ЗВІТ
ПРО НАУКОВО-ДОСЛІДНУ РОБОТУ

РОЗРОБЛЕННЯ СЦЕНАРІЇВ ЗМІНИ КЛІМАТИЧНИХ УМОВ В УКРАЇНІ НА СЕРЕДНЬО- ТА ДОВГОСТРОКОВУ ПЕРСПЕКТИВУ З ВИКОРИСТАННЯМ ДАНИХ ГЛОБАЛЬНИХ ТА РЕГІОНАЛЬНИХ МОДЕЛЕЙ

2013

ЗМІСТ

ВСТУП..... 4
1 ГОМОГЕНІЗАЦІЯ ДАНИХ МЕРЕЖІ ГІДРОМЕТЕОРОЛОГІЧНИХ СТАНЦІЙ ЩОДО МІСЯЧНИХ ТЕМПЕРАТУР ПОВІТРЯ ТА КІЛЬКОСТІ ОПАДІВ..... 6
1.1 Методика та вхідні дані..... 7
1.2 Результати гомогенізації місячних характеристик: приземної температури повітря та кількості опадів..... 9
2 РЕТРОСПЕКТИВНИЙ АНАЛІЗ ОСНОВНИХ КЛІМАТИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ НА ОСНОВІ ДАНИХ МЕРЕЖІ ГІДРОМЕТЕОРОЛОГІЧНИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ..... 11
2.1 Температура повітря..... 11
2.2 Атмосферні опади..... 19
3 СЦЕНАРІЇ ЗМІНИ КЛІМАТИЧНИХ УМОВ В УКРАЇНІ В XXI СТОЛІТТІ НА ОСНОВІ ПРОЕКЦІЙ МОДЕЛЕЙ ЗАГАЛЬНОЇ ЦИРКУЛЯЦІЇ АТМОСФЕРИ ТА ОКЕАНІВ..... 26
3.1 Вибір та методика застосування глобальних кліматичних моделей та сценаріїв для прогнозу на XXI століття регіонального клімату України..... 27
3.2 Аналіз прогнозованих на XXI ст. змін в Україні річних кліматичних характеристик: приземної температури повітря та кількості опадів..... 30
3.2.1 Часовий хід температури повітря і кількості опадів..... 30
3.2.2 Зміна клімату в Україні по десятиріччях XXI ст. 34
3.2.3 Розподіл кліматичних змін за територією України..... 39
3.3 Прогнозовані зміни кліматичних характеристик в Україні за сезонами..... 42
3.4 Висновки..... 50
4 СЦЕНАРІЇ ЗМІНИ РЕГІОНАЛЬНОГО КЛІМАТУ УКРАЇНИ В XXI СТОЛІТТІ НА ОСНОВІ ПРОЕКЦІЙ АНСАМБЛЮ РЕГІОНАЛЬНИХ КЛІМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ..... 52
4.1 Визначення оптимального ансамблю регіональних кліматичних моделей для території України..... 52
4.1.1 Оптимальний ансамбль для приземної температури повітря... 56
4.1.2 Оптимальний ансамбль для кількості опадів..... 63
4.2 Проекції змін та значення середніх місячних, сезонних та річних основних кліматичних характеристик в Україні на найближчу (до 2030 р.), середню (до 2050 р.) та довгострокову (до 2100 р.) перспективи..... 71
4.2.1 Середні місячні температури повітря..... 73
4.2.2 Максимальні та мінімальні температури повітря..... 84
4.2.3 Кількість опадів..... 97

4.2.4 Відносна вологість повітря..... 108
4.3 Висновки..... 110
ВИСНОВКИ..... 113
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ..... 117
ДОДАТОК А. Перелік метеорологічних (кліматологічних) станцій, дані яких гомогенізувалися..... 122
ДОДАТОК Б. Автоматизований алгоритм MASH для гомогенізації часових рядів місячних значень метеорологічних (кліматологічних) показників…… 127
ДОДАТОК В. Результати гомогенізації середніх річних значень температури повітря……... 128
ДОДАТОК Г. Результати гомогенізації середніх місячних значень температури повітря……... 131
ДОДАТОК Д. Результати гомогенізації річних значень сум опадів..... 132
ДОДАТОК Е. Результати гомогенізації місячних сум опадів..... 135

ВСТУП

Сьогодні факт глобального потепління не викликає сумнівів і вважається експериментально доведеним: ріст глобальної температури повітря та океанів, зменшення площі морського льоду, підвищення рівня Світового океану підтверджено довготривалими інструментальними вимірами [12, 32, 44]. Кліматичні зміни, що відбуваються протягом останніх десятиліть, не перестають хвилювати вчених, суспільні організації та уряди країн усього світу. У зв'язку з цим, активніше розвиваються методи прогнозування глобальних змін клімату та їх можливих наслідків, серед яких на передній план виступають математичні методи моделювання кліматичних систем [2, 10, 11, 20, 21, 23, 26, 27, 31, 36, 38-41 та ін.]. У 1988 році дві спеціалізовані організації ООН (ВМО та ЮНЕП) створили Міжурядову групу експертів зі змін клімату (МГЕЗК) – Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), яка і сьогодні є найбільш авторитетною міжнародною організацією, що займається оцінкою змін глобального та регіонального клімату минулого, сучасного та майбутнього, впливу кліматичних змін на глобальному та регіональному рівні та можливостей адаптації до них, а також ефективності заходів із зменшення антропогенного впливу на клімат. Кожні 5 – 6 років МГЕЗК видає оцінювальну доповідь, в якій подаються результати всебічного аналізу даних спостережень за кліматом та прогнозу його майбутніх змін. Оцінювальні доповіді МГЕЗК – останнє слово світової науки в області фундаментальних досліджень глобальної кліматичної системи.

У лютому 2007 р. відбулось загальне засідання провідних авторів Четвертої оцінювальної доповіді (ОД4) де було проаналізовано причини глобального потепління та роль антропогенного впливу на клімат для різних сценаріїв економічного, технологічного та соціального розвитку світового суспільства. В рамках підготовки ОД4 Всесвітньою програмою досліджень клімату був організований безпрецедентний за своїми масштабами і кількістю учасників проект з аналізу прогнозів клімату за допомогою моделей загальної циркуляції атмосфери та океану – CMIP3 (Coupled Model Intercomparison Project, phase 3). Основу даного проекту складають розрахунки клімату XX століття (20C3M) для заданих концентрацій парникових газів та аерозолів, отриманих в результаті спостережень та вимірів, а також розрахунки змін клімату в XXI столітті для різних сценаріїв зміни цих концентрацій. Всього у проекті взяло участь більше двох десятків моделей загальної циркуляції атмосфери та океанів (МЗЦАО), розроблених у відомих дослідницьких центрах світу, багато з яких представили результати ансамблевих розрахунків (від різних початкових умов) для кожного типу чисельного експерименту [38]. Зауважимо, що автори ОД4 здобули Нобелівську премію миру 2007 р., що є загальносвітовим визнанням їх наукових досягнень.

Сучасна кліматологія вирізняє поняття глобального та локального (регіонального) клімату. При цьому глобальний клімат розуміють як статистичний ансамбль станів, в яких перебуває кліматична система Землі впродовж декількох десятиріч. Локальний клімат – це часткові прояви глобального клімату у визначених фізико-географічних регіонах. У [5, 12, 15,

18, 19, 44] показано, що за загальної тенденції до підвищення приземної температури повітря у межах кліматичної системи та змін кількості опадів як основних індикаторів кліматичних змін, кількісні показники цих процесів у різних географічних регіонах відрізняються, а іноді (особливо це стосується кількості опадів) мають різні тенденції. Причиною цього може бути як неоднозначність прояву зовнішніх кліматоутворюючих факторів у різних широтних зонах, так і просторова відмінність хімічного складу атмосфери, радіаційних та інших характеристик підстильної поверхні у різних регіонах, тощо. Вказана неоднозначність зміни клімату у межах кліматичної системи потребує уточнення напряму таких змін, їх швидкості та показників для різних регіонів. Так, наприклад, дані наведені в [19] показують, що зміни середніх річних температур за 1887-2008 рр. на ст. Кишинів мають схожі загальні тенденції до змін приземної температури для Земної кулі та Північної півкулі, але амплітуди річних аномалій тут значно більші. Визначені статистичні залежності показують, що міжрічні коливання температури в досліджуваному регіоні тільки на 16,4% залежать від коливань температури в межах Земної кулі і на 20,1% від міжрічних коливань приземної температури повітря в Північній півкулі. Очевидно, просторове усереднення значень кліматичних елементів призводить до значного їх згладжування і вплив фізико-географічних особливостей регіону невілюється. Не дискутуючи з приводу точності чисельних показників, що описують вплив глобального поля температури на регіональні її зміни, очевидна необхідність регіоналізації будь–яких глобальних тенденцій зміни кліматичних показників. *Тобто, необхідними є дослідження можливих змін клімату та прогнозування наслідків таких змін за різних масштабів просторового та часового усереднення*.

Крім того, в дослідженні як глобального, так і регіонального клімату важливо розрізняти поняття власне *змін клімату*, які визначаються як зміна або мінливість середнього стану атмосфери, що спостерігаються впродовж десятиріч та описуються постійним характером (напрямком) таких змін. Існує також поняття *мінливості клімату* (екстремальні значення показників, стандартні відхилення та ін.), що розглядається як варіативність середньостатистичних станів атмосфери. Часові та просторові масштаби мінливості клімату менші, ніж змін клімату, але перевищують відповідні масштаби погодних процесів. Очевидно, що причинами змін та мінливості клімату можуть бути як зовнішні по відношенню до кліматичної системи чинники, так і внутрішні зміни її стану, що мають як природний, так і антропогеновий характер. Зауважимо, що певна направленість кліматичних змін може формувати визначений характер мінливості клімату. Наприклад, сучасне потепління глобального клімату призводить до підвищення повторюваності несприятливих метеорологічних процесів в Україні [1, 15]. *Отже, важливим завданням подальших досліджень є вдосконалення статистичної оцінки часового та просторового розподілу фактичних та прогностичних кліматичних показників з метою встановлення тенденцій та*

швидкостей змін регіонального клімату та ступеню мінливості кліматичних параметрів.

1. ГОМОГЕНІЗАЦІЯ ДАНИХ МЕРЕЖІ ГІДРОМЕТЕОРОЛОГІЧНИХ СТАНЦІЙ ЩОДО МІСЯЧНИХ ТЕМПЕРАТУР ПОВІТРЯ ТА КІЛЬКОСТІ ОПАДІВ

Кліматологічне опрацювання результатів метеорологічних спостережень є повноцінним тільки у тому випадку, коли використовуються якісні та однорідні (гомогенізовані) метеорологічні ряди чи враховується їх неоднорідність. Тому будь-яке кліматологічне дослідження необхідно розпочинати саме із перевірки однорідності рядів [6, 14, 22, 24, 34, 46].

Згідно з класичними працями, наприклад [6], розрізняють кліматологічну та статистичну однорідність.

Кліматологічно однорідним вважається ряд, характеристики якого змінюються від року до року, або від одного довільного періоду років до другого аналогічного періоду *лише відповідно до* природної мінливості макропроцесів, які впливають на погоду та клімат даного району. Кліматологічно однорідний ряд об’єктивно відображає характер клімату даного району, його коливання та зміни з часом.

Порушення кліматологічної однорідності метеорологічних рядів виникає під впливом двох причин. Перша – вплив місцевості: перенесення метеорологічного майданчика, забудова прилеглих територій, розростання деревних насаджень поблизу станції. Вплив цієї причини проявляється у змінах кліматичних характеристик на одній станції. Друга причина – зміна методики вимірювання, типу та установки приладу. В цьому випадку неоднорідність проявляється у метеорологічних рядах всієї сітки станцій, де відбулись зміни.

Статистично однорідний ряд – це ряд метеорологічної величини, всі члени якого за даного рівня значущості належать одній і тій же генеральній сукупності. Тобто, якщо дві частини метеорологічного ряду об’ємами n і m є двома незалежними вибірками із генеральних сукупностей із законами розподілу $F_1(x)$ і $F_2(y)$ і якщо $F_1(x) \equiv F_2(y)$, то розглядуваний ряд статистично однорідний. Таке означення, яке приведене у [6], базується на інтерпретації значень часового ряду як окремих значень випадкової величини. Водночас, якщо для інтерпретації ряду використовувати модель випадкового процесу, а сам ряд вважати його окремою реалізацією, то вище приведене означення слід модифікувати наступним чином. Статистично однорідний ряд – це ряд, який є окремою реалізацією однорідного в часі випадкового процесу. Однорідність у часі – це стаціонарність, тобто, статистично однорідний ряд – це окрема реалізація стаціонарного випадкового процесу. У теорії ймовірностей дається строге математичне означення стаціонарності випадкового процесу [17]. Тут лише зазначимо, що із означення стаціонарності випливає незалежність від часу одновимірного розподілу ймовірностей процесу, а отже і всіх його одноточкових статистичних характеристик (середнього значення, дисперсії і

т.п.), що повністю узгоджується із вище приведеним означенням статистичної однорідності ряду за умови його інтерпретації як набору значень випадкової величини.

Статистична неоднорідність виникає як наслідок зміни клімату одночасно на значній території під впливом природних чи антропогенних чинників і проявляється в даних значної кількості станцій. Виявлення статистичної неоднорідності дозволяє робити висновки про тенденції зміни клімату і має важливе значення для розробки теорії змін та коливань клімату.

Статистично однорідний ряд завжди є кліматологічно однорідним. Кліматологічна однорідність (неоднорідність) не означає, що ряд є статистично однорідним (неоднорідним). Кліматологічна однорідність даних лише означає, що кліматичні показники, які отримані у результаті обробки ряду, є порівнюваними з аналогічними характеристиками на сусідніх станціях.

Очевидно, що виявлення та усунення кліматологічної неоднорідності повинно передувати дослідженню ряду на статистичну неоднорідність.

Всі методи та алгоритми перевірки часових рядів на кліматологічну однорідність (гомогенізаційні методи) можна розділити на два типи: абсолютні (absolute) та відносні (relative). При використані абсолютних методів, здійснюється опрацювання окремих рядів даних. Тобто, вибирається ряд, з ним проводяться певні статистичні маніпуляції (розрахунки, статистичні тести), на основі результатів яких і робиться висновок про його однорідність (неоднорідність). При використанні відносних методів, завжди опрацьовується не один, а деяка кількість рядів, отриманих на прилеглих метеорологічних станціях. Згідно висновків комплексного порівняльного аналізу гомогенізаційних методів та алгоритмів [45], проведеного у рамках Європейського проекту COST (European Cooperation in Science and Technology) Action ES0601 HOME саме відносні методи є найбільш ефективними. Аналогічний висновок наводиться також і в [6], особливо якщо мова йде про ряди температури повітря та кількості опадів. Згідно [45] одним із найбільш ефективних відносних гомогенізаційних методів є процедура *MASH* і відповідне програмне забезпечення MASHv3.02, які розроблені в Угорській метеорологічній службі [42]. MASH – це комплекс прикладних спеціалізованих програм, основне призначення яких є здійснення контролю якості кліматологічних рядів та приведення їх до однорідного стану (їх гомогенізація). В УкрНДМГІ програмне забезпечення MASH використовувалось в рамках міжнародного проекту CARPATCLIM [22, 48].

1.1 Методика та вхідні дані для гомогенізації

Гомогенізація (виявлення та вилучення неоднорідностей в часових рядах метеорологічних/кліматологічних характеристик) проводилась для двох наборів (множин) часових рядів, кожен із яких містив 174 ряди даних – за кількістю станцій. Перший набір – дані про середні місячні значення температури повітря, другий – місячні суми опадів. Дані отримані на регулярній мережі метеорологічних/кліматологічних станцій України [3]. Період спостережень – стандартний кліматичний з 1961 до 1990 рр. з продовженням до 2010 р. Тобто,

гомогенізація була проведена не тільки для недавнього минулого періоду, а й для останніх 20 років, тобто сучасного періоду 1991-2010 рр. [34].

Ряди даних містили мінімальну кількість пропусків: у кожному із наборів сумарна кількість пропусків була меншою 1 % від загальної кількості елементів всіх рядів [14]. Географічний розподіл метеорологічних станцій на території України, дані яких гомогенізувалися, представлений на Рис.1.1. Середня відстань між метеорологічними станціями приблизно дорівнює 50 км, що, згідно рекомендацій Всесвітньої метеорологічної організації [46], є достатнім для проведення гомогенізації середніх місячних значень температури повітря та місячних сум опадів. Детальніша інформація про метеорологічні станції, дані яких опрацьовувались, представлена у Додатку А.

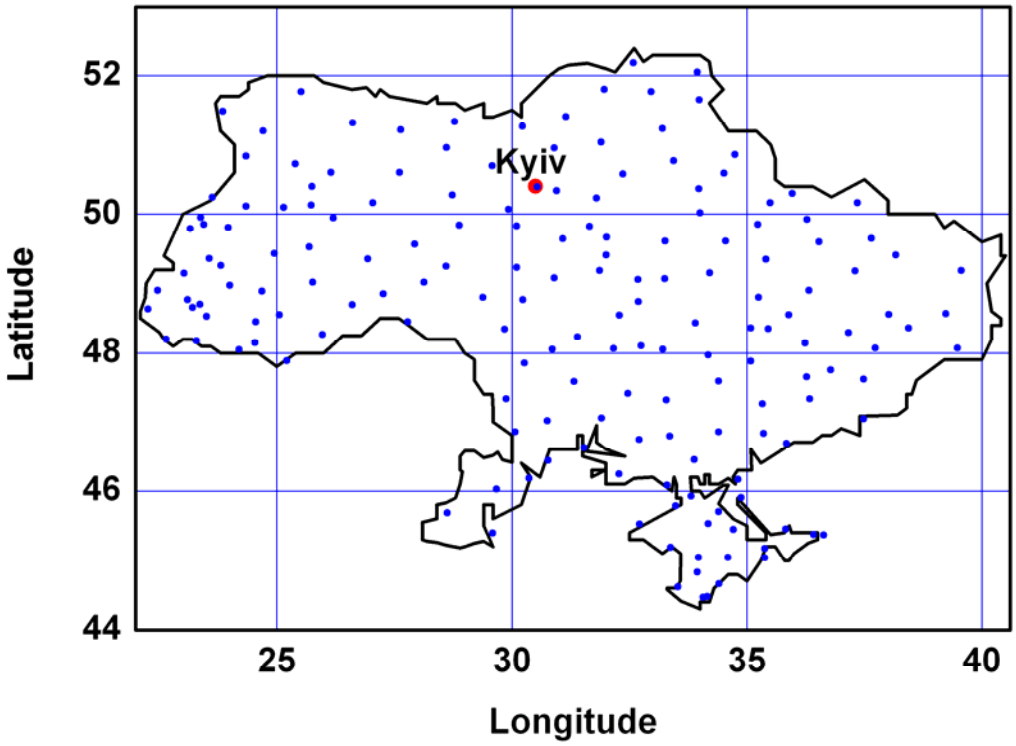


Рис. 1.1. Просторовий розподіл метеорологічних станцій, дані яких гомогенізувались

Гомогенізація проводилась за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення MASHv3.02 (Multiple Analysis of Series for Homogenization – *багатократний (ітеративний) аналіз рядів для їх гомогенізації*). Програмне забезпечення MASH створене Тамашом Зінтемрей (Tamás Szentimrey) з Угорської метеорологічної служби. Програмне забезпечення MASHv3.02 складається з двох основних частин [42].

Частина 1 – Контроль якості, заповнення пропусків та гомогенізація рядів місячних значень метеорологічних величин. Основними особливостями цієї частини є:

- Використання відносної гомогенізаційної тестової процедури. Тобто, оцінка однорідності (неоднорідності) кожного ряду (candidate series) здійснюється на основі розгляду рядів різниць між досліджуваним рядом

і рядами, отриманими на найближчих станціях (reference series). При цьому висновок про однорідність (неоднорідність) робиться на основі значень тестової статистики (TS), яка розраховується для кожного різницевого ряду, відповідно до загальноприйнятої у математичній статистиці процедури прийняття статистичних гіпотез.

- Багатократна (ітеративна) покрокова процедура, у ході якої роль часових рядів (candidate або reference) може змінюватись.
- Залежно від метеорологічної величини, може бути використана адитивна (наприклад, для температури) чи мультиплікативна (наприклад, для кількості опадів) модель часового ряду.
- Паралельне здійснення гомогенізації сезонних та річних рядів.
- Можливість автоматичного використання метаданих (можливих точок розривів, отриманих з аналізу історичних описів метеорологічних станцій) у ході проведення гомогенізації.
- Можливість здійснення оцінки результатів контролю якості та гомогенізації, на основі верифікаційної таблиці, що автоматично генерується під час гомогенізації.

Частина 2 – Гомогенізація добових значень метеорологічних величин. Основними особливостями цієї частини є:

- Гомогенізація добових значень базується на основі виявлених неоднорідностей для рядів місячних значень.
- Автоматичні процедури для проведення контролю якості та заповнення пропусків у часових рядах добових значень.
- Можливість оцінки результатів контролю якості та гомогенізації на основі тестових (верифікаційних) таблиць, що генеруються в ході проведення гомогенізації.

Такий алгоритм апробований в рамках роботи міжнародного проекту CARPATCLIM [48] та наведено в Додатку Б.

Слід зазначити, що найбільш трудомістким етапом проведення гомогенізації за допомогою MASH є підготовка вхідних файлів. Передбачена можливість представлення вхідних даних у двох форматах: COST формат та MASH формат.

1.2 Результати гомогенізації місячних характеристик: приземної температури повітря та кількості опадів

Результати гомогенізації середніх місячних значень температури.

Спочатку проаналізуємо результати гомогенізації рядів середніх річних значень температури, які отримані на основі середніх місячних, які наведено в Додатку В. Ступінь неоднорідності досліджуваних рядів була дуже високою, про що свідчить середнє значення тестової статистики (TS), яке до гомогенізації дорівнювало 301,33. Таке значення більше ніж у 14 разів перевищує критичне значення, яке дорівнює 20,86. Для окремих рядів значення TS досягало дуже великих значень, наприклад максимальне значення було 32029,89, що у 1535 разів більше за критичне значення.

Після гомогенізації значення TS наближаються до критичного. Так середнє значення зменшилось до 23,79, що є прийнятним результатом.

Процедура MASH суттєво зменшила значення TS також і для рядів місячних значень (див. Додаток Г). Порівнюючи значення TS до та після гомогенізації, можна зробити висновок, що гомогенізовані ряди місячних значень температури повітря можна вважати такими що пройшли контроль якості і можуть бути використаними для проведення подальших досліджень клімату України.

Результати гомогенізації місячних сум опадів.

Аналіз результатів гомогенізації річних рядів сум опадів, які розраховувались на основі місячних значень та наведено в Додатку Д, дозволяє зробити висновок про те, що оригінальні (не гомогенізовані) ряди є досить якісними. Ступінь їх неоднорідності є не надто високою. Наприклад, середнє значення TS для річних рядів дорівнює 22,29, що менше критичного значення, яке в даному випадку дорівнює 31,00. Все ж таки, TS окремих рядів є досить великим (до 367,07), тому проведення гомогенізації цих рядів є необхідним.

Після гомогенізації рядів річних значень сум опадів, значення TS для всіх рядів наблизилися до критичного. Середнє значення зменшилось до значення 17,79, а максимальне значення TS для окремих рядів дорівнює 80,90. Такі результати гомогенізації можна вважати прийнятними.

Процедура MASH суттєво зменшила значення TS також і для рядів місячних значень сум опадів (див. Додаток Е). Тільки одне значення TS після процедури гомогенізації залишилося більшим від 100, а всі інші наближаються до критичного значення.

Таким чином, порівнюючи значення TS до та після гомогенізації, можна зробити висновок, що гомогенізовані ряди місячних сум опадів можна вважати такими, що пройшли контроль якості і можуть бути використаними для проведення подальших досліджень клімату України.

2. РЕТРОСПЕКТИВНИЙ АНАЛІЗ ОСНОВНИХ КЛІМАТИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ НА ОСНОВІ ДАНИХ МЕРЕЖІ ГІДРОМЕТЕОРОЛОГІЧНИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ

2.1. Температура повітря

В основу ретроспективного аналізу середньомісячної температури атмосферного повітря покладено метеорологічну інформацію 185 гідрометеорологічних станцій України за період 1881-2010 рр. За зазначений період здійснювалось порівняння тринадцяти десятирічних періодів (1881-1890, 1891-1900, 1901-1910, 1911-1920, 1921-1930, 1931-1940, 1941-1950, 1951-1960, 1961-1970, 1971-1980, 1981-1990, 1991-2000, 2001-2010 рр.); шести двадцятирічних періодів (1881-1900, 1901-1920, 1921-1940, 1941-1960, 1961-1980, 1981-2000 рр.); чотирьох тридцятирічних періодів (1881-1910, 1911-1940, 1941-1970, 1971-2000 рр.); трьох сорокарічних періодів (1881-1920, 1921-1960, 1961-2000 рр.).

Середньомісячна температура повітря у холодний період року (листопад-березень) від десятиріччя до десятиріччя змінювалась більше суттєво, ніж у теплий: на півночі і сході у межах 2,0-6,0^{0}С, на решті території від 4,0^{0}С до 6,0^{0}С. Найменші зміни середньомісячної температури від десятиріччя до десятиріччя відбувались на заході (від 2,0^{0}С до 4,0^{0}С). У теплий період (квітень-жовтень) середньомісячна температура змінювалась у межах 1,0-3,0^{0}С.

У січні на заході найтеплішим (–3,0...–2,0^{0}С) виявилось десятиріччя 1991-2000 рр., а на решті території – десятиріччя 2001-2010 рр. (табл. 2.1). Температура змінювалась від –6,0...–5,0^{0}С на північному сході до –2,0...–1,0^{0}С на півдні, у Криму вона була вище 0^{0}С.

Найхолодніший січень відмічався у трьох десятиріччях, які за значеннями температури повітря дуже близькі. У 1891-1900 рр. найнижча середньомісячна температура повітря (–9,0...–8,0^{0}С) була на сході, у 1941-1950 рр. (–7,0... –6,0^{0}С) – на півдні та центрі, а в 1961-1970 рр. (–6,0...–5,0^{0}С) – на заході і півночі. У річному ході найбільшою амплітудою (різниця між найвищою і найнижчою температурою повітря за десятиріччя) у січні була: на сході 5,0-6,0^{0}С, на решті території 3,0-4,0^{0}С, лише у Криму 2,0^{0}С.

Таблиця 2.1. Найтепліші та найхолодніші десятиріччя в окремі місяці.

Місяць	Найтепліше десятиріччя, роки	Територія	Найхолодніше десятиріччя, роки	Територія
Січень	1991 – 2000	захід	1891 – 1900	схід
	2001 – 2010	вся територія	1941 – 1950	південь, центр
			1961 – 1970	захід, північ
Лютий	1991 – 2000	північ, захід	1921 – 1930	вся територія
	2001 – 2010	південь, схід		
Березень	2001 – 2010	вся територія	1951 – 1960	вся територія
Квітень	2001 – 2010	вся територія	1891 – 1900	вся територія

Травень	1921 –1930, 2001 – 2010	вся територія	1911 – 1920 1951 – 1960	вся територія захід
Червень	1901 – 1910, 1951 – 1960, 2001 – 2010	вся територія	1911 – 1920, 1981 – 1990	захід
Липень	2001 – 2010	вся територія	1911 – 1920, 1971 – 1980	вся територія
Серпень	2001 – 2010	вся територія	1911 – 1920, 1971 – 1980	вся територія
Вересень	2001 – 2010	вся територія	1911 – 1920, 1971 – 1980	вся територія
Жовтень	2001 – 2010	вся територія	1941 – 1950	вся територія
Листопад	2001 – 2010	вся територія	1891 – 1900	вся територія
Грудень	1971 – 1980	вся територія	1921 – 1930	вся територія

Аналогічна картина спостерігалась і в лютому. Найтеплішим лютий був у десятиріччя 1991-2000 рр. та 2001-2010 рр. Середньомісячна температура повітря цих десятирічок майже не відрізнялась. Слід зазначити, що на півночі та заході найтеплішим лютий був у десятиріччі 1991-2000 рр., а на півдні і сході – у 2001-2010 рр. Найнижча температура повітря спостерігалась у десятиріччя 1921-1930 рр. На північному сході і сході вона дорівнювала –9,0...–8,0^{0}С, на заході та півдні –5,0...–4,0^{0}С. У цьому місяці амплітуда за десятиріччя дещо менша ніж у січні.

Найтепліший березень відмічався у десятиріччі 2001-2010 рр. На північному сході температура повітря складала 1,0^{0}С, на більшій частині території вона перебувала у межах 2,0-3,0^{0}С, на півдні 4,0^{0}С, а в Криму досягала 5,0^{0}С. Найнижча середньомісячна температура повітря спостерігалась у десятиріччі 1951-1960 рр. Вона поступово змінювалася від –3,0^{0}С на північному сході до 1,0^{0}С на півдні та в Криму. Різниця між найвищою і найнижчою температурою повітря за десятиріччя знаходилась у межах 3,0-4,0^{0}С, на Закарпатській низовині – 2,0^{0}С.

Найвища середньомісячна температура повітря у квітні припадала на десятиріччя 2001-2010 рр. Майже на всій території вона становила 9,0^{0}С, на півдні підвищувалась до 10,0^{0}С, а в Криму до 11,0^{0}С. Найхолоднішим квітень був у десятиріччі 1891-1900 рр. На крайньому північному сході температура дорівнювала 5,0^{0}С, на більшій частині 7,0^{0}С, а на півдні перевищувала 8,0^{0}С. Амплітуда за десятиріччя у квітні дещо менша ніж у зимові місяці: на північному сході і сході 3,0^{0}С, на решті території 1,0-2,0^{0}С.

У травні найтеплішими виявились десятиріччя 2001-2010 рр. та 1921-1930 рр. Середньомісячна температура повітря на більшій частині території знаходилася в межах 15,0-17,0^{0}С. Найхолоднішим десятиріччям у цьому місяці було 1911-1920 рр., а на заході – 1951-1960 рр. Температура повітря становила 12,0^{0}С на північному сході, 14,0-15,0^{0}С на півдні. Різниця між найвищою і найнижчою температурою повітря за десятиріччя повсюдно майже однакова 1,0-2,0^{0}С.

Найтепліший (18,0-20,0^{0}С) червень відмічався у десятиріччі 1951-1960 рр., близькими за температурним режимом виявились 1901-1910, 2001-2010 рр.

Найнижчі значення середньомісячної температури повітря в цьому місяці були у десятиріччях 1911-1920 рр. та 1981-1990 рр. на заході, і змінювались від 16,0^{0}С на півночі до 19,0^{0}С на півдні. Амплітуда температури повітря за десятиріччя майже на всій території менша ніж у травні.

У липні десятиріччя 2001-2010 рр. характеризувалось найвищою середньомісячною температурою повітря. На заході вона досягала майже 20,0^{0}С, на північному сході 21,0^{0}С, на більшій частині 21,0-22,0^{0}С, а на півдні 24,0^{0}С. Найнижча температура повітря відмічалась у десятиріччі 1911-1920 рр., близьким до нього було десятиріччя 1971-1980 рр. Середньомісячна температура перебувала у межах 18,0-21,0^{0}С. У липні різниця між найвищою і найнижчою температурою повітря за десятиріччя майже повсюдно дорівнює 2,0-3,0^{0}С.

Найтеплішим серпень був у 2001-2010 рр. Середньомісячна температура повітря поступово підвищувалась від 19,0^{0}С на північному заході до 23,0^{0}С на півдні і південному сході, а в Криму до 24,0^{0}С. Найнижча середньомісячна температура відмічалась у 1911-1920 рр. На півночі і заході вона становила 17,0^{0}С, на сході – 19,0^{0}С, а на півдні досягала 21,0^{0}С. Дещо вищою середньомісячна температура повітря на півночі була у 1971-1980 рр. У цьому місяці амплітуда температури повітря за десятиріччя не перевищувала липневу.

Вересень відзначався найвищою середньомісячною температурою повітря у десятиріччя 2001-2010 рр. На заході і півночі вона становила 13,0-14,0^{0}С, а на сході і в півдні – 17,0-18,0^{0}С. Найхолоднішим цей місяць був у 1911-1920 рр. Середньомісячна температура збільшувалась від 12,0^{0}С на півночі до 16,0^{0}С на півдні. Близьким до нього за значеннями температури відмічалось десятиріччя 1971-1980 рр. У вересні амплітуда температури повітря за десятиріччя у річному ході була найменшою (1,0-2,0^{0}С).

У жовтні середньомісячна температура повітря набула найвищих значень у десятиріччі 2001-2010 рр. На північному сході вона не перевищувала 8,0^{0}С, на решті території знаходилась у межах 8,0-9,0^{0}С, на півдні становила 10,0-11,0^{0}С, а в Криму 12,0^{0}С. Найнижча середньомісячна температура у цьому місяці відмічалась у десятиріччі 1941-1950 рр. Вона поступово підвищувалась від 5,5^{0}С на крайньому північному сході до 9,0-10,0^{0}С на півдні; на заході і сході була однакова (7,0^{0}С). У жовтні різниця між найвищою і найнижчою температурою повітря за десятиріччя майже на всій території дорівнювала 2,0-3,0^{0}С.

Найвища середньомісячна температура повітря у листопаді спостерігалась у десятиріччя 2001-2010 рр. На північному сході її значення дорівнювали 2,0^{0}С, на півдні – 5-6^{0}С (у Криму 7,0^{0}С), на більшій частині території – 3,0-4,0^{0}С. Найнижча середньомісячна температура спостерігалась у десятиріччі 1891-1900 рр. На північному сході вона не опускалася нижче -1,0^{0}С, на значній території перебувала у межах 0-1,0^{0}С, на півдні становила 3,0-4,0^{0}С. Найвища і найнижча середньомісячна температура повітря за десятиріччя відрізнялась на 2,0-3,0^{0}С.

У грудні найвища середньомісячна температура повітря відмічалась у десятиріччі 1971-1980 рр. і становила на північному сході –3,0^{0}С підвищуючись

на заході до –1,0^{0}С; на крайньому півдні і південному заході до 1,0^{0}С; в Криму – до 2,0-3,0^{0}С. Найнижча середньомісячна температура повітря у грудні була у десятиріччі 1921-1930 рр. і змінювалася від –6,0^{0}С на північному сході до –3,0^{0}С на заході та –1,0^{0}С – на півдні. Величина амплітуди (різниця між найвищою і найнижчою температурою повітря) за десятиріччя була така ж, як у листопаді.

Для середньомісячної температури повітря за окремі десятиріччя характерним було те, що найвищі її значення майже у всі місяці року (січень-листопад) припадали на 2001-2010 рр., за винятком грудня, який був найтеплішим у 1971-1980 рр. Найхолоднішими місяці травень-вересень були у десятиріччя 1911-1920 рр., інші місяці були найхолоднішими у різні десятиріччя: січень, квітень, листопад – у 1891-1900 рр.; лютий, грудень – 1921-1930 рр.; березень – 1951-1960 рр., жовтень – у 1941-1950 рр.

Порівняння середньомісячної температури повітря за шість двадцятирічних періодів показало, що внаслідок коливання середньомісячної температури у віковому ході, майже на всій території різниця від двадцятиріччя до двадцятиріччя досягала 1,0^{0}С навіть у літні місяці. Найменші зміни температури повітря від двадцятиріччя до двадцятиріччя відмічалися на заході.

У січні на всій території найтеплішим було двадцятиріччя 1981-2000 рр. (табл. 2.2). Температура повітря від –5,0^{0}С на північному сході та сході поступово підвищувалась до –3,0^{0}С на заході та –2,0...–1,0^{0}С на півдні. Найхолоднішим виявилося двадцятиріччя 1961- 1980 рр.: на північному сході та сході температура повітря становила –8,5...–8,0^{0}С, на заході –6,0...–5,5^{0}С, на півдні –4,0...–2,5^{0}С, а в Криму –1,5...–0,5^{0}С. Близькі значення температури повітря відмічались у 1881-1900, 1921-1940, 1941-1960 рр. Величина амплітуди за двадцятиріччя на півночі і сході складала 3,0^{0}С, а на заході і півдні 2,5^{0}С.

Найтеплішим лютий був у 1981-2000 рр., коли температура повітря змінювалась від –5,0^{0}С на північному сході і сході до –3,0...–2,5^{0}С на півночі і заході, та до –1,5...–0,5^{0}С на півдні. Найнижча температура повітря у лютому спостерігалась у двадцятиріччя 1921-1940 рр. За значеннями вона була близькою до січневої температури на всій території у цьому ж двадцятиріччі: на сході –8,5...–8,0^{0}С, на заході –5,5...–5,0^{0}С, півдні –3,0^{0}С, у Криму –1,5^{0}С. Амплітуда температури повітря на всій території за двадцятиріччя дорівнювала 3,0^{0}С.

Таблиця 2.2. Найтепліші та найхолодніші двадцятиріччя в окремі місяці.

Місяць	Найтепліше двадцятиріччя, роки	Територія	Найхолодніше двадцятиріччя, роки	Територія
Січень	1981 – 2000	вся територія	1961 – 1980	вся територія
			1881 – 1900, 1921 – 1940 , 1941 – 1960	вся територія
Лютий	1981 – 2000	вся територія	1921 – 1940	вся територія
Березень	1981 – 2000 1901 – 1920	вся територія захід, південь	1941 – 1960	вся територія

Квітень	1981 – 2000 1961 – 1980	вся територія захід, південь	1881 – 1900	вся територія
Травень	1921– 1940, 1981– 2000	вся територія	1901 – 1920	вся територія
Червень	1941 –1960, 1961 –1980, 1981 –2000	вся територія	1881 – 1900, 1901 – 1920, 1921 – 1940	вся територія
Липень	1881 –1900	вся територія	1901 –1920	вся територія
Серпень	1981 –2000	вся територія	1901 –1920	вся територія
Вересень	всі двадцятиріччя однакові	вся територія	всі двадцятиріччя однакові	вся територія
Жовтень	1881 –1900 , 1981 – 2000	вся територія	1941 –1960	вся територія
Листопад	1921 –1940, 1961 –1980	вся територія	1901 –1920	вся територія
Грудень	1981 –2000	вся територія	1921 –1940	вся територія

У березні найтеплішим було останнє двадцятиріччя 1981-2000 рр. На північному сході та сході температура повітря змінювалася від –0,5...–0,0^{0}С до 2,0^{0}С на крайньому заході та 2,5^{0}С на півдні, в Криму до 2,5 – 3,5^{0}С. На заході і півдні така ж температура повітря була у 1901-1920 рр. Найбільш низькою температура повітря у березні була у 1941-1960 рр. На північному сході вона становила –3,0^{0}С поступово підвищуючись до 0,0^{0}С на заході та набуваючи додатних значень (1,0-2,0^{0}С) на півдні. Різниця температури повітря між найтеплішим і найхолоднішим двадцятиріччя найбільшою була на північному сході (2,5^{0}С); на заході і півдні вона була дещо меншою (1,5 – 2,0^{0}С).

Найвищу (8,0–10,0^{0}С) температуру повітря для квітня було зафіксовано у двадцятиріччя 1981-2000 рр. Близьким до нього за значеннями температури повітря на заході и півдні є двадцятиріччя 1961-1980 рр. Найхолоднішим (6,0 – 8,0^{0}С) квітень був у 1881-1900 рр. Амплітуда температури повсюдно становила майже 2,0^{0}С, на сході – 2,5^{0}С.

Для травня місяця найтеплішим виявилось двадцятиріччя 1921-1940 рр.; температура повітря на всій території коливалась у межах 14,5 – 16,0^{0}С. Майже такою (на 0,5^{0}С нижче) температура була у двадцятиріччя 1981-2000 рр. У травні найхолоднішим виявилось двадцятиріччя 1901-1920 рр. Температура повітря по території України змінювалась від 13,0^{0}С на півночі до 15,0^{0}С у південних районах. Амплітуда температури повітря за двадцятиріччя становила 1,5^{0}С.

У літні місяці (червень, липень, серпень) температура повітря характеризувалась рівномірним часовим і просторовим розподілом.

Для червня характерною рисою була незначна відмінність температури повітря від двадцятиріччя до двадцятиріччя. Найвища температура у червні була у двадцятиріччя 1941-1960 рр, 1961-1980 рр., 1981-2000 рр. У всіх двадцятиріччях вона коливалась від 17,5^{0}С на північному сході до 20,0^{0}С на півдні; на заході становила 16,5^{0}С. Дещо нижча (лише на 0,5^{0}С) температура повітря відмічалась у 1881-1900 рр., 1901-1920 рр., 1921-1940 рр.

Слід зазначити, що у липні температура повітря також мало змінювалась від двадцятиріччя до двадцятиріччя по всій території України. У всі двадцятиріччя вона становила на північному заході та заході 18,5-19,0^{0}С, на півночі 18,5-19,5^{0}С, на сході 20,5-22,0^{0}С, на півдні 22,0-23,0^{0}С. Найтеплішим (19,0-23,0^{0}С) виявилось двадцятиріччя 1881-1900 рр., найхолоднішим (18,0-22,0^{0}С) двадцятиріччя 1901-1920 рр.

У серпні всі двадцятиріччя були дуже близькі за температурою повітря по всій території України. Найтеплішим можна вважати двадцятиріччя 1981-2000 рр.: температура повітря підвищувалась від 17,0-17,5^{0}С на заході та 18,0^{0}С на півночі до 20,0^{0}С на сході і 22,0^{0}С на півдні; а найхолоднішим – двадцятиріччя 1901-1920 рр. (температура коливалась у межах 17,0-21,0^{0}С).

У вересні відмінностей від двадцятиріччя до двадцятиріччя фактично відмічено не було. Температура повітря майже у всі двадцятиріччя знаходилась у межах 13,0^{0}С на півночі і заході, 14,0-15,0^{0}С на сході та 16,0-16,5^{0}С на півдні.

Температура повітря у жовтні від двадцятиріччя до двадцятиріччя змінювалась (до 1,0^{0}С) майже на всій території України. Найтеплішим жовтень був у перше (1881-1900 рр.) і останнє (1981-2000 рр.) двадцятиріччя. Температура повітря підвищувалась з північного сходу на південь з 7,0^{0}С до 11,5^{0}С та у Криму до 12,0^{0}С. Найнижчою температура повітря у жовтні була у 1941-1960 рр. і змінювалась по території від 6,0^{0}С до 10,5^{0}С.

У листопаді зміни середньомісячної температури повітря від двадцятиріччя до двадцятиріччя були найбільшими (до 2,0^{0}С). Найвища температура повітря у листопаді відмічалась у 1921-1940 рр. та 1961-1980 рр.; вона змінювалась з північного сходу на південь від 1,5^{0}С до 5,5^{0}С. Найхолодніший листопад був зафіксований у двадцятиріччя 1901-1920 рр. На північному сході температура повітря була від'ємною (– 0,5^{0}С), а на сході, заході та півдні – додатною 0,5^{0}С, 1,5^{0}С та 3,5^{0}С відповідно, у Криму 4,5-5,0^{0}С.

У грудні температура повітря відрізнялась від двадцятиріччя до двадцятиріччя у межах 1,0^{0}С. Найтеплішим виявився грудень у 1981-2000 рр.: температура повітря підвищувалась від – 4,0^{0}С на північному сході і сході та – 2,0^{0}С на заході до додатної на півдні та в Криму. Найхолоднішим грудень був у двадцятиріччя 1921-1940 рр.: температура змінювалась від – 5,5... – 5,0^{0}С на північному сході та заході –3,0^{0}С до –1,5^{0}С на півдні.

Аналогічно десятирічним періодам середньомісячна температура повітря за окремі двадцятиріччя була найвищою майже у всі місяці року у 1981-2000 рр., за винятком листопада, який був найтеплішим у 1921-1940 та 1961-1980 рр. Найхолоднішими були місяці грудень-лютий у двадцятиріччя 1921-1940 рр. Варто зауважити, що температура повітря у вересні була майже однаковою у всі двадцятиріччя (12,5^{0}С на північному сході, 17,5^{0}С на півдні, 13,5^{0}С на заході та 14,5^{0}С сході).

Порівняння середньої місячної температури повітря чотирьох тридцятирічних періодів показало, що коливання температури повітря від тридцятиріччя до тридцятиріччя у віковому ході майже на всій території України в теплий період (квітень-жовтень) коливалась у межах 0,5^{0}С; у холодний період коливання сягали 1,0^{0}С. Слід відмітити, що найбільша (до

2,0^{0}С) різниця температури повітря у холодний період (січень і березень) була між тридцятиріччям 1941-1970 та 1971-2000 рр.

Найтеплішим січень був у тридцятиріччя 1971-2000 рр., середньомісячна температура повітря змінювалась від –6,5...–6,0^{0}С на сході, –4,0...–3,5^{0}С на заході до –3,5...–2,0^{0}С на півдні та в Криму вона була близькою до нуля. Найхолоднішим січень виявився у 1941-1970 рр., температура повітря змінювалась від –8,0^{0}С на північному сході до –6,0...–5,5^{0}С на заході та –3,5...–2,0^{0}С на півдні (табл. 2.3).

Таблиця 2.3. Найтепліші та найхолодніші тридцятиріччя в окремі місяці.

Місяць	Найтепліше тридцятиріччя, роки	Територія	Найхолодніше тридцятиріччя, роки	Територія
Січень	1971 –2000	вся територія	1941 –1970	вся територія
Лютий	1971 – 2000	вся територія	1911 –1940	вся територія
Березень	1971 – 2000	вся територія	1941 –1970	вся територія
Квітень	1971 – 2000	вся територія	1881 –1910	вся територія
Травень	1881 – 1910	вся територія	1941 – 1970	вся територія
Червень	1971 – 2000	вся територія	1911 – 1940	вся територія
Липень	1881 – 1910	вся територія	1971 – 2000	вся територія
Серпень	1941 – 1970	вся територія	1911 – 1940	вся територія
Вересень	1911 – 1940	вся територія	1971 – 2000	вся територія
Жовтень	1881 – 1910	вся територія	1911 – 1940	вся територія
Листопад	1911 – 1940	вся територія	1881 – 1910	вся територія
Грудень	1971 – 2000	вся територія	1881 – 1910	вся територія

Аналогічно січню, у лютому найтеплішим було також тридцятиріччя 1971-2000 рр. Температура повітря становила –5,5...–5,0^{0}С на сході, –2,5^{0}С на заході, –2,0^{0}С на півдні та близько нуля у Криму. Найхолоднішим було тридцятиріччя 1911-1940 рр., коли температура повітря змінювалась від –8,0...–7,5^{0}С на сході, –4,5...–3,5^{0}С на заході та до –4,0...–3,5^{0}С на півдні.

Тридцятиріччя 1971-2000 рр. виявилось найтеплішим і в березні: температура повітря змінювалась з північного сходу від –0,5^{0}С на захід та південь до додатних значень 1,5^{0}С, 2,5^{0}С відповідно. Найхолодніше тридцятиріччя відмічалось у 1941-1970 рр.: на сході і північному сході температура повітря становила –2,5...–1,5^{0}С, на півночі –1,0^{0}С, на заході – близько нуля, на півдні 1,0-1,5^{0}С.

Квітень виявився найтеплішим у 1971-2000 рр. Середньомісячна температура повітря змінювалась по території України несуттєво (7,5-10,0^{0}С). У найхолодніше тридцятиріччя 1881-1910 рр. температура повітря коливалась від 6,0^{0}С на північному сході до 9,0^{0}С на південному заході.

З травня до листопада характерною рисою розподілу середньомісячної температури повітря була незначна відмінність її величини від тридцятиріччя до тридцятиріччя.

Для травня зміни температури повітря становили від 14,0 до 16,0^{0}С у 1881-1910 рр., від 13,5 до 15,5^{0}С у 1911-1940 рр. та 1941-1970 рр. та від 14,0 до 15,5^{0}С у 1971-2000 рр.

У червні середньомісячна температура повітря в усіх тридцятиріччя була майже однаковою і знаходилась у межах 17,5 – 20,0^{0}С.

У липні зміни температури повітря від тридцятиріччя до тридцятиріччя складали: 19,5-23,0^{0}С) у 1881-1910 рр.; 19,0-22,5^{0}С у 1911-1940 рр. та 1941-1970 рр.; 18,5-22,5^{0}С в 1971-2000 рр.

Для серпня місяця температура повітря від тридцятиріччя до тридцятиріччя майже не змінювалась і становила 18,0-22,0^{0}С.

Вересень характеризувався незначними змінами температури повітря: 13,0-16,5^{0}С у 1881-1910 рр., 13,0-16,5^{0}С у 1911-1940 рр., 13,0-17,0^{0}С у 1941-1970 рр., та 12,5-17,0^{0}С в 1971-2000 рр.

Для жовтня також характерним був досить рівномірний розподіл температури повітря, а саме: 6,5-11,5^{0}С у 1881-1910 рр., 6,0-11,0^{0}С у 1911-1940 рр., 6,5-10,5^{0}С у 1941-1970 рр. та 6,5-11,0^{0}С в 1971-2000 рр.

У листопаді найтеплішим було тридцятиріччя 1911-1940 рр., температура повітря змінювалась від 1,0-1,5^{0}С на північному сході і сході, до 4,0-6,0^{0}С на півдні. Найхолодніше в цьому місяці було у 1881-1910 рр., температура повітря коливалась у межах від –0,5^{0}С на північному сході до 4,0^{0}С на півдні.

Грудень найтеплішим був у тридцятиріччя у 1971-2000 рр., коли температура повітря змінювалася від –4,0^{0}С на північному сході до 1,0-2,0^{0}С на півдні. Найхолоднішим тридцятиріччям було 1881-1910 рр. Температура повітря коливалась від –5,5...–5,0^{0}С на сході та північному сході, до –3,0...–2,5^{0}С на заході, та –2,0...–1,0^{0}С на півдні. У Криму середньомісячна температура повітря була додатня.

Порівняння середньої місячної температури повітря трьох сорокарічних періодів виявило наступне. У січні на північному сході та сході температура у перші сорокаріччя не змінювалась (–7,5^{0}С), лише у 1961-2000 рр. вона підвищилась на 1,0^{0}С (–6,5^{0}С); на заході та півдні від сорокаріччя до сорокаріччя температура повітря майже не змінилась (табл. 2.4).

Таблиця 2.4. Найтепліші та найхолодніші сорокаріччя в окремі місяці.

