
Заболочування	6	6	2	14
Забруднення радіонуклідами	5	6	0,1	11,1
Вітрова ерозія, втрата верхнього шару ґрунту	1	9	1	11
Забруднення пестицидами та іншими органічними речовинами	2	7	0,3	9,3
Забруднення важкими металами	0,5	7	0,5	8
Засолення, підлуження, осолонцювання	1	3	0,1	4,1
Водна ерозія, утворення ярів	0	1	2	3
Побічна дія водної ерозії (замулення водойм)	1	1	1	3
Зниження рівня денної поверхні	0,05	0,15	0,15	0,35
Деформація земної поверхні вітром	0,04	0,23	0,08	0,35
Аридизація ґрунтів	0,04	0,18	0	0,21

За даними ДУ «Інститут охорони ґрунтів України», найпоширенішим видом деградації ґрунтів є дегуміфікація (втрата гумусу й поживних речовин), від неї потерпає 43 % загальної їх площі. Внаслідок деградації ґрунтів України впродовж 1986–2010 рр. втрати гумусу в орному шарі досягли 5,5 т/га. Крім того, щороку з урожаєм сільськогосподарських

культур відчужується від 7 до 135 кг/га поживних речовин (азоту, фосфору, калію) [18].

Масштабними деградаційними процесами є водна та вітрова ерозія ґрунтів, аридизація, підтоплення земель, підкислення, засолення та осолонцювання ґрунтів.

Середньорічні втрати ґрунту від водної та вітрової ерозії досягають 15 т/га. Це означає, що ґрунтовий покрив країни втрачає щороку близько 740 млн т родючого ґрунту, який містить близько 24 млн т гумусу, 0,7 млн т рухомих фосфатів, 0,8 млн т калію, 0,5 млн т азоту та великі кількості мікроелементів [18, 25].

Найбільшими є площі еродованих сільськогосподарських угідь у Донецькій (70,6 %), Луганській (61,6 %) та Одеській (55,8 %) областях. Від вітрової ерозії найбільші втрати родючих ґрунтів у Запорізькій, Луганській та Херсонській областях [18]. Процеси ерозії прискорює нераціональне управління земельними ресурсами, зокрема вирощування культур на крутих схилах, надмірна вирубка лісів, чагарників і кущів та надмірне випасання худоби. Побічним ефектом ерозії є седиментація продуктів змиву у річках, озерах та інших водоймах. Найбільші прояви такого негативного впливу спостерігаються в Дніпропетровській, Донецькій, Кіровоградській, Луганській, Одеській та Харківській областях [18]. Серйозну проблему становить водна ерозія, зокрема для сільськогосподарських земель, розташованих на схилах. Площа дефляційно- та ерозійнонебезпечних ґрунтів в Україні досягає 33,4 % від загальної площі сільськогосподарських угідь, у тому числі тих, що піддаються водній ерозії – 22,9 %, вітровій – 2,9 %, сукупно вітровій і водній – 3,5 % [18, 25].

Кислі ґрунти поширені переважно в Українському Поліссі, Лісостепу і в регіонах Карпат, Передкарпаття та Закарпаття. Їхня загальна площа досягає близько 11 млн га, у тому числі 4,4 млн га ріллі. Великі площі підкислених ґрунтів розташовані у Вінницькій та Кіровоградській областях. Солонцеві комплекси займають 4,1 млн га ґрунтів, включаючи 2 млн га орних земель. Великі площі солончаків розташовані у Херсонській області [18].

За різними оцінками [12, 25], забрудненими радіонуклідами, пестицидами, нітратами, важкими металами є понад 20 % українських земель.

До основних причин зниження агрономічних властивостей ґрунтів відносять також їх багаторазовий обробіток потужними та важкими тракторами і комбайнами, недотримання сівозмінних вимог, збільшення у структурі посівних площ відсотку посівів просапних культур, низькі норми внесення мінеральних і органічних добрив, порушення норм внесення засобів захисту рослин, призупинення заходів із хімічної меліорації ґрунтів (гіпсування, вапнування) та фітомеліорації, а також інші агротехнічні

чинники. Визнано, що під впливом діяльності людини ґрунт руйнується в сотні разів швидше, ніж у природних умовах. Саме тому проблема охорони ґрунтів у наш час є однією з найгостріших екологічних проблем, і вирішення питань, пов'язаних з оцінюванням природних і антропогенних ризиків землекористування, набуває особливої актуальності.

Методологічні основи оцінювання екологічних ризиків сільськогосподарського землекористування. Землекористування у сільському господарстві завжди супроводжується певними ризиками для ґрунтового покриву, оскільки залучення ґрунту в обробіток спричинює суттєві зміни його властивостей з невизначеними наслідками. Крім того, ризики сільськогосподарського землекористування зумовлюються особливостями аграрного виробництва, якому властива значна багатофакторність і пов'язані з нею слабо передбачувані зміни ситуацій та їхніх наслідків.

Теоретичні, методичні та прикладні аспекти оцінювання ризиків землекористування у сільському господарстві, зокрема екологічних ризиків, розглядаються у роботах В. Г. Андрійчука, Л. Бауера (1998), В. Н. Башкіна (2007), О. О. Білопільської, Є. В. Коваленка, Р. М. Сухоставця, (2010), В. Я. Гуменюка, Г. Ю. Міщука, О. О. Олійник, (2010), А. О. Кошеля (2011), Х. Р. Василишина (2010), А. М. Кадацької (1999), В. В. Чепурка (2001) та ін.

І. П. Ковальчуком на засадах концепції класифікації загальних екологічних ризиків та ієрархічності останніх розроблено узагальнюючу систематизацію екологічних ризиків землекористування, спрощена схема якої відображена на рис. 7.109. За такого підходу основними складовими оцінної діяльності при визначенні ризику є дослідження умов, чинників, можливих наслідків і обґрунтування методів управління ризиком.

Важливим напрямом досліджень ризиків землекористування є їхня класифікація. Існує чимало галузевих (насамперед економічних) класифікацій ризиків, які виникають у процесі використання земельних ресурсів. Генетичну класифікацію ризиків землекористування розроблено І. П. Ковальчуком [15], у ній визначено, що ситуації ризику виникають у зв'язку: зі змінами властивостей ґрунтів (1-й блок чинників); під впливом господарського використання земельних ресурсів (2-й блок чинників); природних і техногенних процесів (3-й блок); змін клімату (4-й блок); ринкових трансформацій господарського комплексу (5-й блок); продовольчої безпеки (6-й блок); управлінської діяльності (7-й блок); соціальних умов життєдіяльності сільського населення (8-й блок).

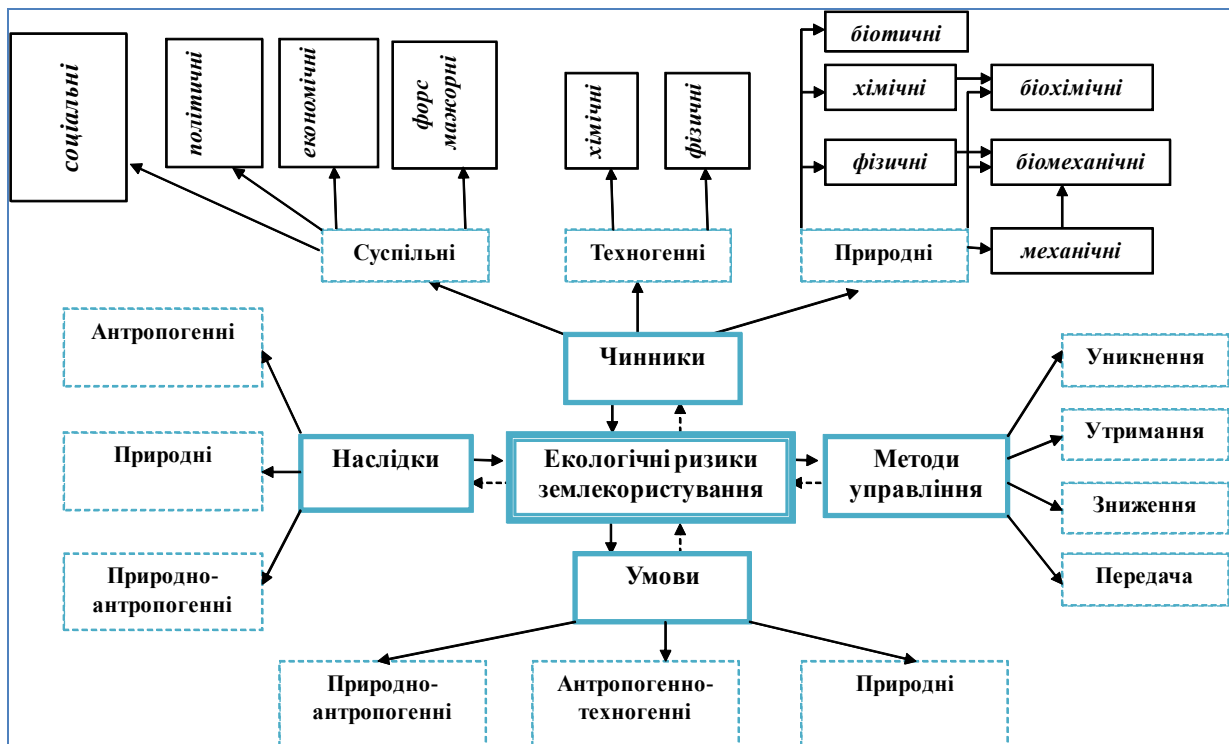


Рис. 7.109. Структура системи «екологічні ризики-землекористування» [15]

Згідно з [15], методологія оцінки ризиків землекористування включає: 1) визначення рівня ризику (низький, середній, високий, надзвичайно високий); 2) проведення зонування території, у межах якої виникає ризик, за його величиною; 3) диференційований розрахунок для цих зон масштабів втрат (фінансових, матеріальних, ресурсних, екологічних, людських), спричинених певним видом ризику чи їх сумарною величиною; 4) встановлення періодичності (повторності) виникнення ризикованих ситуацій різного ступеня напруженості; 5) визначення чинників, під впливом яких виникають гострі (напружені) ситуації та виконання їх рангування.

Розроблено алгоритм моніторингу ризиків використання земельних ресурсів, який включає такий ряд послідовних етапів [15]:

1) етап інвентаризації земельних угідь (їх стану і використання) та ідентифікації ризиків (існуючих загроз). Його суть полягає в аналізі природних та антропогенних чинників, що впливають на стан земельних ресурсів, виявленні існуючих видів природних небезпек; зборі статистичної, картографічної, дистанційної інформації про поширення процесів і явищ, їх динаміку та формування відповідної бази даних; аналіз геопросторової мінливості рівня господарського освоєння території, земельних ресурсів, густоти населення і поселень, доріг, розміщення господарських об'єктів, структури землекористування, врожайності

вироснути культур, ефективності використання земельних угідь, поширення та інтенсивності розвитку несприятливих процесів і явищ;

2) аналітично-оцінний етап, який включає: визначення критеріїв ризику і розрахунок показників небезпеки кожного процесу і явища; визначення частоти прояву небезпечного процесу; визначення інтенсивності чи сили впливу небезпечного процесу на той чи інший вид земельних угідь і розташованих на них об'єктів; визначення площі, на якій поширений небезпечний процес чи явище; визначення величини інтегрального ризику землекористування на певній території;

3) прогнозний етап: з урахуванням інтенсивності прояву процесів, різних варіантів їх впливу на земельні ресурси та відповідних наслідків і запобіжних заходів, розробляється декілька прогнозних варіантів (сценаріїв) з властивими для них показниками небезпеки, які є інформаційною базою розрахунку параметрів ризику для рівновіддалених часових зрізів;

4) заключний етап: економічна оцінка ризиків (тобто ймовірних втрат) використання різних видів угідь. На цьому етапі також розробляється серія оцінних карт небезпеки використання земель і карт інтегральної оцінки ризику землекористування, обґрунтовуються рекомендації, спрямовані на зниження гостроти ризиків землекористування.

Ризики сільськогосподарського землекористування, пов'язані зі змінами клімату. Клімат слід розглядати як особливо важливий природний чинник і ресурс, зміни і коливання якого можуть бути визначальними щодо пріоритетів розвитку землеробства і сільськогосподарського землекористування. Як відомо, Україна на сьогодні не належить до держав, найбільш уразливих до змін глобального клімату. Однак тенденції змін регіонального клімату відповідають глобальним, тому подальше зростання середньої річної температури повітря, неоднорідності в часовому і просторовому розподілі кількості опадів, збільшення інтенсивності та повторюваності стихійних і несприятливих гідрометеорологічних умов і явищ можуть призвести до змін структури і властивостей агроландшафтів країни і до трансформування сільськогосподарського виробництва.

Враховуючи те, що підходи до сільськогосподарського землекористування, які дотепер застосовувались в Україні, були значною мірою екологічно незбалансованими, що може мати катастрофічні наслідки з позицій втрат ефективної родючості та якості ґрунтів, важливим є оцінювання потенційних небезпек деградації ґрунтів за різних сценаріїв змін клімату. Такі дослідження є досить значущими, адже не тільки зміни клімату можуть посилити процеси деградації, а й деградація ґрунтів негативно впливає на клімат внаслідок збільшення емісії парникових газів, запилення атмосфери, втрати корисного ґрунтового біорізноманіття тощо.

На сучасному етапі проблематика системного оцінювання кліматичних ризиків сільськогосподарського землекористування в Україні привертає все більше уваги. Проведено ряд досліджень із регіонального моделювання структури агроландшафтів в умовах змін клімату з використанням моделей продукційного процесу рослин і даних наземного та космічного моніторингу, а також моделей прогнозування типів землекористування (А. М. Польовий, О. Г. Тараріко, В. І. Лялько, О. М. Бородіна, О. А. Кривобок, О. О. Кривошеїн та ін.). На основі глобальних моделей загальної циркуляції атмосфери та океану (МЗЦАО) і регіональних кліматичних моделей (РКМ) для різних сценаріїв викидів парникових газів та аерозолів визначено показники ймовірності та інтенсивності зміни кліматичних умов, виникнення небезпечних і стихійних метеорологічних явищ на території України (С. В. Краковська, Л. В. Паламарчук, І. П. Шедеменко та ін.). У численних працях українських метеорологів і кліматологів досліджено тенденції багаторічної динаміки характеристик циркуляції атмосфери, термічного режиму і режиму опадів, визначено закономірності просторово-часового розподілу посушливих умов і явищ, закономірності багаторічних змін вітрового режиму та інших кліматичних показників на території України.

Така інформація є основою для ідентифікації кліматичних ризиків, для визначення характеру їх просторової локалізації, якісної та кількісної оцінки за ступенем впливу на ґрунти й агрофітоценози як біотичні системи, а також для побудови прогностичних моделей (біофізичних, економічних, геоінформаційних) та розробки спеціалізованої системи управління ризиками.

За сучасних тенденцій змін клімату України у сільськогосподарському землекористуванні частково вже наявними та очікуваними у майбутньому є зміни:

- типів функціонального використання земельних ресурсів;
- структури посівних площ;
- видового і сортового складу сільськогосподарських культур;
- систем менеджменту і технологій (інтенсивне богарне виробництво, богарне виробництво, іригаційне виробництво тощо);
- підходів до збереження земель і відтворення родючості ґрунтів.

Сукупні можливі зміни землекористування в Україні відповідно до глобальних прогнозів за моделлю GLOBIOM представлені на рис. 7.110.

Згідно з результатами моделювання, у майбутньому в Україні прогнозується незначне розширення сільськогосподарського використання земельних ресурсів переважно за рахунок площ земель, віднесених до категорії «інші землі» (луки, перелоги, заболочені території та ін.): до 2020 р. очікується, що близько 5 % таких земель будуть задіяні у сільськогосподарському виробництві, до 2050 р. цей показник становитиме 10,5 %, а до кінця століття – майже 16 % [6].