Місяць	Найтепліше сорокаріччя, роки	Територія	Найхолодніше сорокаріччя, роки	Територія
Січень	1961 – 2000	Вся територія	1921 – 1960	Вся територія
Лютий	1961 – 2000	Вся територія	1921 – 1960	Вся територія
Березень	1961 – 2000	Вся територія	1921 – 1960	Вся територія
Квітень	1961 – 2000	Вся територія	1921 – 1960	Вся територія
Травень	1961 – 2000	Вся територія	1921 –1960	Вся територія
Червень	1961 – 2000	Вся територія	1921 – 1960	Вся територія
Липень	1921 – 1960	Вся територія	1961 – 2000	Вся територія
Серпень	1921 – 1960	Вся територія	1961 – 2000	Вся територія
Вересень	1921 – 1960	Вся територія	1961 – 2000	Вся територія
Жовтень	1961 – 2000	Вся територія	1881 – 1920	Вся територія
Листопад	1961 – 2000	Вся територія	1881 – 1920	Вся територія
Грудень	1961 – 2000	Вся територія	1921 – 1960	Вся територія

У лютому температура повітря на північному сході та сході від 1881-1920 рр. до 1921-1960 рр. знизилась на 1,0-1,5^{0}С, а від 1921-1960 рр. до 1961-2000 рр. підвищилась на 1,0-2,0^{0}С. На заході і півдні хід температури від сорокаріччя до сорокаріччя був подібним і відрізнявся лише значеннями.

У березні середньомісячна температура повітря знизилась на всій території України до 1,0^{0}С у 1921-1960 рр. порівняно з 1881-1920 рр. У сорокаріччя 1961-2000 рр. температура повітря підвищилась на сході на 1,5^{0}С, а на заході і півдні на 0,5^{0}С відносно попереднього сорокаріччя.

Для квітня характерним було однакове поле температури повітря у періоди 1881-1920 рр. та 1921-1960 рр. В останнє сорокаріччя 1961-2000 рр. температура повітря підвищилась на 1,0-1,5^{0}С: з 6,0^{0}С на північному сході та заході, до 8,0^{0}С на сході, до 8,5^{0}С і до 9,5^{0}С на півдні.

У травні всі сорокарічні періоди виявилися близькими за значеннями середньої температури повітря, а останній (1961-2000 рр.) на півдні був дещо прохолоднішим (на 0,5^{0}С).

У червні значення температури повітря також близькі в усі сорокаріччя (в окремих регіонах різниця не перевищувала 0,5^{0}С).

У липні та серпні середня температура повітря за сорокарічні періоди майже однакова, лише в останнє сорокаріччя вона нижча на 0,5^{0}С на всій території за винятком заходу.

У вересні всі сорокарічні періоди були близькі за температурою повітря, лише на сході та півдні сорокаріччя 1921-1960 рр. та 1961-2000 рр. були на 0,5^{0}С теплішими.

Жовтень характеризувався майже однаковою температурою повітря в усі сорокаріччя. В останнє сорокаріччя температура повітря стала вищою на 0,5^{0}С на півночі і північному сході.

Середня температура повітря у листопаді підвищилась на 1,0^{0}С у періоди 1921-1960 рр. та 1961-2000 рр. на всій території України, на півночі – лише в 1961-2000 рр.

У грудні температура повітря була найвищою в останнє сорокаріччя 1961-2000 рр.

Для сорокарічних періодів характерним є те, що від сорокаріччя до сорокаріччя середньомісячна температура повітря змінюється незначним чином (до 0,5^{0}С), у весняні місяці – до 1,0^{0}С. Найтеплішим періодом у всі місяці є останнє сорокаріччя 1961-2000 рр., а найхолоднішим 1881- 1920 рр.

Таким чином середньомісячна температура повітря у віковому ході найбільше відрізняється від десятиріччя до десятиріччя, найменше від тридцятиріччя до тридцятиріччя, а від сорокаріччя до сорокаріччя майже не змінюється. Найбільші відмінності характерні для холодного періоду, вони проявляються навіть за тридцятирічні періоди.

2.2. Атмосферні опади

За даними натурних спостережень на метеорологічних станціях України в залежності від регіону кількість опадів від місяця до місяця за останній період (1991-2010 рр.) змінювалася по-різному. Аналіз розрахунків показав, що зміни

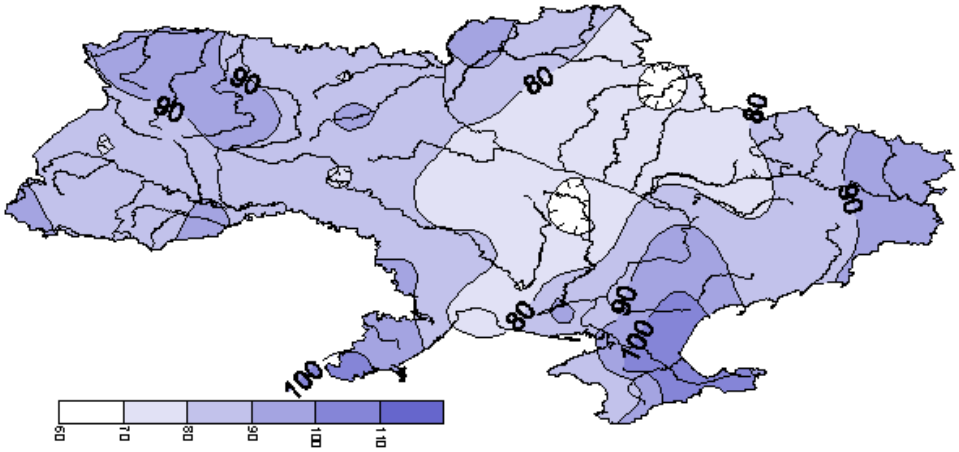
кількості опадів на території України відзначаються великою просторово-часовою мінливістю.

Середні значення кількості опадів за холодний, теплий періоди та за рік змінилися дуже мало; вони в цілому досить стійкі у часі і знаходяться у межах кліматологічної стандартної норми. Найбільша відмінність у кількості опадів за два розглянутих періоди відмічається у зимові місяці в сторону їх зменшення, та осінні – у сторону їх збільшення.

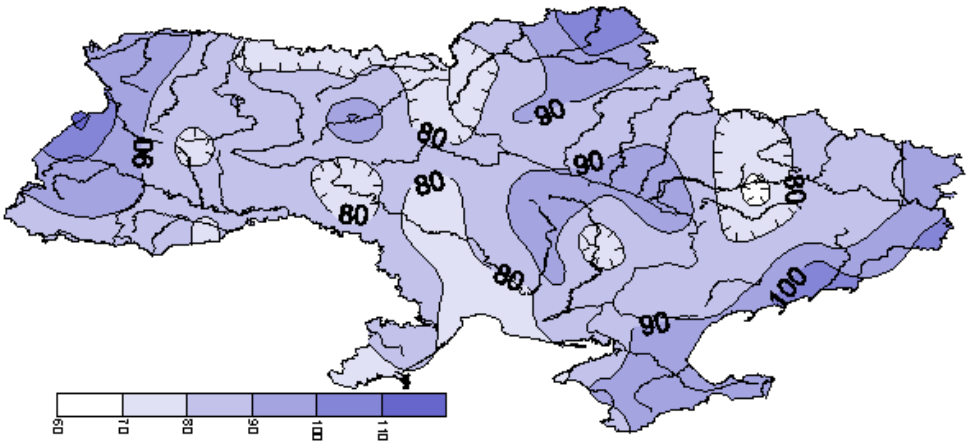
Побудовані карти середньомісячної кількості опадів за період 1991-2010 рр. у відсотках від кліматологічної стандартної норми для всіх місяців року (січень-грудень) дали можливість виявити просторові зміни опадів в сучасних умовах. Серед зимових місяців (рис. 2.1) у грудні випала найменша кількість опадів. На більшості центральної частини України, північному сході, (Харківська обл.), території Львівської та Хмельницької областей, південному сході Одеської області вона знаходилася у межах 70-80% норми, а на півдні Сумської, і частині Кіровоградської областей – 60-70%. Лише на північному заході, крайньому сході і півдні України кількість опадів коливалась у межах 91-100 % норми.

У січні значна частина території України характеризувалась опадами меншими 80% норми. Це осередки: 1.-на півночі Рівненської, Чернігівської, а також частині Житомирської, Київської, Черкаської Кіровоградській, Тернопільській, Вінницькій, Чернівецькій та Одеській областей. 2.-на півдні Сумської, більшій частині Харківської і Кіровоградської областей, де опади складали 65-75% норми. На іншій території кількість опадів складала 81-100% норми, а на крайньому заході – більше 110%.

а)



б)



в)

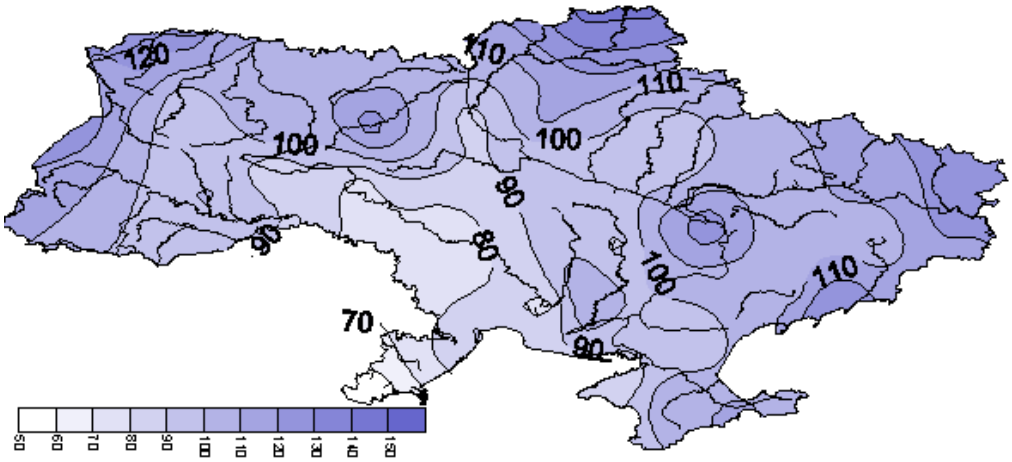
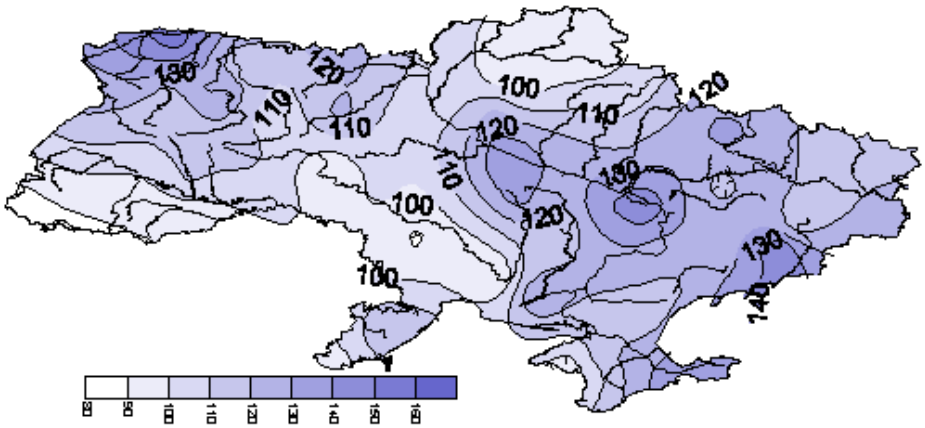


Рисунок 2.1. Середня місячна кількість опадів (%) за період 1991-2010 рр. відносно кліматологічної стандартної норми (1961-1990 рр.): а-грудень, б-січень, в-лютий.

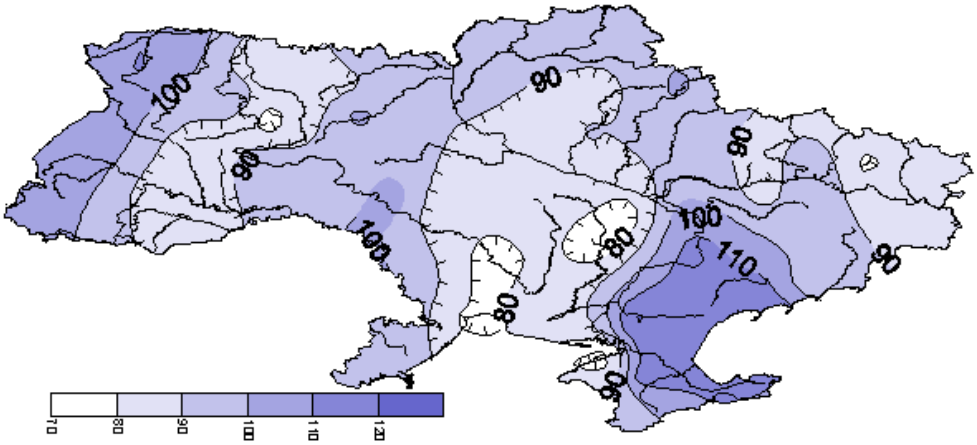
У порівнянні з попередніми зимовими місяцями, у лютому кількість опадів збільшилася. Особливо на північному заході, півночі Чернігівської, Сумської, частині Дніпропетровської областей, на крайньому сході країни та в АР Крим. Тут кількість опадів складала 121-140% норми. На південному заході, частині Вінницької, Одеської областей відмічався осередок з мінімальною кількістю опадів (60-79%. норми). На півдні Одеської області опади дорівнювали 50% норми. Цей осередок спостерігався і в попередні місяці, що є характерною особливістю розподілу опадів взимку.

У весняні місяці найбільша кількість опадів випала у березні (рис 2.2). На всій території країни переважали опади у межах норми і більше.

а)



б)



в)

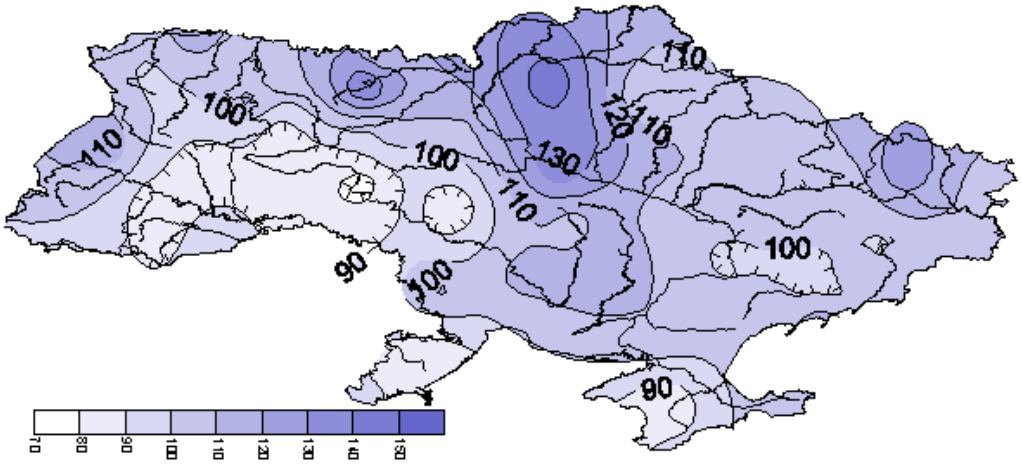


Рисунок 2.2. Середня місячна кількість опадів (%) за період 1991-2010 рр. відносно кліматологічної стандартної норми (1961-1990 рр.): а-березень, б-квітень, в-травень.

На крайньому північному заході, центральній частині Дніпропетровської, південних районах Донецької, Запорізької областей, східних районах АР Крим кількість опадів становила 140-160% норми. На півночі Рівненської, Житомирської, частині Харківської, Полтавської, Черкаської, Кіровоградської, Запорізької областей опади складали 121-135%. І лише на Закарпатті та південному заході країни опади були найменші (у межах 85-95% норми).

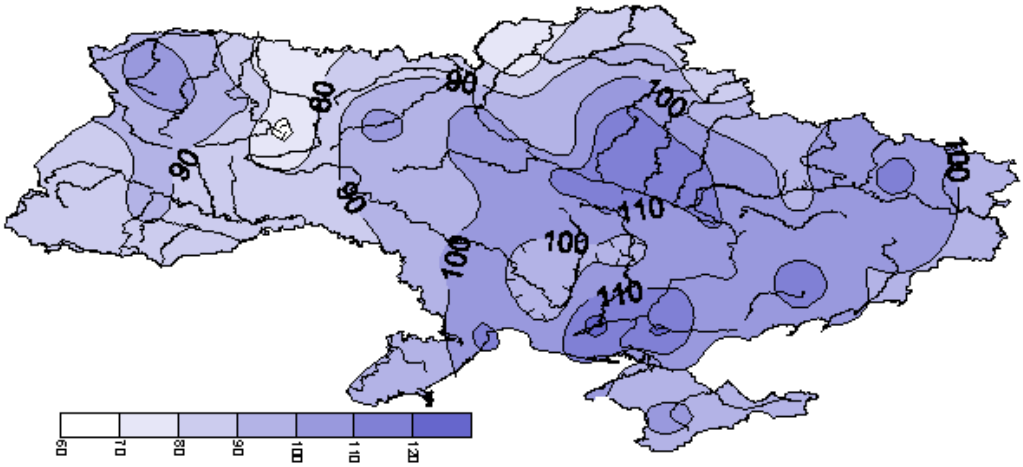
У квітні випала найменша кількість опадів за весняний сезон. На значній частині території поле місячної кількості опадів знаходилося у межах 80-100% норми. На більшій частині Тернопільської, Хмельницької, Чернівецької, Одеської, Миколаївської областей кількість опади складали 75-80%. На півдні країни, Приазов'ї, Присивашші та сході АР Крим 120-140%.

Для травня характерним є збільшення опадів (до 130-160% норми) на півночі Житомирської області, у Чернігівській та Черкаській, областях. На півночі Харківської та Луганської областей місячна кількість опадів була 120% і вище. Найменша кількість опадів (у межах 75-80%) спостерігалася на південному заході країни, сході Одеської області та центральних районах АР Крим.

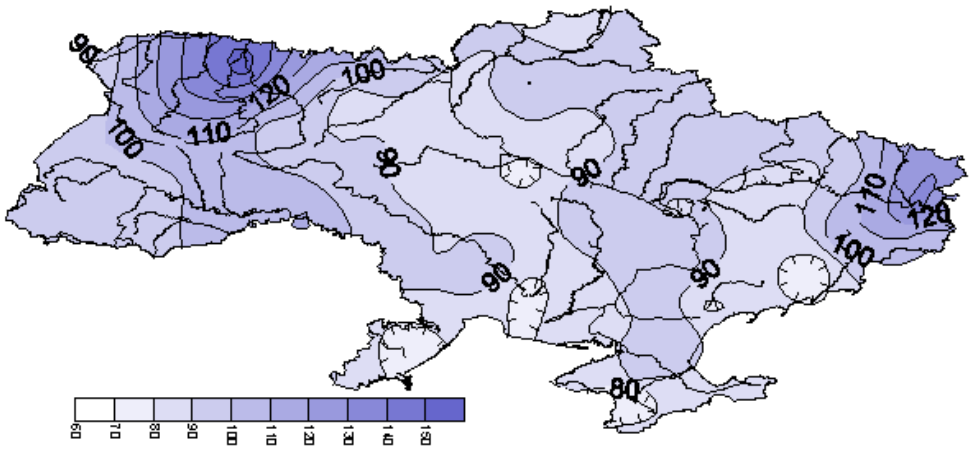
Кількість опадів у літні місяці відзначається великою мінливістю (60-160% норми) як по території, так і від місяця до місяця (рис. 2.3). Важливою особливістю ходу опадів у літні місяці є їх збільшення в окремих регіонах у липні та серпні. У червні на більшій частині території країни переважали опади у межах 80-100% норми.

На північному заході, півночі Чернігівської та Сумської областей опади були найменшими (70-80% норми). Збільшилися опади до 115-120% у центральних районах (Полтавська і Черкаська області), північному сході, півдні (Херсонська область) та Приазов'ї.

а)



б)



в)

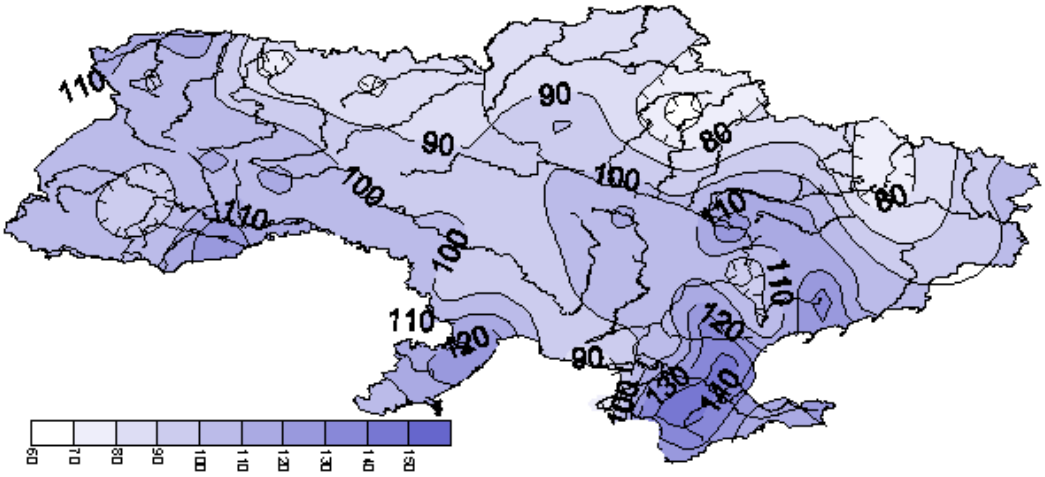


Рисунок 2.3. Середня місячна кількість опадів (%) за період 1991-2010 рр. відносно кліматологічної стандартної норми (1961-1990 рр.): а-червень, б-липень, в-серпень

У липні на значній центральній частині території опади знаходилися у межах 90% норми, тобто відмічалося їх незначне зменшення (до 5 мм). Суттєве їх збільшення відбулося лише на північному заході (до 160%), та сході країни (до 130% норми). Виділяються окремі райони з опадами меншими 80% норми. Це центральні райони Черкаської області, південь країни (Одеська, Миколаївська, Херсонська області), Приазов'я, та в АР Крим.

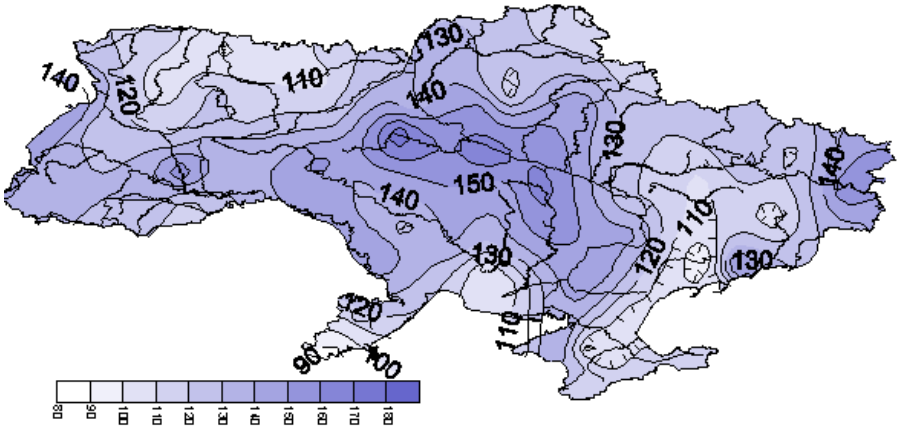
Серед літніх місяців у серпні відмічається значне збільшення опадів (130-150% норми) в основному у південних районах. Це райони Чернівецької, Вінницької, Одеської, Дніпропетровської областей, а також південна частин Донецької, Запорізької, Херсонської областей та АР Крим. Найменша кількість опадів (<80% норми) випала у Сумській, Харківській, Рівненській та Житомирській областях.

У сучасний період часу (1991-2010 рр.) найбільші зміни у режимі опадів в осінні місяці відбулися у вересні та жовтні (рис. 2.4). У вересні практично вся центральна частина країни, а також частина західних і східних областей перебувала у режимі надмірного зволоження. Найбільша кількість опадів (150-170% норми), випала у центральних областях (Київська, Черкаська, Кіровоградська, Дніпропетровська, Полтавська), 140-160% норми в західних та

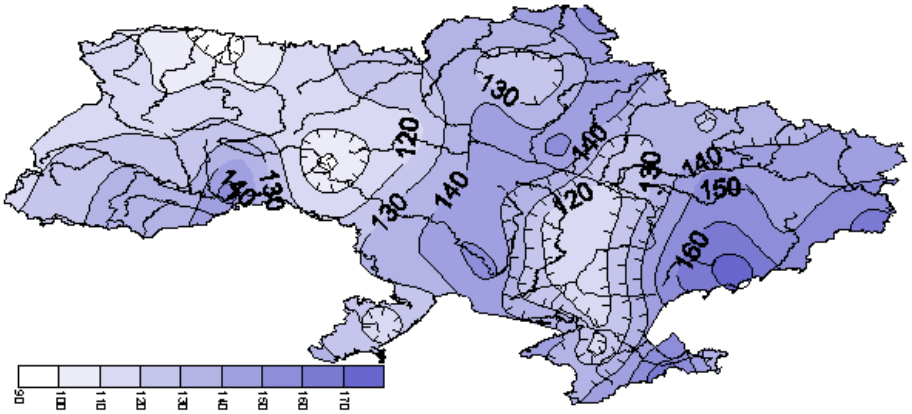
східних областях. Найменша кількість опадів (до 100% норми) відмічалася на півночі Житомирської області, півдні Одеської та Запорізької областей.

У жовтні, як і у вересні, на більшій частині території країни опади були значно більшими за норму. Найбільша кількість опадів (160-180% норми) випала на півдні Луганської, Донецької, Запорізької областей та сході АР Крим. В центральних районах Харківської, північних районах Чернігівської обл., Сумській, Черкаській, Кіровоградській та півдні Вінницької, частині Одеської, Миколаївської областей та центральних районах АР Крим кількість опадів дорівнювала 140-155% норми. Найменша кількість опадів спостерігалася у деяких північно-західних областях, у Вінницькій, деяких районах Дніпропетровської, Херсонської областей та АР Крим.

а)



б)



в)

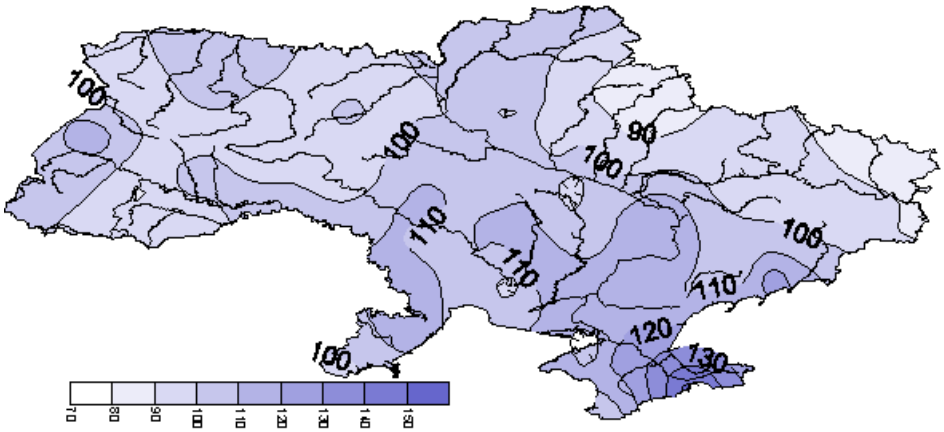


Рисунок 2.4. Середня місячна кількість опадів (%) за період 1991-2010 рр. відносно кліматологічної стандартної норми (1961-1990 рр.): а-вересень, б-жовтень, в-листопад.

У листопаді майже на всій території кількість опадів була у межах 100% норми. Лише на північному сході та сході вони були менші 90% норми. У південних районах та АР Крим опади збільшилися до 120-160 %..

Таким чином в умовах сучасного клімату (1991-2010 рр.) в Україні кількість опадів за рік, холодний та теплий періоди не зазнала значних змін відносно кліматологічної стандартної норми. Ці дані досить стійкі у часі. Їх зміни коливаються у межах 10-15%, що спостерігалося і в період 1961-1990 рр. Але відмічається перерозподіл кількості опадів в окремі місяці. Прослідковується помітна тенденція до зниження опадів на окремих територіях взимку особливо у грудні та січні (до 70 % норми). Підвищення кількості опадів у березні, травні, липні та серпні теж на окремих територіях. Суттєвим є зростання опадів практично на всій території в осінні місяці, особливо у вересні та жовтні (140-180 % норми). Це слід вважати закономірністю розподілу кількості опадів в сучасних умовах. Можливо це прояви періодичностей, які відмічалися і раніше.

3. СЦЕНАРІЇ МОЖЛИВИХ ЗМІН КЛІМАТИЧНИХ УМОВ В УКРАЇНІ В XXI СТОЛІТТІ НА ОСНОВІ ПРОЕКЦІЙ МОДЕЛЕЙ ЗАГАЛЬНОЇ ЦИРКУЛЯЦІЇ АТМОСФЕРИ ТА ОКЕАНІВ

Клімат планети в цілому та окремих її регіонів змінюється нерівномірно під дією багатьох чинників. Прогнозуючи кліматичні зміни, крім фізичних процесів атмосфери та гідросфери необхідно аналізувати також розвиток господарської діяльності людини – як вагомий кліматоформуючих фактор. Першим кроком є прогноз напрямків розвитку світової промисловості, та відповідних концентрацій парникових газів та аерозолів у атмосфері, наступним – розрахунок змін клімату, які відбудуться за даних сценаріїв розвитку суспільства [33]. Основним інструментом для проведення подібного аналізу є чисельні кліматичні моделі, які включають в себе атмосферу, океан, сушу, кріосферу та біоту. Для аналізу в планетарному масштабі використовуються моделі загальної циркуляції атмосфери

та океану (МЗЦАО), для континентів та окремих територій – регіональні кліматичні моделі (РКМ). Сценарії емісійних викидів є вихідними даними для розрахунку МЗЦАО, розрахунки яких в свою чергу є вихідними даними для РКМ.

Слід зауважити, що кліматичні моделі не можна розглядати як інструмент прогнозу синоптичної ситуації у конкретний день і навіть рік. За допомогою чисельного моделювання можна отримати лише кліматичну інформацію (проекції багаторічного режиму погоди) та оцінити можливі сценарії змін клімату, наприклад, за різних умов концентрації парникових газів в атмосфері. Інші кліматоформуючі фактори, такі як зміни інтенсивності сонячної радіації, зміни товщини озонового шару та ін. також здійснюють вплив на клімат, але значно слабший. Більш точні прогностичні результати в оцінках майбутніх змін клімату можна отримати використовуючи мультимодальні ансамблі оскільки навіть найбільш успішні моделі містять систематичні помилки, а при ансамблевому усередненні вони значно зменшуються за рахунок взаємної компенсації.

3.1 Вибір та методика застосування глобальних кліматичних моделей та сценаріїв для прогнозу регіонального клімату України у XXI столітті

Для оцінки можливих змін регіонального клімату України можна використати результати моделювання, які отримані для території Європи в рамках проекту CMIP3 (Coupled Model Intercomparison Project, phase 3). Даний проект керувався Міжурядовою групою експертів зі змін клімату (МГЕЗК) та був організований з метою дослідження майбутніх змін клімату за допомогою глобальних кліматичних моделей. Для більш детального аналізу прогнозованих змін кліматичних умов на території України з поміж 23 МЗЦАО, що використовувались у проекті CMIP3, було відібрано десять глобальних моделей (див. табл.3.1). В результаті всебічного аналізу обрані моделі були визнані найбільш придатними для моделювання майбутнього клімату на території нашої держави: вони є найбільш сучасними, розробленими науковцями провідних країн світу, що викликає до них певний ступінь довіри; крім того, при відборі особлива увага приділялась величині просторового кроку моделі ($< 2{,}8^{o}$) та кількості вертикальних рівнів (> 20). Серед усіх обраних моделей найбільше просторове розділення має МЗЦАО Японського наукового центру кліматичних систем (крок горизонтальної сітки $1{,}1^{o}$ та 56 вертикальних рівнів). Також аналізувалися результати моделювання МЗЦАО наукових кліматичних центрів Норвегії, США, Канади, Німеччини, Великої Британії та Японії [31, 38, 39].

Для аналізу впливу антропогенного фактору та у зв’язку з невизначеністю майбутніх концентрацій парникових газів та аерозолів у атмосфері, використовувалися розрахунки трьох найбільш вірогідних сценаріїв розвитку суспільства та економіки (B1, A1B та A2) із шести розроблених МГЕЗК [33].

Основою сценарію A2 є збереження місцевої самобутності усіх країн світу. Очікується постійний і швидкий приріст загальної чисельності населення протягом усього століття. Економічний розвиток характеризуватиметься регіональною спрямованістю, фрагментарними технологічними змінами та великою кількістю антропогенних викидів парникових газів.

Таблиця 3.1. Чисельні моделі, що було застосовано для оцінки кліматичних змін в Україні в XXI ст.

Номер та назва моделі	Рік версії	Наукова установа - розробник (країна)	Горизонтальні кроки та кількість вертикальних рівнів	Роз-рахун-ки B1-A1B-A2	Розмір коорди-натної сітки: Україна
1: BCCR-BCM2.0	2005	Bjerknes Centre for Climate Research (Norway)	T63 (1.9°x1.9°) L31	1-1-1	7 x 3
2: NCAR-CCSM3	2005	National Center for Atmospheric Research (USA)	T85 (1.4°x1.4°) L26	9-7-4	13 x 5
3: CGCM3.1 (T47)	2005	Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis (Canada)	T47 (~2.8°x2.8°) L31	5-5-5	5 x 2
4: CGCM3.1 (T63)	2005	Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis (Canada)	T63 (~1.9°x1.9°) L31	1-1-0	7 x 3
5: ECHAM5 / MPI-OM	2005	Max Planck Institute for Meteorology (Germany)	T63 (1.9°x1.9°) L31	5-4-3	10 x 4
6: GFDL-CM2.1	2005	U.S. Department of Commerce / National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) / Geophysical Fluid Dynamics Laboratory (GFDL) (USA)	2.0° x 2.5° L24	1-1-1	7 x 4
7: MIROC3.2 (hires)	2004	Center for Climate System Research (University of Tokyo), National Institute for Environmental Studies, and Frontier Research Center for Global Change (JAMSTEC) (Japan)	T106 (~1.1°x1.1°) L56	1-1-0	16 x 7
8: MIROC3.2 (medres)	2004	JAMSTEC (Japan)	T42 (~2.8°x2.8°) L20	3-3-3	7 x 3
9: MRI-CGCM2.3.2	2003	Meteorological Research Institute (Japan)	T42 (~2.8°x2.8°) L30	5-5-5	7 x 3
10: UKMO-HadGEM1	2004	Hadley Centre for Climate Prediction and Research / Met Office (UK)	~1.3°x1.9° L38	1-1-1	10 x 6

Сценарій B1 передбачає зростання кількості населення до середини століття з подальшим його зменшенням. Суспільство планети розвиватиметься в одному напрямі: у економіці домінуватимуть інформаційна галузь та сфера послуг, будуть впроваджуватися чисті та ресурсозберігаючі технології, екологічні програми по збереженню екосистем, що сприятиме зменшенню кількості антропогенних викидів парникових газів та аерозолів.

Рівновага між усіма джерелами енергії враховується у сценарії A1B, де рівновага визначається в якості невеликої залежності від одного джерела енергії, включаючи аналогічні темпи підвищення ефективності щодо всіх енергоджерел. Глобальний приріст населення збільшуватиметься до середини століття, з подальшим його зменшенням. Сценарій характеризується дуже швидким економічним зростанням виробництва, кількість антропогенних викидів прогнозується середньою між попередніми двома сценаріями.

Деякі з обраних моделей для кожного сценарію мають кілька розрахунків і, таким чином, в аналізі було використано результати 32 розрахунків для сценарію B1, 29 розрахунків для A1B та 23 розрахунків для сценарію A2 (для цього сценарію немає розрахунків моделей CGCM3.1-T63 та MIROC3.2- hires). Загалом (табл. 3.1), для прогнозу на XXI ст. кліматичних змін в Україні використовувалися 84 розрахунки кліматичних характеристик, одержаних з 10 МЗЦАО за трьома вірогідними сценаріями розвитку суспільства.

Методика аналізу результатів моделювання МЗЦАО для України була подібна до викладеної в [2, 11] і полягала в наступному:

По-перше, було надіслано запит до архіву CMIP3 та отримано середньомісячні дані температури повітря та кількості опадів на XXI ст. для 10 МЗЦАО (всього 84 наборів даних для двох кліматичних характеристик).

По-друге, було виділено територію України за її географічними координатами з глобальних даних. Кількість вузлів розрахункової сітки МЗЦАО, що потрапили у виділену прямокутну область з координатами 22.5^{o}–40.0^{o} сх.д. та 44.4^{o}–52.0^{o}, наведено в табл. 3.1 та наочно представлено на рис. 3.1.

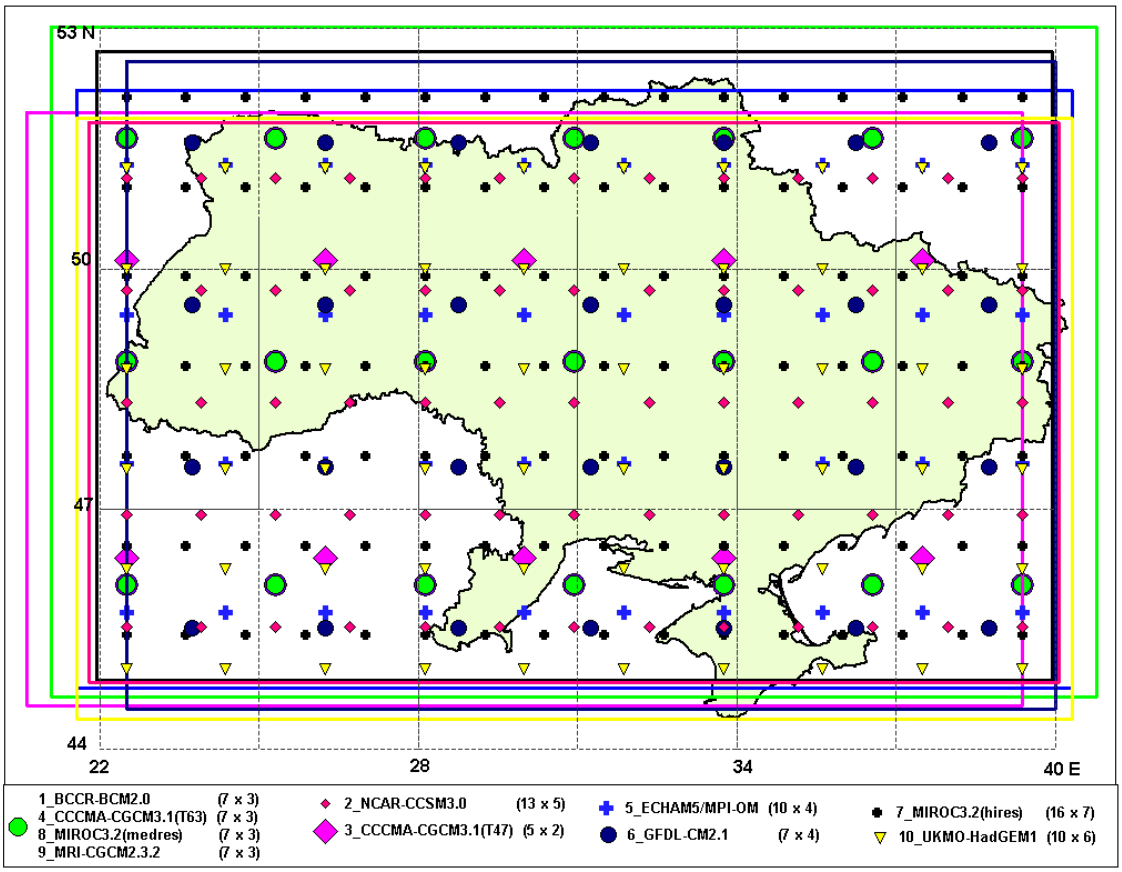


Рис. 3.1. Розрахункові сітки МЗЦАО з табл.3.1 і відповідні їм області прогнозування клімату (рамки) для території України.

З'ясувалося, що тільки 4 моделі мають для території України однакові розрахункові сітки і відповідні їм області прогнозування, у решти моделей вони різні. Тому задача порівняння між собою результатів прогнозування змін клімату різних МЗЦАО ускладнюється тим, що потребує спеціальних методів інтерполяції. Через це було вирішено провести аналіз модельних даних для визначення загальних тенденцій зміни клімату за усередненими, мінімальними та максимальними кліматичними характеристиками для всієї території України (виділеної прямокутної області на рис. 3.1). Для цього, в першу чергу, було отримано середні значення прогнозованих рядів даних для моделей, які мали більш як один розрахунок – ансамблеве усереднення, в результаті чого було отримано 20 наборів даних (два метеорологічні показники для 10 моделей), і потім для кожної з 10 МЗЦАО за місячними даними розраховувалися температура повітря та кількість опадів, середні за сезони, рік та десятиріччя XXI ст.

3.2. Аналіз прогнозованих на XXI ст. змін в Україні річних кліматичних характеристик: приземної температури повітря та кількості опадів

3.2.1. Часовий хід температури повітря та кількості опадів

Визначено усереднені, мінімальні та максимальні значення приземної температури повітря та кількості опадів для всієї території України (виділеної

прямокутної області, рис. 3.1), які у вигляді часових серій (залежність від часу) ансамблевих середніх для трьох сценаріїв зображено на рис. 3.2.

Насамперед з рис.3.2а очевидно, що всі моделі прогнозують стале підвищення температури повітря протягом XXI ст. для всіх сценаріїв. Ансамблевий коефіцієнт лінійного тренду середньорічних температур для сценарію B1 – 0,023 ^{o}C/рік, A1B – 0,037 ^{o}C/рік та A2 – 0,044 ^{o}C/рік. Також помітно, що для всіх сценаріїв швидкість зростання середніх мінімальних температур більша за середньорічні та максимальні, для яких ансамблевий коефіцієнт лінійного тренду відповідно для сценарію B1 – 0,021 ^{o}C/рік, A1B – 0,035 ^{o}C/рік та A2 – 0,040 ^{o}C/рік. Максимальна прогнозована швидкість зростання середніх мінімальних температур знайдена для сценарію A2, для якого ансамблевий коефіцієнт лінійного тренду помітно більший за інші сценарії і дорівнює 0,048 ^{o}C/рік. Для інших сценаріїв даний коефіцієнт також більший порівняно з середньорічними та максимальними температурами: для B1 – 0,025 ^{o}C/рік, для A1B – 0,040 ^{o}C/рік.

Що стосується річної кількості опадів (рис.3.2б), то вона хоч і має більшу дисперсію значень у часі порівняно з температурою, навіть для п’ятирічних ковзних середніх, що є цілком природно, але в середньому залишається практично без змін на протязі XXI ст. для всіх сценаріїв. Порівняння ж трьох сценаріїв між собою показує, що найбільші різниці визначаються в прогнозі середніх максимальних сум опадів: в сценарії A2 вони прогнозуються значно більшими (майже на 100 мм), але їх кількість до кінця XXI ст. зменшується з коефіцієнтом лінійного тренду -0,44 мм/рік.

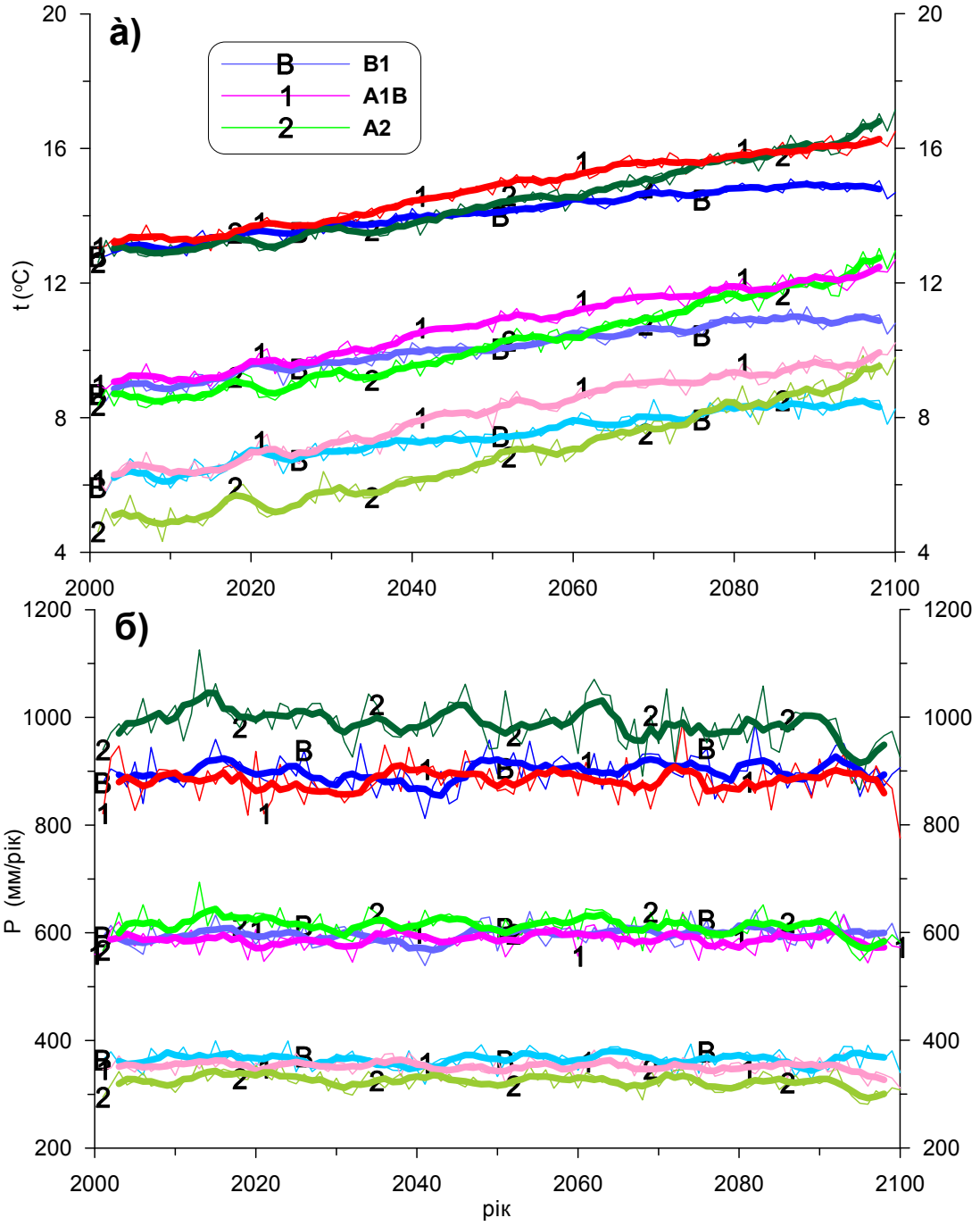


Рис. 3.2. Прогноз ансамблю з 10 МЗЦАО на XXI ст. для мінімальних, середніх та максимальних середньорічних температур повітря (а) та кількості опадів (б) усереднених для території України за різними сценаріями. Потовщені лінії – п'ятирічні ковзні середні.

До того, в цьому ж сценарії А2 середні мінімальні суми опадів також менші за інші сценарії. Таким чином, можна зробити висновок, що для України сценарій А2 відрізняється більшою екстремальністю щодо кількості опадів як максимальних, так і мінімальних.

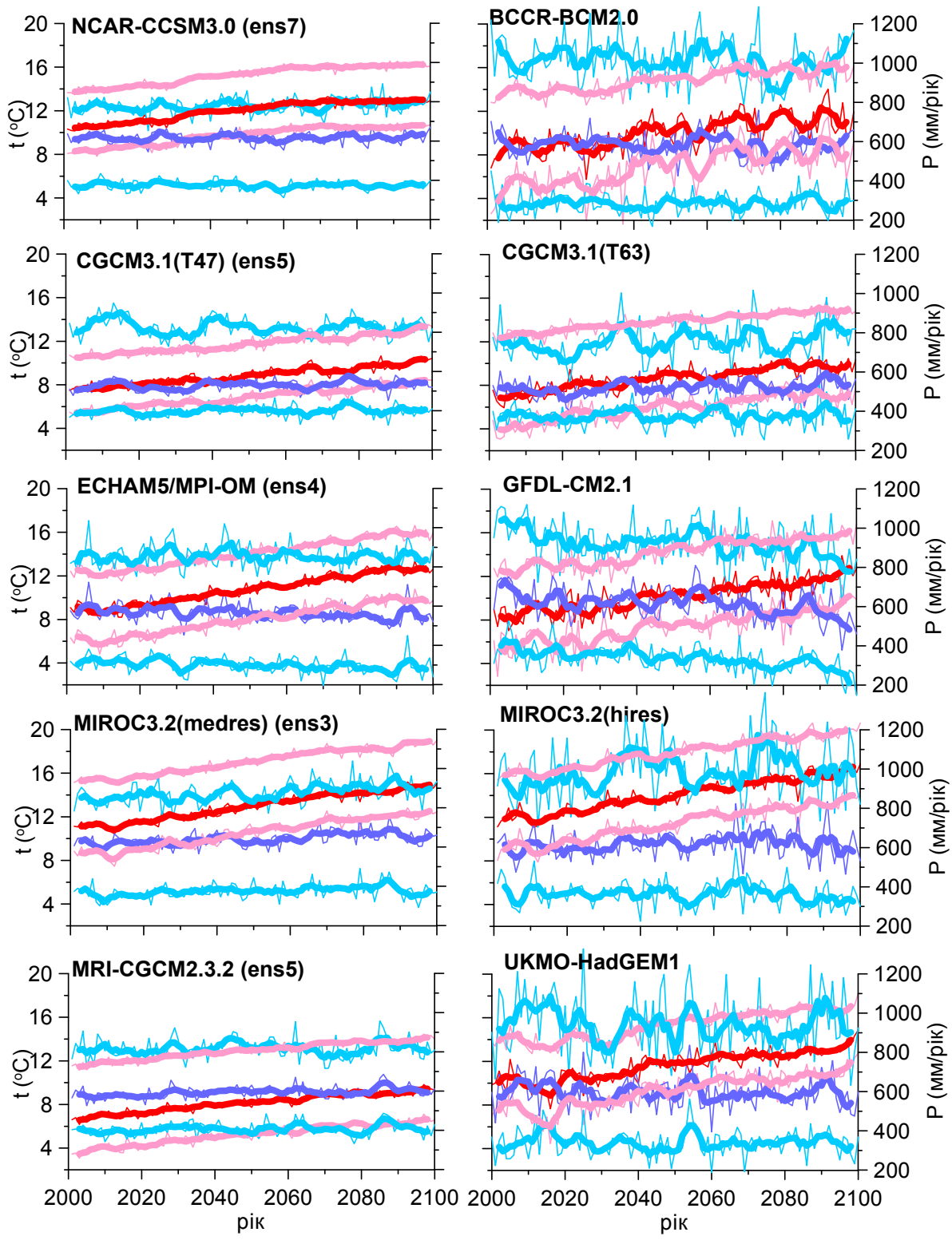


Рис. 3.3. Прогноз 10 МЗЦАО на XXI ст. для мінімальних, середніх та максимальних середньорічних температур повітря (рожеві лінії) та кількості опадів (блакитні лінії) усереднених для території України (сценарій А1В). Потовщені лінії – п'ятирічні ковзні середні.

На рис. 3.3 представлено ті ж самі характеристики, що і на рис. 3.2, але для кожної моделі окремо і тільки для збалансованого сценарію А1В. Досить очевидний висновок з рис. 3.3 – різниця дисперсії даних тих моделей, для яких

виконувалось декілька розрахунків, і на рисунку представлено їх ансамблеве середнє (ліва колонка, в дужках – кількість розрахунків в ансамблі даної моделі), і тих МЗЦАО, для яких виконано тільки один розрахунок (права колонка). В останньому випадку і температура повітря, і, навіть в більшій мірі, кількість річних опадів мають значні коливання значень рік від року. З одного боку, такий часовий хід середньорічної температури повітря та річної кількості опадів є природним і свідчить про те, що в моделях фізичні процеси, що впливають на значення цих основних характеристик клімату, відтворюються досить правдоподібно. Але з іншого боку, така мінливість у часі значень зазначених характеристик маскує тенденції зміни клімату в Україні в XXI ст.

Як було доведено в багатьох останніх дослідженнях та всебічних аналізах результатів чисельного моделювання минулого та сучасного клімату, найбільш близькі до експериментальних значення кліматичних характеристик було отримано саме тоді, коли використовувалося усереднення за декількома розрахункам однієї моделі від, наприклад, різних початкових умов та подальше усереднення для декількох моделей [2, 11, 23, 28, 29]. Тому представлений на рис.3.2 прогноз на XXI ст. кліматичних характеристик можна вважати найбільш вірогідним для кожного з представлених сценаріїв.

3.2.2. *Зміна клімату в Україні по десятиріччях XXI ст.*

Більш наглядно тенденції та значення зміни температури повітря та кількості опадів в наступному, серединному та останньому десятиріччі XXI ст. в Україні по відношенню до першого десятиріччя (сучасний клімат) для всіх залучених моделей та їх ансамблю представлено на рис. 3.4. В табл. 3.2 і 3.3 наведено різниці значень середньорічних температур повітря та кількості опадів по десятиріччях XXI ст. порівняно з періодом 2001-2010 рр. в розрахунках відібраних МЗЦАО для сценаріїв B1, A1B та A2.

Таблиця 3.2. Зміна в Україні середньорічної температури повітря (^{o}C) по десятиріччях XXI ст. порівняно з періодом 2001-2010 рр.

Сценарій B1	Десятиріччя XXI ст.								
Модель	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1. BCCR-BCM2.0	-0.1	0.6	0.7	0.2	0.7	1.0	1.7	1.9	0.7
2. NCAR-CCSM3.0	0.3	0.4	0.6	0.9	1.0	1.1	1.2	1.1	1.1
3. CCCMA-CGCM3.1(T47)	0.7	0.6	0.9	1.1	1.3	1.5	1.6	1.5	1.6
4. CCCMA-CGCM3.1(T63)	0.6	1.4	1.5	1.5	1.7	2.1	1.8	2.1	2.0
5. ECHAM5/MPI-OM	0.2	0.4	0.3	1.0	1.0	1.6	2.3	2.1	2.7
6. GFDL-CM2.1	-0.2	-0.1	0.2	0.4	0.2	0.6	1.2	1.3	1.3
7. MIROC3.2(hires)	0.4	0.9	1.8	2.1	2.4	2.9	2.5	3.0	2.9
8. MIROC3.2(medres)	0.4	0.6	1.0	1.4	1.7	2.2	2.3	2.4	2.6
9. MRI-CGCM2.3.2	0.2	0.7	0.8	1.1	1.3	1.5	1.6	1.7	1.8
10. UKMO-HadGEM1	0.6	1.0	1.4	1.6	2.3	2.1	2.2	3.5	3.0
Середнє, ^{0}C	0.3	0.7	0.9	1.1	1.4	1.7	1.8	2.1	2.0
Станд. відхилення (σ), ^{0}C	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.7	0.5	0.7	0.8
Сценарій A1B	Десятиріччя XXI ст.								

Модель	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1. BCCR-BCM2.0	-0.2	-0.2	0.6	1.4	1.5	2.5	2.3	2.2	2.7
2. NCAR-CCSM3.0	0.4	0.6	1.4	1.6	2.0	2.3	2.3	2.4	2.4
3. CCCMA-CGCM3.1(T47)	0.3	0.6	0.7	1.0	1.5	1.8	1.6	2.2	2.5
4. CCCMA-CGCM3.1(T63)	0.4	1.2	1.1	1.8	1.8	2.1	2.6	2.8	2.7
5. ECHAM5/MPI-OM	0.2	0.7	1.2	1.6	2.1	2.5	3.0	3.9	3.7
6. GFDL-CM2.1	0.4	0.6	1.0	2.0	1.9	2.5	2.9	3.1	3.9
7. MIROC3.2(hires)	0.0	0.5	1.5	1.5	2.6	2.8	3.3	3.7	4.2
8. MIROC3.2(medres)	0.0	0.6	0.9	1.6	2.1	2.6	2.8	3.1	3.6
9. MRI-CGCM2.3.2	0.3	0.7	1.0	1.3	1.6	1.8	2.2	2.2	2.5
10. UKMO-HadGEM1	-0.8	0.1	0.4	1.5	1.7	2.2	2.3	2.5	3.1
Середнє, ^{0}C	0.1	0.5	1.0	1.5	1.9	2.3	2.6	2.8	3.1
Станд. відхилення (σ)	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.5	0.6	0.7
Сценарій А2	Десятиріччя XXI ст.								
Модель	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1. BCCR-BCM2.0	0.3	0.4	0.8	1.3	2.2	2.4	3.3	3.8	3.9
2. NCAR-CCSM3.0	0.5	0.4	0.9	0.8	1.5	1.8	2.3	2.6	2.6
3. CCCMA-CGCM3.1(T47)	0.2	0.6	1.1	1.5	1.7	2.0	2.5	3.1	3.5
4. CCCMA-CGCM3.1(T63)									
5. ECHAM5/MPI-OM	0.5	0.4	0.7	1.2	1.9	2.7	3.3	4.3	4.6
6. GFDL-CM2.1	0.2	0.0	0.3	1.1	1.7	1.5	2.4	3.0	4.3
7. MIROC3.2(hires)									
8. MIROC3.2(medres)	0.1	0.7	1.1	1.6	2.0	3.0	3.2	3.7	4.5
9. MRI-CGCM2.3.2	0.1	0.1	0.6	0.9	1.2	1.6	2.0	2.1	2.8
10. UKMO-HadGEM1	0.0	0.4	0.4	1.3	1.7	2.2	2.8	3.3	4.1
Середнє, ^{0}C	0.2	0.4	0.7	1.2	1.7	2.2	2.7	3.2	3.8
Станд. відхилення (σ), ^{0}C	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.5	0.5	0.7	0.8

Таблиця 3.3. Зміна в Україні середньорічної кількості опадів (%) по десятиріччях XXI ст. порівняно з періодом 2001-2010 рр.

Сценарій B1	Десятиріччя XXI ст.								
Модель	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1. BCCR-BCM2.0	9.9	6.9	4.4	3.0	7.8	8.4	10.7	9.5	8.2
2. NCAR-CCSM3.0	1.3	1.9	1.8	1.2	1.3	2.3	3.1	2.8	3.3
3. CCCMA-GCM3.1(T47)	-0.9	1.6	-3.3	-2.0	-1.6	-6.4	0.8	-2.1	-4.9
4. CCCMA-GCM3.1(T63)	4.4	-5.4	-0.9	-3.1	-1.1	7.4	3.5	0.8	5.9
5. ECHAM5/MPI-OM	7.4	7.2	0.2	-0.2	4.7	-0.6	-2.7	3.3	-6.0
6. GFDL-CM2.1	-1.0	2.6	5.2	4.2	9.7	7.7	1.0	-2.4	-1.8
7. MIROC3.2(hires)	1.9	-0.9	-9.2	1.0	-3.4	-5.7	3.5	4.2	3.2
8. MIROC3.2(medres)	2.9	6.0	5.2	5.7	5.4	5.1	7.0	8.3	5.5
9. MRI-CGCM2.3.2	-2.8	-2.0	-1.4	-0.8	1.6	2.8	0.2	0.8	6.9
10. UKMO-HadGEM1	-2.7	-9.5	-1.6	-12.3	-2.7	2.3	-9.2	-2.4	-1.9
Середнє, %	2.0	0.8	0.0	-0.3	2.2	2.3	1.8	2.3	1.8
Станд. відхилення (σ), %	4.2	5.4	4.4	5.0	4.6	5.3	5.4	4.2	5.1
Сценарій A1B	Десятиріччя XXI ст.								
Модель	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1. BCCR-BCM2.0	5.3	2.8	2.6	-1.9	4.4	0.5	-3.7	2.2	3.9
2. NCAR-CCSM3.0	-2.8	-0.5	-2.7	1.1	-3.5	-1.1	0.9	-1.6	2.3
3. CCCMA-GCM3.1(T47)	3.8	-0.6	1.6	4.0	2.1	0.8	7.3	2.9	4.6
4. CCCMA-GCM3.1(T63)	-2.8	-6.9	4.2	-2.4	3.9	1.9	1.5	2.7	5.8
5. ECHAM5/MPI-OM	-1.6	2.2	-3.9	-0.3	-5.1	-3.4	-4.8	-8.3	-3.8
6. GFDL-CM2.1	-5.7	-9.5	-5.5	-9.6	-3.1	-9.1	-15.5	-12.5	-23.4
7. MIROC3.2(hires)	1.3	-1.3	4.9	8.1	1.7	9.8	7.5	3.2	2.4
8. MIROC3.2(medres)	1.9	0.9	4.7	3.7	3.3	5.5	9.9	10.6	5.4
9. MRI-CGCM2.3.2	0.5	2.1	2.2	5.0	3.1	4.6	2.5	7.2	4.8
10. UKMO-HadGEM1	1.5	-3.3	-3.0	-5.1	-1.9	-4.5	-4.9	-2.9	-5.0
Середнє, %	0.1	-1.4	0.5	0.3	0.5	0.5	0.1	0.3	-0.3
Станд. відхилення (σ), %	3.3	4.1	3.9	5.3	3.5	5.4	7.6	6.9	8.9
Сценарій A2	Десятиріччя XXI ст.								
Модель	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1. BCCR-BCM2.0	5.1	-2.8	0.3	2.5	-0.6	1.0	0.4	-3.2	-8.6
2. NCAR-CCSM3.0	4.4	7.4	1.5	7.5	7.0	4.2	5.0	11.6	3.0
3. CCCMA-GCM3.1(T47)	-2.6	-0.8	-2.3	-1.3	-2.6	0.9	-0.6	0.5	3.3
4. CCCMA-GCM3.1(T63)									
5. ECHAM5/MPI-OM	2.2	-0.2	2.3	0.3	-2.5	-3.2	-2.8	-9.7	-6.1
6. GFDL-CM2.1	4.6	-1.0	-2.8	-1.3	-6.4	0.4	-12.6	-16.3	-19.0
7. MIROC3.2(hires)									
8. MIROC3.2(medres)	5.0	2.7	-0.7	3.2	2.3	5.0	7.9	10.4	6.5
9. MRI-CGCM2.3.2	1.8	1.2	1.8	1.7	4.7	2.5	2.1	10.0	5.3
10. UKMO-HadGEM1	9.3	3.0	3.5	0.3	7.1	3.8	1.9	7.3	-7.8
Середнє, %	3.7	1.2	0.5	1.6	1.1	1.8	0.2	1.3	-2.9
Станд. відхилення (σ), %	3.4	3.2	2.2	2.9	5.0	2.7	6.1	10.4	8.9

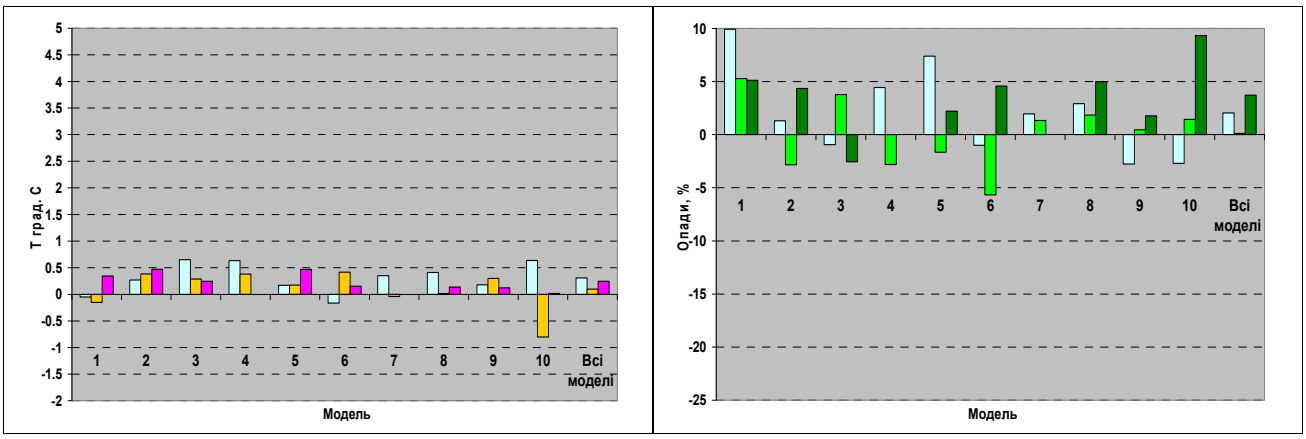
Для середньорічної температури повітря (рис.3.4, табл.3.2) на наступне десятиріччя моделі прогнозують як підвищення – максимально на 0,7 °С (В1, CGCM3.1-T47), так і зниження на -0,8 °С (А1В, UKMO-HadGEM1). Усереднене за ансамблем моделей значення підвищення температури повітря у наступному десятиріччі по відношенню до сучасного періоду (2001-2010 рр.) становить 0,3 °С (В1), 0,1 °С (А1В) та 0,2 °С (А2). В третє та четверте десятиріччя XXI ст. (табл.3.2) прогнозуються найбільші швидкості підвищення середньорічної температури повітря за сценарієм В1 до 1,8 °С за четверте десятиріччя (MIROC3.2-hires). І на середину XXI ст. прогнозується підвищення температури по відношенню до сучасного десятиріччя для В1 від 0,2 до 2,1 °С з усередненим значенням 1,1±0,6 °С, для А1В від 1,0 до 2,0 °С з усередненим значенням 1,5±0,3 °С і для А2 від 0,8 до 1,6 °С з усередненим значенням 1,2±0,3 °С.

В подальшому, в основному зберігається тенденція до підвищення середньорічної температури повітря, але деякі моделі (BCCR-BCM2.0, CCCMA-CGCM3.1-T47, ECHAM5/MPI-OM) прогнозують несуттєве (0,1-0,2 °С) короткочасне (одне десятиріччя) зниження температури, якому в основному передує значне потепління. Зауважимо, що на середину XXI ст. модель BCCR-BCM2.0 в сценарії В1 отримала найменше значення підвищення температури 0,2 °С після і перед більш суттєвим потеплінням, що в решті решт і привело до отримання найнижчого значення серед усіх моделей та сценаріїв на кінець століття 0,7 °С, якому передувало значно більший показник – 1,9 °С. Цікаво, що швидкість потепління в сценарії А2 на початку XXI ст. найменша і починає випереджати два інших сценарія тільки після середини століття, коли за сценаріями А1В та В1 кількість населення починає зменшуватись, натомість в А2 – стрімко зростає.

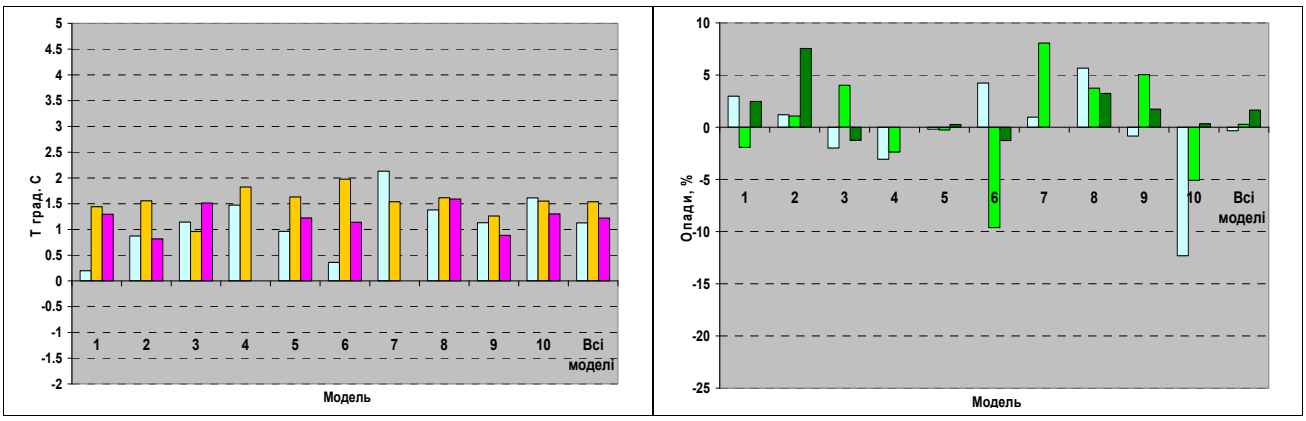
Таким чином, на кінець XXI ст. МЗЦАО прогнозують підвищення температури усереднене для всієї території України по відношенню до 2001-2010 рр. для В1 від 0,7 до 3,0 °С з усередненим значенням 2,0±0,8 °С, для А1В від 2,4 до 4,2 °С з усередненим значенням 3,1±0,7 °С і для А2 від 2,6 до 4,6 °С з усередненим значенням 3,8±0,8 °С.

Температура повітря, ^{0}С Опади, %

2011 - 2020 рр.



2041 - 2050 рр.



2091 – 2100 рр.

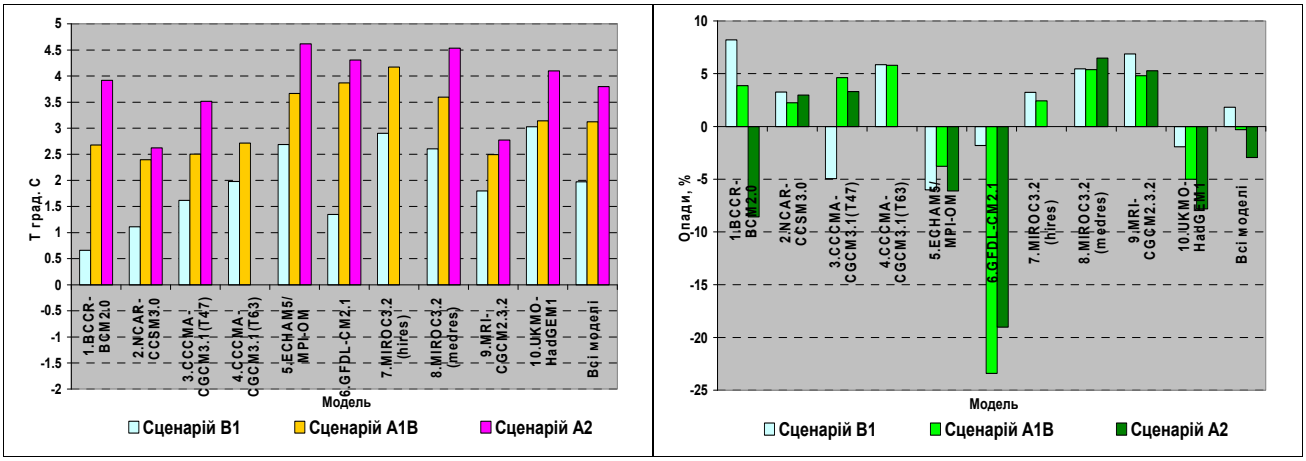


Рис. 3.4. Зміна середньорічних температур повітря та кількості опадів для різних сценаріїв в наступному, середньому та останньому десятиріччі XXI ст. порівняно з 2001-2010 рр.

Зазначимо, що отримані межі прогнозованого потепління дещо менші наведених вище значень для Європи, що і зрозуміло, адже тут аналізуються дані по відношенню до 2001-2010 рр., а не 1980-1999 рр. як в ОД4 [18], і тільки для виділеної області – території України.

Прогнози відібраних МЗЦАО щодо зміни середніх річних сум опадів на XXI ст. по відношенню до 2001-2010 рр. (табл.3.3, рис.3.4) суттєво різняться між собою. Найменші зміни в режимі опадів прогнозуються для сценарію B1: окрім середини століття, коли прогнозується зменшення на -0,3%, у всі інші десятиріччя прогнозується несуттєве збільшення опадів до 2,3% з прикінцевим значенням 1,8±5,1 %.

Для сценарію A1B усереднені значення за модельним ансамблем практично знаходяться в межах 1% (виключення – наступне десятиріччя, коли прогнозується зменшення опадів на 1,4%), але в окремі десятиріччя значення як збільшення, так і зменшення річної суми опадів в кожній моделі набагато більші. Всі моделі прогнозують періоди збільшення опадів за їх зменшенням. Навіть модель GFDL-CM2.1, яка в кожне десятиріччя XXI ст. прогнозує на багато менше опадів, ніж в період 2001-2010 рр. чим вирізняється із загальної картини всіх моделей, на четверте, шосте і дев’яте десятиріччя прогнозує більше опадів, ніж в попереднє. Тим не менш, дана модель прогнозує зменшення опадів практично на чверть до кінця сторіччя, що і відобразилося на усередненому ансамблевому значенні (-

0,8%). Виключення моделі GFDL-CM2.1 з ансамблевого усереднення (практично, це – один розрахунок) дає збільшення кількості опадів в наступне, серединне та останнє десятиріччя: на 0,7%, 1,4% і 2,2% відповідно.

В сценарії А2 усереднена кількість опадів в усі крім останнього десятиріччя більша за перше. Але на кінець століття отримали зменшення кількості опадів на -2,9±8,9%. Навіть виключення проблемної моделі GFDL-CM2.1 з ансамблевого усереднення все одно дає зменшення кількості опадів в останнє десятиріччя на -0,6±6,6%, хоча в попереднє – отримаємо збільшення на 3,8%.

3.2.3. Розподіл кліматичних змін за територією України

Як зазначено в [2, 7, 29, 38] та відмічено вище, саме усереднення результатів розрахунків декількох моделей (ансамблеве усереднення) давало найменші похибки в контрольних чисельних експериментах з розрахунків минулого та сучасного клімату. За аналогією вважається, що найбільш вірогідну проекцію кліматичних змін на будь-якій території (прогноз на декілька десятиліть чи століть) можна отримати саме завдяки ансамблевому усередненню, як було зроблено в даній роботі для України і результати представлено вище. Але серед такого ансамблю моделей можна обрати таку модель, яка буде найбільш близькою до ансамблевого середнього та мати найменші похибки за статистичними характеристиками. З метою виявлення найбільш «успішної» в моделюванні можливих майбутніх кліматичних змін в Україні МЗЦАО та враховуючи, що в подальшому планується використання результатів моделювання МЗЦАО на XXI ст. в якості початкових та граничних умов для розрахунків регіональних моделей клімату для території України, такий аналіз було проведено для середньорічних температур повітря та річних сум опадів, отриманих в моделюваннях 10 вище розглянутих МЗЦАО (табл.3.1) за збалансованим сценарієм А1В.

Методика даного аналізу була наступною: визначалися різниці між значеннями середньорічної температури повітря та річної суми опадів, отриманими усередненням за ансамблем всіх розрахунків всіх моделей, та кожної моделі на протязі 100 років (для моделі 1 – тільки 99, оскільки для неї був розрахунок до 2099 р., а не 2100 р. як для інших). Далі аналізувались ряди отриманих значень відхилень від ансамблевого середнього, і їх статистичні характеристики наведено в табл.3.4 та табл.3.5.

З табл.3.4 очевидно, що модель 5 – ECHAM5/MPI-OM має найменші абсолютні похибки відносно ансамблевих значень щодо середньорічних температур, які знаходяться в межах від -1,0 до 1,2 ^{0}C, а в середньому дорівнюють 0,0. Тому дана модель цілком виправдано може вважатися найбільш «успішною» в прогнозуванні можливих майбутніх змін термічного режиму України. Щодо річних сум опадів (табл.3.5), найбільш «успішною» себе показала модель 9 – MRI-CGCM2.3.2, яка має найменші значення похибок відносно ансамблевого середнього – 1±5 %. Модель 5 – ECHAM5/MPI-OM в даному випадку має середні значення відхилень від ансамблевого середнього -4±8 %, що є також досить прийнятною похибкою і, так би мовити, другим результатом після 9 моделі.

Зауважимо, що хоч 1 та 10 моделі мають менші абсолютні відхилення від ансамблевого середнього (-1% та 1% відповідно), але їх стандартні відхилення та дисперсії набагато більші ніж у 5 моделі. І це є ще одним підтвердженням вище зазначеного положення щодо того, що усереднення за декількома (ансамблем) моделюваннями однієї моделі призводить до згладження часових серій розрахованих характеристик. Так саме у моделей 1, 4, 6, 7 та 10, які мали тільки один розрахунок, найбільші значення дисперсії (табл. 3.4, 3.5), що було наочно продемонстровано на рис.3.3. Інші ж п'ять моделей, в тому числі модель 5, мають менші значення стандартних відхилень та, відповідно, дисперсій.

Таблиця 3.4. Статистичні характеристики відхилень середньорічних температур повітря (^{0}C), отриманих в різних МЗЦАО, від їх ансамблевого середнього.

Статистичні характеристики	Модель (див. Табл.3.1)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Кількість років	99	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Середнє	-0,7	1,3	-1,9	-2,1	0,0	-0,5	3,3	2,2	-2,6	0,9
Мінімум	-3,6	-0,5	-3,4	-3,4	-1,0	-2,7	1,9	1,3	-3,7	-1,7
Максимум	1,6	2,2	-0,7	-0,6	1,2	1,2	4,8	3,1	-1,5	2,9
Сер. квадр. Помилка	0,1	0,0	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,1
Дов. інтервал, P=95%	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1
Стандарт. Відхилення	1,0	0,4	0,5	0,6	0,5	0,9	0,6	0,4	0,4	0,7
Дісперсія	1,1	0,2	0,3	0,4	0,2	0,7	0,4	0,2	0,2	0,5
Перша квартіль	-1,4	1,0	-2,3	-2,5	-0,3	-1,1	2,9	2,0	-2,9	0,6
Медіана	-0,6	1,3	-1,9	-2,1	0,0	-0,5	3,3	2,3	-2,6	0,9
Третя квартіль	0,1	1,6	-1,6	-1,6	0,3	0,1	3,8	2,5	-2,2	1,3

Таблиця 3.5. Статистичні характеристики відхилень середньорічної кількості опадів (%), отриманих в різних МЗЦАО, від їх ансамблевого середнього.

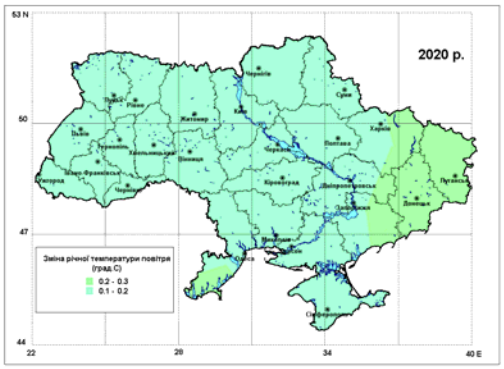
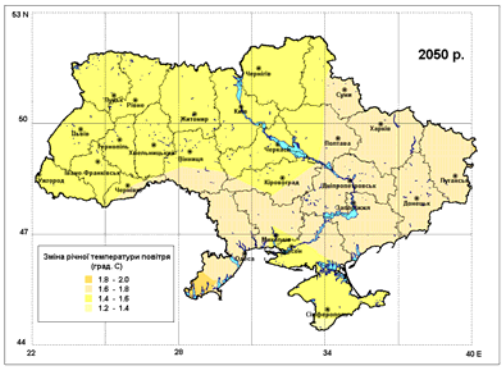
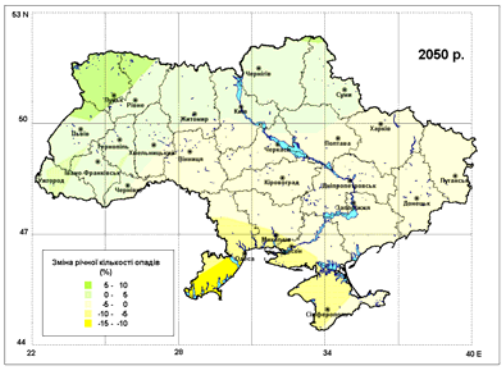
Статистичні характеристики	Модель (див. Табл.3.1)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Кількість років	99	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Середнє	-1	5	-10	-11	-4	5	5	9	1	1
Мінімум	-23	-11	-23	-29	-18	-31	-21	-5	-9	-29
Максимум	23	20	5	11	21	32	43	29	21	41
Сер. квадр. Помилка	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1
Дов. інтервал, P=95%	2	1	1	2	2	3	2	1	1	2
Стандарт. відхилення	11	6	5	9	8	13	11	7	5	12
Дісперсія	112	35	28	73	59	170	129	49	24	152

Перша квартіль	-9	1	-13	-18	-10	-5	-3	4	-2	-8
Медіана	1	5	-10	-12	-5	4	4	8	0	1
Третя квартіль	8	10	-7	-4	1	15	12	14	4	8

Таким чином, за двома основними кліматичними характеристиками, які тут аналізуються, все ж саме модель 5 – ECHAM5/MPI-OM має бути визнаною як найбільш «успішна» та оптимальна в моделюванні клімату України і може бути рекомендована в якості початкових та граничних умов для моделювань регіональних особливостей клімату на території України.

Ще один достатньо очевидний висновок з табл.3.4 та табл.3.5 полягає в тому, що обрані моделі досить рівномірно представляють як температуру повітря, так і кількість опадів відносно ансамблевого середнього. Тобто вибір саме цього набору з 10 моделей для аналізу кліматичних змін в Україні можна також вважати вдалим та виправданим.

Оскільки вище доведено, що модель ECHAM5/MPI-OM є найбільш «успішною» та оптимальною в представлені клімату XXI ст. на території України, на рис.3.5 представлено просторові розподіли прогнозованих змін в наступному, серединному та останньому відносно першого десятиліття XXI ст. для середньорічної температури повітря та річних сум опадів саме цієї моделі.

Δ Температура, ^{0}C	Δ Опади, %
	
	

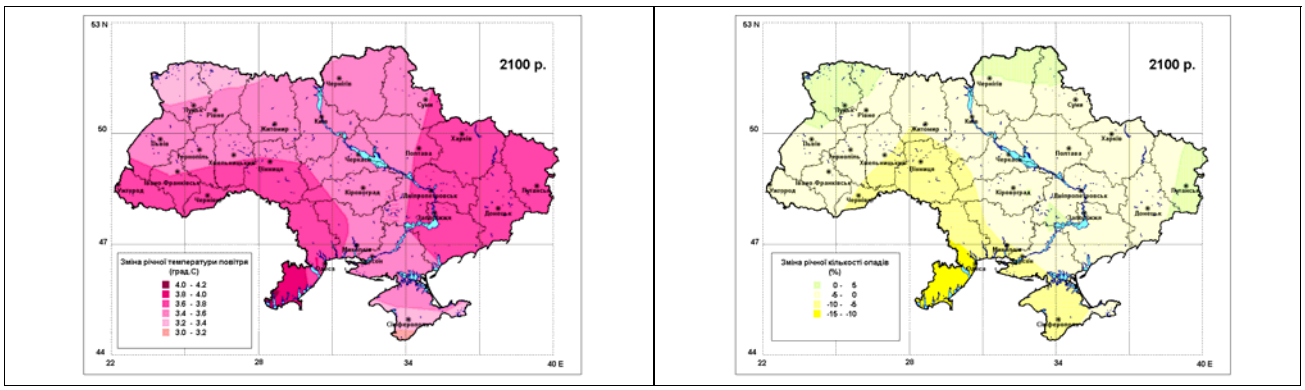


Рис.3.5. Зміна в Україні на кінець десятиліть XXI століття річних температури повітря (^{0}C) і кількості опадів (%), середніх за 10-річчя, порівняно з періодом 2001-2010 рр. Дані ансамблю 4 розрахунків моделі ECHAM5/MPI-OM за сценарієм A1B.

З рисунка очевидно, що прогнозовані зміни даних характеристик досить нерівномірні в межах України. Але протягом всього століття потепління найвище в східній частині та на півдні Одеської області, а кількість опадів збільшуватиметься переважно в північній та стане меншою в південній та південно-західній частинах нашої держави. Очевидно, що більш детальний просторовий прогноз змін клімату за допомогою МЗЦАО отримати неможливо, внаслідок обмеження розмірами координатної комірки.

Таким чином, з аналізу результатів моделювання моделей загальної циркуляції атмосфери та океанів очевидно, що на території України протягом XXI ст. слід очікувати підвищення середньорічної температури повітря. Щодо річної кількості опадів, такої однозначної відповіді поки що немає. До того ж, вище наведено результати аналізу тільки середньорічних та усереднених для всієї території України кліматичних характеристик. Але і територія нашої держави є досить великою і неоднорідною щодо кліматичних умов [3-5], і зміни за сезонами можуть бути різними, як показано в [7, 10, 18, 31]. Тобто, прогнозовані зміни клімату в Україні вочевидь будуть мати виражений сезонний та регіональний характер, що потребує подальших досліджень, а саме залучення регіональних моделей клімату, в яких можливо значно зменшити горизонтальні кроки розрахунків (до 10 км в гідростатичних моделях і до кількох км в негідростатичних) [10, 13, 18, 20, 21, 27, 35, 36, 40, 41].

3.3 Прогнозовані зміни кліматичних характеристик в Україні за сезонами

Як показано в [10, 18], очікується, що майбутні зміни клімату будуть мати чітко виражений сезонний характер. Тому вважається за доцільне проаналізувати такі прогнозовані зміни в Україні на основі даних МЗЦАО. Методика обробки даних МЗЦАО для отримання сезонних змін була аналогічною до вище зазначеної, тільки періодом усереднення середньомісячних даних був не рік, а окремі сезони. В подальшому визначалися середні, максимальні і мінімальні значення середніх за сезонами температур повітря та сезонних сум опадів в отриманих полях кожної моделі. Також проводилося усереднення за ансамблем всіх залучених моделей. Подібні підходи до тримання прогностичних значень основних кліматичних показників пропонуються в [2, 7, 11, 23].

Досвід верифікації регіональних моделей клімату проведений авторами [9, 13] також показує, що найвищий ступінь кореляції модельних результатів та даних спостережень відмічається для усереднених за площею характеристик.

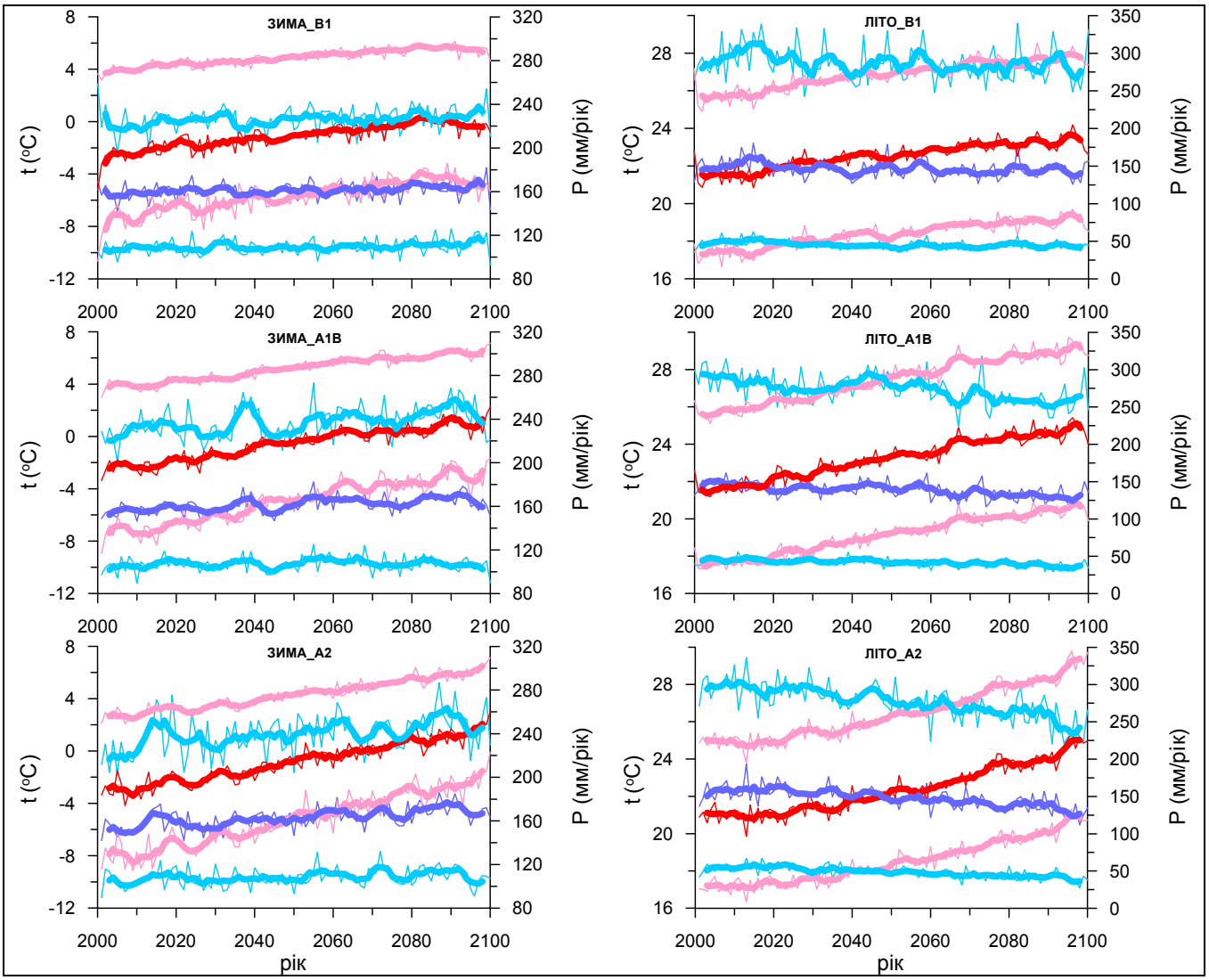


Рис.3.6. Прогноз ансамблю з 10 МЗЦАО на XXI ст. для мінімальних, середніх та максимальних середньорічних температур повітря (червоні, ліва вісь) та кількості опадів (сині, права вісь) усереднених для території України за різними сценаріями в основні сезони. Потовщені лінії – п'ятирічні ковзні середні.

На рис.3.6 та 3.7 представлено часові серії середніх, максимальних та мінімальних за площею (див. рис.3.1) значень двох досліджуваних кліматичних характеристик для основних та перехідних сезонів. В табл.3.6 наведено коефіцієнти лінійного тренду, які отримані з аналізу кривих рис.3.6 та 3.7. В табл.3.7, 3.8 тільки ансамблеві середні сезонні приземні температури та суми опадів для кожного десятиріччя XXI ст. з їх стандартними відхиленнями та мінімальними і максимальними значеннями за модельними результатами.

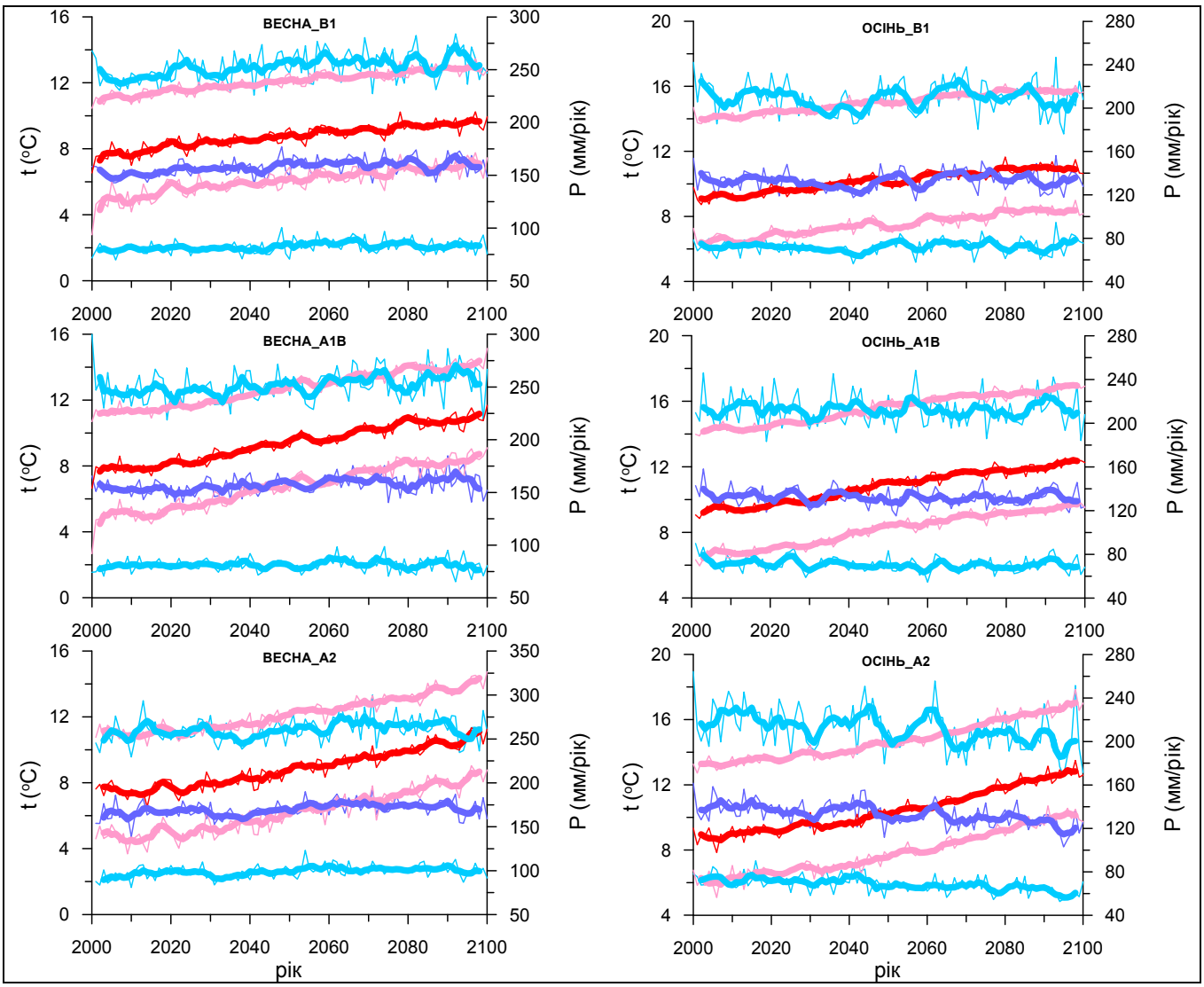


Рис.3.7. Прогноз ансамблю з 10 МЗЦАО на XXI ст. для мінімальних, середніх та максимальних середньорічних температур повітря (червоні, ліва вісь) та кількості опадів (сині, права вісь) усереднених для території України за різними сценаріями в перехідні сезони. Потовщені лінії – п'ятирічні ковзні середні.

Отримані коефіцієнти лінійних трендів (табл.3.6) та зміни сезонних температур відносно сучасного десятиліття (табл.3.7) вказують на те, що підвищення температури повітря в XXI ст. в Україні відбуватиметься за рахунок збільшення значень температур зимового сезону (середні значення коефіцієнтів лінійного тренду для А2 – 0,052° /рік, В1 – 0,029° /рік, А1В – 0,041° /рік). В усіх сценаріях розрахунки показують дещо менші швидкості підвищення температур у весняно-літній період. Слід зауважити, що загальне підвищення температур повинно відбуватися через зменшення повторюваності по території низьких температур в зимовий період і, в меншій мірі, через збільшення повторюваності випадків високих температур в літній період. Для кожного з наведених сценаріїв значення коефіцієнту лінійного тренду для зимових мінімумів вище, ніж для літніх максимумів (відповідні пари: А2 – 0,068 та 0,046° /рік, В1 – 0,035 та 0,021°/рік, А1В – 0,053 та 0,040° /рік).

Таблиця 3.6. Коефіцієнти лінійного тренду моделювання по сезонах.

Сценарії та сезони		температура, °/рік			опади, мм/рік		
		мінімум	сер. зн	максимум	мінімум	сер. зн	максимум
B1	Зима	0.035	0.029	**0.019**	0.047	0.061	0.072
	Весна	0.024	0.022	0.020	0.054	0.103	0.163
	Літо	0.021	0.021	0.023	-0.056	-0.080	-0.135
	Осінь	0.022	0.021	0.019	0.023	0.017	-0.015
A1B	Зима	0.053	0.041	0.031	0.017	0.123	0.208
	Весна	0.041	0.037	0.034	0.008	0.103	0.162
	Літо	0.035	0.037	0.040	-0.085	-0.185	-0.335
	Осінь	0.041	0.037	0.034	-0.114	-0.035	-0.010
A2	Зима	**0.068**	0.052	0.039	0.065	0.195	**0.243**
	Весна	0.041	0.038	0.035	0.087	0.107	0.113
	Літо	0.039	0.042	0.046	-0.174	-0.305	**-0.552**
	Осінь	0.044	0.043	0.040	-0.130	-0.190	-0.265

Перехідні термічні сезони приблизно однаково змінюватимуть свій термічний фон. Тільки для сценарію A2 отримано більш інтенсивний ріст температури в осінній сезон у порівнянні з весняним. Підвищення температури також відбуватиметься в більшій мірі за рахунок зменшення повторюваності на території України низьких температур ніж через значну повторюваність високих температур. Як показують середні значення коефіцієнтів лінійного тренду, швидкість зміни температури в перехідні сезони буде дещо меншою ніж зимою і наближатиметься до швидкості її зміни в літній сезон.

Вказані закономірності зміни температури можуть привести до незначного згладжування річного розподілу температури (для усереднених за територією значень) та зменшення річних амплітуд через підвищення зимових мінімумів. Наведений факт можна розглядати як тенденцію до можливого зменшення континентальності клімату в Україні.

Прогнозовані середні сезонні суми опадів мають не такі однозначні тенденції змін як температура. Із наведених розрахунків (рис.3.6, 3.7) та величин коефіцієнтів лінійних трендів для окремими сезонів (табл.3.6) та десятиріч (табл.3.8) видно, що слід очікувати збільшення сум опадів в зимово-весняний період. Найбільше зростання сум опадів для двох сценаріїв отримано для зимового сезону (A2 – 0,195 мм/рік, A1B – 0,123 мм/рік) і для B1 – 0.123 мм/рік для весняного сезону. Очікуване зростання сум опадів, очевидно, буде обумовлене високою повторюваністю на території випадків сильних опадів у цей період. Середні за ансамблем моделей дані показують, що в усіх використаних сценаріях відбуватиметься зменшення кількості опадів у літній та осінній періоди, найбільші від'ємні значення коефіцієнту лінійного тренду отримані для A2. Слід відмітити також, що для сценаріїв A2 та A1B швидкість зменшення сум опадів в літній період перевищує швидкість їх приросту в зимовий сезон.

Зростання опадів у зимово-весняний період з одночасним їх зменшенням у літній сезон може призвести до зміни їх стандартного річного розподілу з літнім максимумом та зимовим мінімумом [4, 5]. За усередненими за територією прогностичними даними сум опадів можна очікувати більш рівномірного їх розподілу впродовж року, або навіть зміщення максимумів на зимово-весняний період.

Таблиця 3.7. Зміна в Україні температури повітря (^{0}C) по десятиріччях XXI ст. порівняно з періодом 2001-2010 рр.