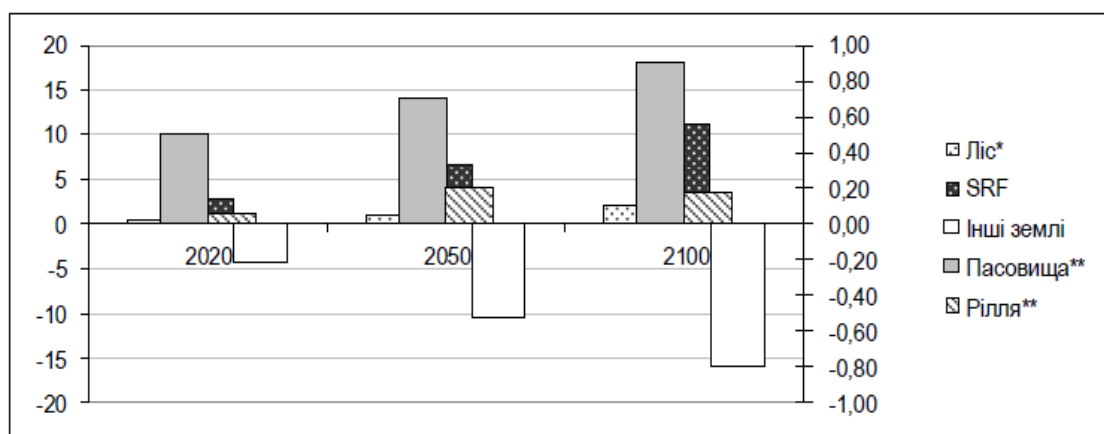


Рис. 7.110. Прогнози зміни площ землекористування в Україні за їх типами (% від базового 2010 р.) [6]

Примітка. SRF – площі під швидкорослими породами дерев

У просторовому розподілі найбільш ймовірно, що зміни структури землекористування охоплять північно-західний, західний та південні і південно-східні регіони. У перших прогнозується збільшення надмірного зволоження, а в останніх – тривалі посухи, опустелювання значної частини території [11, 28, 32]. У зв'язку з цим, можуть виникнути певні ризики регіональної диференціації сільськогосподарського навантаження на земельні ресурси в центральних та північно-східних регіонах України внаслідок збільшення площі орних земель.

Зміни у землекористуванні значною мірою будуть залежати від «відклику» ґрунтів на глобальне потепління за їх станом і властивостями. У табл. 7.42 наведено основні кліматично зумовлені екологічні ризики сільськогосподарського землекористування в регіонах України, пов'язані з можливим погіршенням стану ґрунтового покриву сільськогосподарських угідь, які визначено з урахуванням сценаріїв регіональних змін клімату, розроблених вченими Українського гідрометеорологічного інституту [11].

Таким чином, опрацювання проблематики оцінювання кліматичних ризиків сільськогосподарського землекористування є надзвичайно важливим комплексним завданням. Його вирішення має подвійну мету – по-перше, – пошук та обґрунтування шляхів збільшення продуктивності агрофітоценозів і зооценозів та уникнення і зменшення економічних збитків у відповідних агровиробничих галузях за сучасних та очікуваних змін клімату, по-друге – збереження та відтворення родючості ґрунтів за стійкого посиленого техногенного навантаження на них.

Таблиця 7.42. Екологічні ризики сільськогосподарського землекористування в Україні за прогнозованих змін клімату

Фізико-географічна зона і підзона	*Проекції зміни середньої річної температури повітря (°C) (відносно 1990-2010 рр.)			*Проекції зміни річної кількості опадів (мм) (відносно 1990-2010 рр.)			Метеорологічні чинники формування ризиків	Ризики погіршення якісного стану сільськогосподарських земель
	2011-2030 рр.	2031-2050 рр.	2081-2100 рр.	2011-2030 рр.	2031-2050 рр.	2081-2100 рр.		
Українське Полісся							Для зони: опади зливого характеру, підвищення температури повітря і ґрунту; збільшення повторюваності та інтенсивності посух	- посилення процесів підтоплення та затоплення земель; змивання, заболочування; - деградація піщаних ґрунтів на підвищених територіях з глибоким заляганням рівня ґрунтових вод .
Західне	+0,41	+1,24	+3,03	+9	+13	+21		
Центральне	+0,45	+1,36	+3,08	+7	+9	+15		
Східне	+0,45	+1,36	+3,08	+7	+9	+15		
Лісостеп							Для зони: опади зливого характеру; збільшення повторюваності посух і суховіїв; підвищення температури повітря і ґрунту, її різкі добові та сезонні коливання	- активізація процесів лінійного розмиву та яроутворення; - вітрова ерозія ґрунтів; - руйнування ґрунтових агрегатів, дисбаланс поживних речовин у ґрунті; перебудова ґрунтової мікрофлори і ін
Західний	+0,41	+1,24	+3,03	+9	+13	+21		
Центральний	+0,44	+1,39	+3,14	+5	+5	+7		
Східний	+0,50	+1,48	+3,29	+12	+9	+9		
Степ							Для зони: підвищення температури повітря і ґрунту; збільшення повторюваності посух, суховіїв, пилових бур	опустелювання (ерозія та засолення), дефляція, інсоляційне вивітрювання, непродуктивні втрати вологи; змивання, карстоутворення підтоплення низинних земель на узбережжях морів
Північний	+0,43	+1,41	+3,23	+2	+3	+2		
Південний	+0,43	+1,41	+3,23	+2	+3	+2		

Кінець таблиці 7.42

Фізико-географічна зона і підзона	*Проекції зміни середньої річної температури повітря (°C) (відносно 1990-2010 рр.)			*Проекції зміни річної кількості опадів (мм) (відносно 1990-2010 рр.)			Метеорологічні чинники формування ризиків	Ризики погіршення якісного стану сільськогосподарських земель
	2011-2030.	2031-2050.	2081-2100.	2011-2030	2031-2050	2081-2100		
Українські Карпати	+0,41	+1,24	+3,03	+9	+9	+21	<i>Для гірських районів:</i> опадів зливового характеру; підвищення температури повітря	- водна ерозія;- зсуви,- селі; - втрата біотичного різноманіття
Кримські гори	+0,43	+1,41	+3,23	+2	+3	+2		

*Використано проекції змін кліматичних характеристик, визначені за ансамблем з 10 РКМ (європейський проект ENSEMBLES), сценарій A1B (УкрГМІ, 2013 р.)

На сьогодні питання, пов'язані з оцінюванням впливу змін клімату на об'єкти сільськогосподарського виробництва, вивчено досить детально. Акценти в дослідженнях робилися на визначенні залежності між вмістом в атмосфері CO₂, інтенсивністю фотосинтезу, продуктивністю посівів, якістю продукції і видовим складом культур; на змінах тривалості вегетаційного періоду і міжфазних періодів розвитку рослин та їх впливу на урожайність; змінах тривалості холодного періоду та їх впливу на яровизацію зернових, на початок весняно-польових робіт тощо; на особливостях динаміки умов вологозабезпеченості посівів та їх впливу на структуру посівних площ і системи землеробства; впливу потепління клімату на фітосанітарний стан посівів, поширення хвороб і шкідників; на регіональній загальній та спеціалізованій оцінці агрокліматичних ресурсів різних територій тощо. Результати таких досліджень є основою розробки агрокліматичних стратегій адаптації землеробства до змін і коливань клімату, створення нових сортів і гібридів сільськогосподарських культур, впровадження нових технологій у рослинництві, а також вдосконалення структури сільськогосподарського землекористування.

Водночас залишаються не повністю з'ясованими питання щодо впливу глобального потепління на родючість ґрунтів і процеси деградації ґрунтового покриву, зокрема за кількісними критеріями та показниками.

Згідно з викладеною методологією здійснення моніторингу екологічних ризиків використання земельних ресурсів, застосування комплексного підходу до ідентифікації кліматичних ризиків, оцінки та прогнозування ступеня їх небезпеки, а також економічної оцінки

зумовлених ними втрат дозволить усунути існуючі недоліки сучасного господарювання, вирішувати проблеми системно, що сприятиме розвитку екологічно збалансованого землеробства в Україні.

8. ПРОГНОЗ ЗМІН ВОДНИХ РЕСУРСІВ УКРАЇНИ XXI СТОРІЧЧЯ ЗА СЦЕНАРІЯМИ ЗМІН КЛІМАТУ (RCP8.5, RCP4.5) ТА ОЦІНКА РИЗИКІВ ДЛЯ ВОДНОГО ГОСПОДАРСТВА

8.1. 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 і 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. [2], Гребіня В.В. [10], Хільчевського В.К. [38], Струтинської В.М. [35], Шакірзанової Ж.Р. [40], Овчарук В.А. [9]. 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 обсягів гідрологічної, метеорологічної інформації, детальної інформації про структуру землекористування у басейнах річок [12, 26, 32, 41, 45]. Крім того, використання такого роду чисельних моделей потребує сучасних потужних комп'ютерів. Для території України, у межах якої гідрометеорологічна мережа досить не густа для забезпечення чисельних моделей детальними даними, перспективним варіантом є використання водно-балансових гідрологічних моделей, серед яких в Україні найбільш часто використовується модель “клімат-стік”, розроблена в ОДЕКУ Є.Д. Гопченком і Н.С. Лободою [5, 6, 8], та водно-балансова модель Казмарека (Kaszmarek), модифікована С.І. Сніжком для умов України [13, 31]. Особливістю моделі Казмарека є використання для розрахунків випаровування моделі Л.Тюрка (1958).

Перші оцінки змін водних ресурсів України в умовах глобального потепління виконувались за прогнозними даними, розробленими по моделях ВМО для Південної та Східної Європи [7, 47]. Наприкінці минулого сторіччя були розроблені більш детальні кліматичні сценарії, в яких містилися матеріали про можливі зміни атмосферних опадів і температур повітря: GISS – модель Інституту Годдарда з космічних досліджень, де чутливість до подвоєння двоокису вуглецю CO₂ становила 4,2 °C, рік розрахунків – 1982; GFDL – модель Лабораторії геофізичної гідродинаміки США, у якій чутливість до подвоєння CO₂ становила 4 °C,

рік розрахунків – 1989; CCCM – модель Канадського кліматичного центру, чутливість до подвоєння CO₂ - 3,5 °C, рік розрахунків – 1989; UKMO – модель Метеорологічного бюро Об'єднаного Королівства, чутливість до подвоєння CO₂ - 3,5°C, рік розрахунків – 1989. Ці сценарії були адаптовані до різних географічних зон України [36]. На їх основі виконувались оцінки змін водних ресурсів великих водозбірних басейнів (Дніпра, Південного Бугу, Дністра та Дунаю) з метою передбачення у майбутньому екологічного стану Північно-Західної частини Чорного моря [14, 25].

У 2000 р. Міжурядовою групою експертів зі змін клімату опублікована «Спеціальна доповідь по сценаріях викидів» (СДСВ) [42], в якій кліматичні сценарії представлені як результат різних варіантів розвитку та взаємодії демографічних, економічних і науково-технічних факторів, які зумовлюють різні об'єми викидів парникових газів. В цих сценаріях розглядались чотири сюжетні лінії (A1, A2, B1 і B2) [43].

Дослідження, виконані для різних частин Європи, дозволили встановити, що найкраща відповідність фактичних і сценарних метеорологічних даних за ретроспективний період (1953-1989 рр.) на території Північно-Західного Причорномор'я має місце для сценарію M10 з гілки сценаріїв A1B [41]. Саме за цим сценарієм надавався прогноз стану водних ресурсів Куяльницького [3] й Тилігульського [1, 4] лиманів на XXI сторіччя. Результати досліджень по Тилігульському лиману увійшли складовою міжнародного дослідницького проекту 7-ї 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.) [41]. Для визначення водних ресурсів Тилігульського лиману в майбутньому при виконанні цієї роботи використовувалась екогідрологічна модель SWIM [45], розроблена у Потсдамському інституті досліджень впливу клімату (PIK). Недоліком моделі SWIM в умовах України стала вимога до значної густоти розташування кліматичних станцій: не менше однієї станції на 100 км². Невиконання цієї вимоги призводило до труднощів у процесі калібрування та валідації моделі. Співставлення результатів моделювання стоку за моделлю SWIM і стохастичною моделлю «клімат-стік», розробленою в ОДЕКУ [23, 24], показало, що остання дозволяє отримати кращі результати, оскільки розроблена саме для територій з недостатністю та відсутністю гідрологічних спостережень. На базі рівняння водного балансу в модифікації, запропонованій польським гідрологом Kaszmarek (1993), проф. Сніжко С.І (Київський національний університет імені Тараса Шевченка) за сценарієм A1B (модель REMO) оцінив водні ресурси України [31], які узгоджуються із даними, отриманими за моделлю «клімат-стік».

Коли з'явилась можливість використання відкритих електронних ресурсів зарубіжжя, де можна знайти необхідні для моделювання дані про

підстильну поверхню, почали розробляти нові методичні підходи до застосування сучасних чисельних моделей для України [12, 26, 32].

У 2013 р. Міжнародна група експертів зі змін клімату опублікувала П'яту «Спеціальну доповідь по сценаріях викидів» (СДСВ) [44], 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 [44]. Результати розрахунків за вказаними траєкторіями опубліковані науковцями ОДЕКУ в роботах [16-19].

8.2. 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) [28, 37]. У вузькому значенні водними ресурсами є запаси поверхневих і підземних вод, придатних для використання. У зв'язку із тим, що всі ці води в процесі кругообігу зв'язані із водами річок, при розгляді водних ресурсів найчастіше розуміють лише величину середнього багаторічного річного стоку річок досліджуваних територій [39]. Теоретично водні ресурси відносяться до числа відновлюваних природних ресурсів, проте, з огляду на зростаючий вплив господарської діяльності людини, яка призводить до незворотного відбирання запасів поверхневих і підземних вод, а також до їх забруднення, поняття відновлюваних водних ресурсів стає умовним.

Стан водних ресурсів України в умовах кліматичних змін оцінювався за моделлю «клімат-стік», розробленою в ОДЕКУ. Модель складається з двох основних частин. Перша частина моделі включає до себе розрахунки характеристик річного природного (непорушеного водогосподарською діяльністю) стоку за метеорологічними даними. Ця складова моделі базується на рівнянні водно-теплогового балансу в модифікації В.С. Мезенцева [27], реалізація якого для території України виконана проф. Є.Д. Гопченком і проф. Н.С. Лободою [5, 6, 15].

На вході в модель використовуються дані про місячні та річні опади,

температури і дефіцит вологості повітря. Друга частина моделі спирається на результати стохастичного моделювання побутового (перетвореного водогосподарською діяльністю) стоку [22]. Структура моделі дозволяє виконувати розрахунки кліматичного (зонального природного) стоку на основі метеорологічних даних [14, 47], що відкрило можливості для надання та подальшого уточнення прогнозу змін водних ресурсів України в міру розвитку кліматичних моделей [29, 33, 34].

Стік, визначений за рівнянням водно-теплогового балансу, відображає взаємодію ресурсів зволоження (X) та тепла (E_m) і може визначатись за даними сценаріїв зміни клімату [47]:

$$Y'_K = X' + (w_1 - w_2)' - E'_m \left[1 + \left(\frac{X' + (w_1 - w_2)'}{E'_m} \right)^{-n} \right]^{\frac{1}{n}}, \quad (8.1)$$

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 вважається, що $(w_1 - w_2)' = 0$.

У моделі використовується поняття “максимально можливого випаровування” E_m , яке визначається через граничні ресурси енергії («теплоенергетичні ресурси клімату»), що забезпечують процес випаровування у заданих кліматичних умовах. «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 . Останні визначаються через прибуткові складові рівняння теплового балансу земної поверхні [30]

$$E_m = \frac{R^+ + P^+ + (B_1 - B_2)}{L}, \quad (8.2)$$

де R^+ – позитивна (прибуткова) частина радіаційного балансу; P^+ – позитивна (прибуткова) складова турбулентного теплообміну або тепло, яке надходить 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.