Зима	Десятиріччя XXI ст.								
	2	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Сценарій B1									
Середнє, ^{0}C	0,5	0,9	1,1	1,3	1,7	2,0	2,2	2,8	2,2
Станд. відхилення (σ), ^{0}C	0.7	0.6	0.9	0.7	0.7	1.0	1.1	1.3	0.9
Мінімум, ^{0}C	-0.5	0.0	-0.3	0.6	0.6	0.9	0.8	0.9	1.0
Максимум, ^{0}C	2.0	2.0	2.7	2.9	2.9	3.9	4.1	5.1	3.3
Сценарій A1B									
Середнє, ^{0}C	0.2	0.7	1.0	1.8	2.2	2.6	2.8	3.1	3.4
Станд. відхилення (σ), ^{0}C	0.7	0.6	0.7	0.7	0.5	0.6	0.9	1.1	1.1
Мінімум, ^{0}C	-1.4	-0.3	0.0	0.9	1.1	1.4	1.3	1.2	1.7
Максимум, ^{0}C	1.4	1.8	1.9	3.2	3.1	3.5	3.8	4.5	5.0
Сценарій A2									
Середнє, ^{0}C	0,6	0,6	1,2	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,6
Станд. відхилення (σ), ^{0}C	0,6	0,4	0,6	1,0	1,0	0,6	1,1	1,1	1,2
Мінімум, ^{0}C	-0,3	0,0	0,3	1,0	1,6	2,3	2,4	2,6	3,2
Максимум, ^{0}C	1,6	1,3	2,2	4,2	4,1	4,0	4,9	5,4	6,9
Весна	Десятиріччя XXI ст.								
	2	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Сценарій B1									
Середнє, ^{0}C	0.4	0.7	0.8	1.1	1.3	1.5	1.6	1.8	1.9
Станд. відхилення (σ), ^{0}C	0.3	0.4	0.7	0.5	0.7	0.7	0.5	0.7	0.7
Мінімум, ^{0}C	0.0	0.2	-0.4	0.2	0.3	-0.2	0.7	1.0	1.0
Максимум, ^{0}C	1.0	1.4	1.9	1.9	2.5	2.4	2.2	2.9	3.0
Сценарій A1B									
Середнє, ^{0}C	0.0	0.3	0.9	1.4	1.8	2.1	2.5	2.7	3.0
Станд. відхилення (σ), ^{0}C	0.4	0.4	0.3	0.4	0.3	0.7	0.7	0.6	0.8
Мінімум, ^{0}C	-1.0	-0.5	0.2	0.9	1.3	0.9	1.7	2.1	2.1
Максимум, ^{0}C	0.4	0.7	1.3	2.3	2.2	3.4	4.0	3.9	4.7
Сценарій A2									
Середнє, ^{0}C	0.1	0.1	0.6	0.8	1.4	1.8	2.2	2.8	3.1
Станд. відхилення (σ), ^{0}C	0.3	0.5	0.5	0.6	0.7	0.9	0.6	1.1	1.0
Мінімум, ^{0}C	-0.3	-0.9	-0.1	-0.3	0.2	0.2	0.9	1.2	1.8
Максимум, ^{0}C	0.4	0.9	1.3	1.8	2.4	3.1	2.7	4.7	4.6

Літо	Десятиріччя XXI ст.								
	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Сценарій B1									
Середнє, ^{0}C	0.2	0.7	0.9	1.1	1.2	1.5	1.7	1.8	1.9
Стандартне відхилення (σ), ^{0}C	0.5	0.7	0.6	0.7	1.2	0.9	0.9	1.0	1.0
Мінімум, ^{0}C	-0.9	-0.8	0.0	-0.5	-0.9	0.6	1.0	0.8	1.1
Максимум, ^{0}C	1.1	2.0	2.2	2.5	3.4	3.1	3.9	4.2	3.8
Сценарій A1B									
Середнє, ^{0}C	0.2	0.8	1.2	1.6	1.9	2.4	2.7	3.0	3.2
Стандартне відхилення (σ), ^{0}C	0.2	0.4	0.5	0.6	0.6	0.6	0.9	0.9	1.0
Мінімум, ^{0}C	-0.2	0.2	0.6	0.8	1.0	1.4	1.0	1.6	2.0
Максимум, ^{0}C	0.6	1.7	1.9	2.7	2.8	3.2	3.8	4.0	4.5
Сценарій A2									
Середнє, ^{0}C	-0.1	0.2	0.4	0.9	1.3	1.7	2.5	2.8	3.6
Стандартне відхилення (σ), ^{0}C	0.5	0.3	0.5	0.6	0.5	0.7	0.9	0.8	1.2
Мінімум, ^{0}C	-0.9	-0.5	-0.2	-0.3	0.8	0.7	1.4	1.6	1.7
Максимум, ^{0}C	0.5	0.6	1.1	1.7	2.2	3.1	3.6	3.9	5.2

Осінь	Десятиріччя XXI ст.								
	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Сценарій B1									
Середнє, ^{0}C	0.1	0.4	0.7	1.0	1.0	1.4	1.5	1.7	1.7
Стандартне відхилення (σ), ^{0}C	0.6	0.4	0.7	0.8	0.9	1.0	0.8	0.9	1.1
Мінімум, ^{0}C	-1.6	-0.4	-0.8	-0.8	-0.8	-0.6	-0.2	0.0	-0.5
Максимум, ^{0}C	0.6	1.0	1.7	2.2	2.4	2.8	2.4	3.2	3.0
Сценарій A1B									
Середнє, ^{0}C	0.0	0.5	0.9	1.4	1.7	2.1	2.3	2.4	2.9
Стандартне відхилення (σ), ^{0}C	0.5	0.2	0.5	0.3	0.5	0.5	0.6	0.9	0.7
Мінімум, ^{0}C	-0.9	0.1	-0.2	0.9	0.9	1.4	1.6	0.9	1.9
Максимум, ^{0}C	0.5	0.7	1.4	1.8	2.4	3.0	3.2	3.9	4.0
Сценарій A2									
Середнє, ^{0}C	0.4	0.7	0.7	1.2	1.7	2.1	2.8	3.4	3.9
Стандартне відхилення (σ), ^{0}C	0.3	0.4	0.6	0.3	0.4	0.5	0.5	0.8	0.8
Мінімум, ^{0}C	0.1	0.1	-0.6	0.9	1.2	1.2	2.2	2.4	3.0
Максимум, ^{0}C	0.8	1.1	1.5	1.6	2.3	2.9	3.6	4.6	4.9

Таблиця 3.8. Зміна в Україні кількості опадів (%) по десятиріччях XXI ст. порівняно з періодом 2001-2010 рр.

Зима	Десятиріччя XXI ст.								
	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Сценарій B1									
Середнє, %	1.1	2.4	1.8	1.7	1.7	2.4	3.9	5.3	4.0
Стандартне відхилення (σ), %	3.6	4.2	5.0	4.3	4.6	6.3	6.7	9.7	7.1
Мінімум, %	-6.8	-4.6	-10.4	-6.7	-4.3	-10.3	-4.9	-9.9	-4.9
Максимум, %	5.0	7.4	6.8	8.0	10.2	15.3	16.5	26.2	20.6
Сценарій A1B									
Середнє, %	3.1	1.6	5.7	1.7	7.6	7.2	4.9	9.1	7.8
Стандартне відхилення (σ), %	6.8	4.3	6.4	4.6	6.8	4.0	7.8	5.9	8.2
Мінімум, %	-4.2	-4.2	-5.3	-4.5	-0.3	1.2	-9.4	1.2	-10.1
Максимум, %	16.8	10.1	14.6	9.9	20.7	13.4	14.8	19.5	18.4
Сценарій A2									
Середнє, %	8.7	2.7	5.5	6.6	10.3	10.2	10.6	15.3	14.0
Стандартне відхилення (σ), %	9.8	6.4	6.4	7.0	11.6	8.4	8.3	11.7	12.3
Мінімум, %	-1.2	-5.3	-1.8	-3.5	1.8	1.0	-4.0	0.9	-3.6
Максимум, %	30.5	13.5	17.7	20.9	37.9	27.3	25.8	36.8	37.8
Весна	Десятиріччя XXI ст.								
	2	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
Сценарій B1									
Середнє, ^{0}C	0.5	3.6	4.1	3.3	7.3	7.3	6.5	5.6	7.0
Стандартне відхилення (σ), ^{0}C	3.6	4.6	3.3	5.5	4.6	4.6	4.9	5.2	6.6
Мінімум, ^{0}C	-3.9	-6.9	0.6	-3.7	-0.8	1.0	0.4	-0.3	-3.1
Максимум, ^{0}C	7.4	8.3	10.9	13.1	13.8	12.9	15.5	17.0	16.6
Сценарій A1B									
Середнє, ^{0}C	0.4	-0.1	1.7	3.0	2.6	6.1	5.1	6.6	5.3
Стандартне відхилення (σ), ^{0}C	4.6	5.6	5.9	6.1	5.8	8.8	7.7	11.8	9.3
Мінімум, ^{0}C	-7.6	-8.3	-7.5	-4.9	-4.8	-7.5	-3.7	-14.1	-12.1
Максимум, ^{0}C	7.8	12.6	11.8	12.7	14.3	19.3	19.9	27.5	17.7
Сценарій A2									
Середнє, ^{0}C	3.8	4.4	-1.6	3.5	6.0	8.9	7.4	6.9	4.9
Стандартне відхилення (σ), ^{0}C	4.6	5.4	6.9	10.6	8.6	6.6	7.2	12.0	9.1
Мінімум, ^{0}C	-3.3	-2.0	-11.6	-12.6	-8.1	-3.8	-3.3	-12.6	-7.1
Максимум, ^{0}C	9.6	14.2	10.0	19.7	20.5	16.8	18.2	26.9	16.2

Літо	Десятиріччя XXI ст.								
	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Сценарій B1									
Середнє, %	5.2	-1.1	-1.3	-1.3	1.1	-4.5	-5.1	-1.9	-2.4
Стандартне відхилення (σ), %	6.1	8.5	7.8	12.5	15.2	11.0	13.0	14.0	16.4
Мінімум, %	-5.0	-17.9	-15.7	-26.1	-16.9	-21.7	-32.1	-27.3	-22.5
Максимум, %	15.8	9.5	10.7	15.0	27.4	11.4	10.3	14.9	31.1
Сценарій A1B									
Середнє, %	-1.2	-4.7	-4.9	-1.8	-4.3	-9.8	-7.8	-11.6	-11.3
Стандартне відхилення (σ), %	10.9	11.4	11.1	12.5	12.0	15.4	18.3	19.6	21.1
Мінімум, %	-25.9	-28.8	-31.1	-28.2	-26.3	-44.1	-48.6	-47.9	-58.6
Максимум, %	16.3	7.4	6.8	18.0	9.6	8.8	13.1	19.0	10.0
Сценарій A2									
Середнє, %	2.9	1.6	0.9	-2.1	-6.5	-6.4	-11.9	-10.7	-18.9
Стандартне відхилення (σ), %	9.4	5.6	11.5	9.2	11.6	11.8	11.4	17.8	23.7
Мінімум, %	-9.2	-7.6	-8.3	-19.4	-24.8	-19.0	-31.8	-39.2	-54.0
Максимум, %	19.5	9.2	27.7	8.6	9.5	16.0	4.5	11.0	14.2
Осінь	Десятиріччя XXI ст.								
	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Сценарій B1									
Середнє, %	2.5	0.5	-3.0	-3.3	0.0	5.4	2.9	1.5	0.3
Стандартне відхилення (σ), %	12.1	12.1	7.5	11.6	6.6	9.3	6.3	7.6	11.0
Мінімум, %	-18.5	-27.1	-13.5	-32.4	-9.6	-8.9	-10.2	-14.2	-20.3
Максимум, %	22.3	14.0	10.5	6.8	11.8	18.5	8.4	12.1	14.5
Сценарій A1B									
Середнє, %	-1.8	-1.8	-1.3	-2.8	-4.8	-2.9	-2.6	-2.6	-1.8
Стандартне відхилення (σ), %	7.6	3.8	6.4	6.9	5.8	8.3	8.2	11.1	9.1
Мінімум, %	-21.9	-8.9	-14.6	-12.5	-13.7	-14.0	-14.7	-16.0	-17.4
Максимум, %	5.9	4.0	8.1	4.9	3.8	9.9	11.3	17.7	9.0
Сценарій A2									
Середнє, %	0.5	-4.1	-1.2	-1.9	-6.3	-5.3	-7.2	-8.1	-13.0
Стандартне відхилення (σ), %	5.1	3.0	7.5	9.7	6.0	7.3	9.5	12.7	13.8
Мінімум, %	-8.5	-9.4	-12.2	-21.8	-17.7	-20.0	-25.4	-31.9	-37.8
Максимум, %	7.3	-1.5	9.2	12.7	0.0	6.6	5.6	6.3	4.4

Зауважимо, що отримані результати щодо кількості опадів, на відміну від температури повітря, повинні сприйматися з певними застереженнями. По-перше, ще раз відмітимо, що тут розглядалися усереднені сезонні суми опадів за площею всієї України (розрахункової сітки моделей). Відомо, що опади є досить мінливим у просторі та часі явищем, хоча й мають за достатнього усереднення певний сезонний хід та розподіл за площею, які обумовлені передусім географічним положенням та підстильною поверхнею [5]. Але в даному випадку дослідження було обмежене можливостями глобальних кліматичних моделей, і насамперед їх недостатньою роздільною здатністю для аналізу регіональних особливостей режиму зволоження. Ще однією причиною для обережного сприйняття отриманих результатів щодо кількості опадів та їх можливих майбутніх змін в Україні є те, що в кліматичних моделях використовують спрощені методи параметризації процесів формування опадів в атмосфері. Однак, проведене дослідження все ж виявило певні тенденції в можливих майбутніх змінах сезонних характеристик опадів, і отримані висновки відповідають сучасному стану розвитку кліматології.

3.4 Висновки

Оцінки стану кліматичної системи та прогноз її змін у XXI столітті, що представлені в Четвертій оціночній доповіді (ОД4) ґрунтуються на порівняння результатів моделювань з середніми значеннями кліматичних показників сучасного клімату (1980-1999 рр.). Прогноз кліматичних показників зроблено для трьох з шести найбільш вірогідних сценаріїв розвитку суспільства та економіки за номенклатурою МГЕЗК (SRES-2000): A2 (постійний і швидкий ріст кількості населення планети на протязі XXI ст. та найбільша прогнозована кількість антропогенних викидів парникових газів та аерозолів), B1 (ріст кількості населення до середини XXI ст. з подальшим зменшенням і найнижча прогнозована кількість антропогенних викидів) та A1B (населення – як і в B1, кількість викидів – середня між B1 та A2 із збалансованим використанням викопних та відновлюваних джерел енергії).

Усі залучені в CMIP3 (Coupled Model Intercomparison Project, phase 3) моделі прогнозують підвищення глобальної температури повітря та збільшення кількості опадів до кінця XXI століття за сценарієм A2 на 2,5-4,4^{o}C та 2,0-7,5%, за сценарієм A1B – на 2,0-4,5^{o}C та 1,5-7,0%, і за сценарієм B1 – на 1,2-3,2^{o}C та 2,0-5,0% відповідно. Згідно з прогнозом, найбільших кліматичних змін зазнають полярні та субполярні регіони, тропічні та субтропічні пустелі. Найбільші швидкості зростання температури прогнозуються на середину XXI ст., що відповідає моменту найбільшої прогнозованої чисельності населення планети.

Для отримання прогностичних значень кліматичних характеристик для території України у XXI столітті сформовано ансамбль з 10 моделей загальної циркуляції атмосфери та океанів (МЗЦАО) та проаналізовано результати їх розрахунків (загалом 84 розрахунки) для 3 сценаріїв (B1, A1B, A2).

Результати обробки даних показали, що на кінець XXI ст. МЗЦАО прогнозують підвищення середньорічної температури повітря усереднене для всієї території України по відношенню до 2001-2010 рр. для B1 від 0,7 до 3,0^{o}C з

усередненим значенням 2,0±0,8°С, для А1В від 2,4 до 4,2°С з усередненим значенням 3,1±0,7°С і для А2 від 2,6 до 4,6°С з усередненим значенням 3,8±0,8 °С.

Прогнози відібраних МЗЦАО щодо зміни середніх річних сум опадів в Україні в XXI ст. по відношенню до 2001-2010 рр. суттєво різняться між собою і мають великий діапазон відносних до сучасних значень: від -23,4% до 11,6% в окремі десятиліття. Прогнози усереднених за модельним ансамблем річних сум опадів на XXI ст. також різняться для кожного з розглянутих сценаріїв: для сценарію В1:прогнозується збільшення опадів до 2,3% з прикінцевим значенням 1,8±5,1%, за виключенням середини століття, коли прогнозується зменшення сум опадів на -0,3%; для сценарію А1В середні значення сум опадів збільшаться на 0,3- 0,5%, виключення – наступне десятиріччя, коли прогнозується зменшення опадів на -1,4%; для сценарію А2 опади в усі десятиріччя перевищують на 0,3-2,7% значення першого десятиріччя за виключенням останнього десятиліття, коли опади зменшуються на -2,9%.

Усереднені прогностичні сезонні значення температури повітря та сум опадів, що розраховані для території України за ансамблем з 10 МЗЦАО до 2100 р показали, що:

- очікується підвищення приземної температури повітря в усі сезони року, з найбільшими швидкостями зростання температур в зимовий сезон;
- з високою ймовірністю можна стверджувати, що підвищення річної температури повітря відбуватиметься за рахунок зменшення повторюваності низьких температур в зимовий сезон по всій території України;
- перехідні термічні сезони матимуть приблизно однакові швидкості та характер змін температури ;
- такі зміни температури можуть привести до згладжування річного ходу та зменшення його амплітуди переважно за рахунок підвищення температури у зимовий період;
- прогностичні дані вказують на можливість зміни режиму випадання опадів за рахунок збільшення їх сум у зимовий та-весняний періоди та зменшення у літній та-осінній сезони;
- отримані результати дають підстави очікувати на зміну річного ходу опадів, а саме більш рівномірного їх розподілу продовж року, або навіть зміщення максимумів на зимовий чи-весняний період;
- найбільші швидкості змін приземної температури повітря та сум опадів отримані в моделях для сценарію А2 (максимальний коефіцієнт лінійного тренду сягає 0,068°С/рік для мінімальних в Україні температур зими), найменші – для В1.

Визначено, що модель ECHAM5/MPI-OM можна визнати оптимальною для моделювання клімату України, оскільки різниці її значень з ансамблевими середніми – мінімальні. Результати даної МЗЦАО можна рекомендувати як початкові та граничні умови для проведення чисельного моделювання клімату України з регіональними моделями.

4. СЦЕНАРІЇ ЗМІНИ РЕГІОНАЛЬНОГО КЛІМАТУ УКРАЇНИ В XXI СТОЛІТТІ НА ОСНОВІ ПРОЕКЦІЙ АНСАМБЛЮ РЕГІОНАЛЬНИХ КЛІМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ

Сьогодні проблемам змін клімату приділяється значна увага у зв'язку з їх важливістю та актуальністю. Зміни та коливання температури повітря, кількості опадів та інших метеорологічних величин значно впливають на життя та діяльність людей (сільське господарство, транспорт, енергетику та ін.). Очевидно, що зміни клімату відбувалися постійно, але сучасні зміни характеризуються значними швидкостями та високою повторюваністю несприятливих метеорологічних процесів та явищ і потребують як постійного моніторингу, так і прогнозування майбутніх змін [1, 5, 15, 19, 23, 27-33, 35-41, 44, та ін.].

Застосування чисельних моделей для вирішення поставлених задач є найбільш оптимальним, оскільки розвиток обчислювальної техніки та й самих моделей в останні десятиліття досягли значних успіхів. Контрольні розрахунки клімату останніх століть за допомогою глобальних кліматичних моделей підтвердили їх здатність відтворювати основні тенденції та зміни в кліматичній системі планетарного масштабу [31]. Тому використання даних таких моделей як граничних умов для розрахунків на майбутнє регіональних кліматичних моделей є також цілком виправдано. Досвід застосування такого методу в Європейських країнах [2, 7, 10, 11, 18, 20, 21, 23, 25-29, 31, 36, 38, 39-41, 49, 50] показує, що отримані в моделях проекції можна використовувати як початкові для подальших прогнозів в суміжних та кліматозалежних галузях науки та господарської діяльності. Але такий підхід потребує певних попередніх перевірок (верифікацій) в регіоні, для якого застосовуються чисельні моделі, та методів формування ансамблю з кліматичних моделей як найефективнішого їх використання для того, щоб зменшити ті невизначеності, які виникають у будь-якому прогнозі, тим більше на далеку перспективу [2, 7, 9, 13, 20, 25, 27-29, 40].

4.1 Визначення оптимального ансамблю регіональних кліматичних моделей для території України

Оскільки метою даної науково-дослідної роботи є розроблення деталізованих у просторі та часі сценаріїв зміни кліматичних умов в Україні, то базою для таких сценаріїв мають стати розрахунки регіональних кліматичних моделей (РКМ), які мають горизонтальні кроки 20-50 км. Для досягнення поставленої мети були задіяні результати 14 розрахунків, які були виконані в рамках Європейського проекту FP-6 ENSEMBLES [47] для сценарію SRES A1B [33] з горизонтальним розділенням 25 км. Основні характеристики використаних розрахунків моделей представлено в табл. 4.1. Вибір саме такого набору моделей з більш ніж 20 розрахунків РКМ в ENSEMBLES обумовлений декількома причинами: (1) в даному наборі представлено принаймні один розрахунок майже всіх наукових інститутів-партнерів, що виконували проект ENSEMBLES, не були задіяні деякі моделі, які були ініційовані іншими МЗЦАО, або іншими розрахунками тих самих МЗЦАО, або це були ті самі РКМ, але розраховані в інших наукових установах, або виконані в неєвропейських (канадських)

інституціях; (2) з іншого боку, для отримання надійних результатів не достатньо одного розрахунку, а необхідно виконувати оцінки за ансамблем з мінімум 2 РКМ, але оптимальний мінімум повинен визначатися на етапі верифікації моделей на минулому та/або сучасному кліматі; (3) деякі з вибраних РКМ (REMO, RCA3-E, RegCM3) раніше застосовувалися в регіоні і показали гарні результати [7-10, 13, 28-30, 49, 50]; (4) для одержання більш ймовірних діапазонів можливих майбутніх змін клімату (довірчих інтервалів) розрахунки РКМ повинні бути ініційовані не однією МЗЦАО, а декількома, і таким чином, в отриманому наборі з 14 розрахунків РКМ початкові і граничні умови були взяті з 6 МЗЦАО, що повинно було забезпечити повноту охоплення можливих проекцій зміни клімату в регіоні. Моделі позначені різними кольорами, розшифровка значень яких буде подана нижче в детальному описі формування ансамблів РКМ.

Таблиця 4.1. Характеристики регіональних кліматичних моделей з європейського рамкового проекту ENSEMBLES.

№ моделі та її акронім	Інститут-учасник FP-6 ENSEMBLES, що виконав та надав розрахунки	Граничні умови з МЗЦАО, її організація-розробник	Період розрахунку
1: ***REMO***	***MPI-M*** Інститут метеорології Макса-Планка, Гамбург, Німеччина	***ECHAM5-r3 MPI-M***	1951 – 2100
2: ***RCA3***	***SMHI*** Россбі центр Шведського гідрометеорологічного інституту, Норкепінг, Швеція	***ECHAM5-r3 MPI-M***	1951 – 2100
3: ***RegCM3***	***ICTP*** Міжнародний центр теоретичної фізики, Трієст, Італія	***ECHAM5-r3 MPI-M***	1951 – 2100
4: ***HIRHAM5***	***DMI*** Датський метеорологічний інститут, Копенгаген, Данія	***ECHAM5-r3 MPI-M***	1951 – 2100
5: ***RACMO2***	***KNMI*** Королівській нідерландський метеорологічний інститут, ДеБільт, Нідерланди	***ECHAM5-r3 MPI-M***	1951 – 2100
6: ***RM5.1*** (Aladin)	***CNRM*** Науково-дослідний інститут Метео-Франс, Тулуза, Франція	***ARPEGE CNRM***	1951 – 2100

№ моделі та її акронім	Інститут-учасник FP-6 ENSEMBLES, що виконав та надав розрахунки	Граничні умови з МЗЦАО, її організація-розробник	Період розрахунку
7: ***HadRM3Q0***	***METO-HC*** Метеорологічний офіс Надлі центр, Екзетер, Велика Британія	***HadCM3Q0 METO-HC***	1951 – 2100
8: ***RRCM***	***VMGO*** Головна геофізична обсерваторія ім.Воєйкова, Санкт-Петербург, Росія	***HadCM3Q0 METO-HC***	1951 – 2050
9: ***CLM***	***ETHZ*** Швейцарський технологічний інститут, Цюріх, Швейцарія	***HadCM3Q0 METO-HC***	1951 – 2099
10: ***PROMES***	***UCLM*** Університет Кастилья Ла Манча, Толедо, Іспанія	***HadCM3Q0 METO-HC***	1951 – 2050
11: ***RCA3***	***SMHI*** Россбі центр Шведського гідрометеорологічного інституту, Норкепінг, Швеція	***HadCM3Q3 METO-HC***	1951 – 2100
12: ***RCA3***	***C4I*** Консорціум для Ірландії в Ірландській національній метеорологічній службі, Дублін, Ірландія	***HadCM3Q16 METO-HC***	1951 – 2099
13: ***HIRHAM***	***METNO*** Норвезький метеорологічний інститут, Осло, Норвегія	***BCM BCCR (Bjerknes Centre for Climate Research, Univ. of Bergen, Norway)***	1951 – 2050
14: ***RCA3***	***SMHI*** Россбі центр Шведського гідрометеорологічного інституту, Норкепінг, Швеція	***BCM BCCR (Bjerknes Centre for Climate Research, Univ. of Bergen, Norway)***	1951 – 2100

Перед тим, як проводити будь-який аналіз розрахунків РКМ на майбутні періоди, необхідно впевнитись, що вибрані РКМ та їх ансамбль спроможні

представляти кліматичні умови в заданому регіоні, тобто необхідно провести верифікацію моделей [2, 7, 9, 13, 28, 29]. Для цього використовуються дані спостережень та вимірів на метеорологічних (кліматичних) станціях в період, який в подальшому буде базовим для визначення майбутніх можливих кліматичних змін. Для цілей верифікації РКМ зручно використовувати дані вимірів, які інтерпольовані у ту саму координатну сітку, що й регіональні кліматичні моделі. В даному дослідженні були використані дані бази E-Obs [24], розробка якої також входила в завдання того самого європейського проекту ENSEMBLES саме з метою створення якісної та в деякій мірі уніфікованої бази для верифікації чисельних моделей. Вхідними даними для неї є добові дані мережі гідрометеорологічних спостережень Європи, які проходять процедури перевірки на помилки та однорідність і потім перераховуються у вузли регулярної сітки з кроком 0,25^{o} (≈25 км), в яку також перераховані дані всіх РКМ, що приймали участь в ENSEMBLES. Таким чином відпадає необхідність у використанні даних окремих станцій, і після перевірки даних самої бази E-Obs в досліджуваному регіоні [16] можна відразу проводити верифікацію моделей.

Як базовий для верифікації моделей в даному дослідженні обрано рекомендований ВМО стандартний кліматичний період 1961-1990 рр. Серед переваг, які визначили вибір саме цього базового періоду зазначимо те, що, по-перше, дані вимірів, які увійшли також до бази E-Obs, були ретельно перевірені на декількох етапах включаючи національний, а, по-друге, після 1990 р., нажаль, багато метеорологічних станцій та гідрологічних постів в Україні припинили надавати дані в світові центри або навіть припинили свою роботу, що безумовно мало позначитися на якості даних в E-Obs за останні 20 років. Тому вибір досить віддаленого періоду для верифікації від тих, для яких будуть будуватися чисельні проекції РКМ, є скоріше вимушеним кроком і для повноти аналізу даних РКМ буде проведена верифікація також для сучасного періоду, а саме 1991-2010 рр., що також дасть змогу визначити сучасні кліматичні зміни і порівняти їх з прогнозованими на майбутні періоди. Такий підхід було застосовано в [7] для Луганської області і отримані задовільні результати. Подібна методологія також успішно застосовувалася авторами ще в декількох регіонах, зокрема для північних областей України та басейну Дністра [28].

Формування оптимального ансамблю РКМ має в першу чергу визначатися тими завданнями, для яких це робиться. В даному дослідженні основними кліматичними характеристиками, зміни яких заплановано оцінити у межах всієї України та представити у вигляді деталізованих карт та значень, є багаторічні середні місячні та річні температури повітря та кількість опадів. Тому верифікацію РКМ з метою формування їх оптимального ансамблю буде проведено за певним набором статистичних параметрів, які будуть застосовані в якості критеріїв у відборі РКМ в ансамбль окремо для кожної з цих характеристик, які будуть усереднюватися для території всієї держави та розглядатися окремо по регіонах.

4.1.1 Оптимальний ансамбль для приземної температури повітря

Верифікацію РКМ розпочнемо з аналізу **температури повітря**. На рис. 4.1 представлена бульбашкова діаграма для середньої річної температури, яка дозволяє порівняти результати моделювань РКМ та їх ансамблів з даними спостережень, у даному випадку з даними E-Obs, за основними характеристиками. А саме: багаторічними середніми річними значеннями (вісь X), стандартними відхиленнями (амплітуда річного ходу) (вісь Y) та середньоквадратичними помилками (розмір бульбашок). В табл. 4.2 та табл. 4.3 наведено числові значення зазначених характеристик, а також коефіцієнти кореляції та максимальні і мінімальні абсолютні помилки для двох періодів.

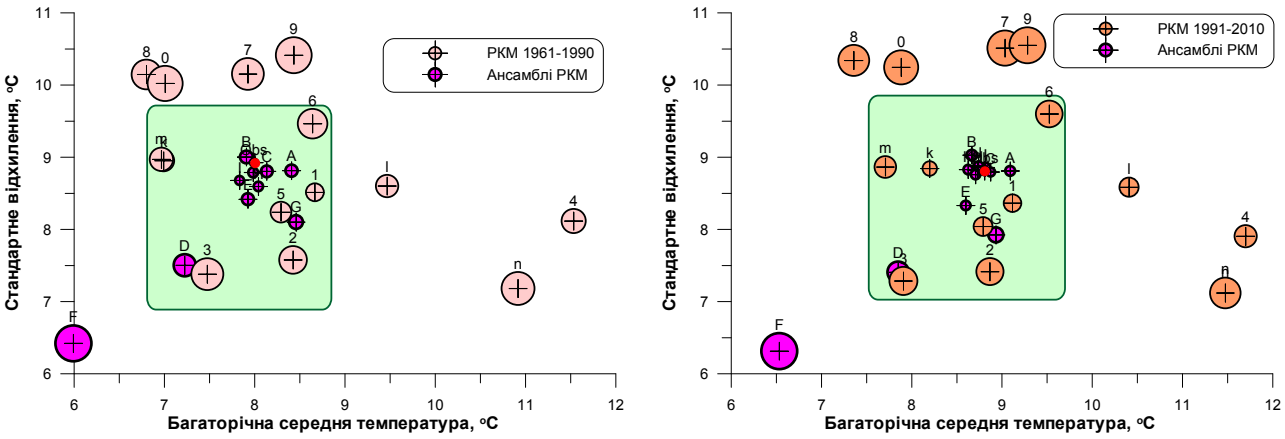


Рис. 4.1. Діаграми для оцінки результатів РКМ та їх ансамблів щодо багаторічних середніх річних значень температури повітря, їх стандартних відхилень (амплітуди річного ходу) та середньоквадратичних помилок (розмір бульбашок) порівняно з E-Obs (червона точка) для двох періодів. Позначення РКМ та їх ансамблів у табл. 4.2 та табл. 4.3 відповідно.

Таблиця 4.2. Статистичні характеристики регіональних кліматичних моделей та їх ансамблів щодо температури повітря за 1961-1990 рр. відносно даних E-Obs.

Назва РКМ та їх ансамблів	Позна-чення для рис.4.1	Серед-ня річна темп. °C	Станд. відхи-лення	Сер. квадр. помил-ка	К-т коре-ляції	Макс. абсол. помил-ка	Мин. абсол. помил-ка
	Obs	**8,0**	**8,9**	**0,0**	**1,0000**		
1: ***REMO***	1	8,7	8,5	0,7	0,9978	1,8	-0,7
2: ***RCA3-E***	2	8,4	7,6	1,5	0,9976	3,1	-1,4
3: ***RegCM3***	3	7,5	7,4	1,8	0,9936	3,2	-2,3
4: ***HIRHAM5***	4	11,5	8,1	1,2	0,9948	6,4	1,9
5: ***RACMO2***	5	8,3	8,2	0,9	0,9973	2,4	-0,8

Назва РКМ та їх ансамблів	Позна-чення для рис.4.1	Серед-ня річна темп. ^{o}C	Станд. відхи-лення	Сер. квадр. помил-ка	К-т коре-ляції	Макс. абсол. помил-ка	Мин. абсол. помил-ка
6: ***RM5.1*** (Aladin)	6	8,6	9,5	1,6	0,9865	3,1	-2,3
7: ***HadRM3Q0***	7	7,9	10,2	1,8	0,9906	3,7	-2,5
8: ***RRCM***	8	6,8	10,1	1,6	0,9938	1,9	-3,4
9: ***CLM***	9	8,4	10,4	2,1	0,9880	5,1	-2,7
10: ***PROMES***	0	7,0	10,0	2,0	0,9833	3,2	-4,5
11: ***RCA3-H***	k	7,0	9,0	1,0	0,9943	0,6	-2,8
12: ***RCA3***	l	9,5	8,6	1,1	0,9934	3,1	0,1
13: ***HIRHAM***	m	7,0	9,0	1,1	0,9920	0,4	-3,4
14: ***RCA3-B***	n	10,9	7,2	1,9	0,9962	6,1	0,4
14RM: 1-14	A	8,4	8,8	0,9	0,9954	1,7	-1,0
12RM: 1-3;5-13	B	7,9	9,0	0,9	0,9950	1,6	-1,6
10RM: 1-3;5-7;9;11-13	C	8,1	8,8	0,8	0,9958	1,4	-1,2
8RM: 1;2;3;5;6;11;12;13	D	7,2	7,5	1,6	0,9968	2,2	-2,8
7RM: 1;2;3;5;6;11;13	E	7,9	8,4	0,8	0,9970	1,7	-1,4
3RM: 1;5;11	F	6,0	6,4	2,6	0,9977	2,4	-5,1
3RM: 1;2;5	G	8,5	8,1	1,0	0,9981	2,5	-0,9
4RM: 1;2;5;8	H	8,0	8,6	0,7	0,9979	1,2	-1,1
5RM: 1;2;5;8;11	I	7,8	8,7	0,6	0,9979	1,0	-1,2
6RM: 1;2;5;6;8;11	J	8,0	8,8	0,7	0,9971	1,1	-1,2

Аналіз коефіцієнтів кореляції РКМ з E-Obs, що характеризує синхронність змін у часових розподілах, показує, що майже для всіх РКМ вони вищі за 0,99, але не менші за 0,98, тобто сам річний хід температури в РКМ моделюється відмінно. Але відомо, що для оцінок «успішності» представлення температури в РКМ коефіцієнти кореляції є найменш інформативними і повинні прийматися до уваги лише після оцінок інших зазначених статистичних показників.

З наведених на рис. 4.1 та в табл. 4.2 та табл. 4.3 даних можна, по-перше, виділити РКМ, що найгірше представляють річний хід та середню річну температуру повітря. Це моделі, у яких значно завищені (*HIRHAM5, RCA3-B*, *RCA3* – виділено червоним кольором) або занижені (*RRCM* – виділено синім кольором) середні річні значення температури, а також високі абсолютні (*HIRHAM5, HadRM3Q0*, *RRCM*, *CLM*, *PROMES*, *RCA3-B*) та середньоквадратичні помилки (*HadRM3Q0*, *CLM*, *PROMES*) в обох або в одному з періодів. Саме на діаграмі рис. 4.1 можна наочно продемонструвати вихід за межі допустимих помилок зазначених вище 7 РКМ та виділити інші 7 моделей, які найкраще відповідають даним спостережень (зелена зона). Відмітимо, що найкращою моделлю практично за всіма показниками в обох періодах є РКМ REMO, і її розташування на діаграмах рис. 4.1 найближче до значень E-Obs, які позначені червоними точками. Далі перейдемо безпосередньо до аналізу даних різних ансамблів РКМ.

Таблиця 4.3. Статистичні характеристики регіональних кліматичних моделей та їх ансамблів щодо температури повітря за 1991-2010 рр. відносно даних E-Obs.

Назва РКМ та їх ансамблів	Позна-чення для рис.4.1	Середня річна темп. ^{o}C	Станд. відхи-лення	Сер. квадрат помилка	К-т коре-ляції	Макс. абсол. помилка	Мин. абсол. помилка
	Obs	8,8	8,8	0,00	1,0000		
1: ***REMO***	1	9,1	8,4	0,72	0,9978	1,5	-0,9
2: ***RCA3-E***	2	8,9	7,4	1,50	0,9977	2,2	-2,3
3: ***RegCM3***	3	7,9	7,3	1,58	0,9987	1,4	-3,2
4: ***HIRHAM5***	4	11,7	7,9	1,10	0,9971	4,5	1,0
5: ***RACMO2***	5	8,8	8,0	0,83	0,9993	1,3	-1,3
6: ***RM5.1*** (Aladin)	6	9,5	9,6	1,46	0,9911	3,3	-1,8
7: ***HadRM3Q0***	7	9,0	10,5	2,16	0,9906	4,8	-2,1
8:	8	7,4	10,3	1,82	0,9948	1,2	-4,5

Назва РКМ та їх ансамблів	Позна-чення для рис.4.1	Середня річна темп. °C	Станд. відхи-лення	Сер. квадрат помилка	К-т коре-ляції	Макс. абсол. помилка	Мин. абсол. помилка
RRCM							
9: ***CLM***	9	9,3	10,6	2,22	0,9898	4,2	-2,6
10: ***PROMES***	0	7,9	10,2	2,07	0,9877	2,3	-4,3
11: ***RCA3-H***	k	8,2	8,8	0,46	0,9987	0,5	-1,1
12: ***RCA3***	l	10,4	8,6	0,85	0,9956	3,0	0,1
13: ***HIRHAM***	m	7,7	8,9	1,05	0,9929	-0,1	-3,4
14: ***RCA3-B***	n	11,5	7,1	1,80	0,9969	5,4	0,3
14RM: 1-14	A	9,1	8,8	0,57	0,9979	0,9	-1,1
12RM: 1-3;5-13	B	8,7	9,0	0,64	0,9977	0,7	-1,6
10RM: 1-3;5-7;9;11-13	C	8,9	8,8	0,51	0,9983	0,6	-1,1
8RM: 1;2;3;5;6;11;12;13	D	7,9	7,4	1,43	0,9993	1,0	-2,8
7RM: 1;2;3;5;6;11;13	E	8,6	8,3	0,57	0,9993	0,5	-1,1
3RM: 1;5;11	F	6,5	6,3	2,51	0,9993	0,9	-5,8
3RM: 1;2;5	G	8,9	7,9	0,97	0,9989	1,4	-1,4
Proj-14RM	H	8,7	8,8	0,53	0,9982	0,6	-1,0
Proj-12RM	I	8,8	8,9	0,53	0,9982	0,7	-1,0
Proj-10RM	J	8,7	8,9	0,52	0,9983	0,6	-1,2
Proj-8RM	K	8,6	8,8	0,54	0,9981	0,4	-1,2
Proj-7RM	L	8,7	8,8	0,55	0,9980	0,7	-1,0

Метою застосування саме ансамблю з РКМ замість однієї «найуспішнішої» моделі є, по-перше, отримання не тільки одного детермінованого значення, але й найвірогіднішого діапазону можливих проекцій, наприклад, температури повітря, які можна отримати саме як стандартне відхилення (довірчий інтервал) за ансамблем з декількох РКМ. По-друге, відомо, що кожна індивідуальна модель

має певні систематичні помилки, які мають випадковий розподіл щодо істинного значення, тому усереднення за більшим числом РКМ дає найкращі результати. Так ансамбль з усіх РКМ (14RM) має набагато кращі статистичні характеристики порівняно з переважною більшістю моделей, з яких складається. Це наочно можна бачити з наведених на рис. 4.1 та в табл. 4.2 та табл. 4.3 статистичних показників ансамблів, що тестувалися. Чому так вийшло зрозуміло саме з рис. 4.1, де 14 РКМ розташовані більш менш рівномірно навколо еталонного значення E-Obs, тому їх усереднення дало досить близьке, але трохи завищене значення. Якщо ж з ансамблю прибрати дві найтепліші та «найвіддаленіші» на рис. 4.1 моделі (*HIRHAM5* та *RCA3-B*), то хоч середня річна температура і наблизиться до еталону, але ансамбль 12RM має не кращі, а навіть деякі (середньоквадратичні та мінімальні абсолютні помилка) гірші значення. Тобто, цей ансамбль не буде оптимальним.

Для прийняття більш об'єктивного рішення, щодо формування ансамблю РКМ, в даному досліджені було застосовано метод перевірки проекцій – крос-валідація, і такий підхід був використаний вперше в Україні і для території України. Дана методика є по суті перевіркою проекції ансамблів РКМ на сучасному (1991-2010 рр.) періоді. Для цього за даними ансамблів моделей визначаються проекції зміни, в даному випадку, температури повітря в сучасний період відносно стандартного 1961-1990 рр. Отримані зміни додаються до фактичних значень E-Obs стандартного періоду (адитивний метод) і отримані по суті прогнозовані ансамблями РКМ значення порівнюються із фактичними даними E-Obs сучасного періоду. Зауважимо, що для отримання абсолютних значень температури повітря, прогнозованих ансамблями РКМ на будь-яку перспективу, буде застосовуватися саме така методика додавання до фактичних значень базового періоду прогнозованих змін. Такий підхід дозволяє значно зменшити саме систематичні помилки моделей та їх ансамблів.

На рис. 4.2 та рис. 4.3 показані розподіли за площею систематичних помилок проекцій температури повітря з стандартного (1961-1990 рр.) на сучасний (1991-2010 рр.) період декількох з табл. 4.3 ансамблів РКМ. З аналізу рис. 4.2 зрозуміло, чому обидва ансамблі з 14 та 12 моделей мають не найкращі показники – очевидно, що крайній схід країни виявився обрізаним в деяких моделях, що й спричинює там значні помилки, які не можна виявити в аналізі лише усереднених за площею характеристик. Пошук таких моделей виявив, що це моделі *RRCM* та *PROMES* – саме ті, що мають значні мінімальні абсолютні помилки в табл. 4.2 та 4.3. Виключення обох моделей з ансамблю дозволило значно покращити статистичні характеристики як самого ансамблю вже з 10 РКМ (10RM), так і його проекції на сучасний період (див. табл. 4.3).

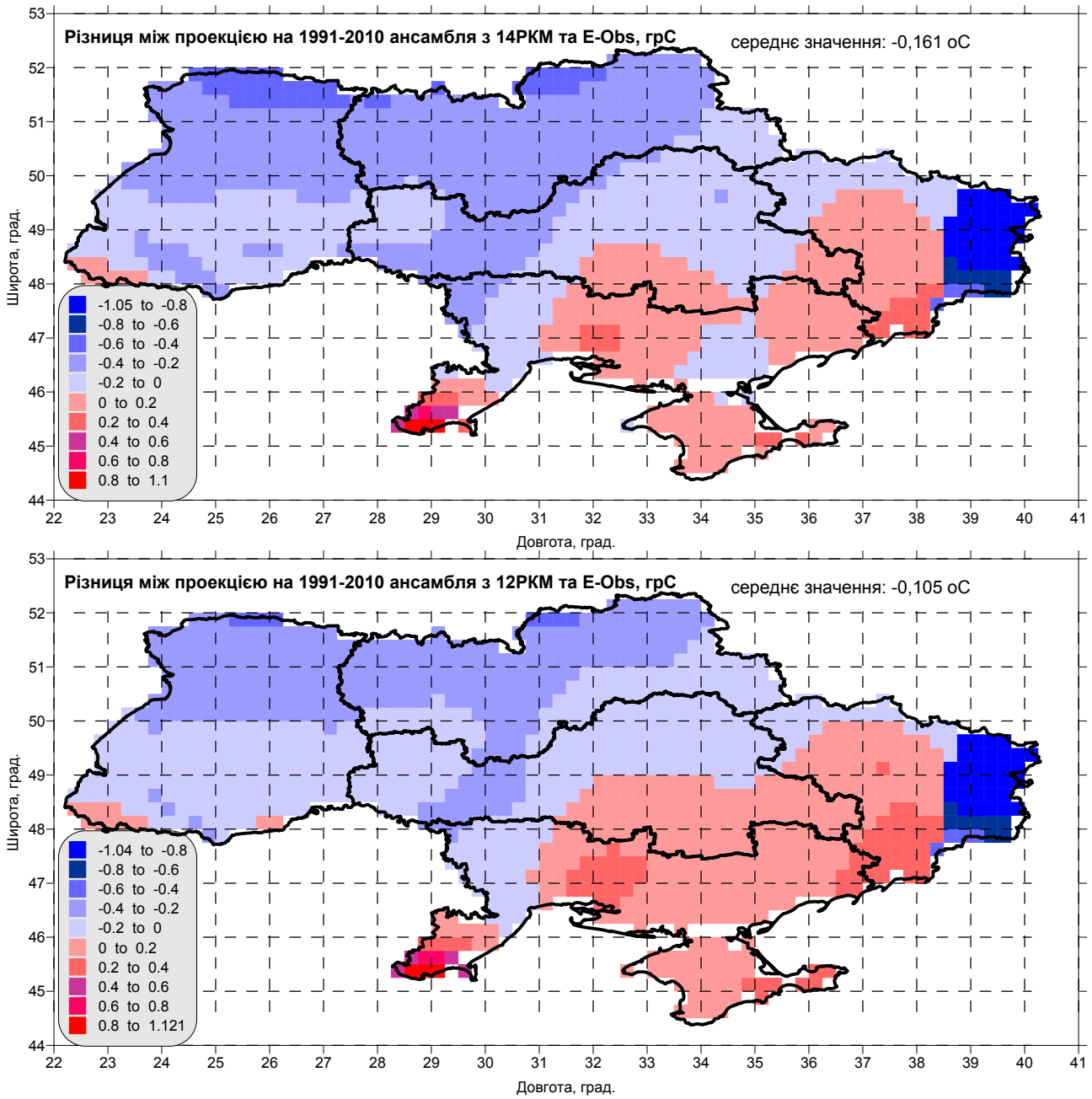


Рис. 4.2. Результати крос-валідації зазначених ансамблів РКМ (див. пояснення у тексті).

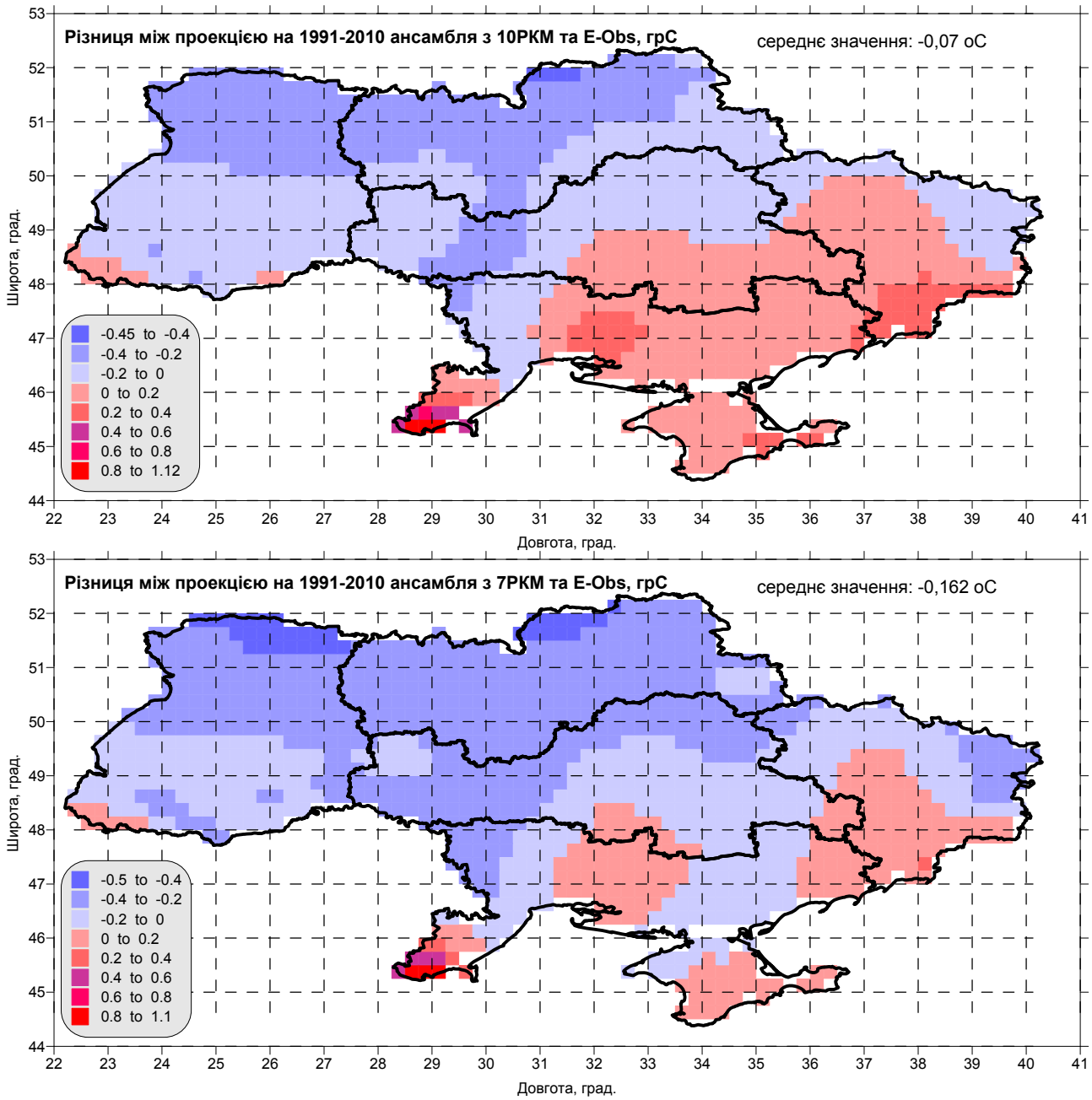


Рис. 4.3. Так само, як і рис. 4.2.

На рис. 4.3 представлена оцінка проекції оптимального ансамблю з 10 РКМ. Середня за площею країни абсолютна помилка цього ансамблю склала всього -0,07 ^{o}C, при цьому на більшості (>70%) території держави помилка проекції не перевищувала ± 0,2 ^{o}C, на майже 24% вона була в межах -0,2 – -0,45 ^{o}C, на майже 5% доходила до +0,4 ^{o}C і менше ніж на 1% площі на крайньому півдні поблизу кордону з Румунією перевищувала це значення. Такі результати є цілком задовільними. Відмітимо тільки, що ансамбль 10РКМ не достатньо відтворив значне потепління на півночі та заході і перевищив фактичні значення на півдні та південному сході України. Це можна вважати за тенденцію цього ансамблю.

В таблицях та на рис. 4.3 представлено ще декілька ансамблів для оцінок та порівнянь. Так показано характеристики ансамблю з 7 РКМ, які можна було б рекомендувати тільки за діаграмою рис. 4.1. За показниками цей ансамбль є також досить задовільним, але його проекція має загалом менші температури на

території країни, тому і усереднене значення за площею менше за 10РКМ і складає -0,162 ^{o}C. Цікаво, що додавання до ансамблю з 7 РКМ не такої вже й «поганої» за характеристиками моделі 12:*RCA3* значно погіршило середньоквадратичні та абсолютні помилки (див. ансамбль 8РКМ). Ще один цікавий ансамбль з 3 РКМ (1:*REMO*, 5:*RACMO2*, k:*RCA3-H*), які мають найменші середньо-квадратичні помилки, але ансамбль з них – найбільшу таку помилку для обох періодів.