Оскільки максимально можливе випаровування виражається через теплоенергетичні ресурси клімату, то величина E_m отримала назву «теплоенергетичного еквівалента». Така інтерпретація поняття «максимального можливого випаровування» надає йому однозначності на відміну від інших методів, в яких максимально можливе випаровування розглядалось 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 річних значень E_m розроблені залежності від температур повітря, які є непрямим показником надходження сонячної радіації до підстильної поверхні. Для території України розроблені регіональні регресійні рівняння вигляду:

$$\bar{E}_m = 0,224 \sum T_{>10} + 226, r = 0,91; \quad (8.3)$$

$$\bar{E}_m = 0,209 \sum T_{>0} + 179, r = 0,87; \quad (8.4)$$

$$\bar{E}_m = 13,3 \sum_V^{IX} \bar{T}_M - 307, r = 0,94, \quad (8.5)$$

$$\bar{E}_m = 6,98 \sum_{IV}^{XI} \bar{T}_M + 128, r = 0,91, \quad (8.6)$$

$$\bar{E}_m = 13,3 \sum_V^{IX} \bar{T}_M - 307, r = 0,94, \quad (8.7)$$

де $\sum T_{>10}$ – сума добових температур повітря більша за 10°C ; $\sum T_{>0}$ – сума добових температур повітря більша за 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 (8.7), оскільки воно описує залежність максимально можливого випаровування від температури із високим коефіцієнтом кореляції. В цьому рівнянні

використовуються дані про середні місячні, а не добові температури повітря (на відміну від рівнянь 8.3, 8.4).

Річний стік, визначений за метеорологічними даними, дістав назву «кліматичного». При розрахунках річного стоку за багаторічний період розрахункове рівняння (8.1) набуває вигляду

$$\bar{Y}_K' = \bar{X}' - \bar{E}_m' \left[1 + \left(\frac{\bar{X}'}{\bar{E}_m'} \right)^{-n} \right]^{\frac{1}{n}}, \quad (8.8)$$

де $\bar{Y}_K'$ - середня багаторічна величина кліматичного річного стоку в умовах змін клімату, мм; $\bar{E}_m'$ - середня багаторічна величина максимально можливого випаровування в умовах змін клімату, мм; $\bar{X}'$ - середня багаторічна величина річних опадів в умовах змін клімату, мм.

Значення параметра n при розрахунках річного стоку рекомендується брати рівним 3.

Установлено, що середня багаторічна величина річного кліматичного стоку дорівнює зональному річному стоку у природних (непорушених водогосподарською діяльністю) умовах його формування [6]. Значення $\bar{Y}_K'$ стоку відносяться до метеорологічних станцій або до вузлів сітки даних кліматичних сценаріїв. Для визначення стоку з водозбору використовується карта ізоліній розрахованих величин.

Модель “клімат-стік” містить в собі розроблені науковцями ОДЕКУ методики визначення коефіцієнта багаторічної мінливості (варіації) C_V річного стоку (в залежності від значення середньої багаторічної величини стоку) і коефіцієнта асиметрії. Для визначення коефіцієнта асиметрії рекомендовано застосовувати районування територією України співвідношення C_S / C_V [15]. Через статистичні параметри річного стоку за обраним законом розподілу випадкової величини встановлюються значення річного стоку в роки різної водності [46].

Модель була калібрована і верифікована на матеріалах про стік минулих років річок для різних географічних зон України, є чутливою до сучасних змін кліматичних чинників і дозволяє із задовільною точністю оцінювати зональний стік і вплив підстильної поверхні, включаючи водогосподарські перетворення [15]. 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 $\pm 10\%$.

Кarti ізоліній норм річного кліматичного стоку будуються за даними метеорологічних станцій і відносяться у просторі не до геометричного центра водозборів, а до точок, які відповідають

географічним координатам відповідних станцій. Матеріалами, необхідними для визначення кліматичної норми річного стоку, є складові радіаційного та теплового балансів підстильної поверхні за багаторічний період, а також середні багаторічні дані по опадах і температурах повітря за календарні місяці й роки.

За даними минулих років (до 1989 р.) були побудовані карти ізолій норм річних опадів, максимально можливого випаровування та кліматичного річного стоку для рівнинних територій на топографічній основі 1:500000, а також розроблені регіональні залежності цих характеристик від висоти місцевості (Українські Карпати та Гірський Крим). Для оцінки впливу підстильної поверхні на стік річок для водозборів із нестійким підземним живленням розроблені спеціальні методики для переходу від середніх багаторічних величин кліматичного стоку до природного [5, 15].

Співвідношення показників ресурсів тепла $\overline{E_m}$ та вологи $\overline{X}$, які входять до рівняння водно-теплового балансу, використано нами як характеристика зволоженості (посушливості) клімату:

$$\beta_X = \frac{\overline{X}}{\overline{E_m}}, \quad (8.9)$$

де $\overline{X}$ – середнє багаторічне значення суми опадів, мм; $\overline{E_m}$ – середнє багаторічне значення максимально можливого випаровування, мм.

Розглянуте співвідношення β_X [21] відповідає індексу аридності території [27, 11], згідно з яким виділені такі градації

$$\beta_X \geq 1,0 \text{ – зона надлишкового зволоження,} \quad (8.10)$$

$$0,8 < \beta_X < 1,0 \text{ – зона достатнього зволоження,} \quad (8.11)$$

$$0,5 \leq \beta_X < 0,8 \text{ – зона недостатнього зволоження,} \quad (8.12)$$

$$0,20 \leq \beta_X < 0,5 \text{ – напіваридна зона,} \quad (8.13)$$

$$0,03 \leq \beta_X < 0,2 \text{ – аридна зона,} \quad (8.14)$$

$$\beta_X < 0,03 \text{ – гіпераридна зона,} \quad (8.15)$$

Значення $\beta_X=0,5$ розглядається як межа між зоною недостатнього зволоження та напіваридною зоною. Зона недостатнього зволоження відповідає зоні степу, верхня межа якої відповідає нормі річного

зонального стоку $\bar{Y}_K=30\text{мм}$. Під час прогнозування стоку за сценаріями змін клімату показник β_X використовувався для ймовірнісної оцінки водності річок в залежності від співвідношення ресурсів тепла та вологи, передбачуваного сценарієм.

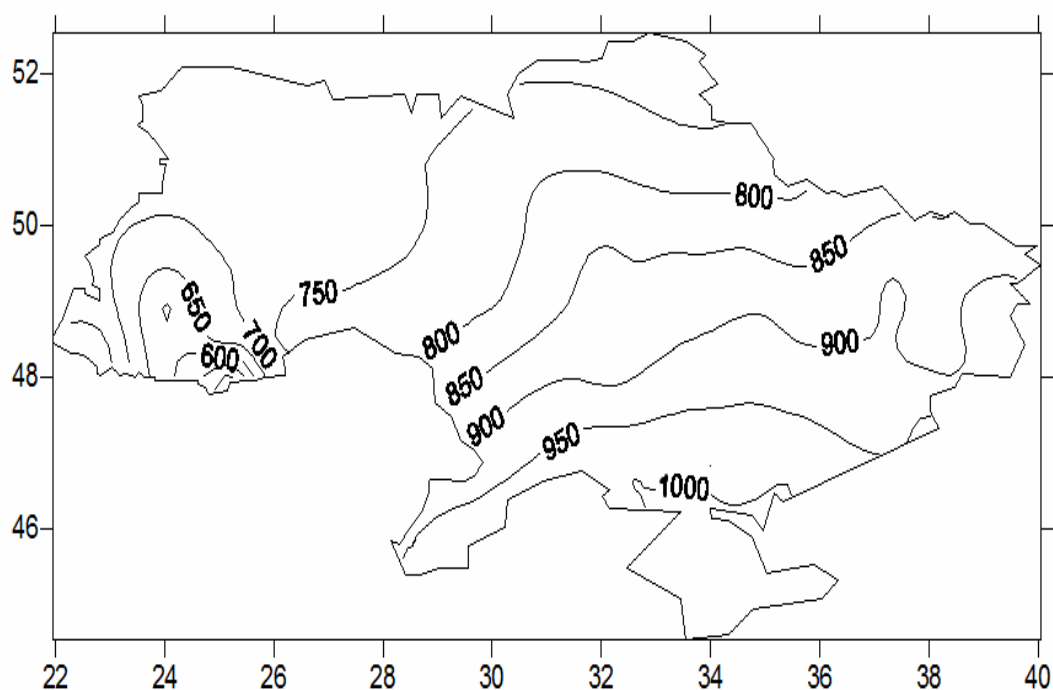
У роботі використані дані сценаріїв концентрацій парникових газів сімейства RCP (Representative Concentration Pathways – «характерні траєкторії змін концентрації»), а саме RCP4.5 та RCP8.5. Ці сценарії задають середній вміст парникових газів в атмосфері Землі в залежності від передбачуваної динаміки викидів парникових газів та інших чинників, на відміну від раніше досліджуваних сценаріїв, які базувались на вмісті емісій парникових газів та соціально-економічних показників (сценарні родини A1, A2, B1, B2). Найбільш екстремальним визнано 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. близькими до $4,5 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-2}$ [44].

Прогнози виконані для розрахункового періоду 2020-2050 рр. з використанням даних про середні місячні опади і температури повітря за сценаріями зміни глобального клімату RCP8.5 та RCP4.5 по 85 вузлах координатної сітки, які відповідають розташуванню станцій метеорологічних спостережень і є рівномірно розподіленими по території України. Для оцінки змін характеристик клімату і стоку виконувалось їх порівняння із відповідними характеристиками, визначеними за даними до 1989 р. [10]. Цей рік розглядається як «переламний» у хронологічному ході температур повітря над територією України. Установлено, що саме після 1989 р. наслідки впливу змін клімату на водні ресурси набули статистичної значущості [10, 34].

8.3. 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). Середні багаторічні величини річних сум опадів мають зменшуватися від нуля на заході до 30% на сході та південному сході. Ресурси тепла, представлені через максимально можливе випаровування, змінюватимуться незначно у порівнянні із 1989р. [13]. Ця особливість відрізняє результати моделювання стоку за сценарієм RCP4.5 від отриманих сценарієм A1B [22], згідно з яким максимально можливе випаровування має суттєво зростати (рис. 8.1).

град. півн.ш.



град. сх.. д

Рис. 8.1. Просторовий розподіл норм максимально можливого випаровування (мм), визначеного за даними 2021-2050 рр., сценарій RCP4.5

Аналізуючи зміни у просторовому розподілі ізоліній співвідношення ресурсів тепла і вологи β_X у часі (рис.8.2), можна зробити висновок, що через зменшення опадів на півдні та південному сході України верхня межа напіваридної зони (ізолінія $\beta_X=0,5$) буде «підніматись» до півночі і відбудеться її розширення у просторі. Зона недостатнього зволоження $0,5 \leq \beta_X < 0,8$ буде «просуватись» на північний захід. Зони достатнього та надлишкового зволоження ($\beta_X \geq 1,0$), розташовані на заході (Українські Карпати), дещо «стиснуться» внаслідок зростання опадів (рис. 8.3).

У минулому сторіччі (до початку значущого впливу глобального потепління) на рівнинній частині України норми кліматичного річного стоку змінювались від 100 мм на півночі до 20 мм на півдні (рис. 8.4). 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. 8.5).

град. півн.ш.

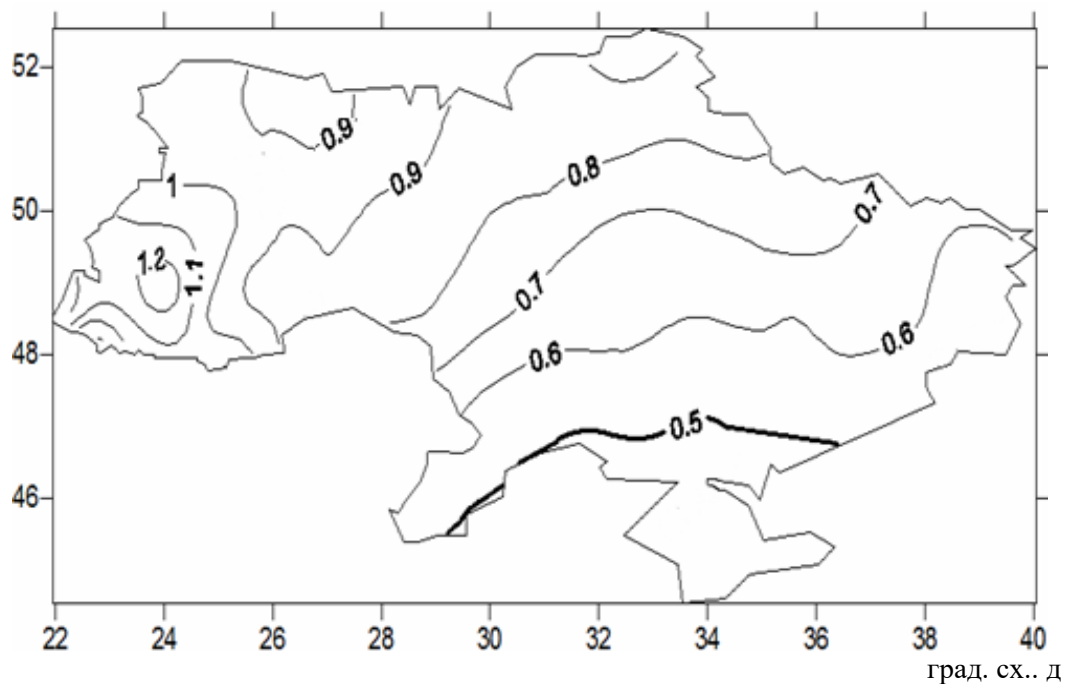


Рис. 8.2. Просторовий розподіл показника зволоженості β_X , визначеного за даними до 1989 року (до початку значущого впливу глобального потепління)

град. півн.ш.

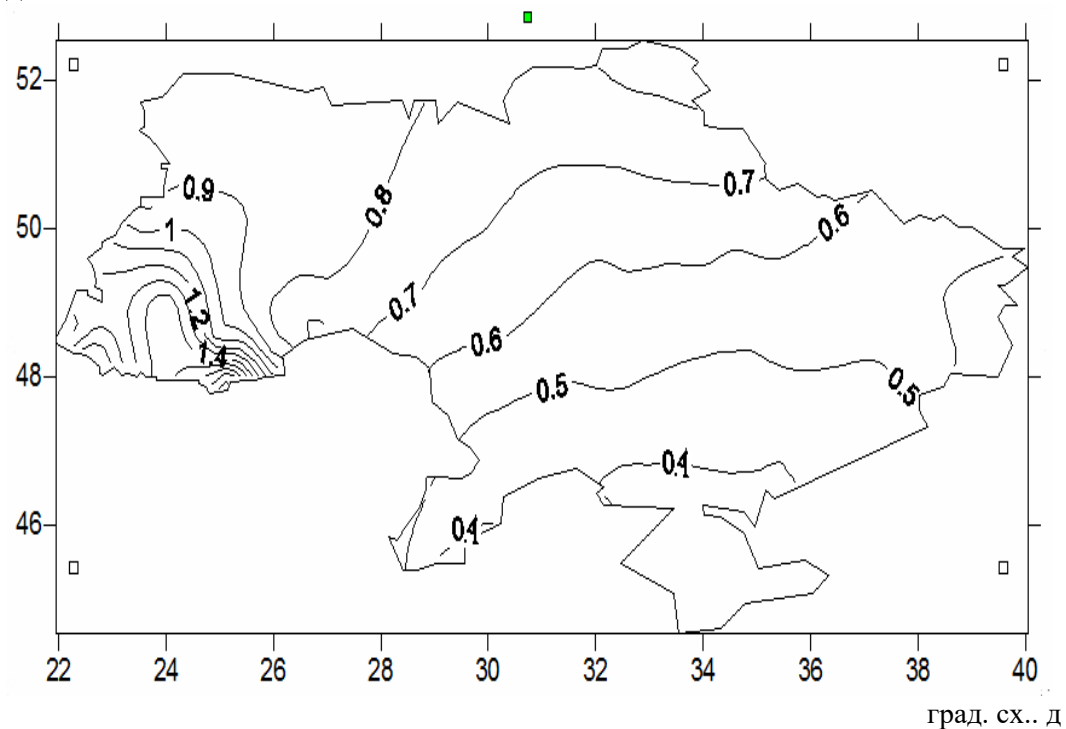


Рис. 8.3. Просторовий розподіл показника зволоженості β_X , визначеного за даними 2021-2050 рр., сценарій RCP4.5

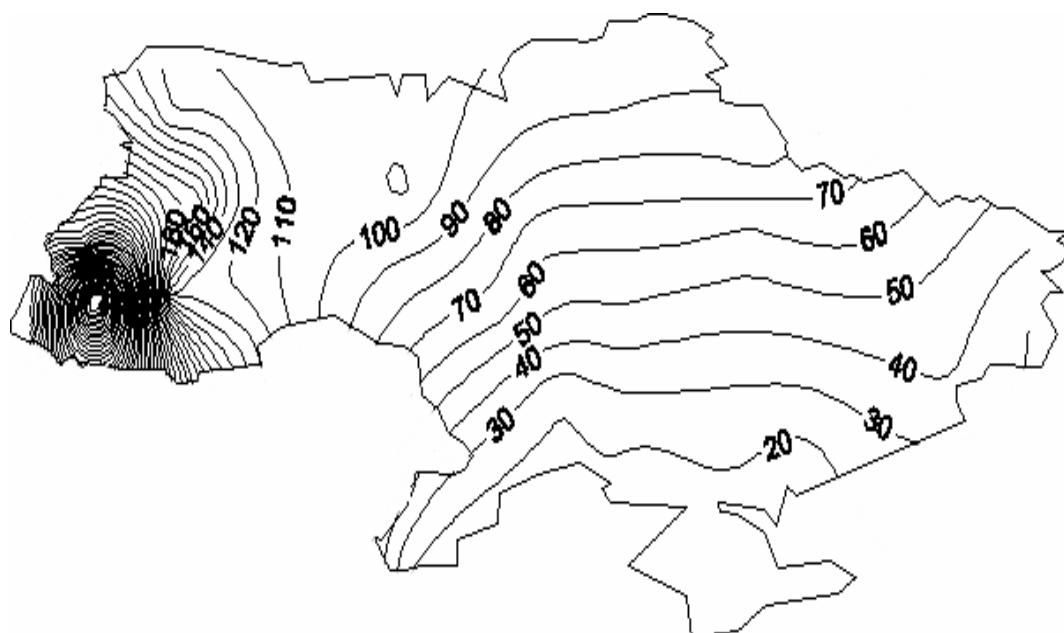


Рис. 8.4. Просторовий розподіл норм річного кліматичного стоку (мм), визначених за даними до 1989 р.

град. півн. ш.

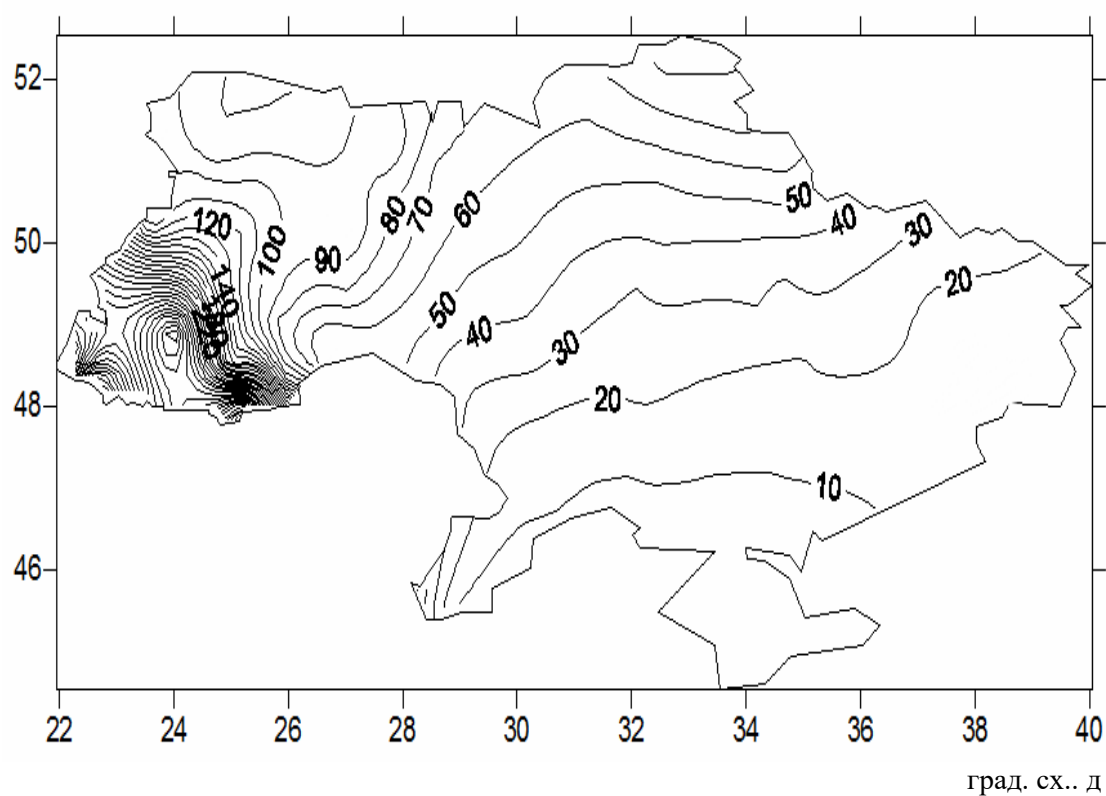


Рис. 8.5. Просторовий розподіл норм річного кліматичного стоку (мм), визначеного за даними 2021-2050 рр., сценарій RCP4.5

Більш повну уяву про зміни водних ресурсів України у просторі надає розподіл ізоліній відносних відхилень δ середніх багаторічних величин річного стоку минулого сторіччя від прогнозованих для періоду 2021-2050 рр.

$$\delta = \frac{\overline{Y_K}' - \overline{Y_K}}{\overline{Y_K}}, \quad (8.16)$$

де $\overline{Y_K}'$ – середня багаторічна величина річного кліматичного стоку, розрахована за метеорологічними даними сценарію, мм; $\overline{Y_K}$ – середня багаторічна величина річного кліматичного стоку, розрахована за метеорологічними даними до 1989 р. (початку значущого впливу глобального потепління).

Установлено, що зменшення водних ресурсів за період 2021-2050 рр. буде спостерігатись майже по всій території України (рис. 8.6) і на півдні та південному сході досягне – 60%, у Північно-Західному Причорномор'ї – 50 % [17]. Зростання водних ресурсів буде спостерігатись лише в Карпатах [19].

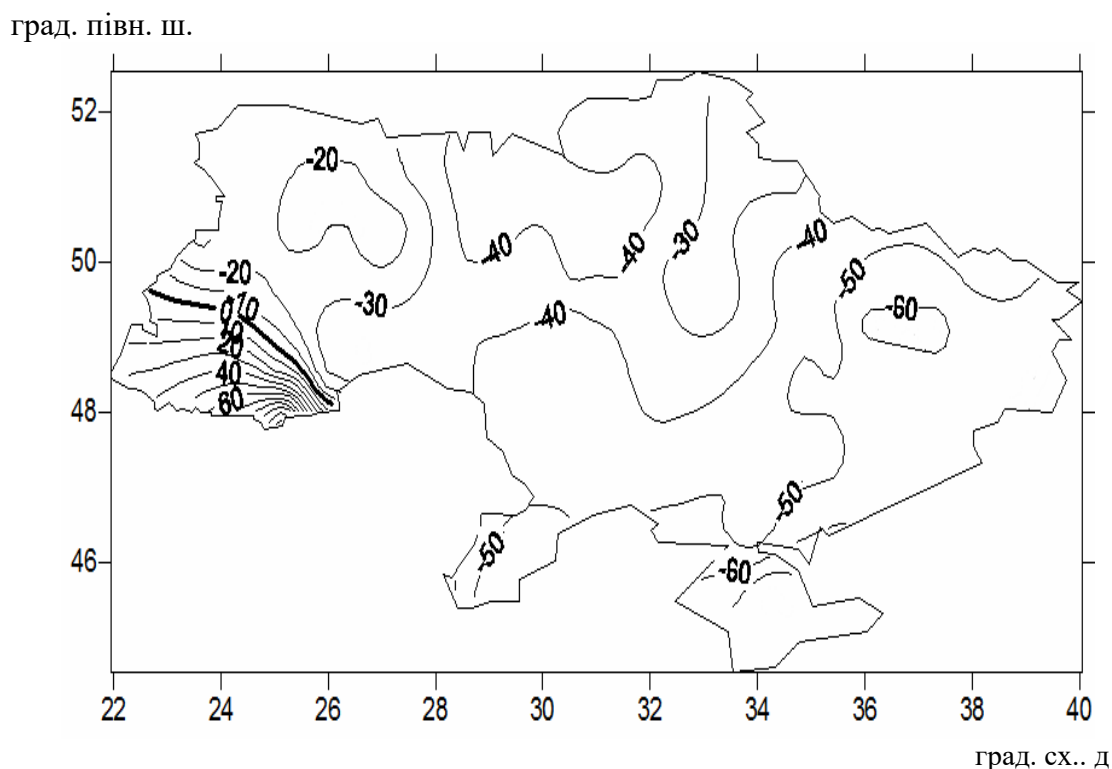


Рис. 8.6. Просторовий розподіл відносних відхилень (%) норм річного кліматичного стоку за період 2021-2050 рр. (сценарій RCP4.5) у порівнянні із базовими даними (до 1989 р.)

Що стосується 75-відсоткової забезпеченості (ймовірності перевищення) маловодних років (рис.8.7), то зменшення річного кліматичного стоку на півдні та південному сході може досягати 90 %, що вказує на можливість зневоднення територій. На північному заході тенденції зменшення водних ресурсів уповільнюються. У Карпатах через зростання опадів і зменшення максимально можливого випаровування можливе збільшення водних ресурсів до 60%.

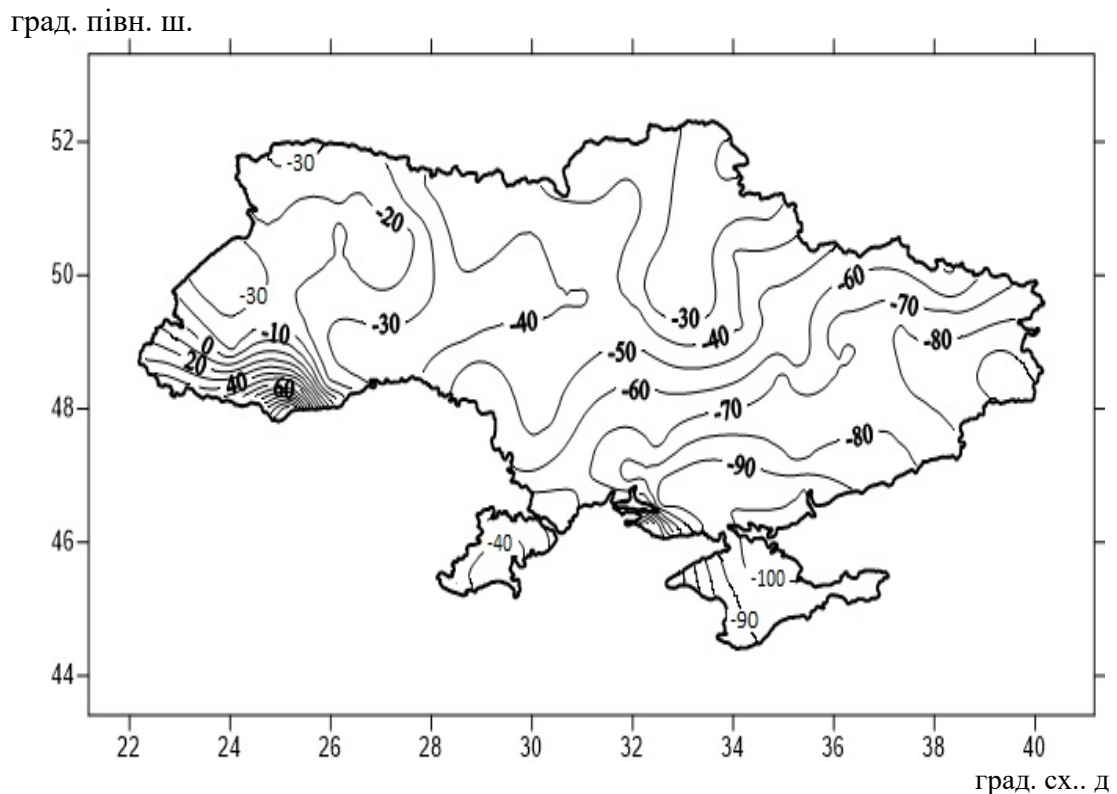


Рис. 8.7. Просторовий розподіл відносних відхилень (%) річного кліматичного стоку за період 2021-2050 рр. забезпеченістю 75% (сценарій RCP4.5) у порівнянні із базовими даними (до 1989 р.)

8.4. ОЦІНКА ВОДНИХ РЕСУРСІВ УКРАЇНИ ХХІ СТОРІЧЧЯ ЗА СЦЕНАРІЄМ ЗМІН КЛІМАТУ (RCP8.5)

Прогноз за сценарієм RCP8.5 показав, що по території України ресурси зволоження мають зменшуватись майже так само, як і у сценарії RCP4.5, а ресурси тепла дещо зростатимуть. Зростання посушливості клімату на більшості розглядуваної території буде проявлятися у переміщенні ізоліній $\beta_X=0,5$ та $\beta_X=0,8$ до півночі й північного заходу (рис. 8.8).

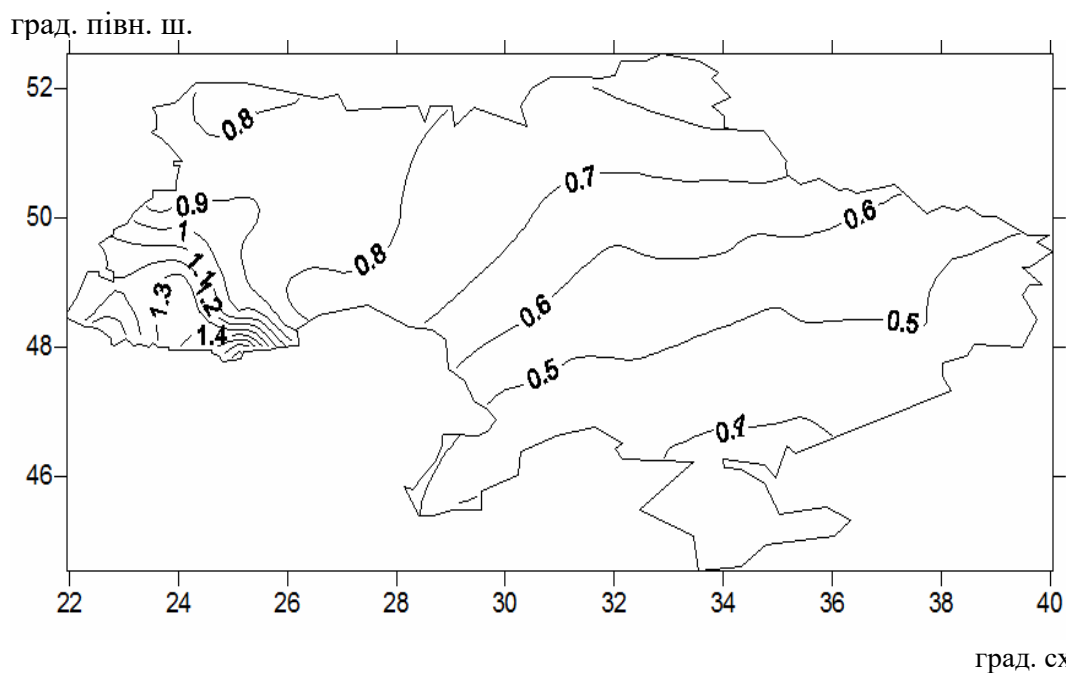


Рис. 8.8. Просторовий розподіл показника зволоженості β_X , визначеного за даними 2021-2050 рр., сценарій RCP8.5

Зменшення водних ресурсів відбуватиметься по всій рівнинній Україні. Посилення наслідків змін клімату у порівнянні із сценарієм RCP4.5 відбудеться на північному заході (зміна водних ресурсів зросте з 20% до 30% у бік їх зменшення) і на південному сході, де область зменшення водних ресурсів на 60% займе більший простір (рис.8.9).