Інший ансамбль з 3 РКМ (1:*REMO*, 2:*RCA3-E*, 5:*RACMO2*) сформований з трьох моделей, що в стандартний період мали найвищі коефіцієнти кореляції, а від попереднього він відрізняється тільки тим, що граничні умови для моделі *RCA3* були з МЗЦАО *ECHAM5*, а не *HadCM3Q3*. Цей ансамбль 3РКМ має набагато кращі статистичні показники і може також бути рекомендованим для застосування в умовах, коли немає можливості проводити розрахунки за великим ансамблем з 10 РКМ. Також в табл. 4.3 наведено ще декілька ансамблів, базою для яких був останній 3РКМ і до нього додавалися по черзі моделі, що не мали великих «проблем» у представленні температури повітря. Очевидно, що ці останні ансамблі мають також цілком задовільні статистичні показники, але присутність в ансамблі моделі *RRCM* робить небажаним їх використання в східних та південних регіонах України, оскільки ця модель в них просто «обрізана» і не має даних. Але в північних, західних та західній частині центрального регіону такі ансамблі можуть застосовуватися в умовах обмежених ресурсів для використання повного рекомендованого для всієї України ансамблю з 10 РКМ.

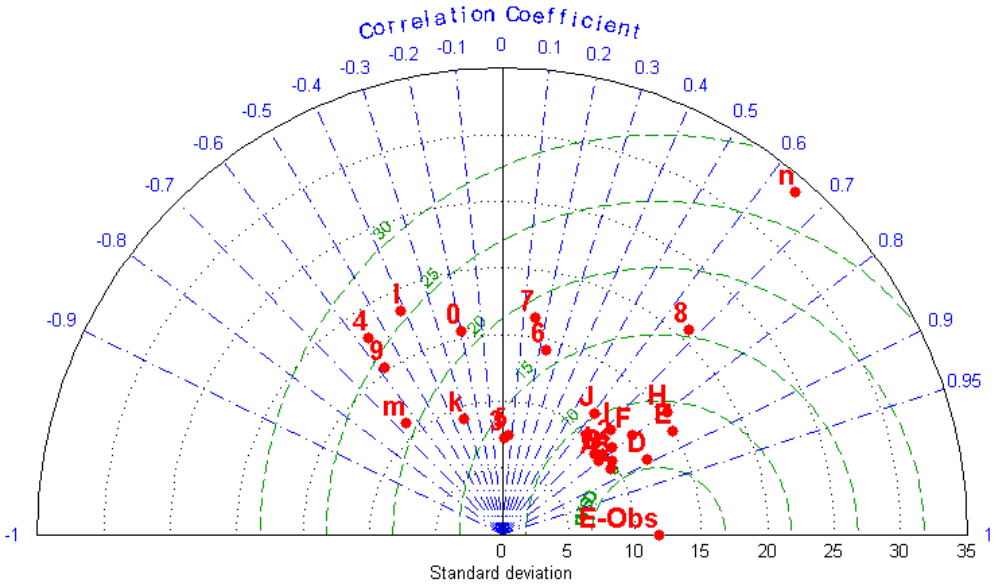
Таким чином, верифікація регіональних кліматичних моделей щодо **температури** повітря показала, що найкращою РКМ для всього регіону є **REMO**, яку можна рекомендувати використовувати для досліджень, які потребують застосування добових температур. Для оцінок можливих змін температурного режиму в Україні в XXI столітті доцільно застосовувати ансамбль з **десяти** запропонованих РКМ, що дозволить отримати не тільки середнє, а й можливі відхилення від нього за проекціями всіх моделей.

4.1.2 Оптимальний ансамбль для кількості опадів

Методика верифікації РКМ та критерії відбору в оптимальний ансамбль для **кількості опадів** будуть майже аналогічними як і для температури повітря, але все ж дещо відрізнятися. В табл. 4.4 та табл. 4.5 наведено статистичні характеристики кожної окремої РКМ та деяких їх ансамблів та проекцій, побудованих майже аналогічно до тих, що були отримані для температури. Різниця в тому, що для кількості опадів визначалися не абсолютні, а відносні зміни значень в сучасний період відносно стандартного, на які потім змінювали значення з E-Obs (мультиплікативний метод), щоб отримати проекцію на 1991-2010 рр., яку порівнювали знову ж таки з фактичними значеннями з E-Obs за відповідний сучасний період. Також на відміну від температури повітря, для кількості опадів найважливішою статистичною характеристикою є коефіцієнт кореляції, який саме і визначає успішність моделі в представлені річного розподілу опадів. Відомо, що для оцінок моделей щодо розрахованої кількості

опадів, найзручніше використовувати діаграми Тейлора [43], на яких можна одночасно представити коефіцієнти кореляції, стандартні відхилення та середні квадратичні помилки (RMSD). В даному випадку з діаграми Тейлора (рис. 4.4) очевидно, що 6 моделей з 14 в період 1961-1990 рр. та 10 РКМ з 14 в період 1991-2010 рр. мають від'ємні значення коефіцієнту кореляції та майже всі, окрім моделей *1:REMO* і *2:RCA3-E*, характеризуються значними середньо-квадратичними помилками. Таким чином, оскільки застосування моделей з від'ємними коефіцієнтами кореляції вочевидь не має сенсу, ансамбль для кількості опадів може складатися максимально з 8 РКМ для періоду 1961-1990 рр. та з 4 РКМ для періоду 1991-2010 рр.

а)



б)

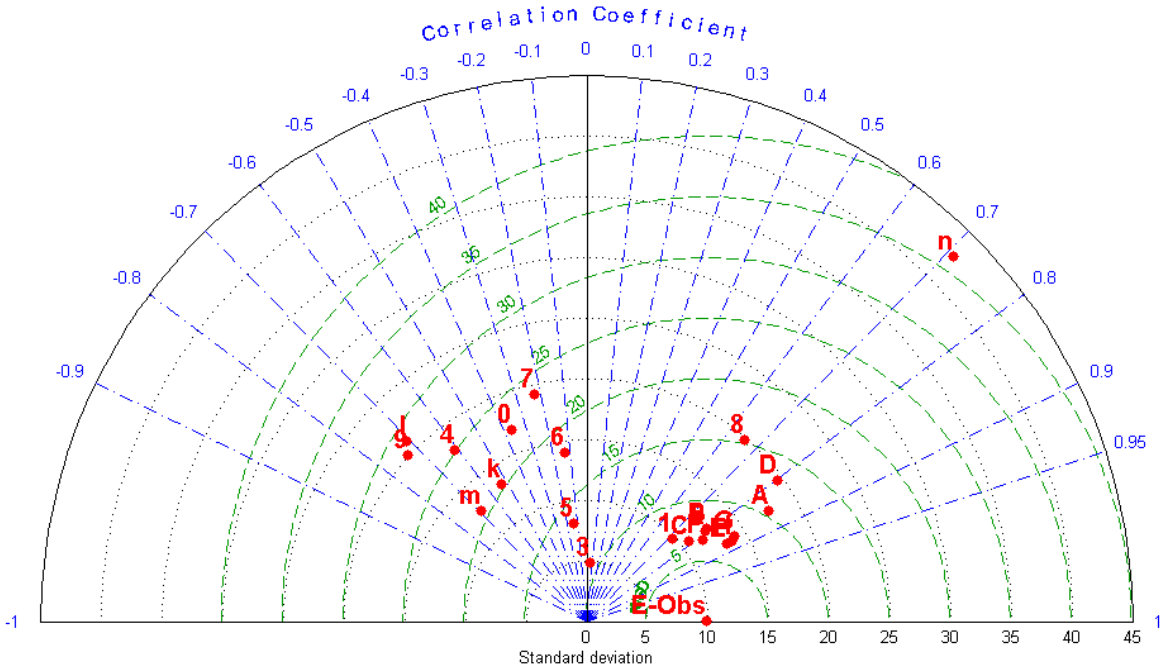


Рис. 4.4. Діаграма Тейлора для оцінки «успішності» РКМ та їх ансамблів відносно даних E-Obs про кількість опадів за (а) 1961-1990 рр. та (б) 1991-2010 рр. Позначення РКМ та їх ансамблів у табл. 4.4 та табл. 4.5.

Загалом з рис.4.4 та статистичних даних, наведених в табл.4.4 та табл. 4.5 з наочним представленням річних розподілів на рис.4.5 та рис.4.6 відповідно, очевидно, що майже всі варіанти усереднень за вказаними ансамблями мають набагато кращі результати за окремі РКМ. Але, оскільки деякі моделі виявили погіршення якості представлення річного розподілу кількості опадів у регіоні в сучасному періоді, їх не бажано застосовувати для розрахунків проекцій зміни опадів на майбутнє. Тому для крос-валідації було розраховано статистичні показники за ансамблями тільки з 4 РКМ, які були найуспішнішими саме у сучасний період, а саме: *1:REMO, 2:RCA3-E, 8:RRCM* та *14:RCA3-B*. При цьому перші дві моделі вочевидь є найуспішнішими в регіоні не тільки в представленні кількості опадів, а й температури (в табл.4.1 виділені фіолетовим кольором). Тому присутність обох цих РКМ в ансамблі має бути обов'язковою. Кожна з інших двох має певні недоліки, які треба враховувати в аналізі результатів (виділені блакитним). Як вже зазначалось вище, модель *8:RRCM* не повністю покриває територію України, хоча її результати одні з найкращих в обох періодах. До того ж, розрахунок даної моделі закінчується в 2050 р. і тому неможливо застосувати цю РКМ для побудови проекції на найвіддаленішу перспективу 2081-2100 рр.

В моделі *14:RCA3-B* очевидно кількість опадів набагато (в 3 рази) перевищує реальні значення, але коефіцієнти кореляції досить високі. Тобто річний хід опадів в регіоні моделюється наближено до реального (див. рис. 4.5 та рис.4.6) і отримане значне перевищення можна вважати систематичною похибкою, яку можна досить легко корегувати. Зауважимо, що відмінність даної моделі від *2:RCA3-E* полягає тільки в граничних умовах, які взяті з іншої МЗЦАО (див. табл. 4.1). Можливою причиною таких значних перевищень кількості опадів в МЗЦАО, розробленій в Норвегії, для відносно південнішої України можуть бути дещо завищені параметри опадоутворення, але в цілому, знову ж таки, річний хід представлено вірно. І тому цю РКМ буде включено до ансамблю для розрахунків проекції на період 2081-2100 рр. Зауважимо, що крос-валідація такого ансамблю на сучасному періоді отримала практично такі самі статистичні характеристики, як і повного ансамблю з 4 РКМ (див. табл. 4.5).

Таблиця 4.4. Статистичні характеристики регіональних кліматичних моделей та їх ансамблів щодо кількості опадів за 1961-1990 рр. відносно даних E-Obs.

Назва РКМ та їх ансамблів	Позначення для рис.2.1	Середня кількість опадів, мм/міс.	Стандартне відхилення (standard deviation)	Середня квадратична помилка (RMSD)	Коефіцієнт кореляції (Correlation coefficient)
	E-Obs	45	11,8	0,0	1,0000
1: ***REMO***	1	53	9,2	7,7	0,7567
2: ***RCA3-E***	2	58	10,5	7,4	0,7842
3: ***RegCM3***	3	65	7,2	13,7	0,0157
4:	4	66	17,9	26,4	-0,5635

Назва РКМ та їх ансамблів	Позначення для рис.2.1	Середня кількість опадів, мм/міс.	Стандартне відхилення (standard deviation)	Середня квадратична помилка (RMSD)	Коефіцієнт кореляції (Correlation coefficient)
HIRHAM5					
5: ***RACMO2***	5	49	7,5	13,6	0,0589
6: ***RM5.1*** (Aladin)	6	51	14,2	16,2	0,2300
7: ***HadRM3Q0***	7	53	16,5	18,7	0,1513
8: ***RRCM***	8	52	20,8	15,5	0,6765
9: ***CLM***	9	49	15,3	24,1	-0,5758
10: ***PROMES***	0	51	15,6	21,3	-0,1994
11: ***RCA3-H***	k	60	9,1	17,0	-0,3124
12: ***RCA3***	l	53	18,5	25,7	-0,4146
13: ***HIRHAM***	m	64	11,1	20,8	-0,6589
14: ***RCA3-B***	n	140	33,9	27,7	0,6518
8RM: 1;2;3;5;6;7;8;14	A	65	9,1	7,1	0,7957
7RM: 1;2;5;6;7;8;14	B	65	9,9	6,6	0,8286
6RM: 1;2;6;7;8;14	C	58	9,5	6,1	0,8556
5RM: 1;2;6;8;14	D	71	12,3	5,7	0,8892
4RM: 1;2;8;14	E	76	15,0	7,9	0,8544
3RM: 1;2;8	F	54	12,3	7,8	0,7931
2RM: 1;2	G	55	9,5	7,1	0,7952
3RM: 1;2;14	H	84	15,5	9,2	0,8028
4RM: 1;2;6;8	I	53	11,3	8,6	0,7214

Назва РКМ та їх ансамблів	Позначення для рис.2.1	Середня кількість опадів, мм/міс.	Стандартне відхилення (standard deviation)	Середня квадратична помилка (RMSD)	Коефіцієнт кореляції (Correlation coefficient)
5RM: 1;2;6;7;8	J	53	11,5	10,3	0,6093

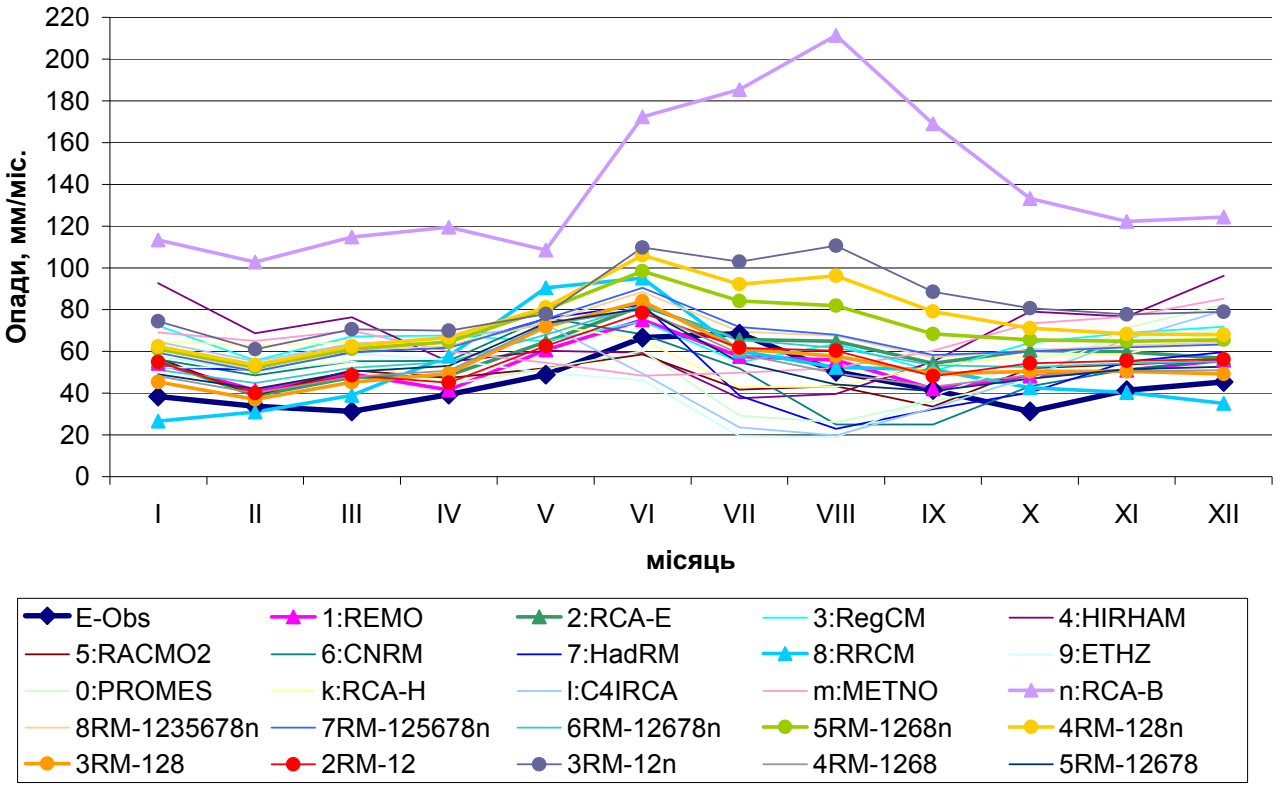


Рис. 4.5. Річні розподіли кількості опадів для РКМ та їх ансамблів відносно даних E-Obs для періоду 1961-1990 рр. Значення та позначення з табл. 4.4.

Таблиця 4.5. Статистичні характеристики регіональних кліматичних моделей та їх ансамблів щодо кількості опадів за 1991-2010 рр. відносно даних E-Obs.

Назва РКМ та їх ансамблів	Позначення на рис.2.3	Середня кількість опадів, мм/міс.	Стандартне відхилення (standard deviation)	Середня квадратична помилка (RMSD)	Коефіцієнт кореляції (Correlation coefficient)
	E-Obs	45	9,9	0,0	1,0000
1: ***REMO***	1	54	9,8	7,4	0,7209
2: ***RCA3-E***	2	62	12,3	7,5	0,7921
3: ***RegCM3***	3	67	4,9	10,8	0,0480
4:	4	71	17,9	25,2	-0,6118

Назва РКМ та їх ансамблів	Позначення на рис.2.3	Середня кількість опадів, мм/міс.	Стандартне відхилення (standard deviation)	Середня квадратична помилка (RMSD)	Коефіцієнт кореляції (Correlation coefficient)
HIRHAM5					
5: ***RACMO2***	5	51	8,1	13,6	-0,1393
6: ***RM5*** (Aladin)	6	53	14,0	18,1	-0,1288
7: ***HadRM3Q0***	7	54	19,2	23,5	-0,2242
8: ***RRCM***	8	55	19,8	15,3	0,6535
9: ***CLM***	9	51	20,1	28,1	-0,7324
10: ***PROMES***	0	52	16,9	22,5	-0,3641
11: ***RCA3-H***	k	59	13,3	20,3	-0,5288
12: ***RCA3***	l	57	21,0	28,9	-0,7055
13: ***HIRHAM***	m	63	12,6	20,7	-0,6910
14: ***RCA3-B***	n	143	42,6	36,3	0,7086
4RM: 1;2;8;14	A	79	17,6	10,5	0,8538
3RM: 1;2;8	B	57	12,5	7,7	0,7906
2RM: 1;2	C	58	10,7	6,8	0,7868
3RM: 1;2;14	D	87	19,5	13,0	0,8024
Проекція 4RM: 1;2;8;14	E	47	13,2	6,7	0,8722
Проекція 3RM: 1;2;8	F	43	11,6	6,7	0,8160
Проекція 2RM: 1;2	G	47	14,1	7,4	0,8654
Проекція 3RM: 1;2;14	H	47	13,7	6,9	0,8754

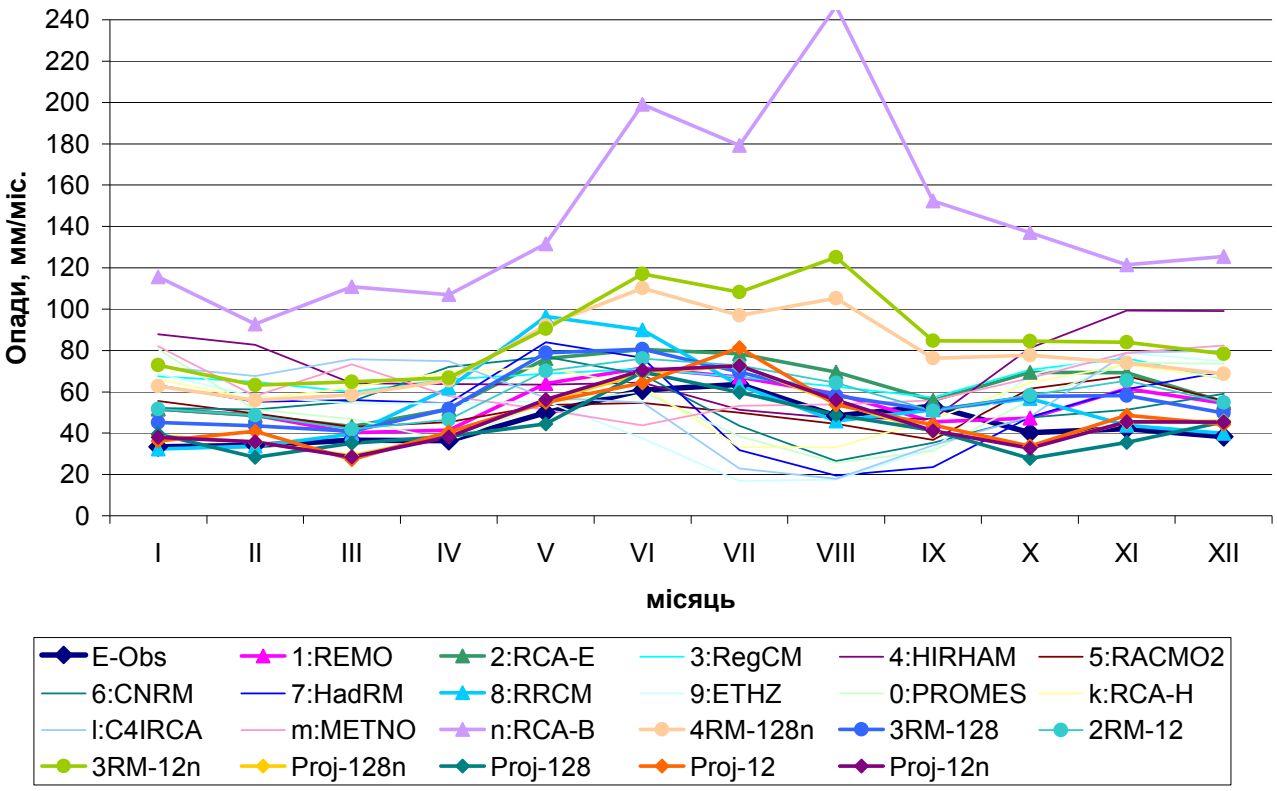
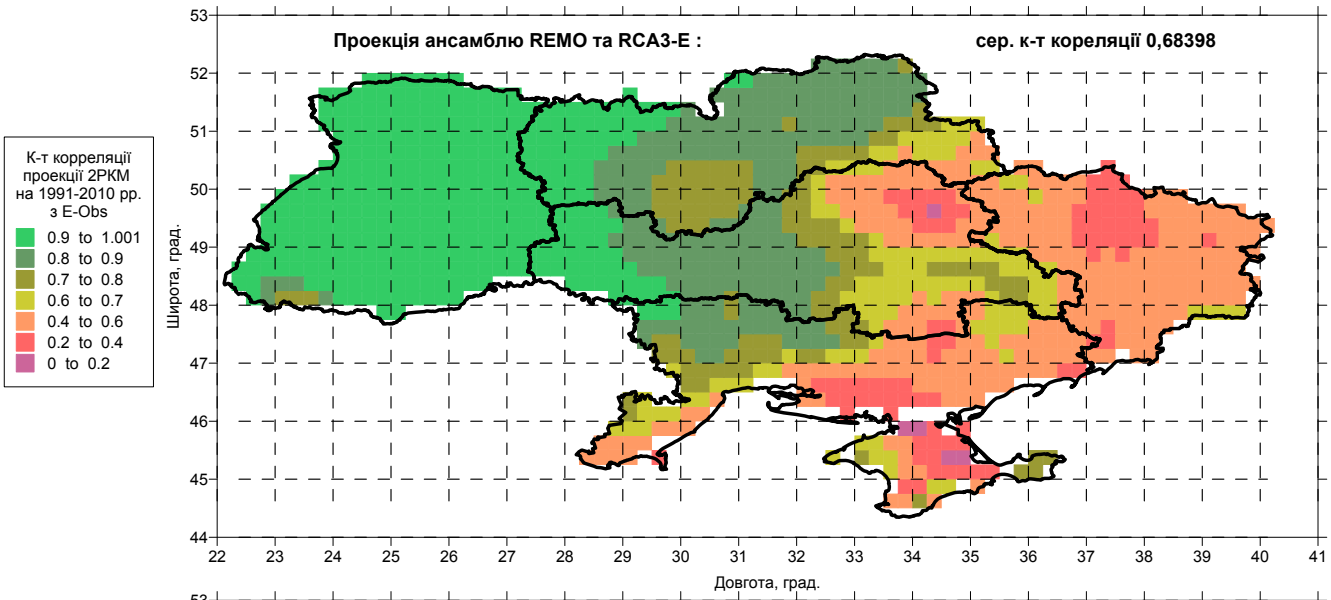


Рис. 4.6. Річні розподіли кількості опадів для РКМ та їх ансамблів відносно даних E-Obs для періоду 1991-2010 рр. Значення та позначення з табл. 4.5.

Оскільки метою даного дослідження було не тільки отримання оцінки, усередненої для всієї території країни, а й побудова просторових розподілів (карт) проекцій основних кліматичних характеристик, то вважається за доцільне оцінити отримані ансамблі методом крос-валідації для всіх вузлів координатної сітки на території України, як це було зроблено вище для температури. Але, як вже неодноразово зазначалося вище, основним критерієм для кількості опадів буде не річна (сезонна, місячна) сума, а саме здатність ансамблів представляти річний хід, яку можна оцінити через коефіцієнти кореляції. Тому на основі розрахунків мультиплікативним методом для кожного вузла розрахункової сітки на території України розміром 25x25 км (близько 1200 вузлів) проекцій річного ходу опадів з стандартного (1961-1990 рр.) на сучасний період (1991-2010 рр.) для запропонованих ансамблів РКМ було розраховано коефіцієнти кореляції відносно фактичних даних E-Obs також для кожного вузла, і результати у вигляді карт представлено на рис. 4.7 та рис.4.8.



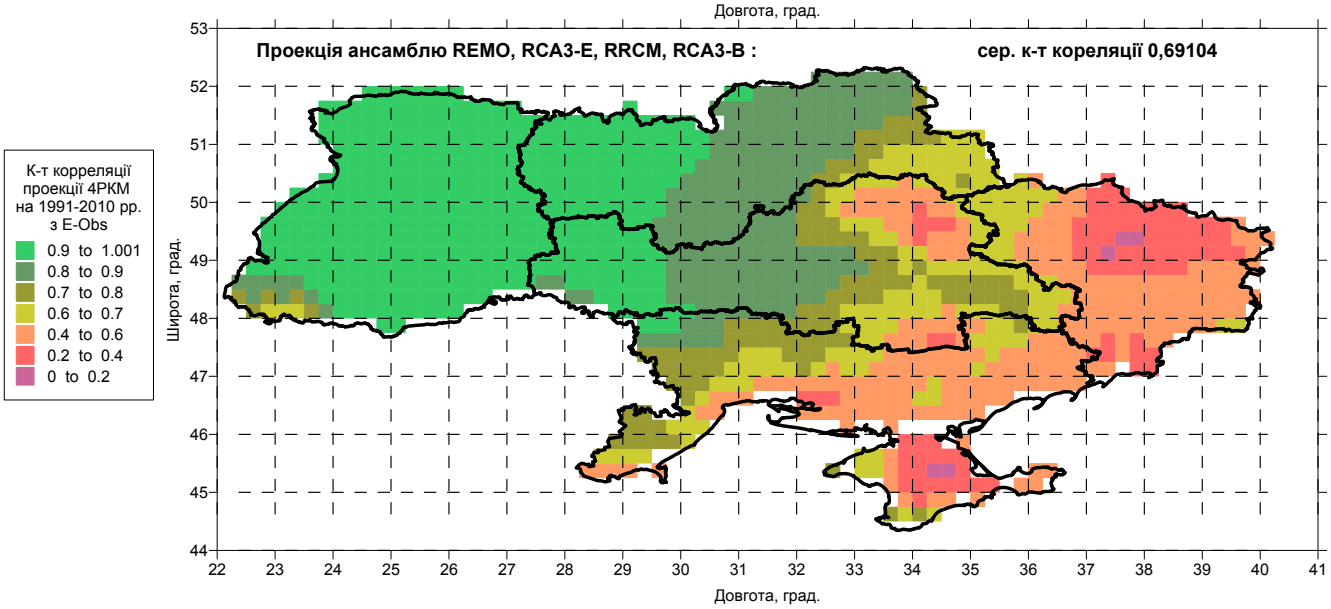
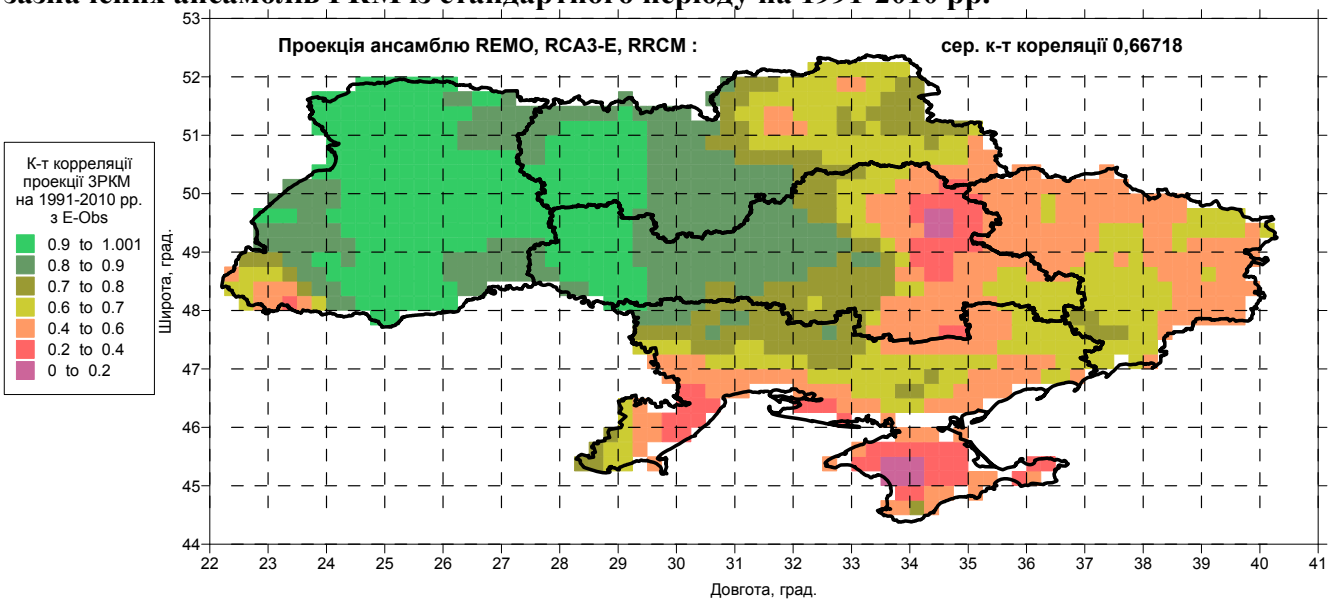


Рис. 4.7. Просторовий розподіл коефіцієнтів кореляції з даними E-Obs.для проекцій зазначених ансамблів РКМ із стандартного періоду на 1991-2010 рр.



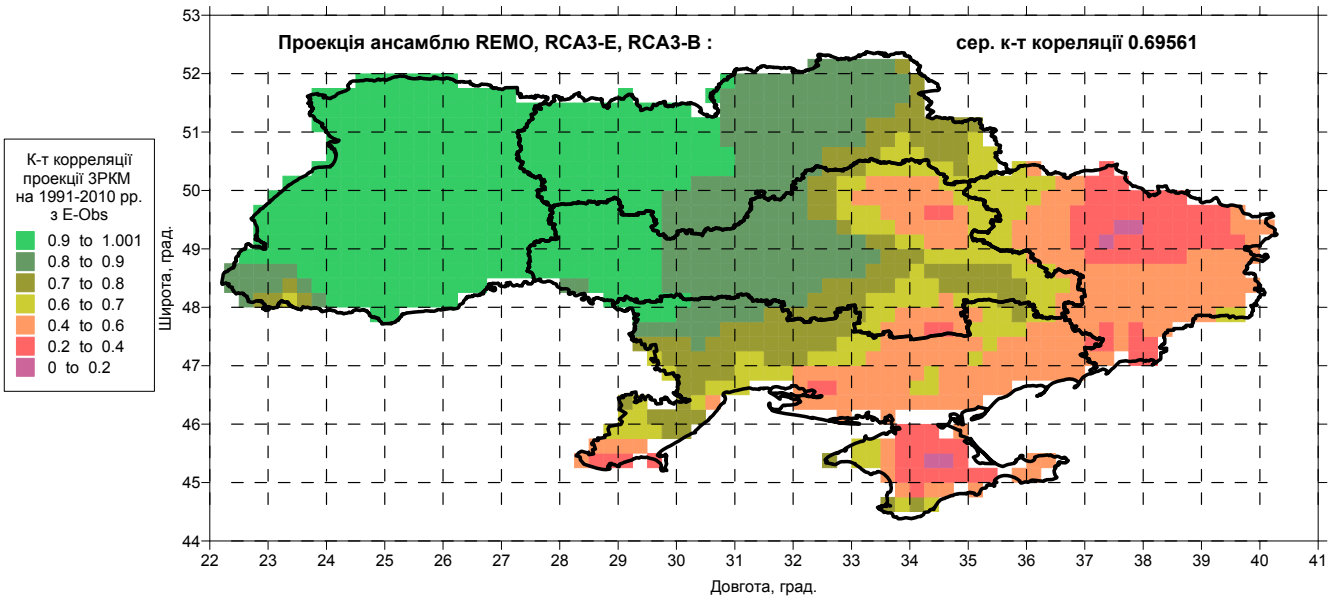


Рис. 4.8. Так само, як і рис. 4.7.

Очевидно, що всі ансамблі мають тенденцію кращого представлення опадів у західній та північній частинах країни, і найгірші результати отримано для східних та південних областей. Найкращі і майже аналогічні результати отримано для ансамблів з усіх 4РКМ та 3РКМ (*1:REMO, 2:RCA3-E* та *14:RCA3-B*), які саме вибрано для отримання проекцій майбутніх значень кількості опадів. Для них усереднений за площею коефіцієнт кореляції становить майже 0,7. Інші два ансамблі мають гірші характеристики на території України, але їх також можливо застосовувати з урахуванням зазначених вище недоліків.

Таким чином в табл.4.1 фіолетовим кольором виділені дві найуспішніші моделі в Україні (*1:REMO, 2:RCA3-E*), які були основою формування ансамблів для всіх розрахованих кліматичних характеристик; сірим позначені ті моделі, які не увійшли до жодного з ансамблів; блакитним – не увійшли до ансамблю з температури, але включені в ансамбль для опадів; зеленим – *5:RACMO2*, яка застосована в ансамблі разом з першими двома для розрахунку відносної вологості повітря; рожевим – *13:HIRHAM*, яка замінена на *14:RCA3-B* в ансамблі для температури для найвіддаленішого періоду 2081-2100 рр., оскільки для неї немає даних після 2050 р., а граничні умови в обох з МЗЦАО ВСМ.

4.2 Проекції змін та значення середніх місячних, сезонних та річних основних кліматичних характеристик в Україні на найближчу (до 2030 р.), середню (до 2050 р.) та довгострокову (до 2100 р.) перспективи

В даному підрозділі буде представлено та проаналізовано проекції змін та абсолютні значення місячних, сезонних та річних середньої, максимальної та мінімальної температур повітря, кількості опадів та відносної вологості повітря для трьох 20-річних періодів у XXI ст. Всі характеристики було розраховано за визначеними оптимальними ансамблями РКМ з європейського проекту ENSEMBLES [47], сценарій A1B за номенклатурою IPCC [33].

З метою виявлення і врахування можливих територіальних відмінностей у змінах кліматичних характеристик в межах України здійснено поділ території

України на 5 регіонів – захід, північ, схід, південь та центр (рис.4.9). Під час районування враховувались наступні чинники: *подібність* фізико-географічних умов, *однотипність* прояву кліматоутворюючих чинників, відносна *однорідність* кліматичних полів температури та опадів та адміністративно-територіальний поділ держави. Останній чинник враховувався, щоб адаптувати дані досліджень для стратегічного планування ведення господарства та розвитку регіонів.

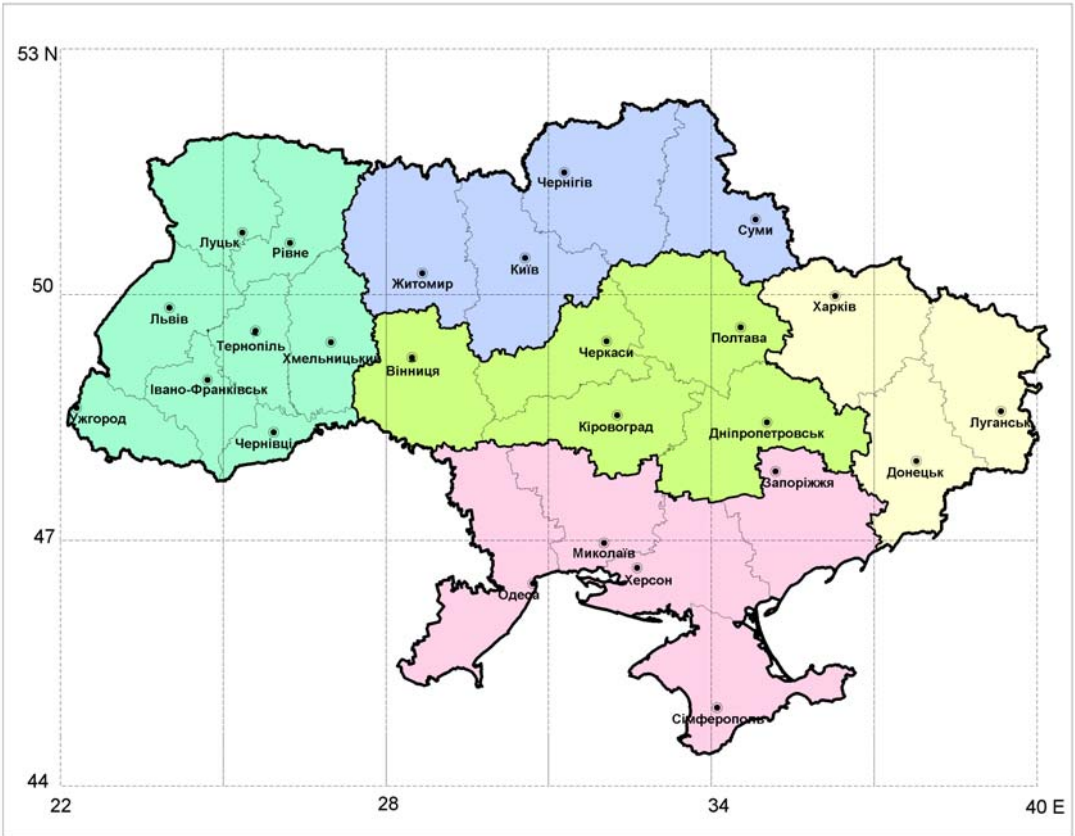


Рис. 4.9 Поділ території України на 5 регіонів із зазначенням обласних центрів в кожному з них.

Для отримання проекцій змін та абсолютних значень середніх місячних кліматичних характеристик була застосована наступна методика:

1) в кожному вузлі розрахункової сітки 25х25 км (близько 1200 вузлів) визначалися різниці (для температур) або відношення (для опадів) між значеннями кожної РКМ із запропонованих оптимальних ансамблів (10 для температур, 4 для опадів і 3 для вологості повітря) в три прогнозні періоди і базовим періодом сучасного клімату 1991-2010 рр.;
2) до базових значень з E-Obs за 1991-2010 рр. додавали (адитивний метод) отримані зміни температури або множили (мультиплікативний метод) їх на відносні зміни опадів і таким чином отримували проекції абсолютних значень для кожної РКМ з ансамблів для кожного з майбутніх періодів у всіх вузлах сітки;
3) для середніх місячних температур та кількості опадів визначали їх довірчий інтервал для рівня значущості 0,95 за отриманими абсолютними значеннями всіх РКМ з ансамблів знову ж у всіх вузлах сітки;

4) також для кожного вузла сітки отримані індивідуальні абсолютні значення та визначені зміни всіх РКМ в ансамблях усереднювали – отримували ансамблеве середнє для кожного з 3 прогнозних періодів;
5) з отриманих просторових розподілів основних кліматичних характеристик виділяли 5 регіонів і визначали середнє, максимальне і мінімальне значення змін та абсолютних величин за площею кожного з них та для України в цілому;
6) розраховували середні сезонні та річні значення також для всіх вузлів, 5 регіонів і всієї країни.

Отримані результати представлено у вигляді таблиць, графіків, гістограм та просторових розподілів.

4.2.1 Середні місячні температури повітря

Як було зазначено вище, для розрахунків проекцій на майбутнє середніх місячних та річних температур повітря було застосовано ансамбль з 10 РКМ, за яким визначалися як усереднені зміни та абсолютні значення (ансамблеві середні), так і їх довірчі інтервали. Ці статистичні характеристики представлено на рис. 4.10 – 4.15 та у табл. 4.6 – 4.8 для трьох періодів відповідно.

У період найближчого майбутнього 2011-2030 рр. (рис.4.10, 4.11, табл. 4.6) прогнозовані зміни термічного режиму мають тенденції як до потепління, так і до похолодання, яке найвірогідніше у березні (до -0,3^{o}C ± 0,3^{o}C на сході) і не виключено у січні та лютому (до -0,5^{o}C враховуючи довірчі інтервали). У квітні та травні зміни температури складають 0,3-0,4^{o}C ± 0,3-0,4^{o}C, тобто можливий діапазон змін в Україні від -0,1^{o}C до 0,8^{o}C. Починаючи з червня до кінця року прогнозується однозначне потепління, максимально у грудні на 0,8-1,3^{o}C ± 0,4-0,6^{o}C. Серед регіонів найбільші зміни як у бік потепління, так і похолодання має східний регіон майже у всі місяці за виключенням періоду серпень-жовтень, коли максимальне потепління прогнозується для західного регіону. Найменші довірчі інтервали було отримано для серпня (±0,1-0,2^{o}C), що свідчить про високу ступінь ймовірності отриманих середніх значень застосованого ансамблю. Найбільші довірчі інтервали отримано для січня, липня, листопада та грудня, що свідчить про найбільшу неузгодженість проекцій окремих моделей у ці місяці. На рис. 4.11 наведено усереднені (з табл.4.6) та максимальні і мінімальні значення, які ілюструють межі середніх місячних температур в кожному з регіонів та в Україні. Так очевидно, що максимальна температура в західному регіоні відповідає Закарпаттю, а мінімальна – Карпатським горам так само як і на півдні Кримським.

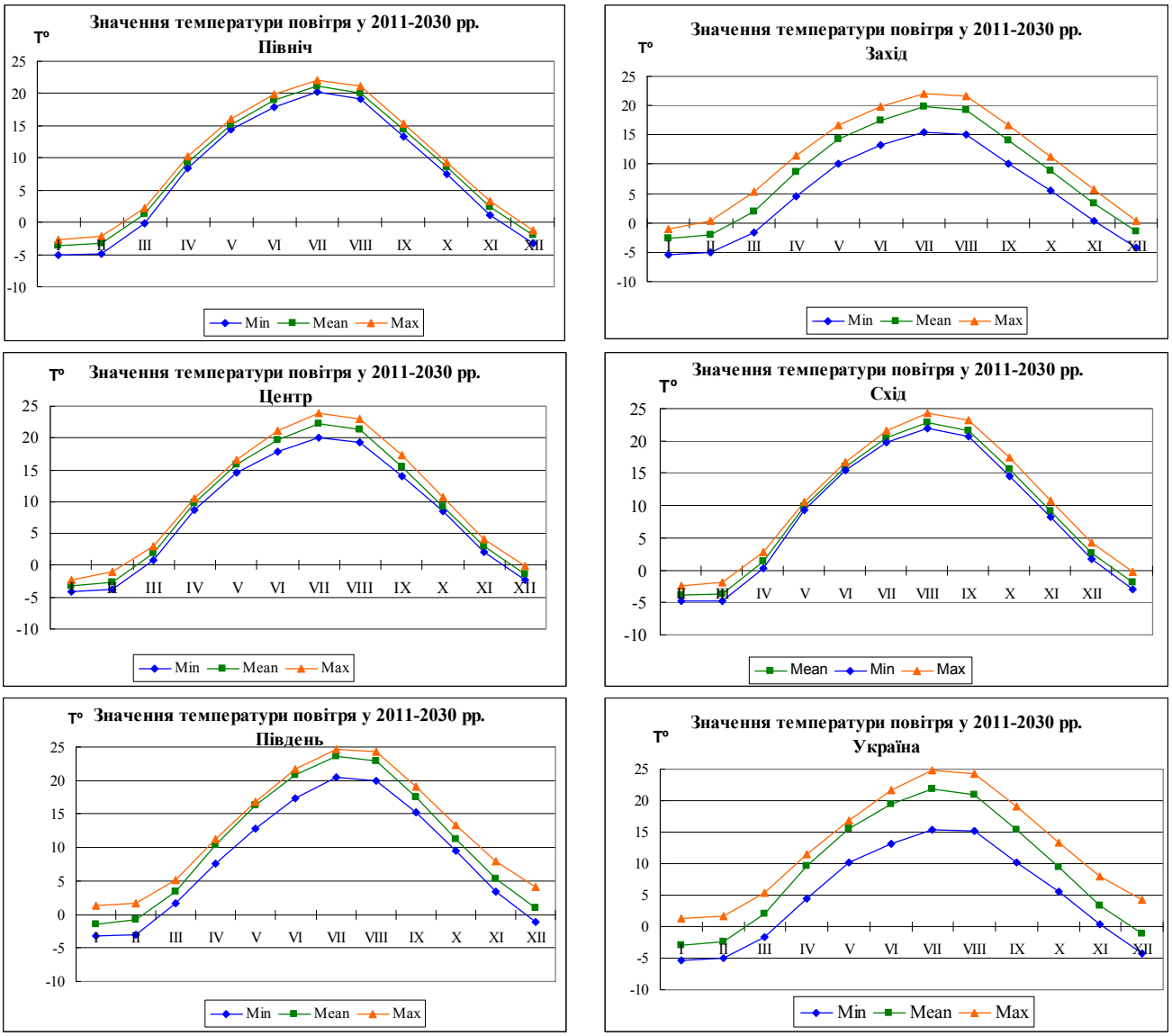
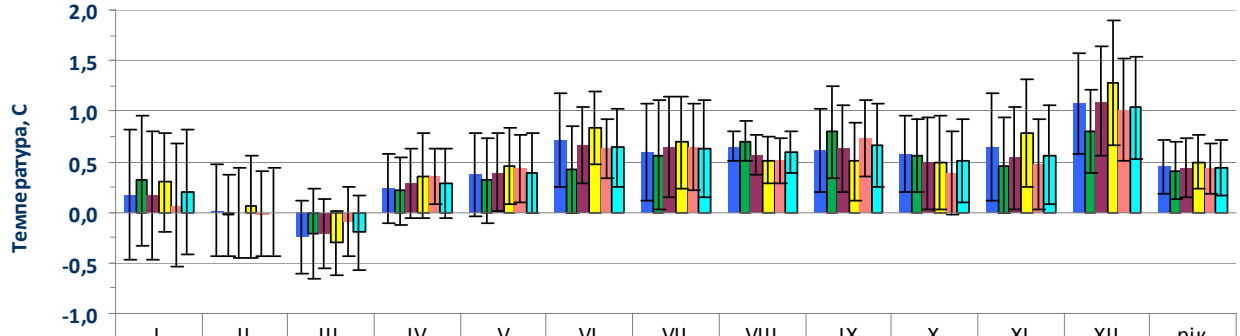


Рис. 4.10 Річний хід усередненої, максимальної та мінімальної температур повітря за площею регіонів та всієї території України для періоду 2011-2030 рр.

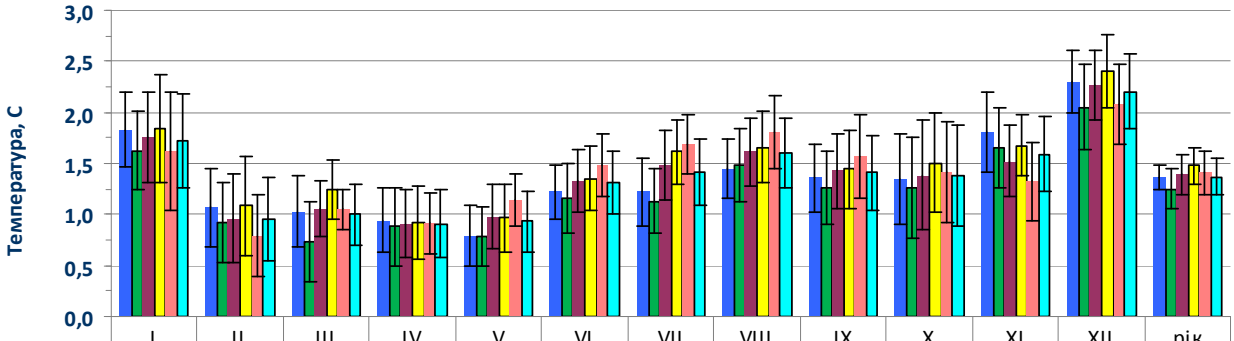


	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	рік
північ	0,17	0,01	-0,25	0,24	0,37	0,71	0,59	0,65	0,61	0,58	0,65	1,08	0,45
захід	0,32	-0,03	-0,20	0,21	0,31	0,43	0,56	0,70	0,79	0,56	0,46	0,80	0,41
центр	0,16	-0,01	-0,21	0,28	0,40	0,66	0,64	0,56	0,63	0,49	0,54	1,10	0,44
схід	0,30	0,06	-0,30	0,36	0,45	0,84	0,69	0,52	0,50	0,49	0,79	1,28	0,50
південь	0,07	-0,02	-0,09	0,36	0,43	0,63	0,65	0,51	0,73	0,39	0,48	1,01	0,43
Україна	0,20	0,00	-0,20	0,28	0,39	0,64	0,62	0,59	0,67	0,50	0,57	1,04	0,44

Рис.4.11. Проекція змін середніх місячних температур повітря по регіонах в 2011-2030 рр. відносно 1991-2010 рр. з довірчими інтервалами за ансамблем з 10 РКМ.

Таблиця 4.6. Середні місячні температури повітря (верхній рядок) та їх довірчі інтервали (курсив) за ансамблем 10РКМ по регіонах у 2011-2030 рр.

Період / регіон	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Рік
Північ	-3,6	-3,2	1,2	9,3	15,2	19,0	21,2	20,2	14,4	8,6	2,5	-2,0	8,6
	0,6	*0,5*	*0,4*	*0,3*	*0,4*	*0,5*	*0,5*	*0,1*	*0,4*	*0,4*	*0,5*	*0,5*	*0,3*
Захід	-2,7	-2,0	1,9	8,8	14,3	17,5	19,8	19,2	14,1	8,8	3,3	-1,5	8,4
	0,6	*0,4*	*0,4*	*0,3*	*0,4*	*0,4*	*0,5*	*0,2*	*0,4*	*0,4*	*0,5*	*0,4*	*0,3*
Центр	-3,3	-2,7	1,9	9,9	15,8	19,8	22,2	21,2	15,5	9,3	3,1	-1,4	9,3
	0,6	*0,4*	*0,4*	*0,3*	*0,4*	*0,4*	*0,5*	*0,2*	*0,4*	*0,5*	*0,5*	*0,5*	*0,3*
Схід	-3,9	-3,6	1,3	9,9	15,9	20,5	22,9	21,6	15,6	9,2	2,7	-1,9	9,2
	0,5	*0,5*	*0,3*	*0,4*	*0,4*	*0,4*	*0,4*	*0,2*	*0,4*	*0,5*	*0,5*	*0,6*	*0,3*
Південь	-1,4	-0,7	3,5	10,3	16,3	20,9	23,7	22,9	17,5	11,3	5,3	1,0	10,9
	0,6	*0,4*	*0,3*	*0,3*	*0,3*	*0,3*	*0,4*	*0,2*	*0,4*	*0,4*	*0,5*	*0,5*	*0,3*
Україна	-2,9	-2,4	2,0	9,6	15,5	19,5	21,9	21,0	15,4	9,4	3,4	-1,1	9,3
	0,6	*0,4*	*0,4*	*0,3*	*0,4*	*0,4*	*0,5*	*0,2*	*0,4*	*0,4*	*0,5*	*0,5*	*0,3*

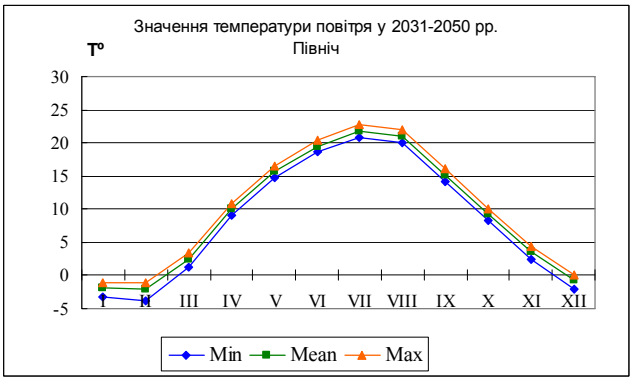


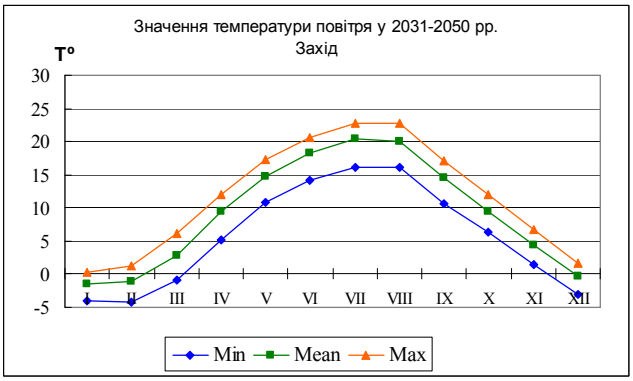
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	рік
північ	1,83	1,07	1,03	0,94	0,79	1,22	1,23	1,45	1,36	1,35	1,80	2,31	1,36
захід	1,62	0,92	0,74	0,88	0,78	1,16	1,13	1,48	1,26	1,27	1,66	2,05	1,24
центр	1,75	0,96	1,05	0,91	0,98	1,33	1,49	1,61	1,42	1,38	1,52	2,27	1,39
схід	1,85	1,08	1,24	0,92	0,97	1,35	1,61	1,66	1,44	1,51	1,68	2,40	1,48
південь	1,61	0,79	1,05	0,91	1,14	1,48	1,68	1,81	1,57	1,42	1,33	2,08	1,41
Україна	1,72	0,95	1,00	0,91	0,93	1,31	1,42	1,60	1,41	1,38	1,59	2,21	1,37

Рис.4.12. Проекція змін середніх місячних температур повітря по регіонах в 2031-2050 рр. відносно 1991-2010 рр. з довірчими інтервалами за ансамблем з 10 РКМ.

Таблиця 4.7. Середні місячні температури повітря (верхній рядок) та їх довірчі інтервали (курсив) за ансамблем 10РКМ по регіонах у 2031-2050 рр.

Період / регіон	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Рік
Північ	-1,9	-2,1	2,5	10,0	15,6	19,5	21,8	21,0	15,2	9,3	3,6	-0,8	9,5
	0,4	*0,4*	*0,3*	*0,3*	*0,3*	*0,3*	*0,3*	*0,3*	*0,3*	*0,4*	*0,4*	*0,3*	*0,1*
Захід	-1,4	-1,0	2,8	9,4	14,8	18,2	20,4	19,9	14,5	9,5	4,5	-0,3	9,3
	0,4	*0,4*	*0,4*	*0,4*	*0,3*	*0,3*	*0,3*	*0,4*	*0,4*	*0,5*	*0,4*	*0,4*	*0,2*
Центр	-1,7	-1,8	3,1	10,5	16,4	20,4	23,1	22,3	16,3	10,2	4,0	-0,3	10,2
	0,4	*0,4*	*0,3*	*0,3*	*0,3*	*0,3*	*0,3*	*0,3*	*0,4*	*0,5*	*0,4*	*0,3*	*0,2*
Схід	-2,3	-2,6	2,8	10,5	16,4	21,0	23,8	22,8	16,6	10,2	3,6	-0,7	10,2
	0,5	*0,5*	*0,3*	*0,4*	*0,3*	*0,3*	*0,3*	*0,3*	*0,4*	*0,5*	*0,3*	*0,4*	*0,2*
Південь	0,1	0,1	4,6	10,8	17,0	21,7	24,7	24,2	18,3	12,3	6,2	2,0	11,8
	0,6	*0,4*	*0,2*	*0,3*	*0,3*	*0,3*	*0,3*	*0,4*	*0,4*	*0,5*	*0,4*	*0,4*	*0,2*
Україна	-1,4	-1,4	3,2	10,2	16,0	20,1	22,7	22,0	16,1	10,3	4,4	0,0	10,2
	0,5	*0,4*	*0,3*	*0,3*	*0,3*	*0,3*	*0,3*	*0,3*	*0,4*	*0,5*	*0,4*	*0,4*	*0,2*





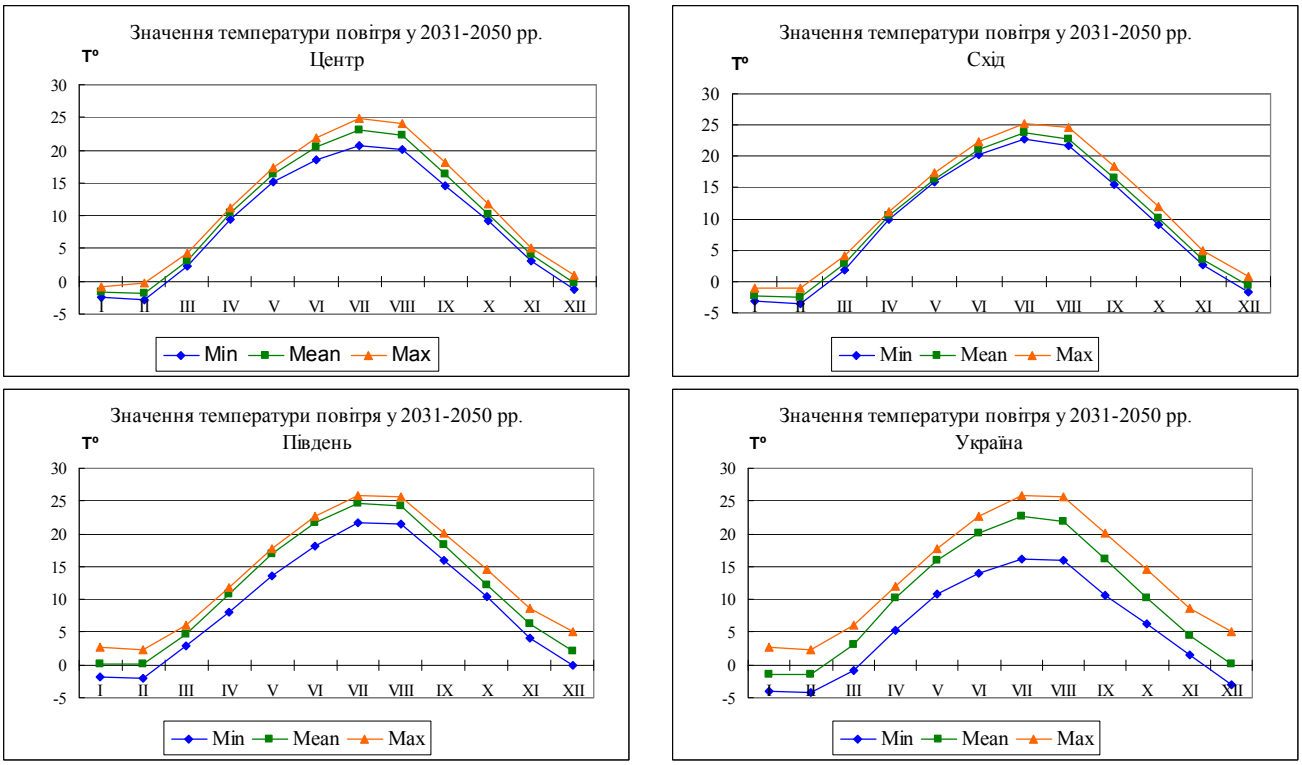


Рис. 4.13. Так само, як і рис. 4.10 для періоду 2031-2050 рр.

Проекції змін температури повітря до середини XXI ст. вказують на однозначне потепління в усі місяці року (рис. 4.12, 4.13, табл. 4.7). Знову максимальні значення змін отримано для грудня (+2,2°С ± 0,4°С для України). Але на відміну від попереднього періоду, у січні також очікується значне потепління (+1,7°С ± 0,5°С). Тому холодна половина року, зокрема зимові місяці стануть значно теплішими. Найменшими очікуються зміни навесні. Влітку та восени теплішати буде приблизно однаково з максимумом у серпні. При цьому в холодний період року буде більше теплішати на півночі та сході, у теплий – на півдні та знову сході країни. Найбільші довірчі інтервали (±0,5°С) отримано для січня та жовтня, найменші (висока міжмодельна узгодженість) ±0,2°С – для річних значень.

У річному ході температури повітря (рис.4.13, табл. 4.7) відбулися суттєві зміни: за рахунок значнішого потепління січня настання зимового мінімуму перемістилося на лютий на півночі, в центрі та на сході країни, а на півдні і в Україні вцілому температура лютого зрівнялась з січнем. Такі зміни свідчать про можливий зсув та зміни в тривалості сезонів, що може вплинути на різні аспекти біосферного балансу і їх необхідно враховувати в довготривалому плануванні аграрної та енергетичної галузей, туризму та інших секторів економіки.

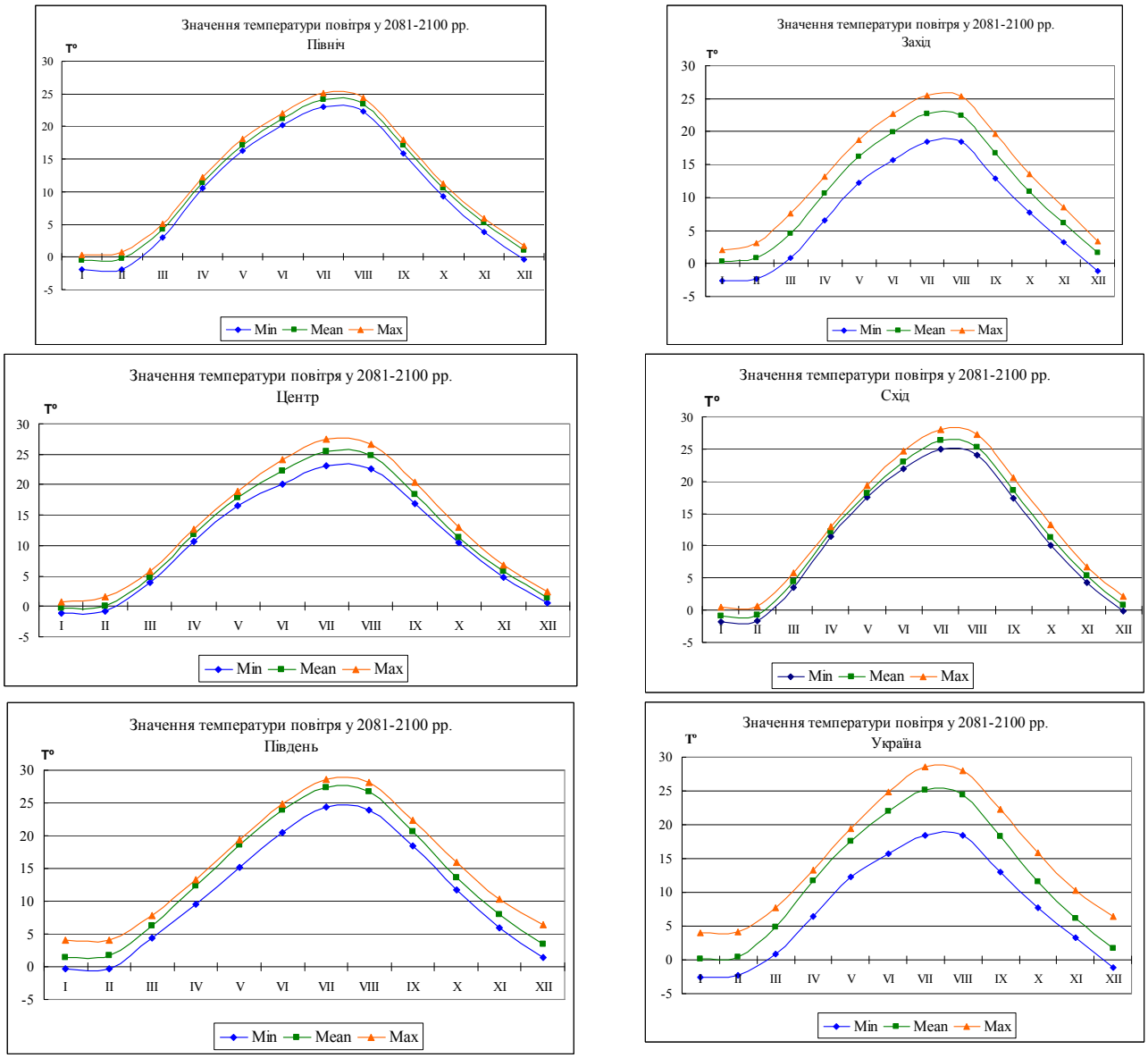
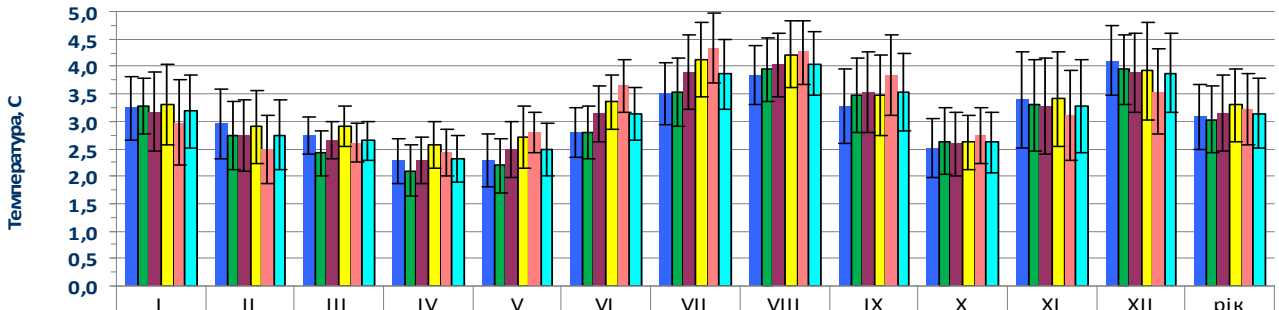


Рис. 4.14. Так само, як і рис. 4.10 для періоду 2081-2100 рр.



	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	рік
північ	3,24	2,95	2,74	2,28	2,28	2,80	3,50	3,84	3,28	2,52	3,40	4,11	3,08
захід	3,27	2,74	2,42	2,10	2,19	2,80	3,53	3,95	3,47	2,64	3,29	3,95	3,03
центр	3,17	2,74	2,65	2,29	2,49	3,13	3,90	4,03	3,54	2,59	3,27	3,89	3,14
схід	3,30	2,90	2,91	2,58	2,71	3,35	4,13	4,22	3,48	2,62	3,41	3,92	3,29
південь	2,98	2,49	2,60	2,43	2,80	3,65	4,33	4,25	3,84	2,74	3,10	3,54	3,23
Україна	3,18	2,75	2,64	2,32	2,48	3,14	3,87	4,05	3,53	2,62	3,28	3,87	3,15

Рис.4.15. Проекція змін середніх місячних температур повітря по регіонах в 2081-2100 рр. відносно 1991-2010 рр. з довірчими інтервалами за ансамблем з 10 РКМ.

Таблиця 4.8. Середні місячні температури повітря (верхній рядок) та їх довірчі інтервали (курсив) за ансамблем 10РКМ по регіонах у 2081-2100рр.

Період / регіон	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Рік
Північ	-0,5	-0,2	4,2	11,4	17,1	21,1	24,1	23,4	17,1	10,5	5,2	1,0	11,2
	0,6	*0,6*	*0,3*	*0,4*	*0,5*	*0,4*	*0,6*	*0,5*	*0,7*	*0,5*	*0,9*	*0,6*	*0,6*
Захід	0,2	0,8	4,5	10,7	16,2	19,9	22,8	22,4	16,7	10,9	6,1	1,6	11,1
	0,5	*0,6*	*0,4*	*0,5*	*0,5*	*0,5*	*0,6*	*0,6*	*0,7*	*0,6*	*0,8*	*0,6*	*0,6*
Центр	-0,3	0,0	4,7	11,9	17,9	22,2	25,5	24,7	18,4	11,4	5,8	1,4	12,0
	0,7	*0,6*	*0,3*	*0,4*	*0,5*	*0,5*	*0,7*	*0,6*	*0,7*	*0,6*	*0,9*	*0,7*	*0,7*
Схід	-0,9	-0,8	4,5	12,1	18,2	23,0	26,3	25,3	18,6	11,3	5,3	0,8	12,0
	0,7	*0,7*	*0,4*	*0,4*	*0,6*	*0,5*	*0,7*	*0,6*	*0,7*	*0,5*	*0,9*	*0,9*	*0,7*
Південь	1,5	1,8	6,2	12,4	18,6	23,9	27,4	26,6	20,6	13,6	8,0	3,5	13,7
	0,8	*0,6*	*0,4*	*0,4*	*0,4*	*0,5*	*0,6*	*0,6*	*0,7*	*0,5*	*0,8*	*0,8*	*0,6*
Україна	0,1	0,4	4,8	11,6	17,6	21,9	25,1	24,4	18,3	11,6	6,1	1,7	12,0
	0,7	*0,6*	*0,4*	*0,4*	*0,5*	*0,5*	*0,6*	*0,6*	*0,7*	*0,5*	*0,9*	*0,7*	*0,6*

На кінець XXI ст. в Україні прогнозується підвищення річної температури в середньому на +3,2°С ± 0,6°С (рис. 4.14, 4.15. табл. 4.8). Максимальні потепління очікуються у південному регіоні влітку (в липні на +4,3°С ± 0,6°С, коли середня місячна температура сягне 27,4°С) та в північному регіоні взимку (в грудні на +4,1°С ± 0,6°С), мінімальні потепління – в перехідні сезони (у квітні та жовтні). Довірчі інтервали для цього періоду найбільші, тобто на кінець розрахунків на 150 років моделі мають не тільки максимальні потепління, а й найбільший діапазон значень, що є цілком очікуваним. Найбільшу неузгодженість моделей (довірчі інтервали) було знайдено для листопада у всіх регіонах та в грудні на сході (±0,9°С). Форма річного ходу в цілому повертається до сучасної з зимовим мінімумом у січні, але різниці середніх температур січня і лютого стають вдвічі менші за період 2011-2030 рр. (за виключенням західного регіону). Найбільший розмах температури (рис.4.14) аналогічно до попередніх періодів у західному регіоні, а найменші відмінності за площею у північному та східному регіонах.

Для детальнішого аналізу очікуваних змін температури в Україні були побудовані розподіли за площею середніх сезонних та річних значень змін температури повітря для трьох прогнозних періодів (рис. 4.16-4.18).

Перший очевидний висновок з аналізу карт – те, що найменші зміни прогнозуються для весни і для західного регіону в усі сезони на протязі всього XXI сторіччя. Локалізація ж максимальних змін температури різна для різних сезонів та прогнозних періодів. Так у найближчий період 2011-2030 рр. найбільше потепління очікується влітку на північному сході країни (Сумська та північ Луганської області) (рис.4.16). В наступні 20 років схожий розподіл отримано вже для зими, а літом максимальне потепління перемістилося у південні області. Взагалі для цього серединного періоду 2031-2050 рр. (рис.4.17) розподіл підвищень температури взимку і влітку має практично «дзеркальне» широтне розташування в той час, як в перехідні сезони і для річних значень характерніший меридіональний розподіл із збільшенням потепління з заходу на схід. Ця

тенденція зберігається і до кінця сторіччя, але вже літнє потепління на півдні буде набагато перевищувати зимове на півночі в період 2081-2100 рр. (рис.4.18).

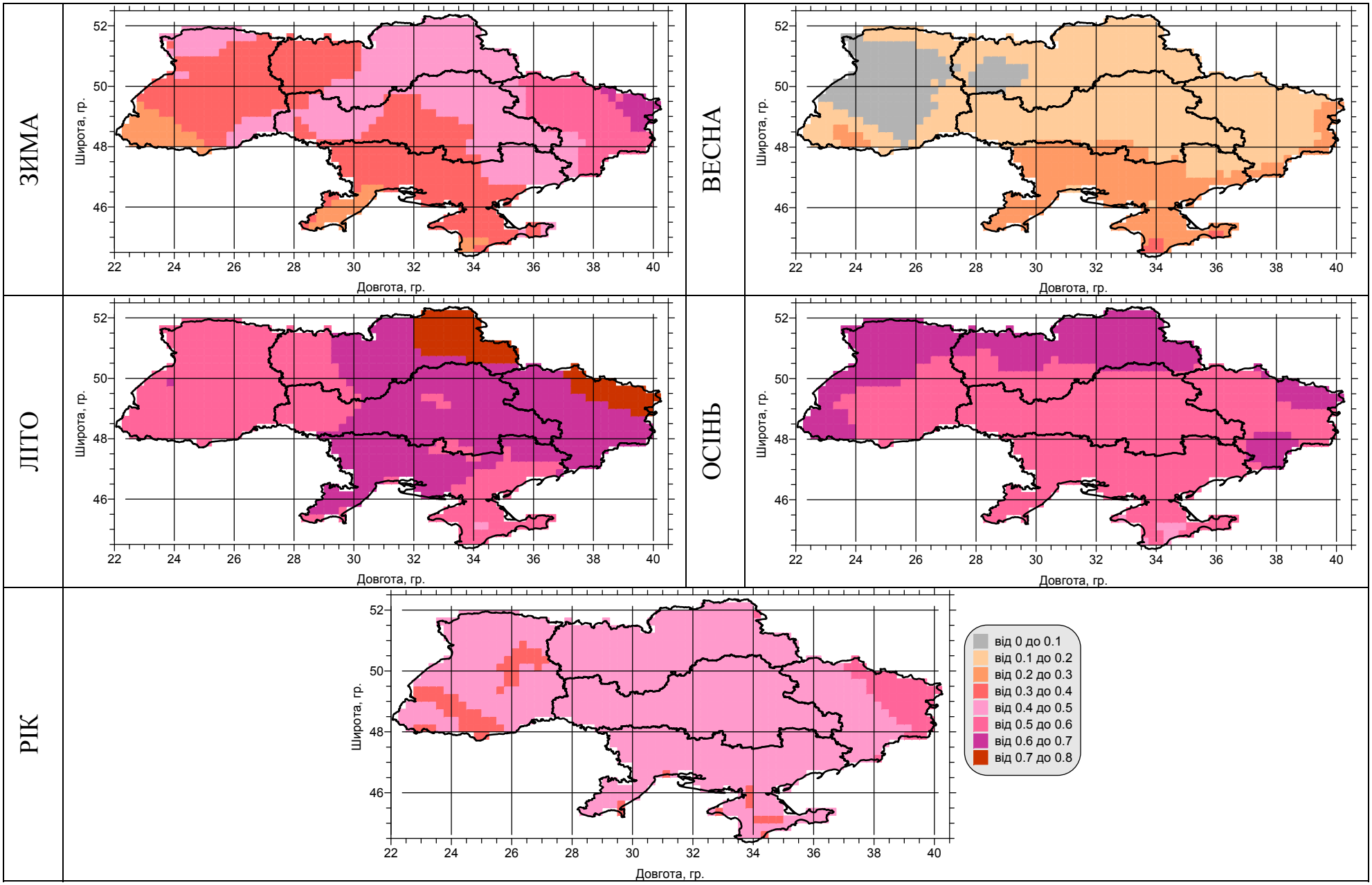


Рис.4.16. Зміни температури повітря у 2011-2030 рр. відносно 1991-2010 рр.

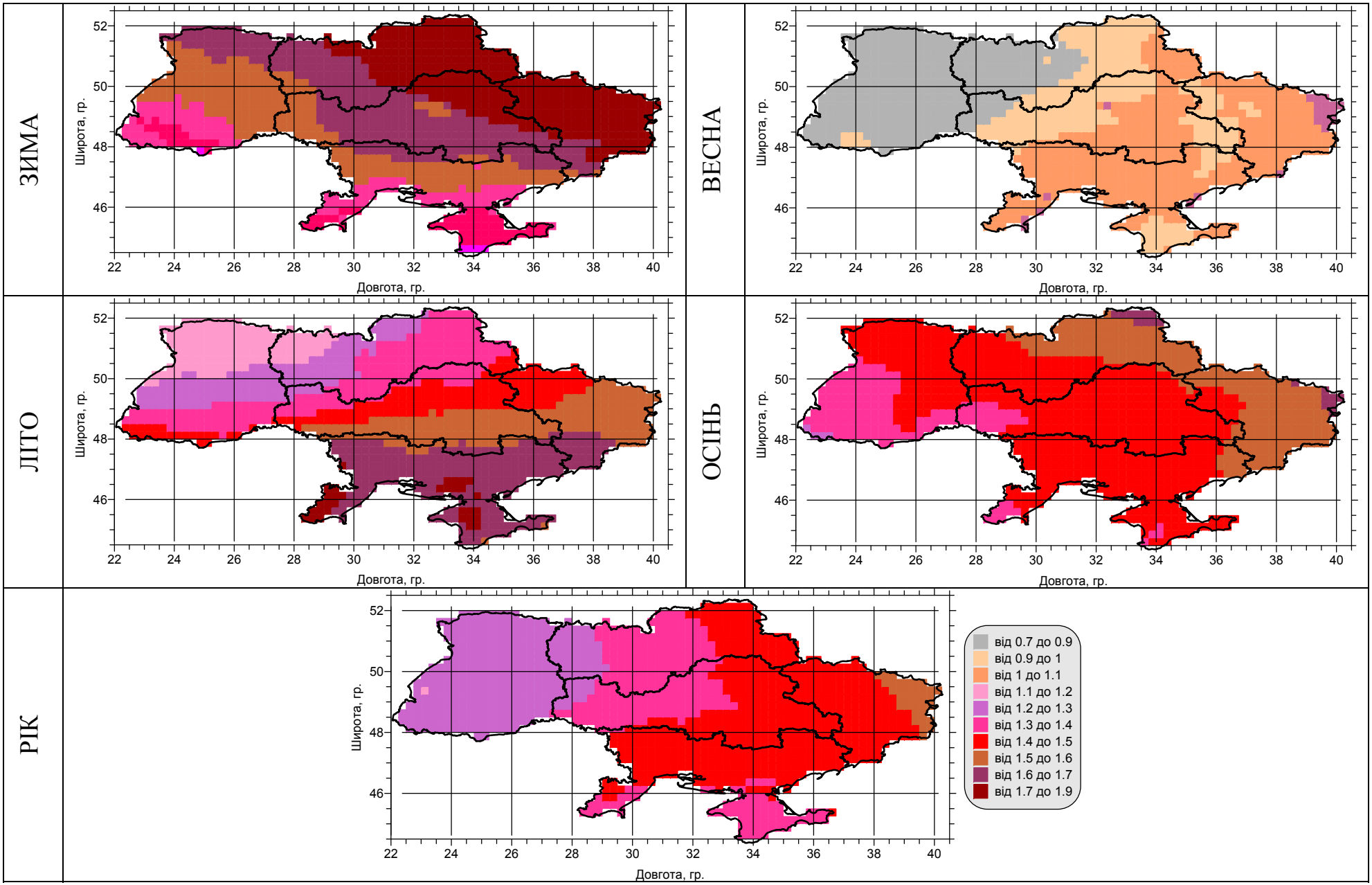


Рис.4.17. Зміни температури повітря у 2031-2050 рр. відносно 1991-2010 рр.

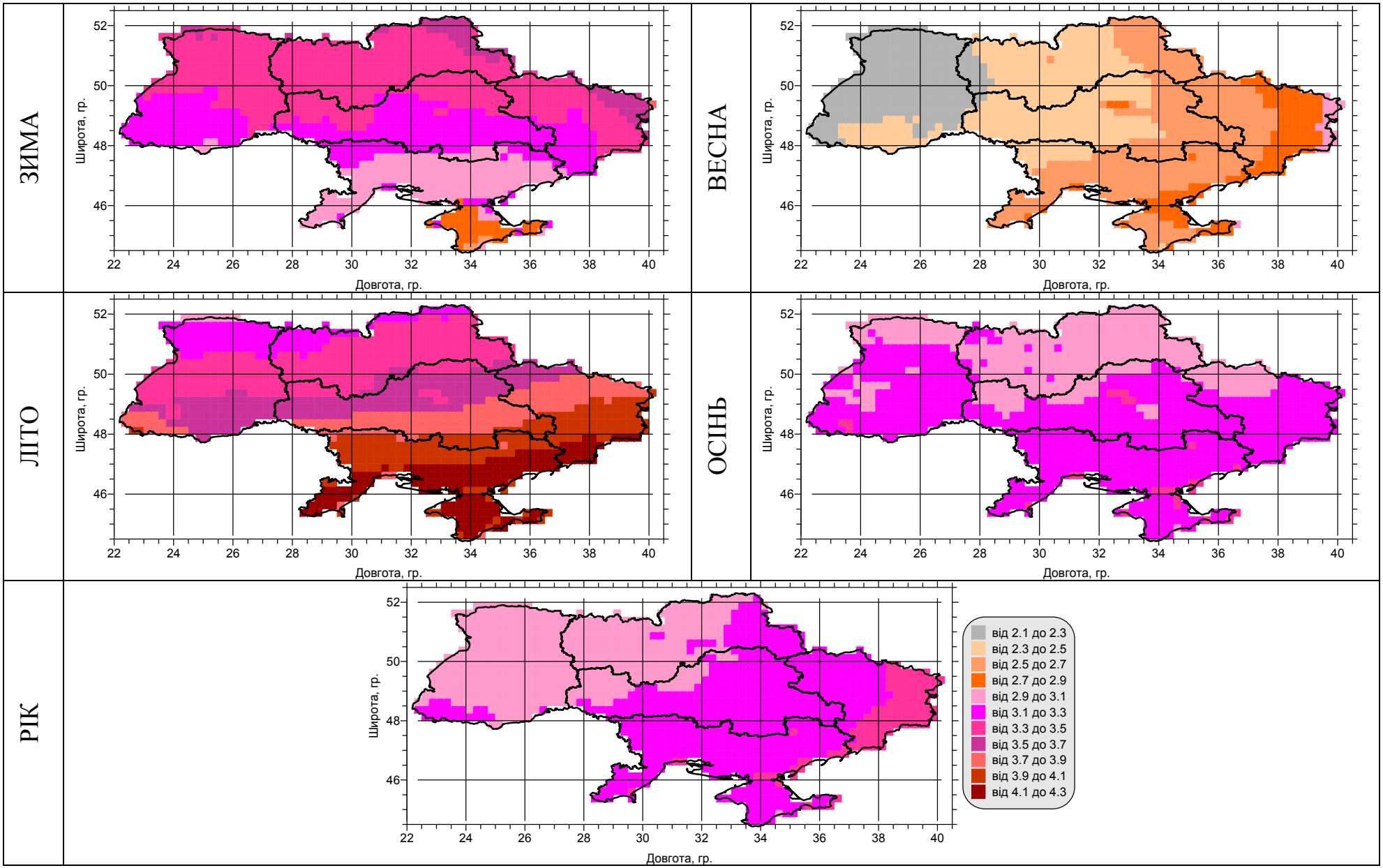


Рис.4.18. Зміни температури повітря у 2081-2100 рр. відносно 1991-2010 рр.

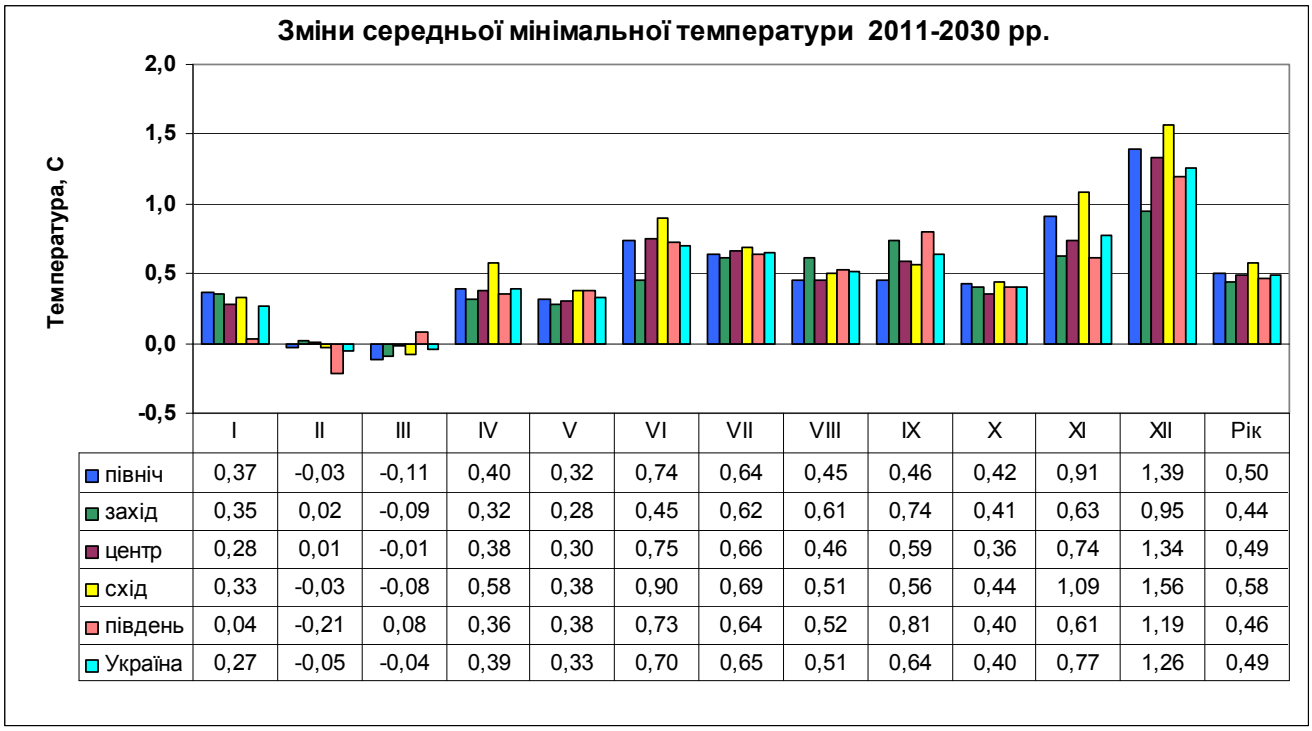
З аналізу карт рис.4.16-4.18 також цілком зрозуміло, що річні температури представляють досить рівномірну і згладжену картину очікуваних змін і можуть використовуватися тільки для узагальнюючих висновків, так би мовити, планетарного або континентального масштабів. Для розробки конкретних планів з адаптації до змін клімату в Україні потрібні детальніші у просторі і часі розрахунки, оскільки проведене дослідження виявило значні відмінності в прогнозованих змінах температури повітря як у часі (за сезонами і місяцями), так і у просторовому розподілі за регіонами і областями.

4.2.2 Максимальні та мінімальні температури повітря

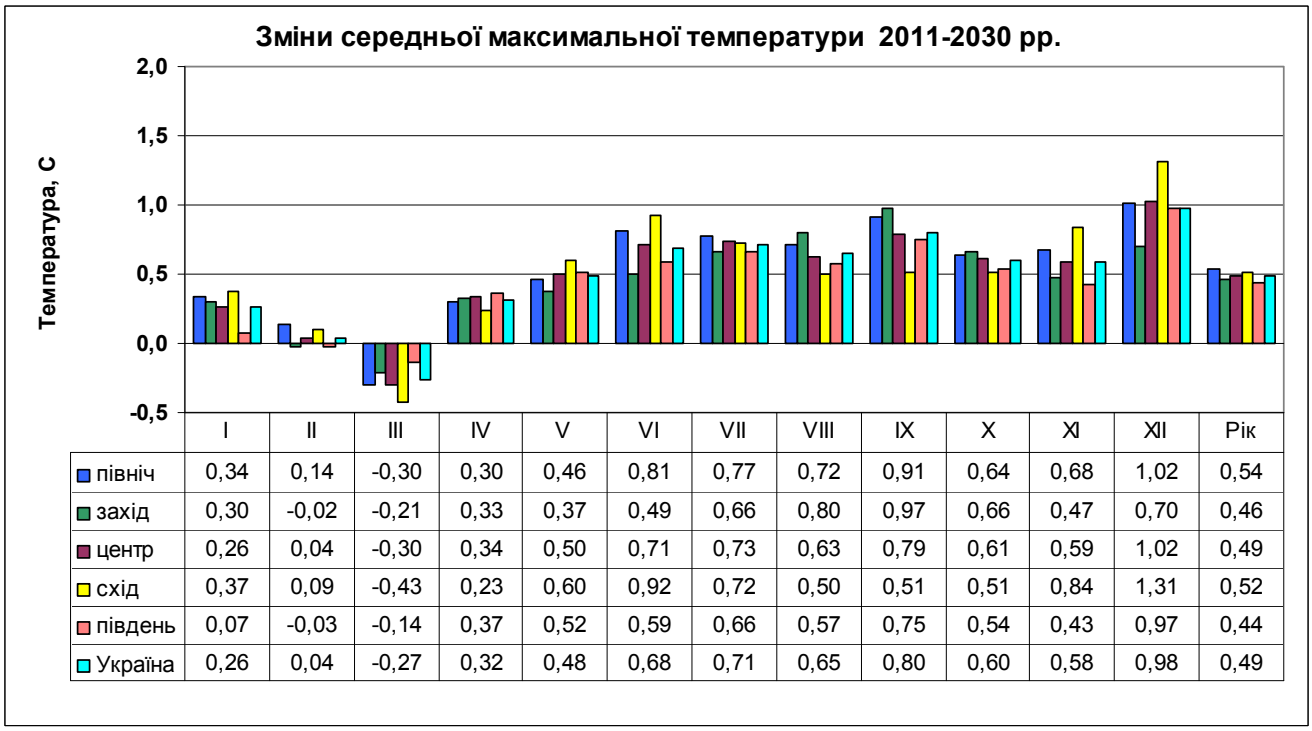
Для аналізу змін та прогнозованих абсолютних значень середніх максимальних температур, які характеризують найтеплішу половину доби (денні максимуми), і середніх мінімальних температур, які відповідають нічним мінімумам, були використані такий самий оптимальний ансамбль з 10 РКМ та така сама методика, як і для середніх місячних температур. Результати також будуть представлені для змін в аналогічному вигляді гістограм із значеннями (рис. 4.19 – 4.21) та просторових розподілах за сезонами (рис. 4.22 – 4.27) і таблиць абсолютних значень місячних температур (табл.4.9 – 4.11).

Для найближчого періоду 2011-2030 рр. з гістограм рис. 4.19 очевидні розбіжності в проекціях змін мінімальних та максимальних температур у всі місяці крім січня, лютого і річних середніх. Так очевидно, що похолодання у березні буде відбуватися в основному за рахунок зниження денних максимумів, в той час, як нічні мінімуми практично не зміняться. У квітні, листопаді та грудні в більшій мірі теплішати будуть мінімуми, а в період з травня до жовтня навпаки – максимуми температури (за виключенням східного регіону у серпні та вересні).

На просторових розподілах (рис.4.22 та рис.4.23) вказані відмінності також можна побачити, але усереднення за сезонами згладило, наприклад, ефект досить помітного зниження денних максимумів у березні, яке компенсувалося більшим, порівняно з мінімальними температурами, потеплінням у травні. З карт очевидні відмінності в проекціях змін за регіонами, областями і осередками меншої площі. В цілому максимальне потепління для нічних мінімумів (> 0,9^{o}C) очікується у північно-східній частині країни взимку та у Луганській області влітку та восени, а для денних максимумів (> 0,8^{o}C) – в північних областях (Чернігівській та Сумській) влітку та восени. Найменші зміни прогнозуються у Карпатах та Криму.

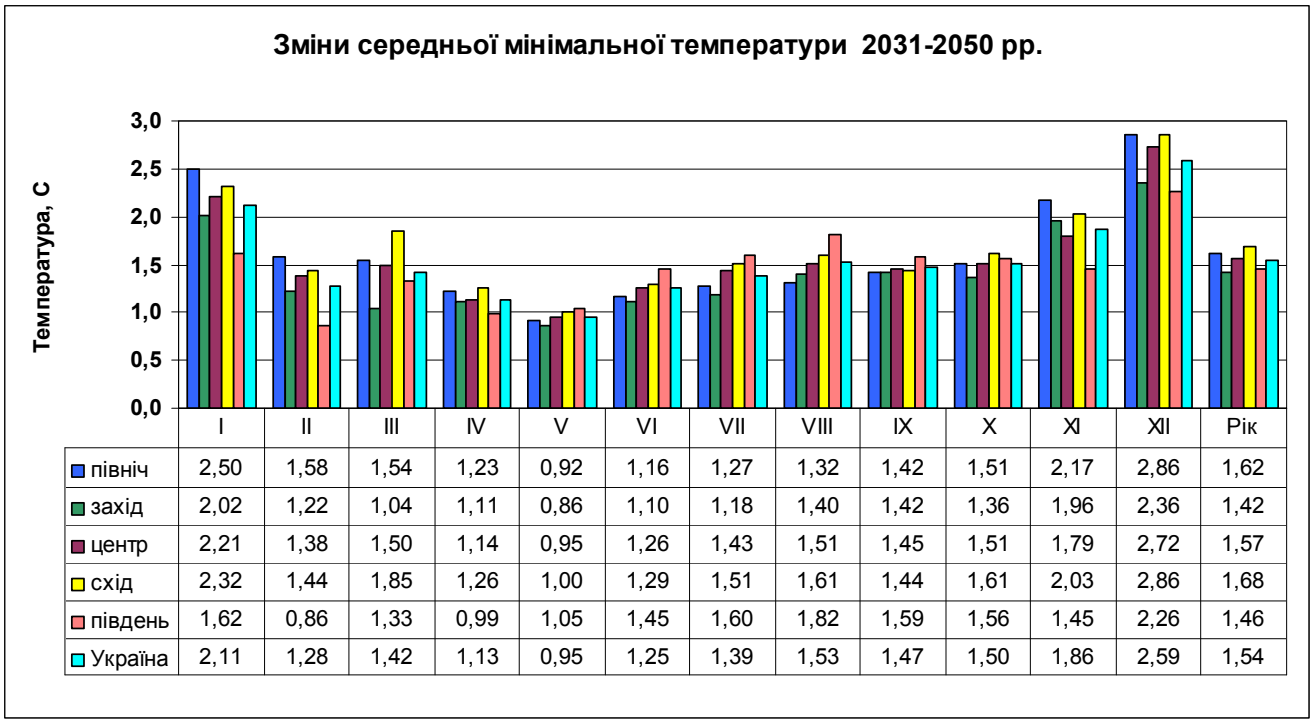


	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Рік
північ	0,37	-0,03	-0,11	0,40	0,32	0,74	0,64	0,45	0,46	0,42	0,91	1,39	0,50
захід	0,35	0,02	-0,09	0,32	0,28	0,45	0,62	0,61	0,74	0,41	0,63	0,95	0,44
центр	0,28	0,01	-0,01	0,38	0,30	0,75	0,66	0,46	0,59	0,36	0,74	1,34	0,49
схід	0,33	-0,03	-0,08	0,58	0,38	0,90	0,69	0,51	0,56	0,44	1,09	1,56	0,58
південь	0,04	-0,21	0,08	0,36	0,38	0,73	0,64	0,52	0,81	0,40	0,61	1,19	0,46
Україна	0,27	-0,05	-0,04	0,39	0,33	0,70	0,65	0,51	0,64	0,40	0,77	1,26	0,49

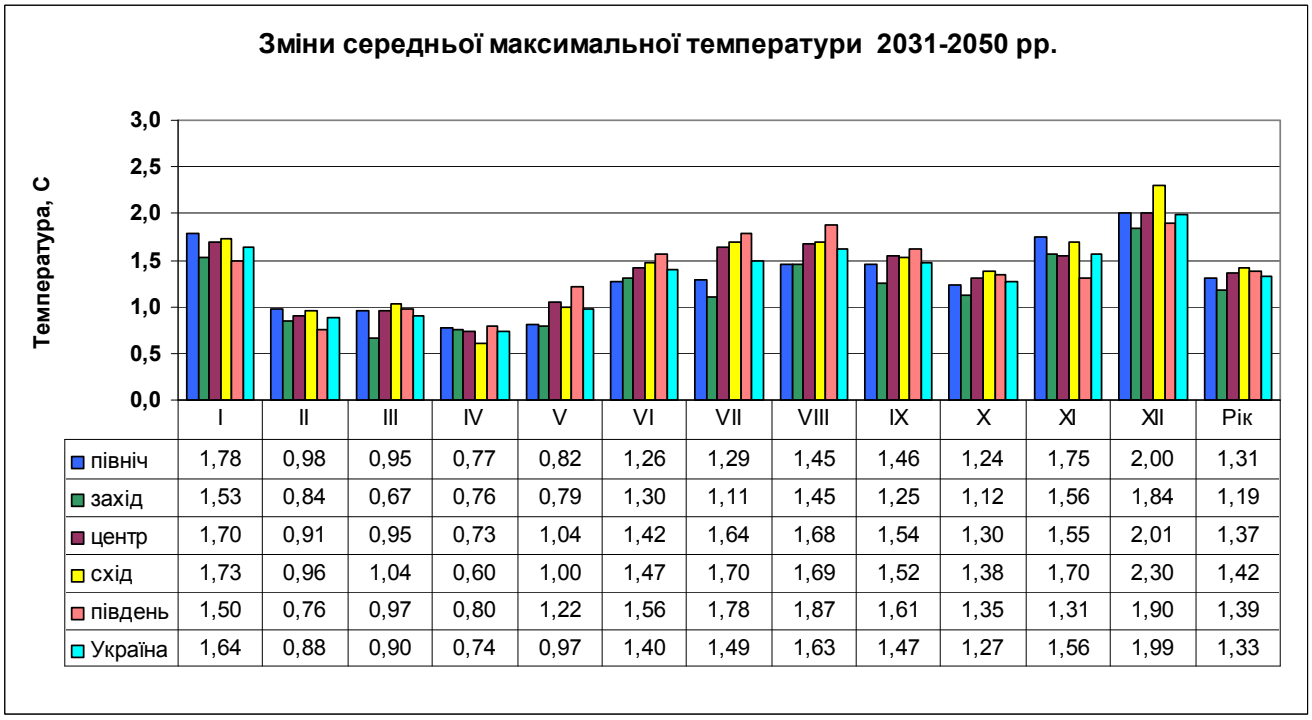


	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Рік
північ	0,34	0,14	-0,30	0,30	0,46	0,81	0,77	0,72	0,91	0,64	0,68	1,02	0,54
захід	0,30	-0,02	-0,21	0,33	0,37	0,49	0,66	0,80	0,97	0,66	0,47	0,70	0,46
центр	0,26	0,04	-0,30	0,34	0,50	0,71	0,73	0,63	0,79	0,61	0,59	1,02	0,49
схід	0,37	0,09	-0,43	0,23	0,60	0,92	0,72	0,50	0,51	0,51	0,84	1,31	0,52
південь	0,07	-0,03	-0,14	0,37	0,52	0,59	0,66	0,57	0,75	0,54	0,43	0,97	0,44
Україна	0,26	0,04	-0,27	0,32	0,48	0,68	0,71	0,65	0,80	0,60	0,58	0,98	0,49

Рис. 4.19. Зміни середніх мінімальної і максимальної температур повітря у 2011-2030 рр. відносно 1991-2010 рр.