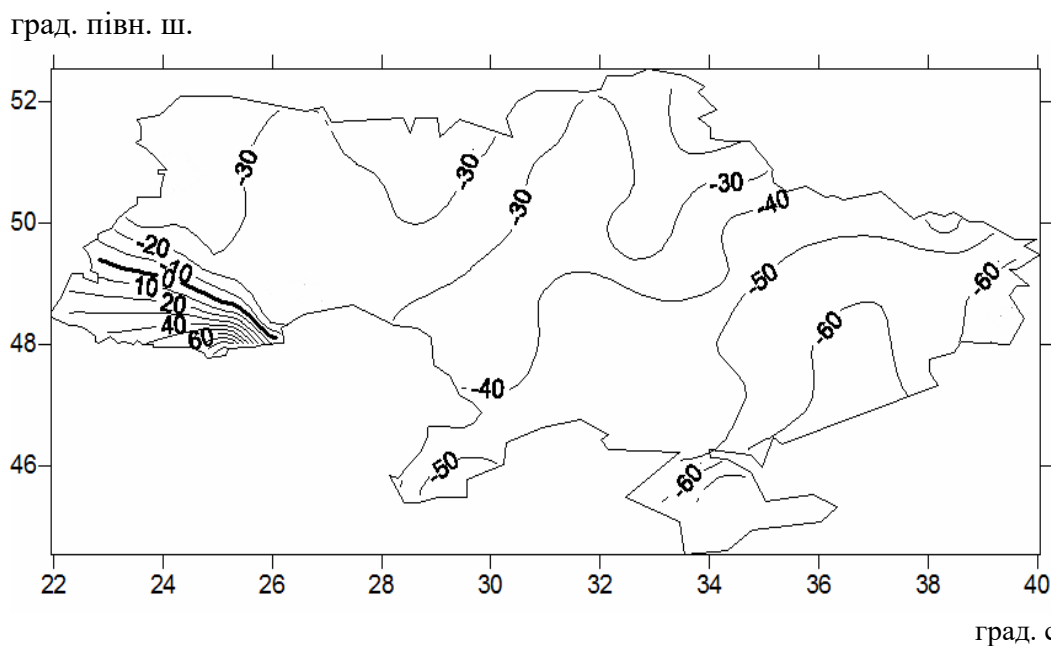


Рис. 8.9. Просторовий розподіл відносних відхилень (%) норм річного кліматичного стоку за період 2021-2050 рр. (сценарій RCP8.5) у порівнянні із базовими даними (до 1989 р.)

Так само розшириться область зневоднення на півдні у маловодні роки (рис.8.10).

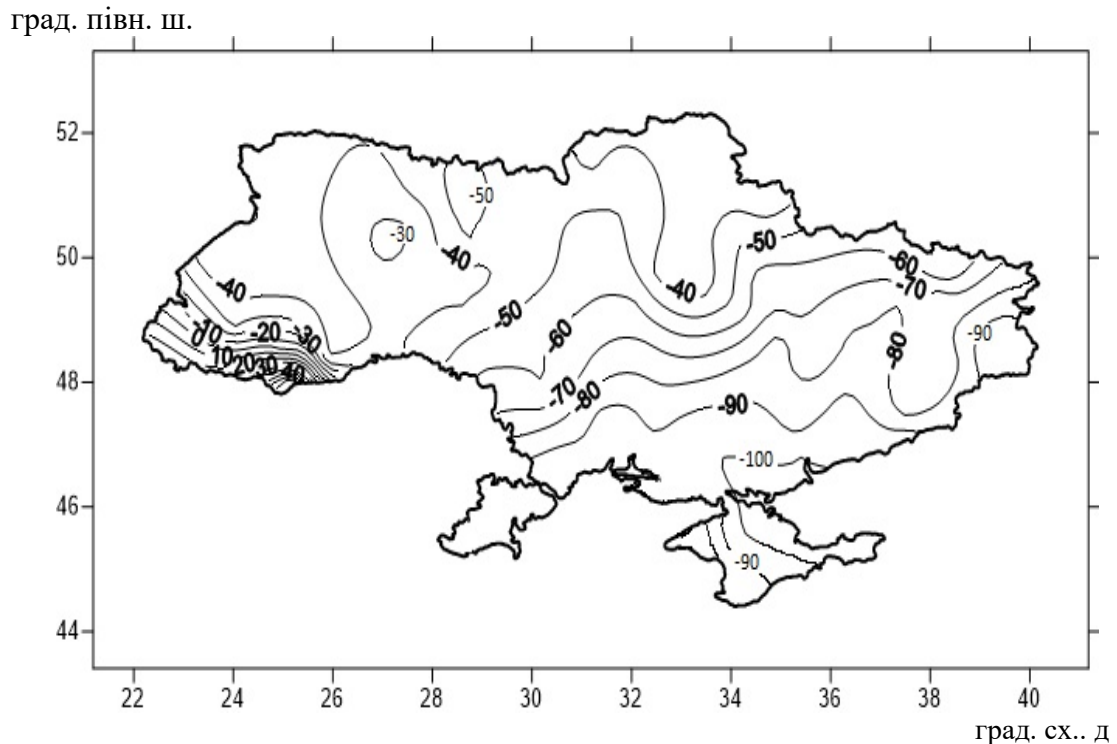


Рис. 8.10. Просторовий розподіл відносних відхилень (%) річного кліматичного стоку за період 2021-2050рр. забезпеченістю 75 % (сценарій RCP8.5) при порівнянні із базовими даними (до 1989 р.).

8.5. ОЦІНКА КЛІМАТИЧНИХ РИЗИКІВ У ВОДНОМУ ГОСПОДАРСТВІ

Зміна водних ресурсів країни в результаті глобального потепління спричинює підвищений ризик при використанні навколишнього природного середовища. Водні ресурси України складаються з місцевого стоку, який формується в річковій мережі на території України, та стоку, що надходить із зон формування великих річок (Дніпро, Дунай), розташованих поза межами України. Оцінка можливих змін стоку річок, які перетинають декілька країн, наведена у публікаціях [25, 20]. У роботі йдеться про зміни водних ресурсів безпосередньо на території України. Установлена за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 тенденція зменшення водних ресурсів на всій території рівнинної України узгоджується із результатами, отриманими для інших кліматичних сценаріїв (A1B, A1, A2, B2) і визначає стратегію адаптації України до наслідків глобального потепління.

Кліматичний ризик розглядається як добуток ймовірності появи небезпечного явища на вразливість об'єкта

$$R_{кл.р} = p(H.Я.) \cdot V, \quad (8.17)$$

де $R_{кл.р}$ – кількісний показник кліматичного ризику; $p(H.Я.)$ – ймовірність появи небезпечного явища; V – вразливість об'єкта.

У свою чергу, вразливість визначається як добуток відсотка пошкоджень, пов'язаних із настанням небезпечного явища, на втрати від цих пошкоджень

$$V = \Pi \cdot N, \quad (8.18)$$

де Π – відсоток 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 показники позначені як Π – відсоток можливих пошкоджень. Збиток через значущі зміни, руйнування та безповоротне руйнування водних ресурсів визначається як

$$N = N_j F, \quad (8.19)$$

де N_j – грошовий вираз для збитків, які припадають на 1 км² площі водозбору або на 1 км довжини річки; F – площа водозбору або довжина річки.

Під збитками від зменшення водних ресурсів слід розуміти витрати на відновлення водних ресурсів (розчищення русел річок, створення сховищ для збереження води, перекид стоку, будівництво очисних споруд та інше).

Особливість моделі “клімат - стік” полягає у тому, що розрахунки середнього багаторічного значення річного кліматичного стоку для кожного вузла сітки (метеостанції), дозволяють визначити зональний (кліматичний) річний стік за метеорологічними даними ретроспективного періоду та кліматичних сценаріїв і установити його зміни у просторі як для конкретних років, так і для багаторічного періоду. Виявлені зміни характеризують зміни водних ресурсів.

Ймовірність настання таких небезпечних явищ як суттєве зменшення, *руйнування* та *безповоротне руйнування* водних ресурсів визначалась як відношення кількості випадків, коли розглядуване небезпечне явище спостерігалось, до загальної кількості випадків.

Для обох розглянутих сценаріїв RCP4.5 та RCP8.5 ймовірність суттєвого зменшення місцевих водних ресурсів (від'ємні відхилення перевищують 10 %) становить 91 % (табл. 8.1, табл. 8.2). Майже по всій території України за винятком Українських Карпат, зміни водних ресурсів мають тенденцією до зменшення, яке посилюється при переході з північного заходу на південний схід.

Таблиця 8.1. Оцінка кліматичного ризику зменшення водних ресурсів для періоду 2020-2050 рр. за сценарієм RCP4.5

p	Пошкодження при зменшенні водних ресурсів, %	Збиток, грн/км ²	Вразливість	Коефіцієнт кліматичного ризику
0,91	-10	N_{10} ,	$10N_{10}$	$9,1N_{10}$
0,21	-50	N_{50}	$50N_{50}$	$10,5N_{50}$
0,04	-70	N_{70}	$70 N_{70}$	$2,8N_{70}$

Таблиця 8.2. 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
0,91	-10	N_{10} ,	$10N_{10}$	$9,1N_{10}$
0,24	-50	N_{50}	$50N_{50}$	$12,0N_{50}$
0,04	-70	N_{70}	$70 N_{70}$	$2,8N_{70}$

Ймовірність руйнування місцевих водних ресурсів, коли від'ємні зміни місцевих водних ресурсів перевищують 50 %, для сценарію RCP4.5 становить 21 %, а для сценарію RCP8.5 –24 %.

Зміни водних ресурсів, які б перевищували 70 %, мають малу ймовірність появи, яка дорівнює лише 4 % для обох сценаріїв. Вразливість території України від змін клімату та зменшення водних ресурсів за умови однакової питомої величини збитків N_i буде зростати з півночі й північного заходу до півдня і південного сходу.

Найбільший коефіцієнт кліматичного ризику спостерігатиметься на тих територіях України, де можливе зменшення водних ресурсів буде перевищувати 50 %. Такі території відповідають півдню і південному сходу.

Розгляд закономірностей змін річного стоку маловодних років дозволив визначити тенденції до пересихання річок і зневоднення територій. При визначенні кліматичних ризиків у маловодні роки оцінювалась ймовірність зменшення річного стоку на 100%, що відповідає умовам повного зневоднення територій (табл. 8.3, табл. 8.4).

Таблиця 8.3. Оцінка кліматичного ризику висихання річок (зменшення річного кліматичного стоку маловодних років на 100%) для періоду 2020-2050pp. за сценарієм RCP4.5

Забезпеченість водності року P , %	p	Пошкодження річного стоку маловодних років, %	Збиток, грн/км ²	Вразливість	Коефіцієнт кліматичного ризику
Маловодний рік $P=75\%$	0,13	-100	N_{100}	$100N_{100}$	$13,0N_{100}$
Дуже маловодний рік $P=95\%$	0,32	-100	N_{100}	$100N_{100}$	$32,0N_{100}$
Занадто маловодний рік $P=99,9\%$	0,43	-100	N_{100}	$100N_{100}$	$43,0N_{100}$

Таблиця 8.4. Оцінка кліматичного ризику висихання річок (зменшення річного кліматичного стоку маловодних років на 100%) для періоду 2020-2050pp. за сценарієм RCP8.5

Забезпеченість водності року	p	Пошкодження річного стоку маловодних років, %	Збиток, грн/км ²	Вразливість	Коефіцієнт кліматичного ризику
Маловодний рік $P=75\%$	0,55	-100	N_{100}	$100N_{100}$	$13,0N_{10}$
Дуже маловодний рік $P=95\%$	0,66	-100	N_{100}	$100N_{100}$	$32,0N_{100}$
Занадто маловодний рік $P=99,9\%$	0,82	-100	N_{100}	$100N_{100}$	$82,0 N_{100}$

Ймовірність такої небезпечної події зростає в міру переходу від маловодних років ($P=75\%$) до дуже маловодних ($P=95\%$). Разом із зменшенням водності зростає вразливість стоку річок до змін клімату і збільшується коефіцієнт кліматичного ризику. Сценарій RCP8.5 передбачає більш тяжкі наслідки для змін водних ресурсів України, ніж це можна очікувати за розвитком подій згідно із сценарієм RCP4.5.

Висновки

Оцінки середніх багаторічних кліматичних чинників і стоку за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 у період 2021-2050 рр. показали, що на відміну від результатів, отриманих нами раніше для сценаріїв A1B та A2, зменшення водних ресурсів України буде відбуватись 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 (до 2050 р.) південних областей країни за всіма розглянутими сценаріями (A1B, A2, B1,B2, RCP4.5 та RCP8.5) описується майже однаково: зменшення водних ресурсів буде перевищувати 50%.

У маловодні роки (75 % забезпеченості) на півдні та південному сході очікується зменшення водних ресурсів до 90 % за обома сценаріями (RCP4.5 та RCP8.5). Негативний вплив наслідків змін клімату зменшуватиметься у західному й північно-західному напрямках.

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 і 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 річок Тиса і Прут, оскільки саме вони найменше піддадуться 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 в південні та східні області України.

ПІСЛЯМОВА

Вперше для кліматичних умов України для оцінки впливу змін клімату на галузі економіки та оцінки кліматичних ризиків використовується новий набір сценаріїв, а саме Репрезентативні траєкторії концентрацій (Representative Concentration Pathways – RCP). Сценарії RCP визначаються приблизною сумарною величиною радіаційного впливу до 2100 року порівняно з 1750 р.: $4,5 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2}$ RCP4.5 та $8,5 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2}$ для RCP8.5. Сценарій RCP4.5 – сценарій стабілізації і RCP8.5 – сценарій з дуже високими рівнями викидів парникових газів.

Порівняно з вітчизняними дослідженнями вперше отримано такі результати.

1. 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 і по сезонах 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 і 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 і 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 підготовку 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 станцій України за періоди з 2011-2030 рр. та 2031-2050 рр за сценаріями RCP4.5 и RCP8.5. На основі отриманих результатів побудовані графіки мінімальних, максимальних і середніх місячних швидкостей приземного вітру за багаторічними значеннями, графіки ймовірностей швидкості й поривів приземного вітру і графіки рози вітрів для різних градацій швидкостей вітру за сценарієм RCP 4.5. Виконано порівняльний аналіз вітрових характеристик, отриманих за різними сценаріями: між сценаріями RCP4.5 і RCP8.5 за періоди з 2011-2030 рр. та 2031-2050 рр. і між аналогічними сценаріями A1B і A2 за тіж самі періоди.