	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Рік
північ	2,50	1,58	1,54	1,23	0,92	1,16	1,27	1,32	1,42	1,51	2,17	2,86	1,62
захід	2,02	1,22	1,04	1,11	0,86	1,10	1,18	1,40	1,42	1,36	1,96	2,36	1,42
центр	2,21	1,38	1,50	1,14	0,95	1,26	1,43	1,51	1,45	1,51	1,79	2,72	1,57
схід	2,32	1,44	1,85	1,26	1,00	1,29	1,51	1,61	1,44	1,61	2,03	2,86	1,68
південь	1,62	0,86	1,33	0,99	1,05	1,45	1,60	1,82	1,59	1,56	1,45	2,26	1,46
Україна	2,11	1,28	1,42	1,13	0,95	1,25	1,39	1,53	1,47	1,50	1,86	2,59	1,54



	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Рік
північ	1,78	0,98	0,95	0,77	0,82	1,26	1,29	1,45	1,46	1,24	1,75	2,00	1,31
захід	1,53	0,84	0,67	0,76	0,79	1,30	1,11	1,45	1,25	1,12	1,56	1,84	1,19
центр	1,70	0,91	0,95	0,73	1,04	1,42	1,64	1,68	1,54	1,30	1,55	2,01	1,37
схід	1,73	0,96	1,04	0,60	1,00	1,47	1,70	1,69	1,52	1,38	1,70	2,30	1,42
південь	1,50	0,76	0,97	0,80	1,22	1,56	1,78	1,87	1,61	1,35	1,31	1,90	1,39
Україна	1,64	0,88	0,90	0,74	0,97	1,40	1,49	1,63	1,47	1,27	1,56	1,99	1,33

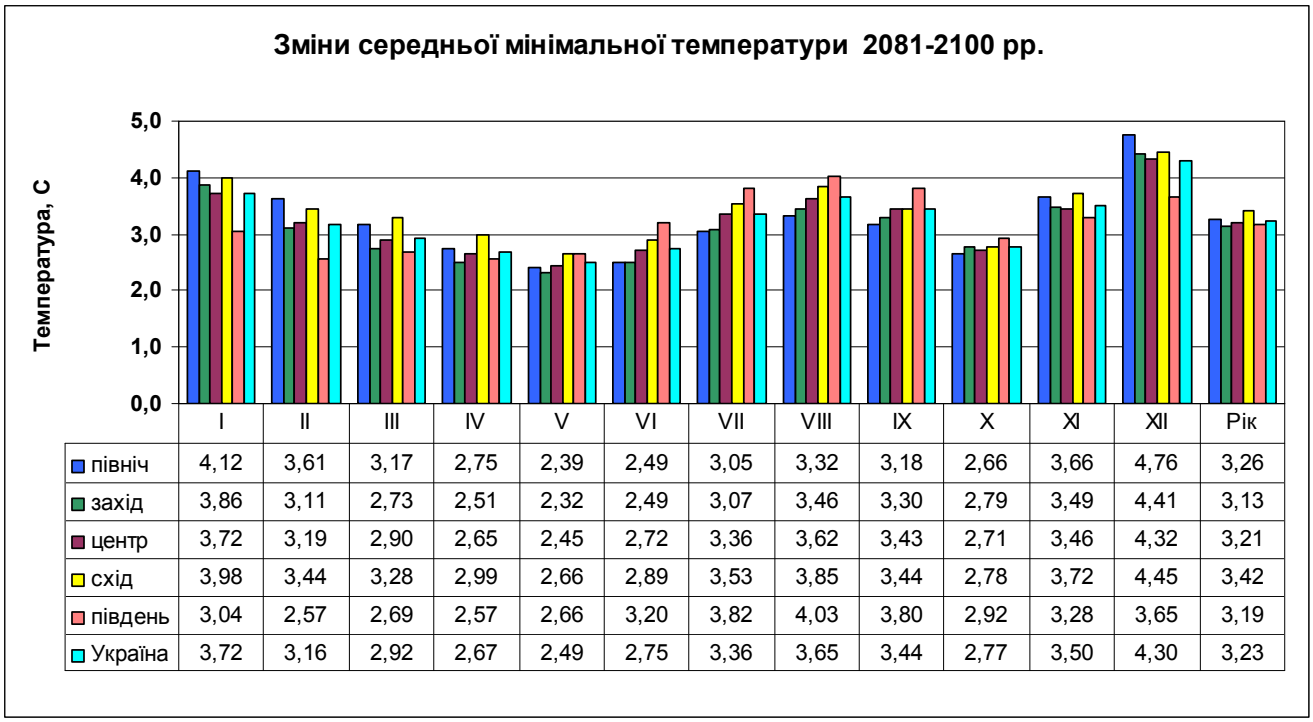
Рис. 4.20. Так само, як і 4.19 для періоду 2031-2050 рр.

В період 2031-2050 рр. максимальні та мінімальні температури будуть також підвищуватися по-різному. В більшій мірі будуть рости мінімальні температури в холодне півріччя з жовтня до квітня, в травні і вересні зміни практично однакові, а влітку однозначно потепління буде відбуватися за рахунок підвищення денних максимумів (рис.4.20). Аналіз карт рис. 4.24 та рис. 4.25 дає уявлення про те, де саме слід очікувати максимальних потеплінь. Так літнє підвищення і денних максимумів (в більшій мірі), і нічних мінімумів буде найбільшим у південних областях. Взимку ж прогноз прямо протилежний і максимальні потепління очікуються на північному сході. На відміну від

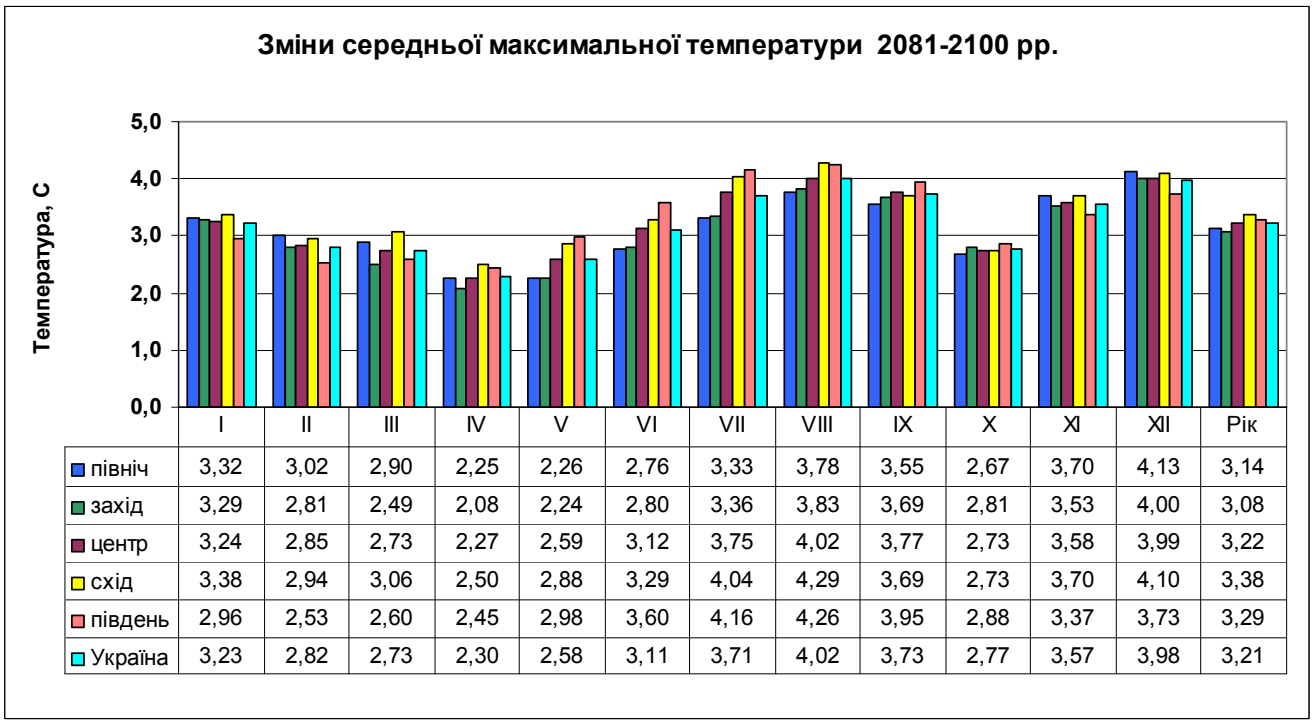
попереднього періоду в цьому ж районі прогнозується досить суттєве підвищення мінімальної температури навесні та обох температур восени (в більшій мірі знову ж мінімальної). Найменші зміни очікуються навесні для денних максимумів так, як і для періоду 2011-2030 рр.

На кінець сторіччя для періоду 2081-2100 рр. прогнозується максимальне підвищення всіх температур з абсолютним максимумом у північному регіоні в грудні для нічних мінімумів (+4,8^{o}C). Тенденції, описані вище для періоду 2031-2050 рр. в цілому зберігаються, річний хід змін обох температур так само має два максимуми, але на відміну від попереднього періоду максимум змін у серпні зрівнявся, а для максимальних температур і перевищив потепління у грудні (рис.4.21). Мінімальні зміни очікуються у квітні (для максимумів), травні (для мінімумів) та жовтні (для обох температур). В тепле півріччя максимально теплішати буде на півдні та сході в більшій мірі вдень, а в холодне півріччя – на півночі вночі. Такий характер термічних змін може непрямо вказувати на те, що їх можливою причиною будуть зміни характеристик хмарності, яка в свою чергу може мінятися під впливом змін в атмосферній циркуляції. Наслідком же таких змін термічного режиму буде зменшення середніх добових амплітуд взимку на півночі (зменшення континентальності клімату) та їх збільшення влітку на півдні (відповідно збільшення континентальності) порівняно з сучасним кліматом.

Ці висновки також очевидні з просторових розподілів змін добових екстремальних температур (рис.4.26, 4.27), для яких так само, як і для середніх температур в цей період, характерно дзеркальне широтне розташування в основні кліматичні сезони. При цьому максимальне потепління на півночі мінімумів відповідає потеплінню максимумів влітку на півдні, але підвищення мінімумів влітку на півдні перевищує потепління максимумів взимку на півночі. Так само, як і в попередні періоди, мінімальні зміни прогнозуються для (в більшій мірі) максимальних та мінімальних температур навесні в західній частині країни. За рахунок значних потеплінь у вересні та жовтні восени також очікується досить суттєве потепління, яке, на відміну від попередніх періодів, буде більш однорідним, а максимальні значення будуть спостерігатися скоріше на півдні і в Карпатах для денних максимумів і на доданок на сході для нічних мінімумів.



	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Рік
північ	4,12	3,61	3,17	2,75	2,39	2,49	3,05	3,32	3,18	2,66	3,66	4,76	3,26
захід	3,86	3,11	2,73	2,51	2,32	2,49	3,07	3,46	3,30	2,79	3,49	4,41	3,13
центр	3,72	3,19	2,90	2,65	2,45	2,72	3,36	3,62	3,43	2,71	3,46	4,32	3,21
схід	3,98	3,44	3,28	2,99	2,66	2,89	3,53	3,85	3,44	2,78	3,72	4,45	3,42
південь	3,04	2,57	2,69	2,57	2,66	3,20	3,82	4,03	3,80	2,92	3,28	3,65	3,19
Україна	3,72	3,16	2,92	2,67	2,49	2,75	3,36	3,65	3,44	2,77	3,50	4,30	3,23



	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Рік
північ	3,32	3,02	2,90	2,25	2,26	2,76	3,33	3,78	3,55	2,67	3,70	4,13	3,14
захід	3,29	2,81	2,49	2,08	2,24	2,80	3,36	3,83	3,69	2,81	3,53	4,00	3,08
центр	3,24	2,85	2,73	2,27	2,59	3,12	3,75	4,02	3,77	2,73	3,58	3,99	3,22
схід	3,38	2,94	3,06	2,50	2,88	3,29	4,04	4,29	3,69	2,73	3,70	4,10	3,38
південь	2,96	2,53	2,60	2,45	2,98	3,60	4,16	4,26	3,95	2,88	3,37	3,73	3,29
Україна	3,23	2,82	2,73	2,30	2,58	3,11	3,71	4,02	3,73	2,77	3,57	3,98	3,21

Рис. 4.21. Так само, як і 4.19 для періоду 2081-2100 рр.

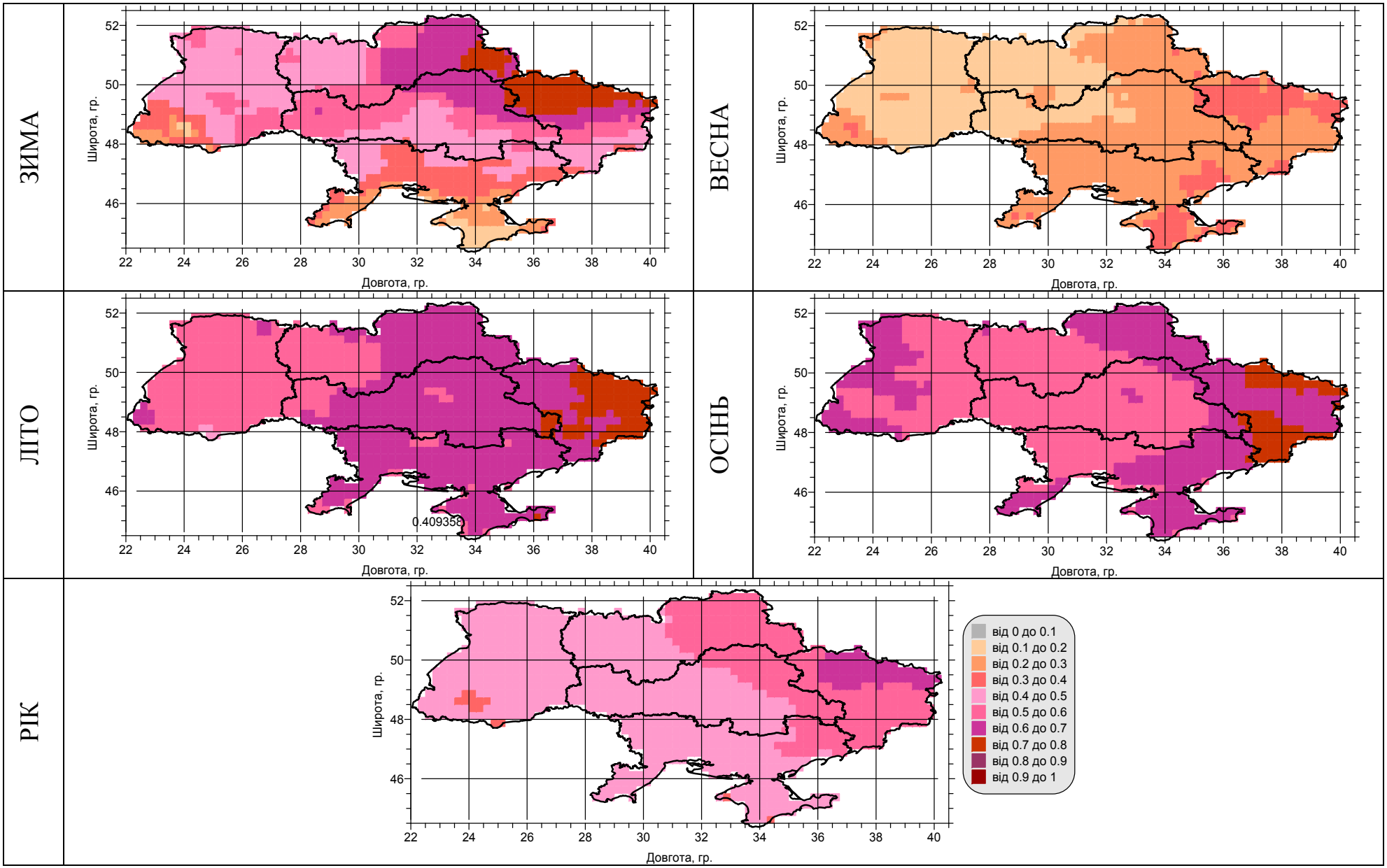


Рис. 4.22. Зміни середніх мінімальних температур повітря у 2011-2030 рр. відносно 1991-2010 рр.

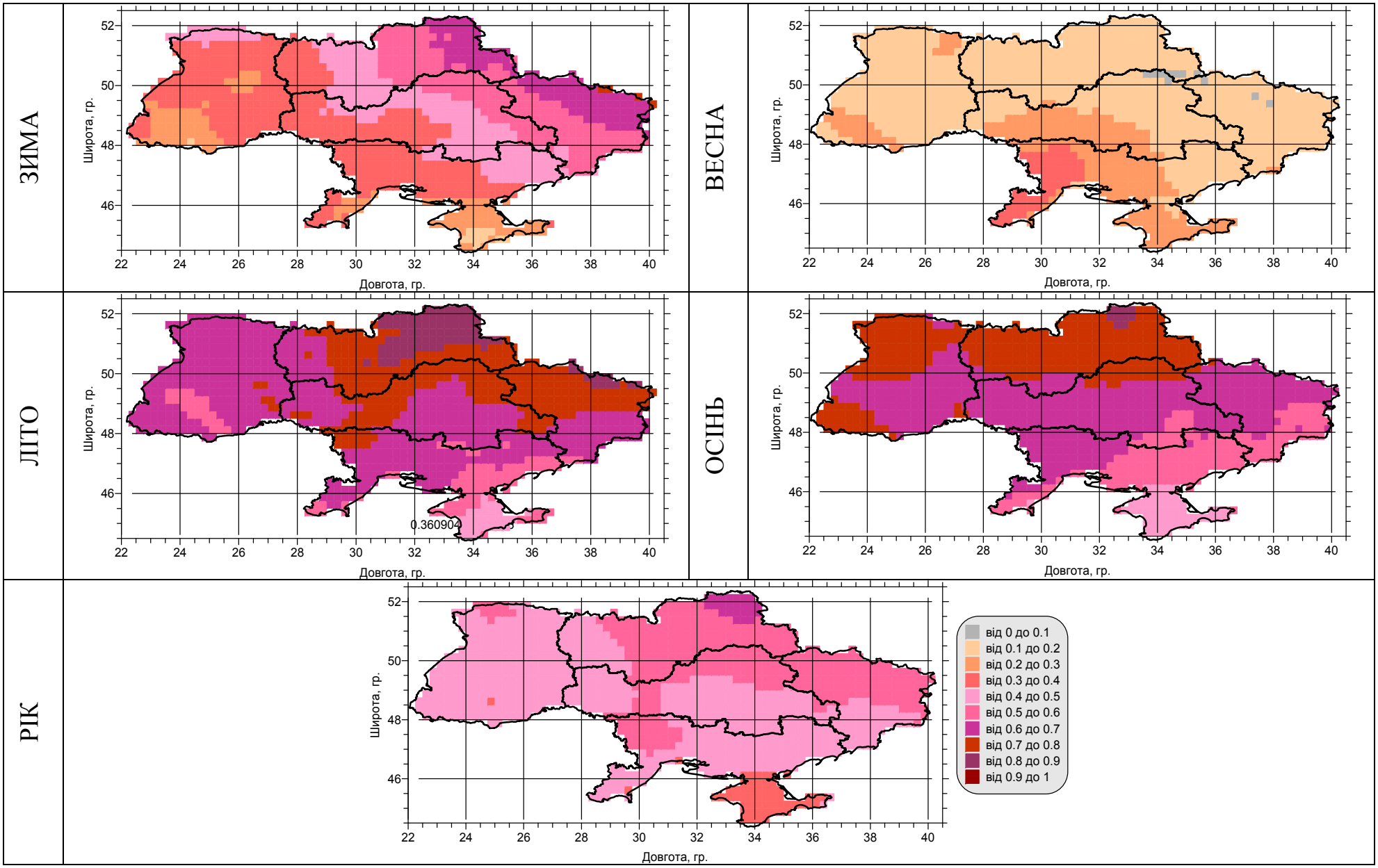


Рис. 4.23. Зміни середніх максимальних температур повітря у 2011-2030 рр. відносно 1991-2010 рр.

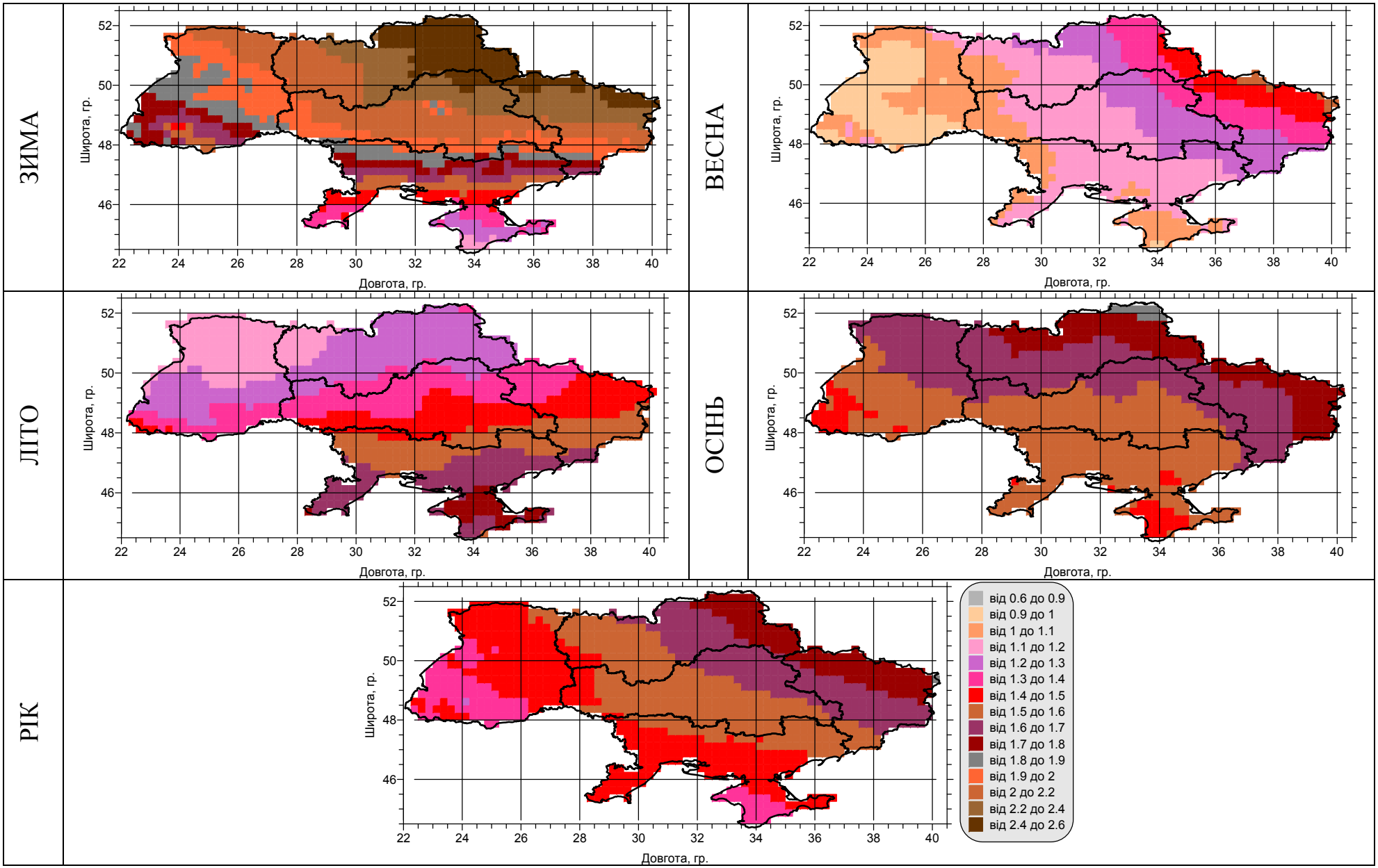


Рис. 4.24. Зміни середніх мінімальних температур повітря у 2031-2050 рр. відносно 1991-2010 рр.

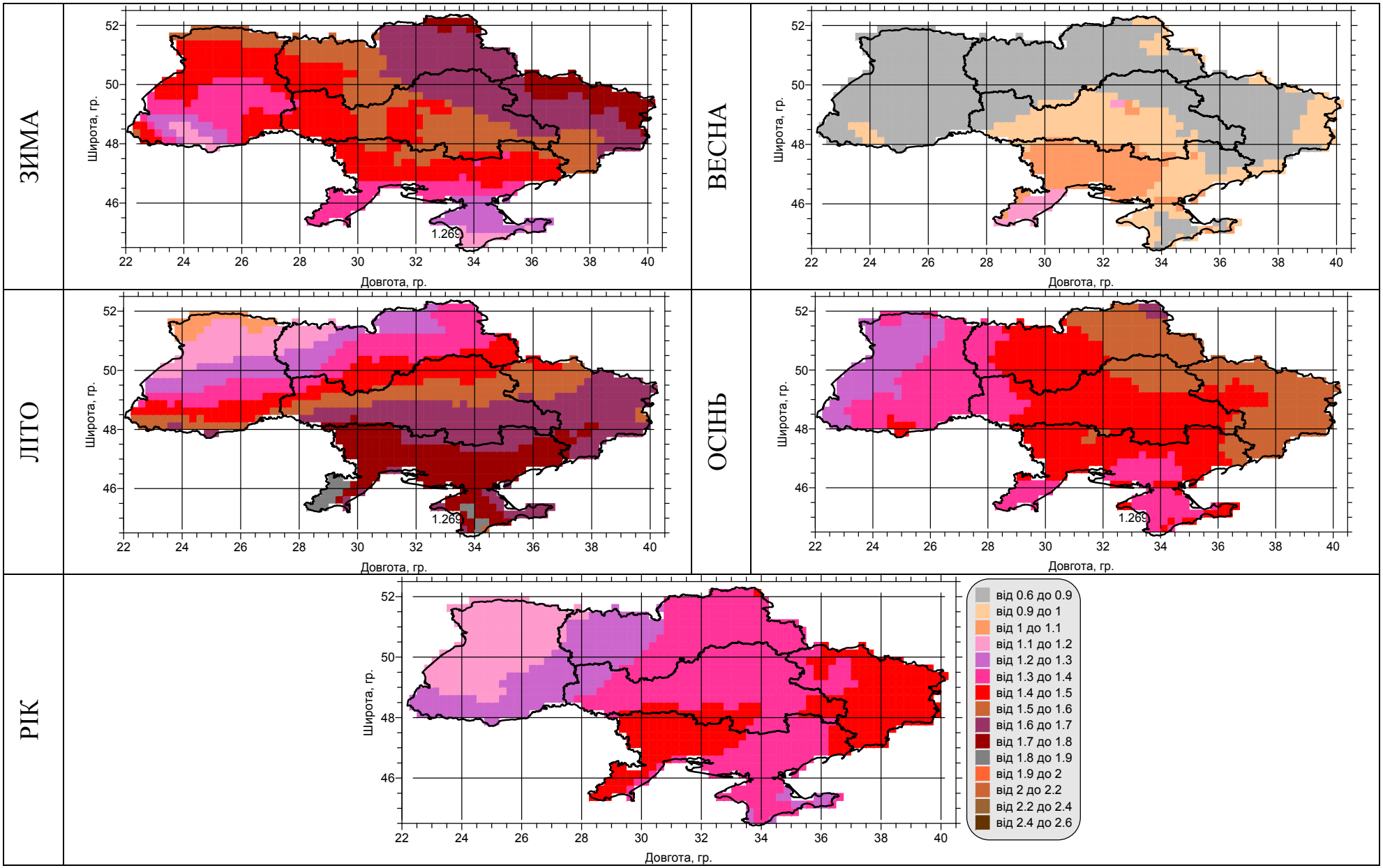


Рис.4.25. Зміни середніх максимальних температур повітря у 2031-2050 рр. відносно 1991-2010 рр.

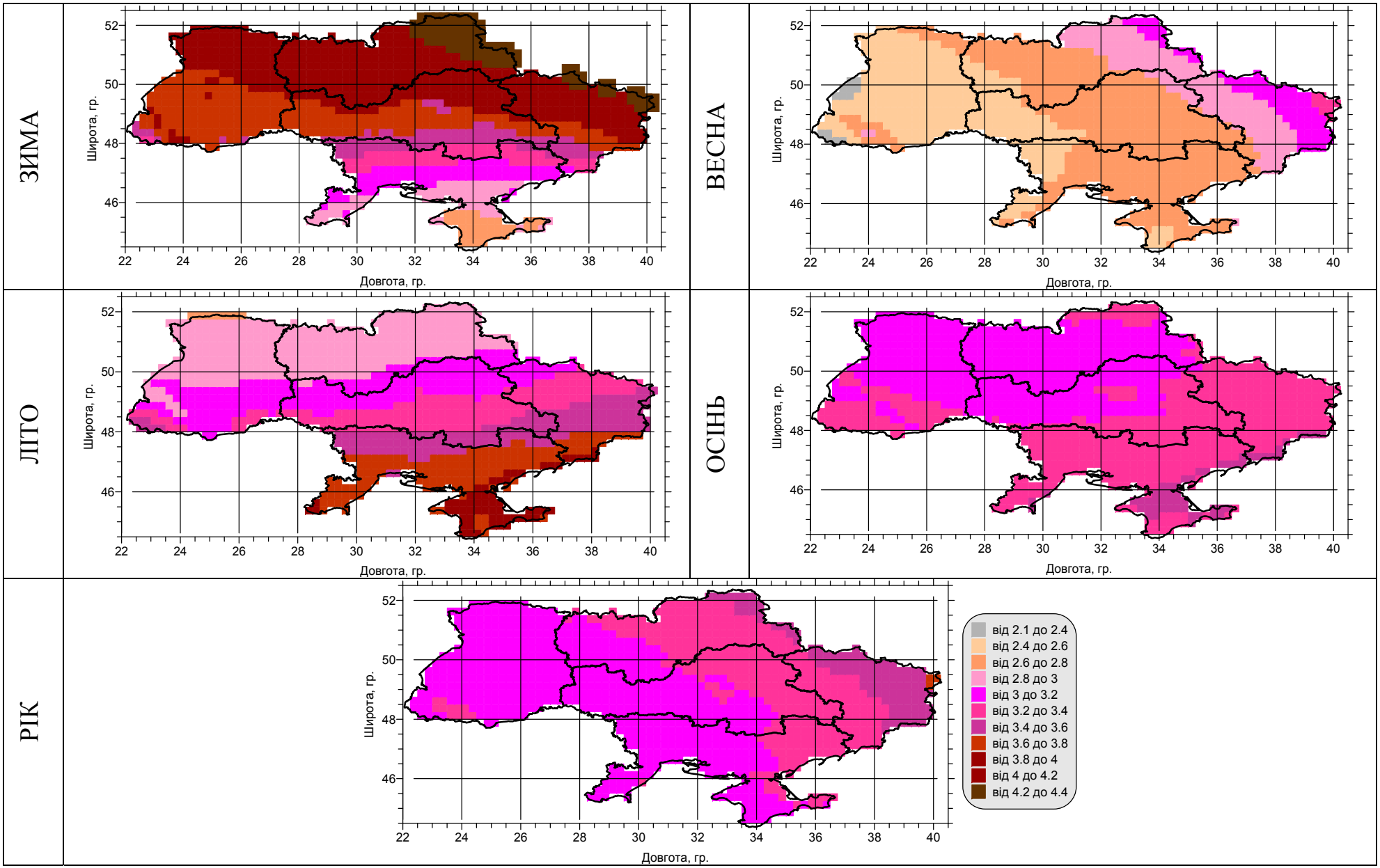


Рис.4.26. Зміни середніх мінімальних температур повітря у 2081-2100 рр. відносно 1991-2010 рр.

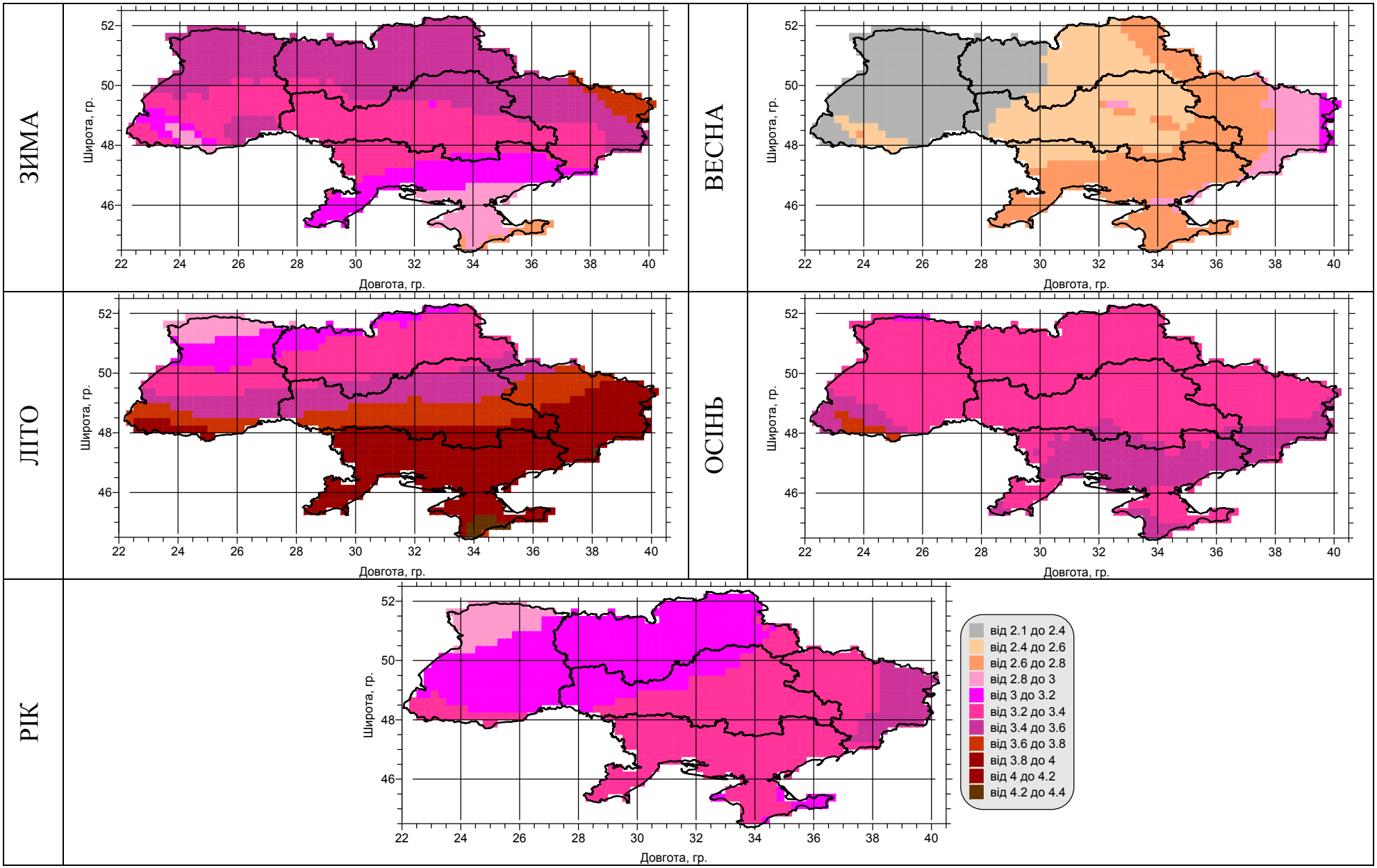


Рис.4.27. Зміни середніх максимальних температур повітря у 2081-2100 рр. відносно 1991-2010 рр.

Таблиця 4.9. Середні місячні максимальні (max), мінімальні (min) та добова амплітуда (ампл.) температури повітря за ансамблем 10РКМ по регіонах у 2011-2030 рр.

Період / регіон		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Рік
північ	max	-1,2	-0,3	4,8	14,3	20,8	24,5	26,8	25,9	19,7	12,6	4,8	-0,1	12,7
	min	-5,6	-5,9	-2,1	4,8	9,8	13,9	15,9	14,5	9,6	4,6	0,5	-3,7	4,7
	ампл.	*4,4*	*5,6*	*6,9*	*9,5*	*11,0*	*10,6*	*10,9*	*11,4*	*10,1*	*8,0*	*4,3*	*3,6*	*8,0*
захід	max	-0,2	1,1	5,8	14,0	19,9	23,0	25,3	24,8	19,2	13,2	6,1	0,7	12,7
	min	-5,2	-4,9	-1,7	3,9	8,8	12,2	14,5	13,8	9,3	4,7	0,7	-3,7	4,4
	ампл.	*5,0*	*6,0*	*7,5*	*10,1*	*11,1*	*10,8*	*10,8*	*11,0*	*9,9*	*8,5*	*5,4*	*4,4*	*8,3*
центр	max	-0,9	0,3	5,6	15,2	21,7	25,5	28,1	27,4	21,0	13,8	5,8	0,7	13,7
	min	-5,5	-5,6	-1,5	5,0	10,0	14,4	16,6	15,3	10,5	5,1	0,7	-3,4	5,1
	ампл.	*4,6*	*5,9*	*7,1*	*10,2*	*11,7*	*11,1*	*11,5*	*12,1*	*10,5*	*8,7*	*5,1*	*4,1*	*8,6*
схід	max	-1,4	-0,6	4,9	15,0	21,9	26,4	28,9	28,0	21,3	13,6	5,5	0,4	13,7
	min	-6,2	-6,6	-1,9	5,1	10,1	15,0	17,1	15,5	10,4	5,1	0,4	-3,8	5,0
	ампл.	*4,8*	*6,0*	*6,8*	*9,9*	*11,8*	*11,4*	*11,8*	*12,5*	*10,9*	*8,5*	*5,1*	*4,2*	*8,7*
південь	max	1,3	2,6	7,5	15,4	21,9	26,3	29,4	28,8	22,7	15,9	8,5	3,5	15,3
	min	-3,9	-3,9	0,2	5,7	11,1	15,9	18,3	17,5	12,7	7,3	2,6	-1,2	6,9
	ампл.	*5,2*	*6,5*	*7,3*	*9,7*	*10,8*	*10,4*	*11,1*	*11,3*	*10,0*	*8,6*	*5,9*	*4,7*	*8,4*
Україна	max	-0,4	0,7	5,8	14,8	21,2	25,0	27,6	26,9	20,7	13,8	6,2	1,1	13,6
	min	-5,2	-5,3	-1,3	4,9	9,9	14,2	16,4	15,3	10,5	5,4	1,0	-3,1	5,2
	ампл.	*4,8*	*6,0*	*7,1*	*9,9*	*11,3*	*10,8*	*11,2*	*11,6*	*10,2*	*8,4*	*5,2*	*4,2*	*8,4*

Значення середніх максимальних та мінімальних температур для трьох прогнозних періодів наведено в табл.4.9-4.11. Вони отримані так само, як і значення середніх місячних температур додаванням прогнозованих ансамблем 10 РКМ змін для кожного періоду до значень E-Obs у базовий період 1991-2010 рр. (адитивний метод). Також в таблицях наведено середні добові амплітуди температури повітря для кожного місяця року та амплітуда річного ходу, які також представлено на рис.4.28 у вигляді гістограми.

Аналіз амплітуд добового та річного ходу температури повітря підтверджує висновки, наведені вище, щодо зменшення континентальності клімату на півночі, заході, в центрі та для всієї країни впродовж всього сторіччя. На півдні та сході за несуттєвим зменшенням континентальності (амплітуди річного ходу) до середини XXI ст. слідує його деяке збільшення до кінця сторіччя, яке для сходу навіть менше за значення періоду 2011-2030 рр.

Таблиця 4.10. Середні місячні максимальні (max), мінімальні (min) та добова амплітуда (ампл.) температури повітря за ансамблем 10РКМ по регіонах у 2031-2050 рр.

Період / Регіон		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Рік
північ	max	0,2	0,5	6,1	14,8	21,2	24,9	27,3	26,6	20,2	13,2	5,9	0,9	13,5
	min	-3,4	-4,3	-0,4	5,6	10,4	14,3	16,6	15,4	10,5	5,7	1,8	-2,2	5,8
	ампл.	*3,6*	*4,8*	*6,5*	*9,2*	*10,8*	*10,6*	*10,7*	*11,2*	*9,7*	*7,5*	*4,1*	*3,1*	*7,7*
захід	max	1,0	1,9	6,6	14,5	20,3	23,8	25,8	25,5	19,5	13,6	7,2	1,8	13,5

	min	-3,5	-3,7	-0,5	4,7	9,4	12,9	15,1	14,5	10,0	5,6	2,1	-2,3	5,4
	ампл.	*4,5*	*5,6*	*7,1*	*9,8*	*10,9*	*10,9*	*10,7*	*11,0*	*9,5*	*8,0*	*5,1*	*4,1*	*8,1*
центр	max	0,6	1,2	6,8	15,6	22,3	26,2	29	28,4	21,7	14,5	6,8	1,7	14,6
	min	-3,6	-4,2	0,1	5,7	10,6	14,9	17,3	16,4	11,3	6,3	1,8	-2	6,2
	ампл.	*4,2*	*5,4*	*6,7*	*9,9*	*11,7*	*11,3*	*11,7*	*12,0*	*10,4*	*8,2*	*5,0*	*3,7*	*8,4*
схід	max	0,0	0,3	6,4	15,4	22,3	27,0	29,8	29,1	22,3	14,4	6,4	1,4	14,6
	min	-4,2	-5,1	0,0	5,8	10,8	15,4	17,9	16,6	11,3	6,2	1,4	-2,5	6,1
	ампл.	*4,2*	*5,4*	*6,4*	*9,6*	*11,5*	*11,6*	*11,9*	*12,5*	*11,0*	*8,2*	*5,0*	*3,9*	*8,5*
південь	max	2,7	3,4	8,6	15,8	22,6	27,3	30,5	30,1	23,6	16,7	9,4	4,4	16,2
	min	-2,3	-2,8	1,5	6,4	11,7	16,6	19,3	18,8	13,5	8,5	3,4	-0,2	7,9
	ампл.	*5,0*	*6,2*	*7,1*	*9,4*	*10,9*	*10,7*	*11,2*	*11,3*	*10,1*	*8,2*	*6,0*	*4,6*	*8,3*
Україна	max	0,9	1,6	6,9	15,2	21,7	25,7	28,4	27,9	21,4	14,5	7,2	2,1	14,5
	min	-3,4	-4	0,1	5,6	10,6	14,8	17,2	16,3	11,3	6,5	2,1	-1,8	6,3
	ампл.	*4,3*	*5,6*	*6,8*	*9,6*	*11,1*	*10,9*	*11,2*	*11,6*	*10,1*	*8,0*	*5,1*	*3,9*	*8,2*

Таблиця 4.11. Середні місячні максимальні (max), мінімальні (min) та добова амплітуда (ампл.) температури повітря за ансамблем 10РКМ по регіонах у 2081-2100 рр.

Період / Регіон		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Рік
північ	max	1,9	3,0	8,2	14,7	20,9	25,8	29,3	28,9	22,6	14,5	7,8	3,6	15,1
	min	-2,2	-1,9	1,6	6,4	11,7	15,9	18,4	17,7	12,9	7,5	3,2	-0,2	7,6
	ампл.	*4,1*	*4,9*	*6,6*	*8,3*	*9,2*	*9,9*	*10,9*	*11,2*	*9,7*	*7,0*	*4,6*	*3,8*	*7,5*
захід	max	3,1	4,3	8,8	14,4	20,1	24,6	28,1	27,8	22,3	14,9	8,6	4,6	15,1
	min	-1,2	-1	1,9	6,2	11,2	15,1	17,6	17,1	12,7	7,8	3,6	0,5	7,6
	ампл.	*4,3*	*5,3*	*6,9*	*8,2*	*8,9*	*9,5*	*10,5*	*10,7*	*9,6*	*7,1*	*5,0*	*4,1*	*7,5*
центр	max	3,1	4,4	9,7	15,7	22,0	27,5	31,4	31,1	24,6	16,1	9,1	4,7	16,6
	min	-1,4	-1,1	2,5	7,1	12,4	17,0	19,8	19,2	14,0	8,2	3,8	0,4	8,5
	ампл.	*4,5*	*5,5*	*7,2*	*8,6*	*9,6*	*10,5*	*11,6*	*11,9*	*10,6*	*7,9*	*5,3*	*4,3*	*8,1*
схід	max	2,4	3,4	9,3	15,9	22,7	28,7	32,9	32,7	25,4	16,1	8,7	4,2	16,9
	min	-2,2	-2,0	2,0	7,0	12,5	17,4	20,3	19,7	14,0	7,9	3,3	-0,2	8,3
	ампл.	*4,6*	*5,4*	*7,3*	*8,9*	*10,2*	*11,3*	*12,6*	*13,0*	*11,4*	*8,2*	*5,4*	*4,4*	*8,6*
південь	max	6,0	7,2	11,7	17,0	23,4	29,4	33,8	33,4	27,0	18,7	12,0	7,5	18,9
	min	0,8	1,1	4,1	8,2	13,4	18,5	22,0	21,5	16,1	10,4	5,9	2,4	10,4
	ампл.	*5,2*	*6,1*	*7,6*	*8,8*	*10,0*	*10,9*	*11,8*	*11,9*	*10,9*	*8,3*	*6,1*	*5,1*	*8,5*
Україна	max	3,4	4,6	9,6	15,5	21,8	27,1	31,0	30,7	24,3	16,1	9,3	5,0	16,5
	min	-1,1	-0,9	2,5	7,0	12,2	16,8	19,6	19,0	14,0	8,4	4,0	0,7	8,5
	ампл.	*4,5*	*5,5*	*7,1*	*8,5*	*9,6*	*10,3*	*11,4*	*11,7*	*10,3*	*7,7*	*5,3*	*4,3*	*8,0*

Для середніх місячних добових амплітуд температури повітря (рис.4.28, табл.4.9-4.11) характерне те, що в тепле півріччя їх значення досить близькі до тих, що наведені в Кліматичному Кадастрі України для періоду 1961-1990 рр., а в холодне – відповідають найбільш низьким значенням для відповідних обласних

центрів в Кадастрі [4]. Тобто в тепле півріччя добові амплітуди температури повітря не будуть значно змінюватися впродовж XXI ст. на противагу холодному півріччю. Як вже було зазначено, низькі значення добових амплітуд в холодну пору року, особливо взимку, можуть пояснюватися саме зменшенням нічних мінімумів, тобто відсутністю значного нічного вихолоджування, яке може відбуватися завдяки зменшенню кількості ясних ночей, збільшенню хмарності і, як наслідок, кількості опадів. Такі зміни можуть відбутися завдяки перебудові циркуляції атмосфери і збільшенню кількості та/або тривалості проходження циклонів над Україною в холодне півріччя. Але ця гіпотеза потребує спеціальних детальних досліджень баричних полів у проекціях кліматичних моделей.

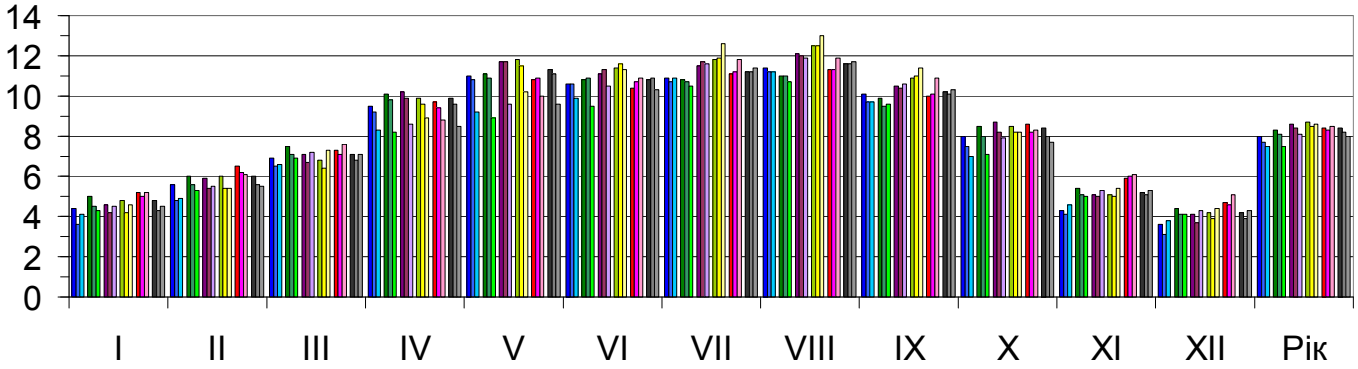


Рис.4.28. Середні добові амплітуди температури повітря за місяцями та амплітуда річного ходу (^{o}C) по регіонах і для трьох періодів. Позначення – від темніших (для періоду 2011-2030 рр.) до світліших (для періоду 2081-2100 рр.) відтінків відповідних кольорам регіонів в табл.4.9-4.11: синій – північ, зелений – захід, фіолетовий – центр, жовтий – схід, рожевий – південь, сірий – Україна загалом).

4.2.3 Кількість опадів

Для аналізу можливих змін кількості опадів у XXI ст. використовувались 4 регіональні кліматичні моделі, обрані з поміж 14 РКМ проекту ENSEMBLES та визначені найкращими щодо реального відображення просторово-часового розподілу кількості опадів та тенденцій їх змін протягом останніх 20 років на території України. Розрахунки обраних РКМ були також об’єднані в ансамбль для зменшення власних похибок моделей. Для аналізу змін середніх місячних та річних значень кількості опадів для кожної з моделей ансамблю в кожному вузлі розрахункової сітки мультиплікативним методом визначалися зміни в кожний з прогнозних періодів по відношенню до контрольного 1991-2010 рр. та абсолютні значення, які усереднювали та визначали довірчі інтервали (для рівня значущості 0,95) за ансамблем РКМ. Отримані статистичні характеристики представлено на рис. 4.29 – 4.32 та у табл. 4.12 – 4.14 для трьох періодів: найближчого (2011-2030 рр.), середнього (2031-2050 рр.) та віддаленого майбутнього (2081-2100 рр.). Як і для температури повітря, дослідження проводились окремо для 5 виділених районів та для території країни загалом.

Табл. 4.12. Проекція місячних та річних значень кількості опадів, їх змін та довірчі інтервали (мм) за ансамблем з 4 РКМ по регіонах в 2011-2030 рр.