4. Досліджено вплив мінливості клімату на характеристики тривалості опалювального періоду (ТОП) за період з 2011 по 2050 роки за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5. Згідно сценарних даних ТОП на території України до 2050 року зменшується в середньому на 6-8 діб. Найбільш схильною до змін в ТОП: за сценарієм RCP4.5 є західна Україна; за сценарієм RCP8.5 – північна Україна. Розподіл ТОП і суми градусо-діб опалювання ОП на більшості території України має рівномірний зональний розподіл і лише в деяких регіонах, зокрема в районі Подільської височини, має меридіональний характер. 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 вздовж 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 і швидкості вітру, визначених за період 2011–2050 рр. за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 для міст Одеса, Вознесенськ, Дніпропетровськ і 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, які погіршують стан дорожнього покриття, таких як ожеледь, снігова шуга, сніговий накат і ожеледиця є досить високою в м. Дніпропетровськ і 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 й червні. В м. Одеса і м. Харків спостерігатиметься 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 RCP4.5 і RCP8.5. Крім того, вивчався характер розподілу в часі кількості днів з середньою добовою температурою повітря вищою за 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 і 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 зі сценаріями у першій половині XXI ст. (до 2050 року) не слід очікувати подальшого зменшення сумарної радіації на території України. Це є характерним для значної частини її території, окрім південних регіонів, де, особливо у перехідні сезони, чітко проглядається протилежна тенденція: передбачається збільшення у надходженні сумарної радіації. Співставлення змін, які відбуваються у паралельних 40-річних (2011-2050 рр.) рядах сумарної радіації і хмарності, дозволяють стверджувати про досить тісний зв'язок між ними.

8. Надана характеристика показників радіаційних ресурсів вегетаційного періоду по ґрунтово-кліматичних зонах: Полісся, Лісостеп, Північний і Південний Степ. Отримано оцінки зміни агрокліматичних характеристик температурного режиму за базовий період та сценарний період за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5. Для оцінки були використані такі показники: дати стійкого переходу температури повітря через 0, 5, 10, 15 °C навесні та восени; тривалість періоду з температурами повітря вищими за 0, 5, 10, 15 °C; суми позитивних температур повітря за період з температурами вищими за 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 і відповідно вплив цих змін на фотосинтетичну продуктивність і формування урожаю озимого жита, ярого ячменю, кукурудзи, соняшнику, картоплі, цукрового буряку, гороху, сої. 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 RCP4.5 на 17-22 % і становитиме він 35 – 37 ц/га. За сценарієм RCP8.5 підвищення врожаю у першому варіанті очікується до 37 ц/га, тобто на 22 % вище від 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 RCP4.5 в обох варіантах до 43 та 45 ц/га, що вище від середнього багаторічного на 30 – 35 % відповідно. За сценарієм RCP8.5 підвищення врожаю в цій зоні очікується до 45 ц/га у першому варіанті та до 49 ц/га у другому, що буде на 33 та 39 % вище від середнього багаторічного відповідно. В Північному Степу очікуються найбільші прирости врожаїв: до 44 – 47 % більше від середнього багаторічного за першим сценарієм та до 54 – 58 % -за другим. В Південному Степу за сценарієм RCP4.5 урожаї збільшаться в обох варіантах відповідно на 10 і 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 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.

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 встановлення 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 спостерігатись на всій рівнинній території України: за

RCP4.5 зменшення водних ресурсів буде відбуватись 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 й 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).

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

До розділу 1

1. Бучинский И.Е. Засухи и суховеи / И.Е. Бучинский. Л.: Гидрометеиздат, 1976. 214 с.
2. Клімат України / За ред. В.М. Ліпінського, В.А. Дячука, В.М. Бабіченко. К.: Вид. Раєвського, 2003. 343 с.
3. 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.
4. 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.
5. Степаненко С.М. Динаміка та моделювання клімату: підручник / С.М. Степаненко. Одеса: Екологія, 2013. 204 с.
6. 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.
7. A Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change / N. Nakićenović [et al.] // Special Report on Emission Scenarios. – Cambridge University Press, 2000. 599 p.
8. 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.
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. 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.
11. 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.
12. HIRLAM-5 Scientific Documentation / P. Undén [et al.] // Technical report Swed. Meteorol. and Hydrol. Inst. Norrköping, Sweden, 2002.
13. IS-ENES climate4impact portal [Електронний ресурс] // Режим доступу: <http://climate4impact.eu>.

14. 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.
15. Physical processes (CY23R4) / P.W. White // Technical report European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF), 2001.
16. Vuuren, van D.P. The representative concentration pathways: an overview / D.P. van Vuuren, J.A. Edmonds, M. Kainuma, K. Riahi [et al.] // Climatic Change. 2011. Vol. 109, No. 1-2. P. 1-27.
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.

До розділу 2

1. Волкова М.А., Черedyкo 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.
2. Государственная служба статистики Украины. Статистический сборник "Регионы Украины". Часть 1-я. Киев, 2014. Ответственный за выпуск Н.С. Власенко
3. 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 ІІ туру Всеукраїнського конкурсу наукових студентських робіт з напрямку „Гідрометеорологія”, 21-23 березня 2016 р. С. 36–39.
4. Кліматичний кадастр України (стандартні кліматичні норми за період 1961–1990 рр.)/ Державна гідрометеорологічна служба та ін. – УНДГМІ – ЦГО, Київ, 2006. Електронний ресурс.
5. Клімат України. За редакцією В.М. Ліпинського, В.А. Дячука, В.М. Бабіченко/ Видавництво Раєвського. Київ, 2003. 343 с.
6. Кобышева Н.В., Аментьева Е.М., Галюк Л.П. Климатические риски и адаптация к изменениям и изменчивости климата в технической сфере. С.-П., 2015. 146 с.
7. Леонович И.И. Дорожная климатология. Минск, БНТУ, 2007. 340 с.
8. 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;
9. Прикладна кліматологія: конспект лекцій / за ред. О. Врублевська, Г.П. Катеруша. ОДЕКУ, 2005. 133 с.

10. 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.

11. Степаненко С.М. Динаміка та моделювання клімату. ОДЕКУ – РДГМУ, 2012. 266 с.

12. 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.

13. Meteorological services for transportation. WMO Bulletin. Weather-Climate-Water. Vol. 58 (2) - April 2009. p. 80-136.

14.http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2016/ds/kn/kn_u/kn0716_u.html

15. <http://www.ukrstat.gov.ua/>

16. https://en.wikipedia.org/wiki/Representative_Concentration_Pathways;

До розділу 3

1. Аналіз сучасного стану альтернативної енергетики та рекомендації по екологізації паливноенергетичного комплексу України [Електронний ресурс] // Промислова екологія. Режим доступу: www.eso.com.ua.

2. Аналітична записка [Електронний ресурс] // Національний інститут стратегічних досліджень при Президентові України. Режим доступу: www.niss.gov.ua/articles/1174.

3. Атлас енергетичного потенціалу нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії в Україні. К., 2010. 41 с]

4. Будівельна кліматологія. ДСТУ-НБВ.1.1–27:2010. К.: Мінрегіонбуд, 2011. 123 с.

5. Використання сонячної енергії для теплопостачання – перший крок до енергетичної незалежності [Електронний ресурс] // Режим доступу: http://pda.Aratta-ukraine.com/text_ua.php?id=1639.

6. 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

7. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации М.: Росгидромет, 2014. 1008 с.

8. Гелету́ха Г. Україна: нетрадиційні та відновлювані джерела енергії /Г. Гелету́ха, С. Кудря // Зелена енергетика, 2005, № 2. С. 8–10.

9. Дзензерский В. А. Перспективы развития солнечной электроэнергетики в Украине // Наука та інновації, 2007. Т. 3, № 3. С. 36-42.
10. 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](http://zakon1.rada.gov.ua).
11. 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.
12. Закон України «Про альтернативні джерела енергії». [Електронний ресурс]. Режим доступу до стор.: <http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/555-15>.
13. Клімат України / За ред. В.М. Ліпінського, В.А. Дячука, В.М. Бабіченко. К.: Вид-во Раєвського, 2003. 343 с.
14. 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.
15. Концепция развития солнечной энергетики в Украине [електронний ресурс] // Режим доступу: <http://www.gazanet.com.ua/content/view/30/41>
16. Коптев Д. А. Перспективы солнечной энергетики в Украине. // Інтегровані технології та енергозбереження. 2016, №1. С. 3-6.
17. Кулик Н. Жити під сонцем : [відновлюв. енергетика в Україні] // Освіта України, 2015, 8 черв. № 23. С. 12-13.
18. Литвин О. О. Збільшення ефективності подальшого використання сонячної енергетики: "Досягнення і перспективи" / О.О.Литвин, Ю.В. Куріс // Енергосбережение. Енергетика. Енергоаудит, 2012, № 3. С. 39-40
19. 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.
20. Нормативно-правова база альтернативної енергетики. [Електронний ресурс]. Режим доступу до стор.: <http://www.saee.gov.ua/uk/activity/vidnovlyuvana-enerhetyka/normatyvno-pravova-baza>.
21. Оцінка впливу кліматичних змін на галузі економіки. Монографія за ред. С.М. Степаненка, А.М. Польового. Одеса: «Екологія», 2011. 694 с.
22. Петрук В. Г. Енергетичний потенціал альтернативної енергетики в Україні / В. Г. Петрук, С. С. Коцюбинська, Д. В. Мацюк // Вісн. Вінниц. політехн. ін-ту, 2007, N 4. С. 90–93.

23. Рибченко Л.С. Зміна температурного і радіаційного режиму в містах України / Л.С. Рибченко, С.В. Савчук // Укр. географічний журнал, 2008, № 2. С. 14-19.

24. Рибченко Л.С., Савчук С.В. Потенціал геліоенергетичних кліматичних ресурсів сонячної радіації в Україні. Український географічний журнал, 2015, № 4. С. 16-23.

25. Рибченко Л.С., Савчук С.В. Моніторинг геліоенергетичних ресурсів України. Український гідрометеорологічний журнал, 2017, №19. С. 65-71.

26. Сокольский А.К. Нетрадиционные и возобновляемые источники - энергии. Учебное пособие. М.: РГОТУПС, 2006. С. 46-69.

27. Сонячна енергія. Чому це вигідно для України [Електронний ресурс] // Режим доступу: <http://teplovam.com/index.php/opalennya/4-soniachni-systemy?showall=&start>

28. Сонячна радіація і радіаційний баланс. [Електронний ресурс] Режим доступу: http://geografica.net.ua/publ/galuzi_geografiji/meteorologija/.

29. Україна без традиційних джерел енергії: неминучий ризик чи економічна вигода? [електронний ресурс] // Режим доступу: http://www.vgolos.com.ua/articles/ukraina_bez_tradytsiynyh_dzherel_energiine_mynuchyy_ryzyk_chy_ekonomichna_vygoda_107337.html?print.

30. 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.

31. Щодо перспектив використання альтернативних джерел енергії на Сході України. Аналітична записка [електронний ресурс] // Режим доступу: <http://www.niss.gov.ua/articles/1174>.

32. <https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/grid.cgi?uid=3030>.

33. Fernando M. Camilo, Rui Castro, M.E. Almeida, V. Fernão Pires Economic assessment of residential PV systems with self-consumption and storage in Portugal Solar Energy. Volume 150, 1 July 2017, Pages 353-362.

До розділу 4

1. Быков А.А., Акимов В.А., Фалеев М.И. Нормативно-экономические модели управления риском // Деловой экспресс. 2004. Т.1, № 2. С. 125-137.

2. Гидрометеорологические риски / Л.Н. Карлин [и др.]; под. ред. проф. Л.Н. Карлина. СПб.: Изд-во РГГМУ, 2008. 282 с.

3. Говоркова В.А. Оценка пригодности моделей СМIP3 для расчетов будущих изменений климата. /В.А Говоркова, В.М.Катцов, В.П.Мелешко, Т.В.Павлова, И.М. Школьник, 2008: Часть 2. // Метеорология и гидрология, №8. С. 5-19.

4. 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.

5. Клімат України. Під ред. Липінського В.А. Київ, 2003.

6. 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.

7. Кобышева Н.В., Кобышев Е.А. Районирование территории России по степени опасности смерчей // Природные опасности России. Гидрометеорологические опасности, 2001. Т.5. С. 165-167.

8. 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.

9. Кононова Н.К. Динамика циркуляции атмосферы в XX – начале XXI века. URL: <http://www.atmospheric-circulation.ru> (дата обращения: 11.02.2013). Наставление по краткосрочным прогнозам погоды общего назначения. Обнинск: ИГ-СОЦИН, 2009. 62 с.

10. Кононова Н.К. Классификация циркуляционных механизмов Северного полушария по Б.Л. Дзедзеевскому / отв. ред. А.Б. Шмакин. М. :Воентехиниздат, 2009. 372 с.

11. Мелешко В.П. Будущие изменения климата, рассчитанные с помощью ансамбля моделей общей циркуляции атмосферы и океана СМIP3 /В.П. Мелешко, В.М. Катцов, В.М. Мирвис, В.А. Говоркова, Т.В. Павлова. 2008б: Климат России в XXI веке. Часть 3.// Метеорология и гидрология. №8. С. 5-19.

12. 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.

13. Степаненко С.М. Динаміка та моделювання клімату. Одеса: Екологія, 2013. 203 с.

14. Hegerl G. and Coauthors. Detectability of anthropogenic changes in annual temperature and precipitation extremes // J. Climate. 2004: 17. PP. 3683-3700.

15. <http://www.iiasa.ac.at/webapps/tnt/RCPDb>

16. <http://www.myshared.ru/slide/310613/>

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. 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.
2. Быков А.А., Акимов В.А., Фалеев М.И. Нормативно-экономические модели управления риском // Деловой экспресс, 2004. Т. 1, № 2. С. 125- 137.
3. 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.
4. Губернский Ю.Д., Корневская Е.И. Гигиенические основы кондиционирования микроклимата жилых и общественных зданий. М.: Медицина, 1978.
5. 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.
6. Ильясов Ш.А., Шабаев О.Н. Изменение климата и здоровье населения. Вестник КРСУ, № 6. 2003.
7. Клімат України /За ред. В.М. Ліпінського, В.А. Дячука, В.М. Бабіченко. Київ: Вид. Раєвського, 2003. 343 с.
8. 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.
9. Кобышева Н.В., Кобышев Е.А. Районирование территории России по степени опасности смерчей // Природные опасности России. Т. 5: Гидрометеорологические опасности, 2001. С. 165-167.
10. Литвицкий П.Ф. Патология физиология. Т. 1. М.: ГЭОТАР-МЕД, 2003. 752 с.
11. Новожилов Г.Н., Ломов О.П. Гигиеническая оценка микроклимата. Л.: Медицина, 1987.
12. Ревич Б.А. и др. Воздействие высоких температур атмосферного воздуха на здоровье населения в Твери. Гигиена и санитария, 2005; 2: 20-24.
13. Ревич Б.А. Изменение здоровья населения России в условиях меняющегося климата. Проблемы прогнозирования, 2008, №3. С. 140-150.
14. Ревич Б.А. Волны жары, качество атмосферного воздуха и смертность населения европейской части России летом 2010 г.: результаты предварительной оценки //Экология человека, 2011, № 3.

15. Ревич Б.А. Волны жары, качество атмосферного воздуха и смертность населения Европейской части России летом 2010 // Экология человека, 2011, № 7.
16. Ревич Б.А., Малеев В.В. Изменения климата и здоровье населения России: анализ ситуации и прогнозные оценки. М.: ЛЕНАНД, 2010. С. 208.
17. 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.
18. 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.
19. Обиход А. Человек и жара: оптимизация взаимодействия «Зеркало недели. Украина». №26, 3 августа 2012.
20. 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.
21. Хайнес А. Изменение климата и здоровье человека – воздействия, уязвимость и адаптация. / Хайнес А., Коватс Р.С., Кемпбелл-Лендрум Д., Корвалан К. // Труды Всемирной конференции по изменению климата, Москва, 29 сентября-3 октября 2003 г., М.: Новости, 2004. С. 307-322.
22. 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.
23. Chang C.C., Wang Y.C., Wu J., Liu C.M., Sung F.C., Huang Y., Lin W.Y. and Chuang C.Y. The impact of climate change on gastrointestinal diseases in Taiwan. Int. Conf. on Environmental Epidemiology and Exposure, ISEE/ISEA, Paris, 2006, Sept. 2-6. P. 406.
24. 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.
25. Climate Change 2013: The Physical Science Basis / T.F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley // Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, 2013. 1535 p.
26. 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.

27. 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.
28. HadCRUT3 annual time series, Hadley Research Centre, 2008.
29. 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): 856-863.
30. 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.
31. Kalkstein L. S., Smoyer K. E. The impact of climate change on human health: Some international implications//*Experiencia*, 1993, № 49. P. 469-479.
32. 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.
33. 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.
34. 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.
35. 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.
36. Page L, Hajat S, Kovats S. Suicide and Homicide in Hot Weather. 19th Conference of the International Society for Environmental Epidemiology. Mexico 2007: 365.
37. Plan Canicule. Dossier de presentation. Ministere de la Sante et de la protection sociale, 2004. 46 p.
38. 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.
39. Stafoggia M, Forastiere F, Agostini D et al. Vulnerability to heat-related mortality: a multicity, population-based, case-crossover analysis. *Epidemiology*, 2006; 17: 315-323.
40. 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: 583-591.

До розділу 6

1. Антропогенные изменения климата // Под ред. М.И. Будыко. Ю.А. Израэля. Л.: Гидрометеиздат, 1987. 405 с.
2. Будаговский А.И., Росс Ю.К. Основы количественной теории фотосинтетической деятельности посевов. // В кн.. Фотосинтезирующие системы высокой продуктивности. М.: Наука, 1966. С. 51 – 58.
3. Волощук В.М., Скрипник М.П. Глобальний парниковий ефект і кліматичні умови України. //Вісник АН України, 1993, №3. С. 38-44.
4. Глобальные и региональные изменения климата и их природные и социально-экономические последствия / Под ред. В.М. Котлякова. М.: «Геос», 2000. 262 с.
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. Кліматичні зміни та їх вплив на сфери економіки України./За ред. С.М. Степаненка, А.М. Польового. Одеса. Вид. «ТЕС», 2015. 520 с.
7. Оцінка впливу кліматичних змін на галузі економіки України./ За ред.. С.М. Степаненка та А.М. Польового. Одеса.: «Екологія», 2011. 694 с.
8. Полевой А.Н. Прикладное моделирование и прогнозирование продуктивности посевов. –Л.: Гидрометеиздат, 1988. 318 с.
9. Польовий А.М. Сільськогосподарська метеорологія. Одеса. «ТЕС», 2012. 612 с.
10. Тооминг Х.Г. Солнечная радиация и формирование урожая. Л.: Гидрометеиздат, 1977. 200 с.
11. Alexandrov V/A/ The impact of climate variability and change on crop yield in Bulgaria/ Alexandrov V.A.,G.Hoogenboom//Agricultural and Forest Meteorology, September 2000, vol.104, # 4,15. P. 315-327.
12. Corobov R. Estimations of climate change impacts on crop production in the Republic of Moldova/ Corobov R.//Geojournal. Vol 57(3), 2002. P 195-202.
13. Design of Products for Winter Wheat Agro-Meteorological Index Insurance in Jiangsu Province.Cao Jie, Li Sijia and Yang Li. International Journal of Hybrid Information Technology Vol.6, No.5 (2013), pp. 37-48 <http://dx.doi.org/10.14257/ijhit.2013.6.5.04>.
14. Radiation use efficiency and yield of winter wheat under deficit irrigation in North China.H. Han1, Z. Li1, T. Ning1, X. Zhang2, Y. Shan3, M. Bai1..Plant Soil Environ. 54. 2008(7). C. 313-319.

До розділу 7

1. 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.

2. Алпатьев А.М. Влагодобро культурных растений. Л.: Гидрометеиздат, 1954. 248 с.

3. Алпатьев С.М. Водопотребление и режим орошения сельскохозяйственных культур / С.М. Алпатьев // Мелиорация на Украине. Киев: Урожай, 1986. С. 201-207.

4. Аналітична записка БАУ № 10 (2014). «Сучасний стан та перспективи розвитку біоенергетики в Україні». Публікація доступна на: www.uabio.org/activity/uabio-analytics.

5. Блюм Я.Б., Гелетука Г.Г., Григорюк І.П. та ін. Новітні технології біоенергоконверсії. К: «Аграр Медіа Груп», 2010. 326 с.

6. Бородіна О. Моделювання локальних систем землекористування в умовах локальних змін клімату / О. Бородіна, С. Киризюк, В. Яровий, Ю. Єрмольєв, Т. Єрмольєва // Економіка і прогнозування. №1, 2016. С. 117-128.

7. 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. Минск, БГУ, 2012. С. 43–45.

8. Возобновляемые растительные ресурсы (производство и использование) /Д. Шпаар, Д. Драгер, С. Каменская, Д. Рахметов; под общ. ред. Д. Шпаар. СПб.: Пушкин, 2006. Т.1. 416 с.

9. Гументик М.Я., Квак В.М., Замойський О.І. Урожайність біомаси міскантусу залежно від кліматичних умов, строків і глибини садіння ризомів у Західному Степу України // Біоенергетика, 2013, № 2. С. 32-35.

10. Гущина В.А., Борисова Е.Н. Рост и развитие мискантуса гигантского первого года жизни в зависимости от гидротермических условий // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии, 2017. Вып. 1(37). С. 12-18.

11. Звіт про науково-дослідну роботу: «Розроблення сценаріїв зміни кліматичних умов в Україні на середньо- та довгострокову перспективу з використанням даних глобальних та регіональних моделей». [Електронний ресурс] Український гідрометеорологічний інститут: офіційний сайт. Режим доступу: <http://uhmi.org.ua/project/>

12. Земельний фонд України. Огляд стану земельних відносин в Україні. [Електронний ресурс] Держгеокадастр: офіційний сайт. Режим доступу: <http://land.gov.ua/>

13. Зинченко В., Яшин М. Энергия мискантуса // ЛесПромИнформ, 2011, № 6 (80). С. 61-68.
14. Капустянчик С.Ю., Лихенко И.Е., Данилова А.А. Продуктивность мискантуса сорта Сорановский первого года вегетации и дыхательная активность почвы // Пермский аграрный вестник, 2016, № 4(16). С. 82-87.
15. Ковальчук І. П. Актуальні питання досліджень ризиків землекористування /І. П. Ковальчук // Вісник Львівського університету. Серія географічна, 2013. Вип. 44. С. 140-148.
16. Купцов Н.С., Попов Е.Г. Энергоплантации. Справочное пособие по использованию энергетических растений. Минск: Тэхналогія, 2015. 128 с.
17. Макаренко В. Слонова трава – прорив в сільському господарстві / В. Макаренко // Агро Перспектива, 2012, № 1. С. 32-37.
18. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2014. К.: Міністерство екології та природних ресурсів України, ФОР Грін Д.С., 2016. 350 с.
19. Образцов А.С. Системный метод: применение в земледелии. М.: Агропромиздат, 1990. 303 с.
20. Полевой А.Н. Теория и расчет продуктивности сельскохозяйственных культур. Л.: Гидрометеиздат, 1983. 175 с.
21. Полевой А.Н. Прикладное моделирование и прогнозирование продуктивности посевов. Л.: Гидрометеиздат, 1988. 319 с.
22. Про затвердження нормативів оптимального співвідношення земельних угідь. Проект постанови Кабінету Міністрів України від 21 січня 2009 року. [Електронний ресурс] Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/164-2010>
23. Рахметов Д.Б. Теоретичні та прикладні аспекти інтродукції рослин в Україні. К.: Аграр Медіа груп, 2011. 398 с.
24. Рахметов Д.Б., Щербак Т.О., Рахметова С.О. Перспективні енергетичні рослини роду *Miscanthus Anderss*, інтродуковані в Національному ботанічному саду ім. М.М. Гришка НАН України // Інтродукція рослин, 2015, №1(65). С. 3-18.
25. Раціональне використання ґрунтових ресурсів і відтворення родючості ґрунтів : організаційно-економічні, екологічні й нормативно-правові аспекти : кол. монографія / за ред. акад. НААН С. А. Балюка, чл.-кор. АЕНУ А. В. Кучера. Х.: Смуґаста типографія, 2015. 432 с.
26. Роїк М.В., Гонтаренко С.М., Лашук С.О. Сучасний стан розвитку селекції та реєстрації представників роду *Miscanthus* в Україні та світі // Наукові праці Інституту біоенергетичних культур та цукрових буряків, 2014. Вип. 21. С. 249-254.
27. Романова Е.Н. Микроклиматическая изменчивость основных элементов климата. Л.: Гидрометеиздат, 1977. 279 с.

28. Сайко В. Ф. Наукові основи землеробства в контексті змін клімату / В. Ф. Сайко // Вісн. аграр. Науки, 2008, № 11. С. 5–10.
29. Сивков С.И. Методы расчета характеристик солнечной радиации. Л.: Гидрометеиздат, 1961. 227 с.
30. Стратегія удосконалення механізму управління в сфері використання та охорони земель сільськогосподарського призначення державної власності та розпорядження ними [Електронний ресурс] Режим доступу: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/413-2017>
31. Структура сільськогосподарського землекористування за типами ґрунтів на території України [Електронний ресурс] Режим доступу: <http://Agropolit.com>
32. Тараріко О. Г. Формування сталих систем землекористування та охорони ґрунтів: актуальність та проблеми у сучасних умовах / О. Г. Тараріко, Т. В. Ільєнко, Т. Л. Кучма // Український географічний журнал, 2016, №3. С. 56-60.
33. Тооминг Х.Г. Экологические принципы максимальной продуктивности посевов. Л.: Гидрометеиздат, 1984. 264с.
34. Урбан Э. П. Озимая рожь в Беларуси: селекция, семеноводство, технология возделывания / Э. П. Урбан. – Минск: Беларус навука, 2009. 269 с.
35. 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.
36. Фізична географія Української РСР / О. М. Маринич, А. І. Ланько, М. І. Щербань, П. Г. Шищенко /За ред. О. М. Маринича. К.: Вища школа, 1982. 208 с.
37. Харченко С.И. Гидрология орошаемых земель. Л.: Гидрометеиздат, 1975. 373 с.
38. Чумаков В.В., Зимницкий Д.В. Тенденции развития мировой энергетики. Энергетические растения как источник возобновляемой энергии // Труды Международной научно-технической конференции “Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве”. Москва, 2012. Т.4. С. 175-179.
39. Шарифуллин Л.Р. Интенсивная технология возделывания озимой ржи /Л.Р. Шарифуллин, А.Х. Кольцов, Г.С. Марьин. М.: Агропромиздат, 1989. 128 с.
40. 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.
41. Шумный В.К., Вепрев С.Г., Нечипоренко Н.Н. и др. Новая форма мискантуса китайского (веерника китайского *Miscanthus sinensis* Anders.)

как перспективный источник целлюлозосодержащего сырья // Вестник ВОГиС, 2010. Т. 14, №1. С. 122-126.

42. Clifton-Brown J.C., Lewandowski I. Water use efficiency and biomass partitioning of three different Miscanthus genotypes with limited and unlimited water supply // Annals of Botany. 2000. V. 86. P. 191-200.

43. Heaton E.A., Dohleman F.G., Long S.P. Meeting US biofuel goals with less land: the potential of Miscanthus // Global Change Biol. 2008. V. 14. P. 2000-2014.

44. Planting and growing miscanthus. Best practice guidelines. <http://adlib.everysite.co.uk/resources/000/023/838/miscanthus-guide.pdf>

До розділу 8

1. Актуальные проблемы лиманов северо-западного Причерноморья / Под ред. Ю.С. Тучковенко, Е.Д. Гопченко. Одесса: ТЕС, 2012. 224с.

2. Вишневський В.І. Вплив кліматичних змін і господарської діяльності на термічний та льодовий режим річок // Наук. Праці УкрНДГМІ, 2002. Вип. 250. С. 190-202.

3. Водний режим та гідроекологічні характеристики басейну Куяльницького лиману / Під ред. Н.С. Лободи, Е.Д. Гопченка. Одеса: ТЕС, 2016. 332 с.

4. Водні ресурси та гідроекологічний стан Тилігульського лиману / Під ред. Ю.С. Тучковенко, Н.С. Лободи. Одеса: ТЕС, 2014. 276 с.

5. Гопченко Е.Д., Лобода Н.С. Водные ресурсы северо-западного Причерноморья (в естественных и нарушенных хозяйственной деятельностью условиях). Київ: КНТ, 2005. 188 с.

6. Гопченко Є.Д., Лобода Н.С. Оцінювання природних водних ресурсів України за методом водно-теплового балансу // Наук. Праці УкрНДГМІ, 2001. Вип. 249. С. 106-120.

7. 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.

8. Гопченко Є.Д., Лобода Н.С., Овчарук В.А. Гідрологічні розрахунки: підручник. Одеса: ТЕС, 2014. 484 с.

9. 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.

10. Гребінь В.В. Сучасний водний режим річок України (ландшафтно-гідрологічний аналіз). К.: Ніка-центр, 2010. 316 с.

11. Дж.К.Родда Грани гидрологии: монография. Л.: Гидрометеиздат, 1987. Т.2. 534 с.

12. 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.

13. 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.

14. 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.

15. Лобода Н.С. Расчеты и обобщения характеристик годового стока рек Украины в условиях антропогенного влияния: монография. Одесса: Экология, 2005. 208 с.

16. 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.

17. 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.

18. 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.

19. 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.

20. Лобода Н.С., Божок Ю.В. Оцінка змін водних ресурсів р.Дунай у ХХІ сторіччі за сценарієм А1В з використанням моделі “клімат-стік”// Український гідрометеорологічний журнал. Одеса, ТЕС, №18, 2016. С. 112- 120.

21. 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.

22. Лобода Н.С., Гопченко Є.Д. Стохастичні моделі у гідрологічних розрахунках: навчальний посібник. Одеса: Екологія, 2006. 200 с.

23. 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.

24. 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.

25. 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 Володимира Гнатюка. Серія:біологія, 2010, № 3 (44). С. 143-145.

26. 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.

27. Мезенцев В.С., Карнацевич И.В. Увлажненность Западно-Сибирской равнины. Л.: Гидрометеиздат, 1969. 75 с.

28. Мусієнко М.М., Серебряков В.В., Брайон О.В. Екологія. Охорона природи. Словник-довідник. – К.: Товариство Знання. КОО, 2002. 550 с.

29. Оцінка впливу кліматичних змін на галузі економіки України / Під ред. Степаненко С.М., Польового А.М. Одеса: Екологія, 2011. 605 с.

30. Режимы влагообеспеченности и условия гидромелиораций степного края / Под. ред. В.С. Мезенцева. М.: Колос, 1974. 240 с.

31. Сnižко 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.

32. Сnižко С.И., Использование водно-балансовой модели Турка и численной региональной модели REMO для оценки водных ресурсов местного стока в Украине в XXI веке.7 /Сnižко С.И., Куприков И.В., Шевченко О.Г., Павельчук Е.М., Дидовец Ю.С. // Вестник Брянского государственного университета, 2014, №4(2014). С. 191-201.

33. Степаненко С.М. Динаміка моделювання клімату: піручник. Одеса: Екологія, 2013. 204 с.

34. 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.

35. Струтинська В.М., Гребінь В.В. Термічний та льодовий режими річок басейну Дніпра з другої половини ХХ століття. К.:Ніка-Центр, 2010. 196 с.
36. 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.
37. Хільчевський В.К., Ободовський О.Г., Гребінь В.В. та ін. Загальна гідрологія: підручник. Київ: ВПЦ "Київський університет", 2008. 399 с.
38. Хільчевський В.К. Гідролого-гідрохімічна характеристика мінімального стоку річок басейну Дніпра./ Хільчевський В.К., Ромась І.М., Гребінь В.В., Шевчук І.О., Чунарьов О.В. К.:Ніка-Центр, 2007. 184 с.
39. Чеботарев А.И. Гидрологический словарь. Л.: Гидрометеиздат, 1978. 308 с.
40. Шакірзанова Ж.Р. Визначення основних факторів весняного водопілля річок лівобережжя Дніпра при довгострокових прогнозах його характеристик // Український гідрометеорологічний журнал, 2013, №.16. С. 99-109.
41. Coastal Lagoons in Europe: Integrated Water Resource Strategies / Ana I. Lillebø, Per Stalnacke, Geoffrey D. Gooch (Eds). London: IWA Publishing, 2015. 256 p.
42. IPCC (2000) Nebojsa Nakicenovic and Rob Swart (Eds.) Special Report In Emissions Scenarios (SRES). - University Press, UK, 2000. 570 p.
43. 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.
44. 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.
45. Krysanova, V., Wechsung, F., SWIM (Soil and Water Integrated model) User Manual, 2000. 239 p.
46. Loboda N. Impact of Climate Change on Water Resources of North-Western Black Sea Region / N. Loboda, Y. Bozhok // International Journal of Research In Earth and Environmental Sciences, 2015. Vol 02. No. 9. P. 1-6.
47. Loboda N.S. The assessment of present and future Ukrainian water resources on meteorological evidence // Climate and Water, 1998. Vol.1.- P. 1486-1494.

ЗМІСТ

	Ст.
Передмова.....	3
1. Проекції змін майбутнього режиму температури повітря та опадів в Україні	6
1.1. Сценарії викидів парникових газів та їх вплив на зміни клімату	6
1.2. Очікуваний розподіл температури і опадів згідно зі сценаріями викидів RCP4.5 та RCP8.5 в Україні протягом 2021-2050 рр.....	9
1.3. Прогностичний розподіл агрометеорологічних посух в Україні у короткостроковій перспективі на 2020-2050 рр.....	22
1.4. Кліматичні ризики. Визначення та оцінка.....	31
2. Вплив кліматичних змін на транспортну та енергетичну системи України.....	51
2.1. Вразливість транспортної системи до погодних умов.....	51
2.2. База даних і загальна методика проведення дослідження.....	53
2.3. Зміна кліматичних ресурсів для транспортної системи за сценаріями RCP4.5 і RCP8.5.....	63
2.3.1. Температура повітря.....	63
2.3.2. Атмосферні опади	89
2.3.3. Атмосферні явища	99
2.3.4. Середня і максимальна швидкість вітру.....	102
2.3.5. Соціальні та економічні ризики	108
2.4. Траєкторії майбутніх кліматичних змін	117
2.5. Розрахункові величини опалювального періоду	119
2.6. Дослідження динаміки змін енергетичних ресурсів згідно зі сценаріями RCP4.5 та RCP8.5	120
3. Енергетичний потенціал сонячної енергії в Україні	135
3.1. Розвиток альтернативної енергетики як об'єкта державного регулювання.....	136
3.2. Законодавче забезпечення державного регулювання розвитку альтернативної енергетики в Україні.....	141
3.3. Стан, проблеми та перспективи розвитку сонячної енергетики України	146
3.4. Оцінка змін геліоресурсів в Україні в умовах потепління клімату.....	148
3.4.1. Просторово-часовий розподіл середнього бала загальної хмарності	149

3.4.2.	Загальна характеристика тривалості сонячного сьйва	154
3.4.3.	Загальна характеристика радіаційного режиму на території України	159
3.4.4.	Умови ефективного застосування сонячних електроенергетичних систем	162
3.5.	Оцінка вразливості геліоенергетичних ресурсів від екстремальних умов клімату.....	170
4.	Вплив змін клімату на вітроенергетичні ресурси України....	185
4.1.	Вітровий режим України.....	185
4.1.1.	Короткий огляд режиму вітру в Україні за минулий кліматичний період.....	185
4.1.2.	Основи моделювання режиму вітру в зв'язку зі змінами клімату.....	189
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.....	190
4.2.1.	Зміна вітрового режиму.....	191
4.3.	Визначення ризиків небезпечних гідрометеорологічних явищ.....	209
4.3.1.	Соціальний ризик.....	213
4.3.2.	Економічний ризик.....	217
5.	Вплив очікуваних екстремальних умов клімату на біокліматичний режим України	220
5.1.	Чутливість людини до високих температур повітря	220
5.2.	Сучасні зміни клімату і здоров'я населення.....	224
5.3.	Очікуваний просторово-часовий розподіл жарких днів по території України	231
5.4.	Часові зміни і просторовий розподіл кількості днів з середньою добовою температурою вищою за 25 °С.....	240
5.5.	Оцінка соціально-економічних наслідків кліматичного температурного ризику.....	247
6.	Вплив змін клімату на агрокліматичні ресурси України.....	259
6.1.	Характеристика радіаційних ресурсів.....	259
6.2.	Вплив змін клімату на температурний режим.....	278
6.3.	Вплив змін клімату на режим зволоження.....	287
7.	Вплив зміни клімату на продуктивність сільськогосподарських культур.....	301
7.1.	Базова модель оцінки агрокліматичних ресурсів формування продуктивності сільськогосподарських культур А. М. Польового.....	301
7.1.1.	Концепція моделювання.....	301

7.2.	Вплив зміни клімату на продуктивність озимого жита.....	317
7.2.1.	Агрокліматичні умови вирощування озимого жита при реалізації сценарію RCP4.5.....	317
7.2.2.	Агрокліматичні умови вирощування озимого жита при реалізації сценарію RCP8.5.....	322
7.2.3.	Фотосинтетична продуктивність озимого жита при реалізації сценарію RCP4.5 зміни клімату в Україні.....	326
7.2.4.	Фотосинтетична продуктивність озимого жита при реалізації сценарію RCP8.5 зміни клімату в Україні.....	332
7.2.5.	Оцінка очікуваних ризиків недобору врожаю озимого жита.....	338
7.3.	Оцінка впливу змін клімату на ріст, розвиток і формування врожайності ярого ячменю.....	342
7.4.	Оцінка агрокліматичних умов вирощування кукурудзи за сценарієм RCP4.5 (період 2021-2050 рр.).....	365
7.5.	Оцінка впливу кліматичних змін на ріст, розвиток і формування врожаю соняшнику.....	375
7.5.1.	Оцінка термінів сівби та фаз розвитку соняшнику...	376
7.5.2.	Оцінка агрокліматичних умов вирощування соняшнику.....	377
7.5.3.	Оцінка показників фотосинтетичної діяльності посівів соняшнику.....	382
7.5.4.	Оцінка ризиків недобору врожаю насіння соняшнику в 2021-2050 рр. в Україні.....	390
7.6.	Моделювання впливу зміни клімату на продуктивність картоплі.....	392
7.7.	Оцінка впливу змін клімату на ріст, розвиток і формування врожайності цукрового буряку.....	423
7.7.1.	Агрокліматичні умови вирощування цукрового буряку при реалізації сценаріїв RCP4.5 та RCP8.5.....	423
7.7.2.	Оцінка за допомогою моделі продукційного процесу рослин фотосинтетичної продуктивності та коливання урожайності цукрового буряку при реалізації сценаріїв RCP4.5 та RCP8.5	430
7.7.3.	Оцінка очікуваних ризиків недобору врожаю цукрового буряку при реалізації сценаріїв RCP4.5 та RCP8.5	440
7.8.	Оцінка впливу змін клімату на ріст, розвиток і формування врожайності гороху.....	445
7.8.1.	Оцінка термінів сівби та фаз розвитку гороху.....	446
7.8.2.	Оцінка агрокліматичних умов вирощування гороху.....	447

7.8.3. Оцінка показників фотосинтетичної діяльності посівів гороху	450
7.9. Оцінка впливу змін клімату на агрокліматичні умови вирощування міскантусу та формування його врожайності.....	462
7.9.1. Міскантус як перспективна енергетична рослина в Україні.....	462
7.9.2. Ботанічна та біологічна характеристики міскантусу.	464
7.9.3. Агрокліматичні умови вирощування та продуктивність міскантусу при реалізації сценаріїв RCP4.5 та RCP8.5	467
7.10. Оцінка впливу змін клімату і норм зрошення на продуктивність сої	473
7.10.1. Порівняльна характеристика продуктивності сої в Херсонській області в умовах зміни клімату за розрахунковий період 2011-2030 гг.	474
7.10.2. Порівняльна характеристика продуктивності сої в Херсонській області в умовах зміни клімату за розрахунковий період 2031-2050 гг.....	477
7.11. Екологічні ризики сільськогосподарського землекористування в Україні в умовах змін клімату.....	482
8. Прогноз змін водних ресурсів України XXI сторіччя за сценаріями змін клімату (RCP4.5, RCP8.5) та оцінка ризиків для водного господарства.....	498
8.1. Огляд сучасних досліджень з питань оцінки водних ресурсів України в умовах змін клімату.....	498
8.2. Методи досліджень.....	500
8.3. Оцінка водних ресурсів України XXI сторіччя за сценарієм змін клімату (RCP4.5).....	505
8.4. Оцінка водних ресурсів України XXI сторіччя за сценарієм змін клімату (RCP8.5)	510
8.5. Оцінка кліматичних ризиків у водному господарстві.....	512
Післямова.....	517
Список літератури.....	522

CONTENTS

Preface.....	Cт. 3
1. Projections of changes in future conditions of air temperature and precipitation in Ukraine.....	6
1.1. Scenarios of greenhouse gas emissions and their impact on climate change.....	6
1.2. Expected distribution of temperature and precipitation according to the RCP4.5 and RCP8.5 scenarios in Ukraine for the 2021-2050 period.....	9
1.3. Predicted distribution of agrometeorological droughts in Ukraine in the short term for the 2021-2050 period.....	22
1.4. Climatic risks. Definition and assessment.....	31
2. Impact of climate change on transport and energy systems of Ukraine.....	51
2.1. Vulnerability of transport system to weather conditions.....	51
2.2. Database and analysis techniques.....	53
2.3. Change in climate resources for transport system according to the RCP4.5 and RCP8.5 scenarios	63
2.3.1. Air temperature.....	63
2.3.2. Atmospheric precipitation.....	89
2.3.3. Severe weather.....	99
2.3.4. Mean and maximum wind speed.....	102
2.3.5. Economic and social risks.....	108
2.4. Future pathways of climate change.....	117
2.5. Characteristics of heating season.....	119
2.6. Research of dynamics of changes in energy resources according to the RCP4.5 and RCP8.5 scenarios.....	120
3. Energetic potential of solar energy in Ukraine.....	135
3.1. Development of alternative energy as object of government regulation.....	136
3.2. Legislative support for state regulation of development of alternative energy in Ukraine.....	141
3.3. State, problems and prospects in development of solar energy in Ukraine.....	146
3.4. Assessment of changes in solar energy resources in Ukraine in conditions of global warming.....	148
3.4.1. Spatial and temporal distribution of average total cloud cover.....	149
3.4.2. General description of sunshine duration.....	154
3.4.3. General description of radiation regime on the territory of Ukraine.....	159

3.4.4. Conditions for effective application of solar electric system.....	162
3.5. Assessment of Extreme Weather Vulnerability of solar energy resources.....	170
4. Impact of climate change on wind resources of Ukraine	185
4.1. Wind regime of Ukraine.....	185
4.1.1. Brief review of wind regime in Ukraine for last climate period.....	185
4.1.2. Fundamentals of modelling of wind regime in connection with the climate change.....	189
4.2. Results of the study of changes in wind velocity in various regions of Ukraine in connection with predicted climate change until 2050 under the RCP4.5 and RCP8.5 scenarios....	190
4.2.1. Changes in wind regime.....	191
4.3. Determination of risks of severe weather.....	209
4.3.1. Social risks.....	213
4.3.2. Economic risks.....	217
5. Impact of expected extreme climate conditions Вплив очікуваних екстремальних умов клімату на біокліматичний режим України	220
5.1. Human vulnerability to high air temperatures.....	220
5.2. Modern climate change and public health.....	224
5.3. Expected spatial and temporal distribution of hot days for the territory of Ukraine.....	231
5.4. Temporal changes and spatial distribution of number of day with daily mean temperature above 25 °C.....	240
5.5. Assessment of socio-economic consequences of climatic temperature risks.....	247
6. Impact of climate changes on agro-climate resources of Ukraine	259
6.1. Description of radiation resources.....	259
6.2. Impact of climate change on temperature regime.....	278
6.3. Impact of climate change on wetting regime.....	287
7. Impact of climate change on crop productivity.....	301
7.1. Basic model of assessment of agro-climate resources of forming of crop productivity, created by A.M. Poliovy.....	301
7.1.1. Modelling conception.....	301
7.2. Impact of climate change on productivity in winter rye.....	317
7.2.1. Agro-climate conditions of growth of winter rye under the RCP4.5 scenario.....	317
7.2.2. Agro-climate conditions of growth of winter rye under the RCP8.5 scenario.....	322
7.2.3. Photosynthetic of productivity in winter rye under the RCP4.5 scenario in Ukraine.....	326

7.2.4.	Photosynthetic productivity of winter rye under the RCP8.5 scenario in Ukraine.....	332
7.2.5.	Assessment of expected risks of shortage of winter rye yield.....	338
7.3.	Impact of climate change on growth, development and forming of spring barley yield.....	342
7.4.	Assessment of agro-climate conditions of growth of maize under the RCP4.5 scenario in the 2021-2050 period.....	365
7.5.	Assessment of impact of climate change on growth, development and forming of sunflower yield.....	375
7.5.1.	Assessment of date for seeding and phases of development of sunflower.....	376
7.5.2.	Assessment of agro-climate conditions of growth of sunflower.....	377
7.5.3.	Assessment of indicators of photosynthetic activity of sunflower crops.....	382
7.5.4.	Assessment of expected risks of shortage of yield of sunflower seeds in the period of 2021-2050 in Ukraine.....	390
7.6.	Modelling of impact of climate change on productivity in potatoes.....	392
7.7.	Assessment of impact of climate change on growth, development and forming of sugar beet yield.....	423
7.7.1.	Agro-climate conditions of growth of sugar beet under the RCP4.5 and RCP8.5 scenarios	423
7.7.2.	Assessment of photosynthetic productivity and yield fluctuation of sugar beet under the RCP4.5 and RCP8.5 scenarios by means of the plant productional process model	430
7.7.3.	Assessment of expected risks of shortage of yield of sugar beet under the RCP4.5 and RCP8.5 scenarios.....	440
7.8.	Assessment of impact of climate change on growth, development and forming of pea yield.....	445
7.8.1.	Assessment of date for seeding and phases of development of pea.....	446
7.8.2.	Assessment of agro-climate conditions of growth of pea.....	447
7.8.3.	Assessment of indicators of photosynthetic activity of pea crops.....	450
7.9.	Assessment of climate change on agro-climate conditions of growth of silver grass and forming of its yield.....	462
7.9.1.	Silvergrass as promising energetic plant in Ukraine.....	462
7.9.2.	Botanical and biological description of silvergrass.....	464
7.9.3.	Agro-climate conditions of growth and productivity of silvergrass under and the RCP4.5 and RCP8.5 scenarios...	467

7.10.	Assessment of impact of climate change and irrigation norms on productivity of soybean.....	473
7.10.1.	Comparative characteristic of productivity of soybean under A1B scenario in the period of 2011-2030.	474
7.10.2.	Comparative characteristic of productivity of soybean under A1B scenario in the period of 2031-2050.....	477
7.11.	Ecological risks of agricultural land use in Ukraine under climate change conditions.....	482
8.	Prediction of change in water resources of Ukraine throughout the 21st century under the RCP4.5 and RCP8.5 scenarios and assessment of risks for water management.....	498
8.1.	Overview of modern research on assessment of water resources in Ukraine under climate change conditions.....	498
8.2.	Analysis techniques	500
8.3.	Assessment of water resources of Ukraine throughout the 21 st century under the RCP4.5 scenario.....	505
8.4.	Assessment of water resources of Ukraine throughout the 21 st century under the RCP8.5 scenario.....	510
8.5.	Assessment of climatic risks in water management.....	512
	Afterword.....	517
	References.....	522