Період / регіон		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Рік
Північ	значен.	43	38	45	48	59	67	69	50	55	44	54	44	616
	зміна	7	2	7	7	3	0	-3	-3	-2	-2	7	7	29
	дов.інт	*8*	*6*	*9*	*7*	*16*	*17*	*26*	*11*	*9*	*11*	*11*	*11*	*131*
Захід	значен.	40	40	44	46	74	82	100	65	65	43	47	46	690
	зміна	8	4	6	4	7	8	6	-3	1	-3	6	6	51
	дов.інт	*9*	*9*	*8*	*7*	*15*	*22*	*27*	*14*	*10*	*11*	*12*	*11*	*140*
Центр	значен.	38	31	45	44	46	64	59	40	53	34	43	40	538
	зміна	5	0	8	9	1	0	-2	-7	-1	-4	2	4	17
	дов.інт	*8*	*6*	*11*	*6*	*14*	*15*	*15*	*9*	*11*	*7*	*10*	*13*	*115*
Схід	значен.	47	43	47	41	45	60	52	28	69	40	44	51	566
	зміна	8	4	7	7	0	8	4	-4	20	0	3	5	62
	дов.інт	*9*	*9*	*17*	*8*	*10*	*11*	*11*	*12*	*15*	*4*	*10*	*14*	*116*
Південь	значен.	31	29	35	38	36	45	34	28	41	27	42	39	424
	зміна	1	-1	3	9	0	1	-3	-7	1	-4	2	3	6
	дов.інт	*9*	*5*	*9*	*5*	*8*	*9*	*11*	*7*	*6*	*4*	*15*	*12*	*90*
Україна	значен.	39	36	43	43	52	64	64	43	56	37	46	43	568
	зміна	6	2	6	7	3	3	0	-5	3	-3	4	5	31
	дов.інт	*9*	*7*	*10*	*6*	*13*	*15*	*18*	*10*	*10*	*8*	*12*	*12*	*119*

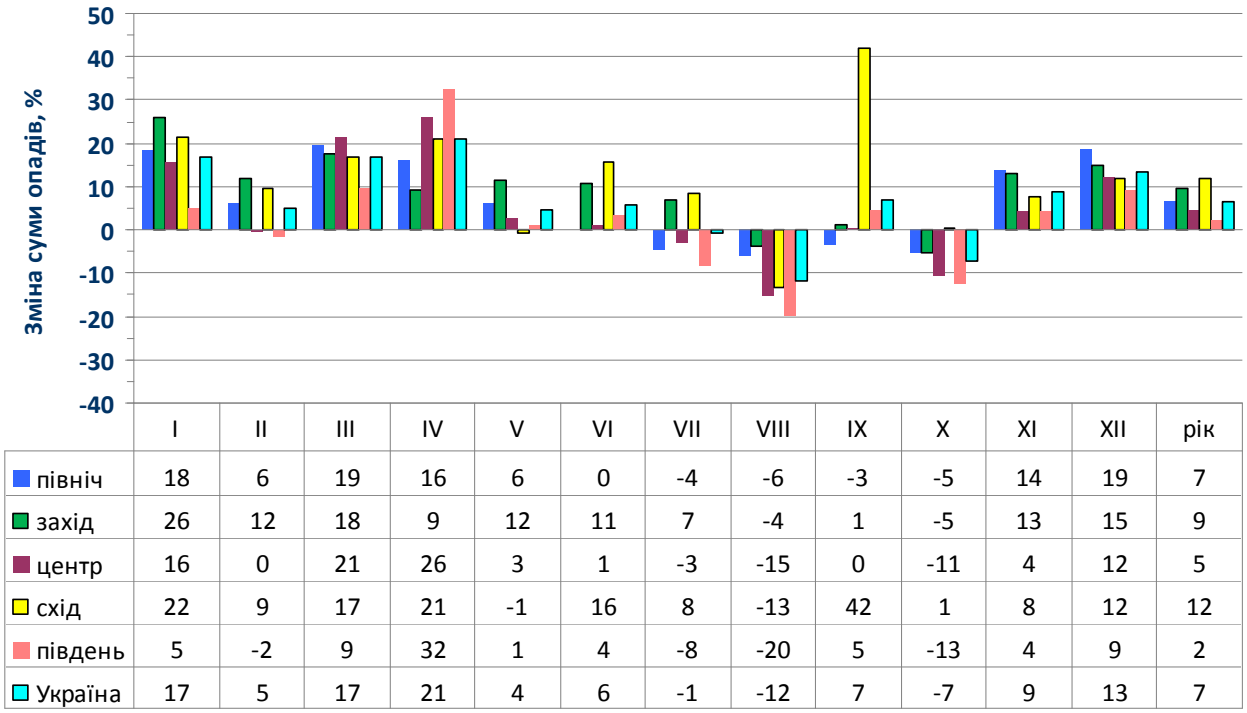


Рис. 4.29. Проекція змін середніх місячних та річних сум опадів (%) по регіонах відносно 1991-2010 рр. за ансамблем з 4 РКМ в 2011-2030 рр.

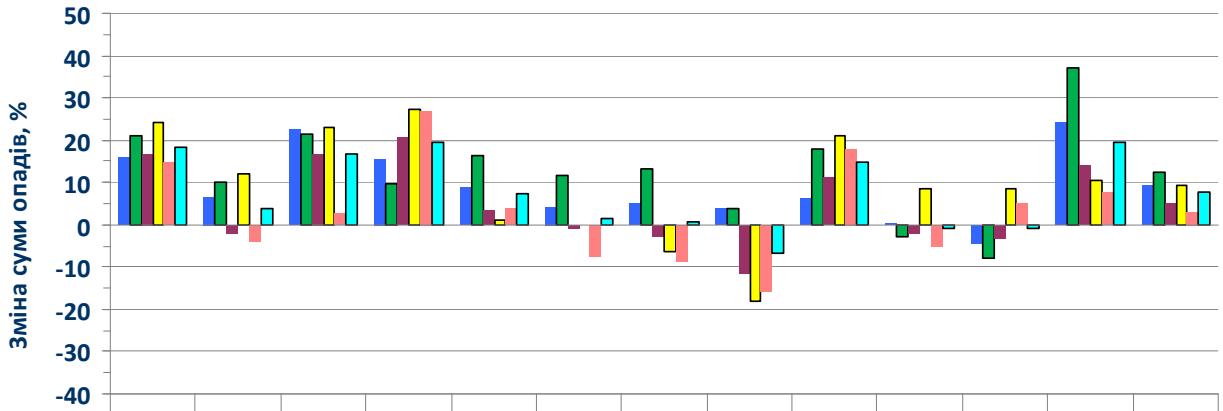
У період найближчого майбутнього 2011-2030 рр. (табл. 4.12, рис. 4.29) очікується як збільшення місячних сум опадів так і їх зменшення. При цьому у

лютому, травні, липні, вересні та жовтні тенденції зміни протилежні за знаком у різних виділених районах, однозначне зменшення кількості опадів прогнозується для серпня, однозначне збільшення – в інші місяці на всій території України.

Аналіз абсолютних значень змін у мм та їх довірчих інтервалів з табл..4.12 вказує на те, що в більшість місяців року для всіх регіонів прогнозовані зміни місячних сум опадів не перевищують довірчих інтервалів. Тобто такі зміни не є статистично значущими за рівня 0,95 і не можуть трактуватися як збільшення (зменшення), оскільки базове значення, відносно якого визначалися зміни, знаходиться в межах довірчого інтервалу середнього значення даного ансамблю. Значущі збільшення опадів виявлено у квітні в центрі, на півдні і загалом для України та у вересні на сході. У серпні для південного регіону зменшення опадів на межі довірчого інтервалу, що також можна розглядати як можливу зміну кліматичної характеристики.

Для змін кількості опадів традиційно також застосовують відносні одиниці (%), які необхідні для розрахунків в деяких кліматозалежних галузях науки та економіки. Такі характеристики представлені на рис.4.29. Відносні збільшення місячних сум опадів максимальні в різні місяці для різних регіонів: у січні до 26% на заході, в березні до 21% у центрі, у квітні до 32% на півдні, у вересні до 42% на сході і в грудні до 19% на півночі. Зменшення місячних сум опадів прогнозується на всій території країни в серпні (до -20% на півдні). В інші місяці літа та в жовтні зменшення опадів близьке до -10%. Загалом можливий діапазон змін сум місячних опадів в цей період в Україні від -20% до +42%. Серед регіонів найбільші зміни як у бік збільшення, так і зменшення місячних сум опадів має південний регіон.

Для річних сум опадів з наведених даних очевидно, що їх значення в найближче майбутнє скоріше за все зростуть для всіх регіонів (до +12% на сході і всього +7% в середньому для країни), але оскільки вони в межах довірчих інтервалів застосованого ансамблю, то такі збільшення не є значущими.



	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	рік
північ	16	7	23	16	9	4	5	4	6	0	-4	24	9
захід	21	10	22	10	16	12	13	4	18	-3	-8	37	13
центр	17	-2	17	21	3	-1	-3	-11	11	-2	-3	14	5
схід	24	12	23	27	1	0	-6	-18	21	9	9	10	9
південь	15	-4	3	27	4	-7	-9	-16	18	-5	5	8	3
Україна	18	4	17	20	7	2	1	-7	15	-1	-1	19	8

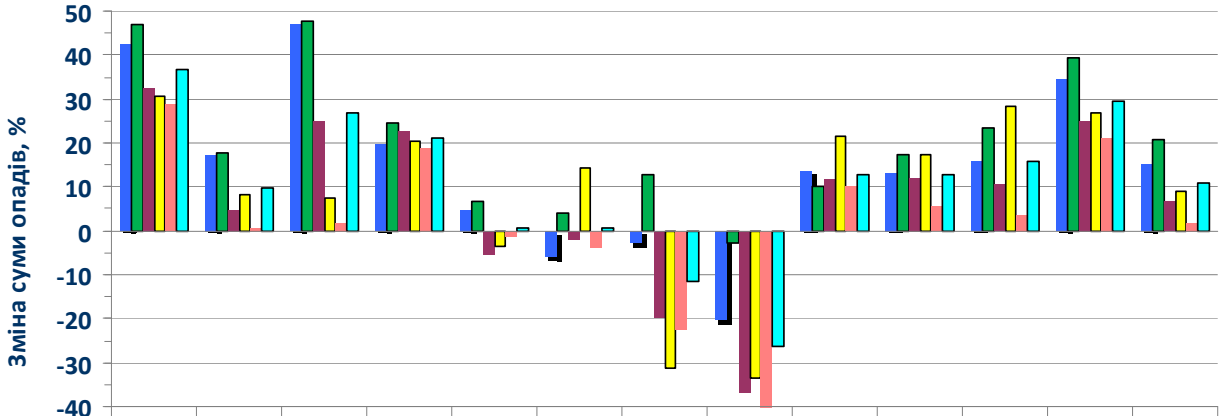
Рис. 4.30. Проекція змін середніх місячних та річних сум опадів (%) по регіонах відносно 1991-2010 рр. за ансамблем з 4 РКМ в 2031-2050 рр.

Табл. 4.13. Проекція місячних та річних значень кількості опадів, їх змін та довірчі інтервали (мм) за ансамблем з 4 РКМ по регіонах в 2031-2050 рр.

Період / регіон		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Рік
Північ	значен.	42	38	46	48	60	70	76	56	61	46	46	46	635
	зміна	6	2	9	6	5	3	4	2	4	0	-2	9	48
	дов.інт	*7*	*5*	*10*	*7*	*14*	*18*	*28*	*14*	*13*	*13*	*5*	*13*	*130*
Захід	значен.	39	39	46	46	77	82	106	70	76	44	38	54	716
	зміна	7	4	8	4	11	9	12	2	11	-1	-3	15	77
	дов.інт	*7*	*6*	*8*	*10*	*12*	*18*	*27*	*13*	*12*	*15*	*5*	*15*	*127*
Центр	значен.	38	31	43	42	47	63	61	43	59	38	40	40	544
	зміна	6	-1	6	7	2	0	-1	-4	5	-1	-1	5	23
	дов.інт	*7*	*4*	*9*	*8*	*9*	*15*	*19*	*14*	*16*	*8*	*5*	*13*	*112*
Схід	значен.	48	43	49	43	46	52	45	26	59	44	44	50	549
	зміна	9	5	9	9	1	0	-3	-6	10	3	3	5	46
	дов.інт	*9*	*8*	*12*	*10*	*14*	*17*	*11*	*12*	*21*	*9*	*5*	*16*	*127*
Південь	значен.	34	28	33	36	36	41	34	29	46	30	42	38	428
	зміна	4	-1	1	8	1	-3	-3	-5	6	-2	2	3	10
	дов.інт	*9*	*4*	*6*	*5*	*6*	*12*	*11*	*9*	*12*	*4*	*6*	*15*	*83*
Україна	значен.	40	36	43	43	54	62	66	46	60	40	42	46	577
	зміна	6	2	6	7	4	2	2	-2	7	0	-1	7	40
	дов.інт	*8*	*5*	*9*	*8*	*11*	*16*	*20*	*12*	*14*	*10*	*5*	*14*	*115*

На рис. 4.30 проілюстровано проекції змін середніх місячних сум опадів по регіонах для періоду 2031-2050 рр. відносно 1991-2010 рр. за ансамблем з 4 РКМ. В основному очікується збільшення сум опадів для всієї території країни навесні, взимку, за винятком несуттєвих зменшень у центрі та на півдні, та для річних значень. Влітку на більшості території країни очікується зменшення кількості опадів максимально у серпні на сході (до -18%), але на півночі та заході зволоження збільшуватиметься. Однозначне збільшення кількості опадів прогнозується у вересні (до +21% на сході) та у грудні (максимально на заході до +37%). Можна зробити висновок, що холодний період року стає вологішим, а теплий – посушливішим. Амплітуда значень сягає від -18 до +37%, що є трохи меншою ніж у попередній період. Річні значення максимально збільшуватимуться на заході (+13%), а усереднене для України збільшення опадів складає +8%.

У табл. 4.13 представлено проекції значень та змін кількості опадів та їх довірчі інтервали (у мм) для періоду 2031-2050 рр. Так, як і в попередній період, зміни практично у всі місяці та для всіх регіонів не перевищують відповідних довірчих інтервалів, тобто вони не значущі за рівня 0,95. Єдиний виняток – це збільшення опадів у квітні в південному регіоні. Також відмітимо місяці та регіони, де зміни на межі довірчих інтервалів: це грудень, січень та березень на заході і січень на сході країни. Ці зміни вже можна умовно вважати значущими.



	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	рік
північ	43	17	47	20	5	-6	-3	-20	13	13	16	34	15
захід	47	18	48	25	7	4	13	-3	10	17	23	39	21
центр	33	5	25	23	-5	-2	-20	-37	11	12	11	25	7
схід	31	8	7	20	-4	14	-31	-34	21	17	28	27	9
південь	29	1	2	19	-1	-4	-23	-40	10	6	4	21	2
Україна	37	10	27	21	1	1	-12	-26	13	13	16	29	11

Рис.4.31. Зміни середніх місячних та річних сум опадів (%) по регіонах для 2081-2100 рр.

Табл. 4.14. Проекція місячних та річних значень кількості опадів, їх змін та довірчі інтервали (мм) в 2081-2100 рр. за ансамблем з 4 ЗКМ по регіонах.

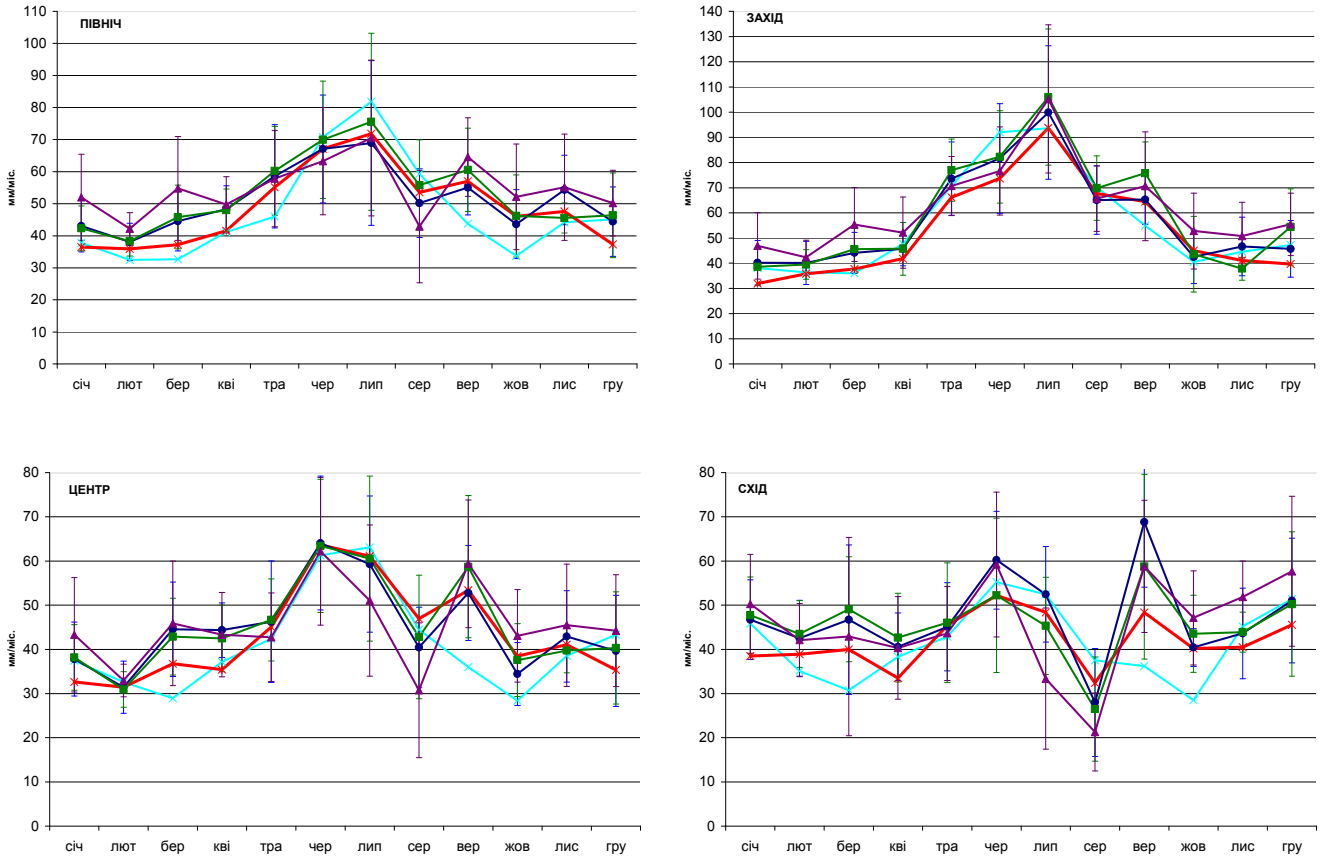
Період / регіон		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Рік
Північ	значен.	52	42	55	50	58	63	71	43	65	52	55	50	655
	зміна	16	6	18	8	3	-4	-1	-11	8	6	8	13	69
	дов.інт	*13*	*5*	*16*	*9*	*15*	*17*	*24*	*18*	*12*	*16*	*17*	*10*	*162*
Захід	значен.	47	42	55	52	71	77	105	66	71	53	51	55	745
	зміна	15	7	18	10	5	3	11	-2	6	8	10	16	106
	дов.інт	*13*	*7*	*15*	*14*	*12*	*18*	*29*	*13*	*22*	*15*	*13*	*12*	*164*
Центр	значен.	43	33	46	43	43	62	51	31	59	43	45	44	544
	зміна	11	2	9	8	-2	-1	-10	-16	6	5	4	9	23
	дов.інт	*13*	*4*	*14*	*10*	*10*	*17*	*17*	*15*	*14*	*10*	*14*	*13*	*139*
Схід	значен.	50	42	43	40	44	59	33	21	59	47	52	58	549
	зміна	12	3	3	7	-2	7	-15	-11	10	7	11	12	45
	дов.інт	*11*	*8*	*22*	*12*	*11*	*16*	*16*	*9*	*15*	*11*	*8*	*17*	*137*
Південь	значен.	37	30	33	34	34	42	29	21	44	33	42	43	421
	зміна	8	0	0	5	-1	-2	-8	-14	4	2	1	7	3
	дов.інт	*14*	*6*	*8*	*10*	*8*	*14*	*10*	*7*	*9*	*8*	*15*	*18*	*111*
Україна	значен.	46	38	47	44	50	61	60	38	60	46	49	50	586
	зміна	12	4	10	8	1	0	-4	-11	6	5	7	11	49
	дов.інт	*13*	*6*	*15*	*11*	*11*	*16*	*20*	*12*	*15*	*12*	*14*	*14*	*143*

Розподіл кількості опадів у наступному періоді віддаленого майбутнього (2081-2100 рр.) та його зміни проаналізовано на рис. 4.31 та у табл.4.14. Перше, що очевидно з гістограми рис.4.31 те, що відмічені для попереднього періоду тенденції до збільшення зволоження в холодний, зокрема взимку, і посушливості у теплий період року, зокрема влітку, не тільки зберігаються, а й посилюються. Так амплітуда прогнозованих змін стає більшою: від -40% до +48%. Ще однією тенденцією, що зберігається з попереднього періоду є те, що максимальне збільшення опадів знову очікується на заході: до +21% річні зміни, +48% у березні, +47% у січні і 39% у грудні. При цьому, на відміну від інших регіонів, підвищення опадів у цьому регіоні прогнозується навіть влітку в липні до +13%, а зменшення у серпні – мінімальне -3%. Також тенденція до загального збільшення зволоження зберігається і на півночі: до +15% річне значення, +47% у березні, +43% у січні і 34% в грудні, хоча в літні місяці, на відміну від попереднього періоду, прогнозується зменшення опадів максимально у серпні -20%. Для цього періоду вже декілька місяців мають зміни, що перевищують довірчі інтервали, тобто вони значущі. Це збільшення опадів на півночі та заході з грудня до березня та на сході у січні та листопаді, зменшення у центрі та на сході в серпні. Найменші зміни очікуються у травні та червні, крім того у ці місяці немає однозначної тенденції: в одних районах опади зменшуються, а в інших зростають.

Взагалі до кінця сторіччя прогнозуються досить суттєві зміни у річному ході опадів, який у всіх регіонах стає хвилеподібним, коли в кожному наступному

місяці кількість опадів по черзі то більша, то менша ніж в попередньому, а класичний розподіл з максимумом влітку як в стандартний кліматичний період 1961-1990 рр. зберігся тільки на заході, хоча і там в інші сезони помітні «хвилі».

Ці зміни очевидні з рис. 4.32, де представлено саме річний хід кількості опадів в два минулих та 3 прогнозних періоди, які зручно порівнювати між собою. Перше, що можна відмітити, ті зміни, які вже відбулися протягом останніх 20 років, а саме зменшення літніх максимумів та кількості опадів у грудні-січні і збільшення сум опадів у вересні та жовтні. Ці тенденції в основному продовжувалися протягом XXI ст. і на його кінець, як було вище зазначено, і було отримано для всіх крім західного регіону хвилеподібні річні розподіли, які досить рівномірно розподіляють вологу впродовж року практично без чітко виділених однозначних максимумів та мінімумів. Максимальні значення на кінець сторіччя відмічаються на заході і півночі влітку (105 і 71 мм у липні відповідно), а мінімальні – на сході і півдні також влітку – 21 мм у серпні, і ці значення мають досить низький довірчий інтервал, що свідчить про високу узгодженість моделей.



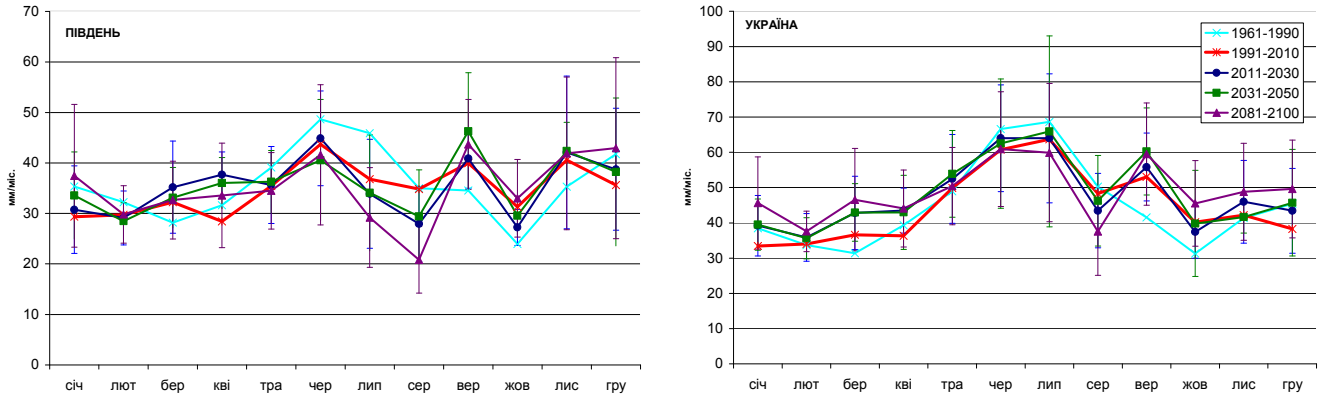


Рис. 4.32. Річний хід кількості опадів (мм) у стандартний кліматичний період 1961-1990 рр., період 1991-2010 рр. сучасного клімату (за даними E-Obs) та три прогнозні періоди з довірчими інтервалами за ансамблем з 4 (3) РКМ до кінця XXI ст. по регіонах та для всієї України.

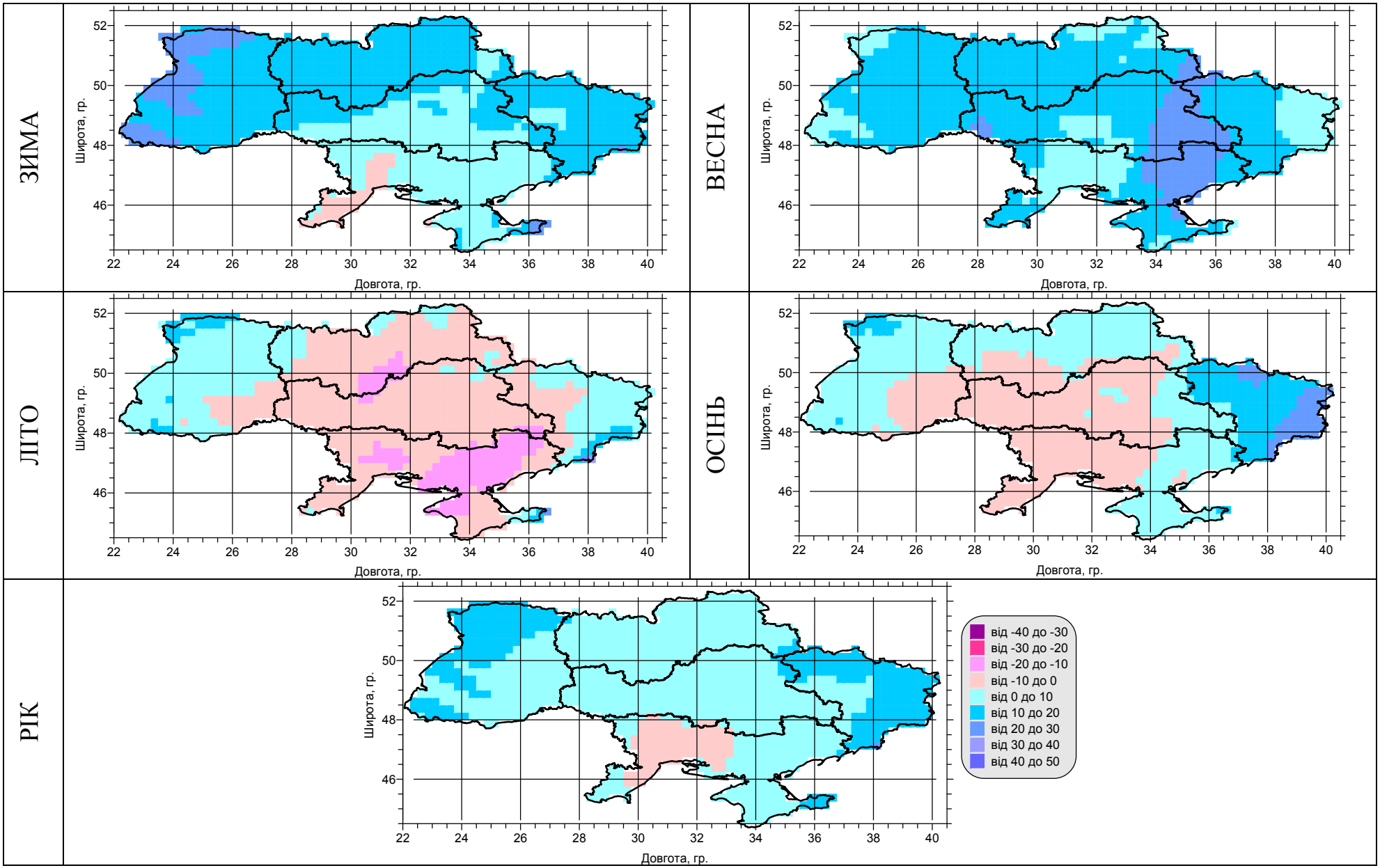


Рис.4.33. Зміни кількості опадів (%) у 2011-2030 рр. відносно 1991-2010 рр.

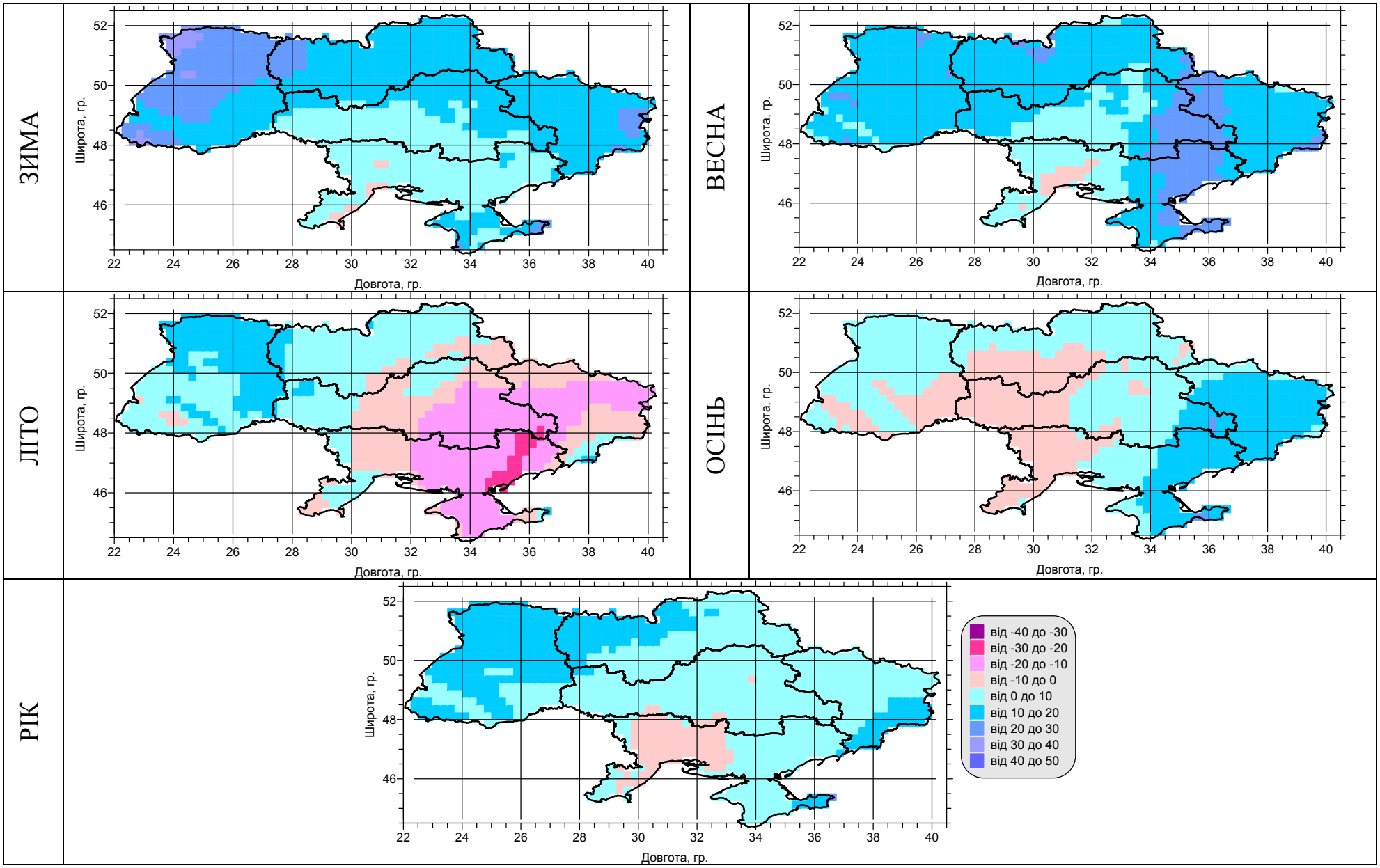


Рис.4.34. Зміни кількості опадів (%) у 2011-2030 рр. відносно 1991-2010 рр.

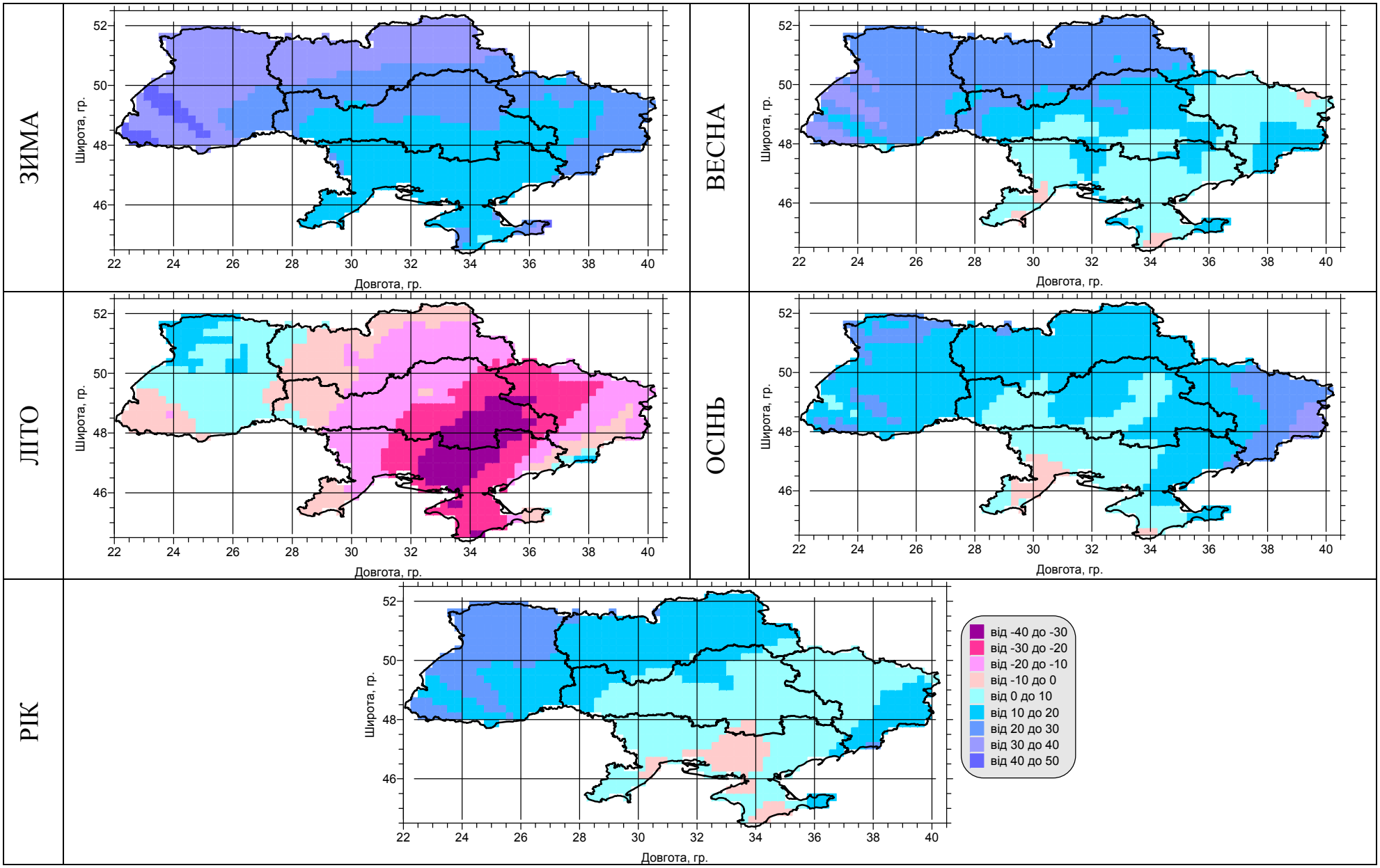


Рис.4.35. Зміни кількості опадів (%) у 2011-2030 рр. відносно 1991-2010 рр.

Так само, як і для температури повітря, для змін кількості опадів, усереднених за сезонами, було побудовано просторові розподіли, які представлено на рис.4.33-4.35. Вони в цілому підтверджують висновки, що були зроблені вище за аналізом гістограм та значень змін і проекцій місячних та річних сум опадів за регіонами. Так у всі прогнозні періоди опади збільшуватимуться взимку та навесні, максимально на заході, півночі та сході. Восени в цих районах опади також збільшуватимуться на відміну від центральної та південної частини до середини XXI ст., коли прогнозується невелике зменшення кількості опадів. Влітку майже на всій території України (крім західних областей у всі періоди та на сході у найближче майбутнє) опади зменшуватимуться з посиленням цієї тенденції впродовж сторіччя. Так у найближчий період зменшення, що перевищує -10% влітку очікується максимально у південних областях та на півдні Київської області. До середини XXI ст. ця тенденція посилюється, і зменшення на -10% вже поширюється на весь схід південного і центрального регіонів та на центр східного, а в Запорізькій області перевищує -20%. На кінець сторіччя влітку зменшення опадів вже охоплює майже всю країну (близько 80% її території) за винятком заходу. Осередок максимальних знижень зволоження залишається той самий, але кількісно це вже значення, що перевищують -30% (близько 10% території країни). Ще на 20% території прогнозуються зменшення опадів від -20 до -30% і на 30% території – від -10 до -20%. І, як було вище показано, такі прогнозовані зменшення кількості опадів влітку будуть значущими. Для просторових розподілів змін річних сум опадів можна відмітити, що на них можна досить чітко локалізувати регіони, де опади в цілому збільшуватимуться (північ, захід і схід), але суттєве зменшення опадів влітку на південному сході виявилось замаскованим змінами в інші сезони. Тобто, по-перше, очевидно, що дійсно відбуватиметься перерозподіл кількості опадів впродовж року, а по-друге, доведено, що для більшості практичних застосувань (в агрометеорології, енергетиці та інших галузях науки та економіки) для подальших оцінок та прогнозів необхідно використовувати принаймні сезонні, а краще – місячні дані проекцій майбутніх змін режиму зволоження.

4.2.4 Відносна вологість повітря

Відносна вологість характеризує ступінь насичення повітря водяною парою, залежить від зміни температури повітря, стану поверхні та переносу вологи. Добовий та річний хід величини є протилежним до ходу температури, оскільки із зниженням температури відносна вологість зростає. В її добовому ході максимум настає на світанку, мінімум - о 13-14 годині дня, що вказує на значну мінливість характеристики у часі. Однак, якщо розглядати кліматичні показники – усереднені за певну кількість років – середні значення відносної вологості є досить сталими, що дає змогу порівнювати їх з модельними даними та розраховувати прогноз можливих кліматичних змін відносної вологості на певній території.

Оскільки, європейська база даних E-Obs не має даних відносної вологості повітря, для перевірки правильності відображення моделями річного ходу відносної вологості на території України значення брались з Кліматичного

кадастру України для стандартного кліматичного періоду ВМО 1961-1990 рр. [4]. І оскільки усереднення в Кадастрі – 30 років, а первісний аналіз даних моделей показав несуттєві (в межах декількох відсотків) відмінності для трьох прогнозних 20-річних періодів, що використовувалися для температури повітря та опадів, то для відносної вологості було розраховано проекції змін відносно стандартного та значення для періоду 2021-2050 рр. Прогнозовані зміни та значення (місячні, за холодне та тепле півріччя та річні) для відносної вологості повітря розраховувались за скороченим оптимальним ансамблем з найкращих для території України 3 РКМ, які в табл. 4.1 виділені фіолетовою та зеленою заливкою. Результати розрахунків наведено в табл. 4.15.

З таблиці видно, що її прогнозовані зміни знаходяться в межах ±3% для місячних значень та ±1% для річних порівняно з даними Кадастру, тобто, ці зміни не є суттєвими. Оскільки річний хід відносної вологості є протилежним до ходу температури, найменші значення спостерігаються в теплий період року, а найбільші в холодний. Щодо просторового розподілу, на півночі значення влітку значно перевищують південні, в холодний період року ця різниця згладжується. Загалом, просторово-часовий розподіл варіюється між значеннями 62% (на сході у травні) до 89% (на півночі у грудні). В цілому для проведення більш детального дослідження необхідні в першу чергу надійні фактичні дані для сучасного періоду, щоб можна було кількісно оцінити здатність регіональних кліматичних моделей представляти цю кліматичну характеристику. На даному етапі можемо тільки зробити висновок, що отримані результати якісно відповідають тим даним, що є для їх верифікації, а прогнозовані зміни не є суттєвими, тобто в разі необхідності для практичних застосувань можна використовувати дані минулих періодів, що не буде вносити значних помилок в оцінки.

Таблиця 4.15. Проекція відносної вологості повітря (місячної, за холодне (ХП) і тепле (ТП) півріччя та річної) на період 2021-2050 рр.

Період / регіон	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	ХП	ТП	РІК
Північ	**84**	**82**	**79**	**73**	**67**	**71**	**74**	**74**	**77**	**82**	**86**	**89**	**84**	**73**	**78**
Захід	**83**	**82**	**77**	**72**	**72**	**74**	**76**	**77**	**79**	**81**	**84**	**86**	**82**	**75**	**79**
Центр	**84**	**82**	**79**	**69**	**64**	**66**	**68**	**67**	**70**	**77**	**85**	**88**	**82**	**68**	**75**
Схід	**84**	**82**	**80**	**70**	**62**	**63**	**63**	**63**	**66**	**75**	**85**	**89**	**82**	**64**	**73**
Південь	**84**	**83**	**78**	**71**	**68**	**65**	**63**	**63**	**68**	**76**	**82**	**86**	**81**	**66**	**74**
Україна середнє	***84***	***82***	***79***	***71***	***67***	***66***	***68***	***67***	***70***	***77***	***85***	***88***	***82***	***68***	***75***
Україна максим.	***84***	***83***	***80***	***73***	***72***	***74***	***76***	***77***	***79***	***82***	***86***	***89***	***84***	***75***	***79***
Україна мінімум	***83***	***82***	***77***	***69***	***62***	***63***	***63***	***63***	***66***	***75***	***82***	***86***	***81***	***64***	***73***

4.3 Висновки

Побудовано сценарії змін регіонального клімату України впродовж XXI ст. на основі регіональних кліматичних моделей (РКМ). Для цього в першу чергу було проведено верифікацію 14 РКМ, розрахунки яких для всієї Європи виконувалися в рамках проекту FP-6 ENSEMBLES [47] для сценарію SRES A1B [33] з горизонтальним розділенням 25 км, і виділено оптимальні для України ансамблі окремо для оцінок змін температури повітря з 10 РКМ та для опадів з 4 РКМ. Серед розглянутих РКМ регіональна модель REMO, розроблена в Інституті метеорології Макса-Планка (м.Гамбург, Німеччина) визнана найбільш оптимальною на території України в представлені основних кліматичних характеристик (середніх місячних температур повітря та кількості опадів), і її рекомендовано застосовувати для тих досліджень, де неможливо використання ансамблів та/або необхідні добові дані.

Проведено розрахунки за отриманими ансамблями для трьох періодів: найближнє майбутнє 2011-2030 рр., середина сторіччя 2031-2050 рр. та найвіддаленіша перспектива 2081-2100 рр. для середньої, максимальної та мінімальної місячних та річних температур та їх добових амплітуд, місячної та річної кількості опадів та відносної вологості повітря. Для середніх місячних та річних температур і кількості опадів також розраховані довірчі інтервали за рівня значущості 0,95. Розрахунки проводилися для всіх вузлів розрахункової сітки на території країни (близько 1200 вузлів) за місячними та добовими даними та усереднювалися для 5 виділених за подібністю фізико-географічних умов, однотипністю прояву кліматоутворюючих чинників, відносною однорідністю полів кліматичних характеристик та адміністративно-територіальним поділом держави, що важливо саме для планування та розробки заходів адаптації до змін клімату у регіонах. Результати подано у таблицях, графіках, гістограмах та просторових розподілах.

Аналіз проекцій середніх місячних температур повітря показав, що найменші зміни прогнозуються для весни і для західного регіону в усі сезони на протязі всього XXI сторіччя. Локалізація ж максимальних змін температури різна для різних сезонів та прогнозних періодів. Так у найближчий період 2011-2030 рр. найбільше потепління очікується влітку на північному сході країни. В наступні 20 років схожий розподіл отримано вже для зими, а літом максимальне потепління перемістилося у південні області. Взагалі для цього серединного періоду 2031-2050 рр. розподіл підвищень температури взимку і влітку матиме практично «дзеркальне» широтне розташування в той час, як в перехідні сезони і для річних значень характерніший меридіональний розподіл із збільшенням потепління з заходу на схід. Ця тенденція зберігається і до кінця сторіччя, але вже літнє потепління на півдні буде набагато перевищувати зимове на півночі в період 2081-2100 рр.

Аналіз змін та прогнозованих абсолютних значень середніх максимальних температур, які характеризують найтеплішу половину доби (денні максимуми), і середніх мінімальних температур, які відповідають нічним мінімумам показав, що (1) в найближчий період максимальне потепління для нічних мінімумів (> 0,9^{o}C) очікується у північно-східній частині країни взимку та у Луганській області

влітку та восени, а для денних максимумів (> 0,8°С) – в північних областях (Чернігівській та Сумській) влітку та восени, найменші зміни прогнозуються у Карпатах та Криму; (2) в наступний період 2031-2050 рр. в більшій мірі будуть рости мінімальні температури в холодне півріччя з жовтня до квітня, в травні і вересні зміни практично однакові, а влітку однозначно потепління буде відбуватися за рахунок підвищення денних максимумів; (3) на кінець сторіччя для періоду 2081-2100 рр. прогнозується максимальне підвищення всіх температур з абсолютним максимумом у північному регіоні в грудні для нічних мінімумів (+4,8°С), річний хід змін обох температур має два максимуми у серпні та грудні, мінімальні зміни очікуються у квітні (для максимумів), травні (для мінімумів) та жовтні (для обох температур).

В тепле півріччя максимально теплішати буде на півдні та сході в більшій мірі вдень, а в холодне півріччя – на півночі вночі. Такий характер термічних змін може непрямо вказувати на те, що їх можливою причиною будуть зміни характеристик хмарності, яка в свою чергу може мінятися під впливом змін в атмосферній циркуляції. Наслідком же таких змін термічного режиму буде зменшення середніх добових амплітуд взимку на півночі (зменшення континентальності клімату) та їх збільшення влітку на півдні (відповідно збільшення континентальності) порівняно з сучасним кліматом.

Для середніх місячних добових амплітуд температури повітря характерне те, що в тепле півріччя добові амплітуди температури повітря не будуть значно змінюватися впродовж XXI ст. на противагу холодному півріччю. Зменшення значень добових амплітуд в холодну пору року, особливо взимку, можуть пояснюватися саме зменшенням нічних мінімумів, тобто відсутністю значного нічного вихолоджування, яке може відбуватися завдяки зменшенню кількості ясних ночей, збільшенню хмарності і, як наслідок, кількості опадів. Такі зміни можуть відбутися завдяки перебудові циркуляції атмосфери і збільшенню кількості та/або тривалості проходження циклонів над Україною в холодне півріччя. Але ця гіпотеза потребує спеціальних детальних досліджень баричних полів у проекціях кліматичних моделей.

У період найближчого майбутнього 2011-2030 рр. очікується як збільшення місячних сум опадів так і їх зменшення. При цьому у лютому, травні, липні, вересні та жовтні тенденції зміни протилежні за знаком у різних виділених районах, однозначне зменшення кількості опадів прогнозується для серпня, однозначне збільшення – в інші місяці на всій території України. Загалом можливий діапазон змін сум місячних опадів в цей період в Україні від -20% до +42%. Серед регіонів найбільші зміни як у бік збільшення, так і зменшення місячних сум опадів має південний регіон. Для періоду 2031-2050 рр. в основному очікується збільшення сум опадів для всієї території країни навесні, взимку, за винятком несуттєвих зменшень у центрі та на півдні, та для річних значень. Влітку на більшості території країни очікується зменшення кількості опадів максимально у серпні на сході (до -18%), але на півночі та заході зволоження збільшуватиметься. Однозначне збільшення кількості опадів прогнозується у вересні (до +21% на сході) та у грудні (максимально на заході до +37%). Річні значення максимально збільшуватимуться на заході (+13%), а усереднене для

України збільшення опадів складе +8%. У наступному періоді віддаленого майбутнього (2081-2100 рр.) відмічені для попереднього періоду тенденції до збільшення зволоження в холодний, зокрема взимку, і посушливості у теплий період року, зокрема влітку, не тільки зберігатимуться, а й посиляться. Так амплітуда прогнозованих змін стає від -40% до +48%. Максимальне збільшення опадів знову очікується на заході і на півночі Для цього періоду, на відміну від попередніх, декілька місяців мають значущі зміни: збільшення опадів на півночі та заході з грудня до березня та на сході у січні та листопаді, зменшення у центрі та на сході в серпні. Найменші зміни очікуються у травні та червні, крім того у ці місяці немає однозначної тенденції: в одних районах опади зменшуються, а в інших зростають. Максимальні значення на кінець сторіччя відмічаються на заході і півночі влітку (105 і 71 мм у липні відповідно), а мінімальні – на сході і півдні також влітку – 21 мм у серпні, і ці значення мають досить низький довірчий інтервал, що свідчить про високу узгодженість моделей.

Взагалі до кінця сторіччя прогнозуються досить суттєві зміни у річному ході опадів, який у всіх регіонах стає хвилеподібним, а класичний розподіл з максимумом влітку як в стандартний кліматичний період 1961-1990 рр. зберігається тільки на заході, хоча і там в інші сезони помітні «хвилі».

Таким чином щодо змін кількості опадів основні висновки такі, що холодний період року стає вологішим, а теплий – посушливішим, і північно-західні території стають краще волого забезпеченими, а південно-східні більш посушливими, що може відобразитись на урожайності сільського господарства та на роботі інших галузей. Зростання зимових сум опадів на заході може спричинити посилення весняних паводків.

Аналіз можливих змін відносної вологості повітря показав, що дана характеристика до середини XXI ст. може змінитися несуттєво: в межах ±3% для місячних значень та ±1% для річних. Але ці оцінки було проведено вперше, і вони потребують подальших досліджень і уточнень із залученням більшої кількості фактичних даних для верифікації регіональних кліматичних моделей.

ВИСНОВКИ

Для отримання прогностичних значень кліматичних характеристик для території України у XXI столітті сформовано ансамбль з 10 моделей загальної циркуляції атмосфери та океанів (МЗЦАО) з четвертої оцінювальної доповіді (ОД4) Міжурядової групи експертів зі змін клімату (МГЕЗК) та проаналізовано результати їх розрахунків (загалом 84 розрахунки) для трьох з шести найбільш вірогідних сценаріїв розвитку суспільства та економіки за номенклатурою МГЕЗК (SRES-2000): А2 (постійний і швидкий ріст кількості населення планети на протязі XXI ст. та найбільша прогнозована кількість антропогенних викидів парникових газів та аерозолів), В1 (ріст кількості населення до середини XXI ст. з подальшим зменшенням і найнижча прогнозована кількість антропогенних викидів) та А1В (населення – як і в В1, кількість викидів – середня між В1 та А2 із збалансованим використанням викопних та відновлюваних джерел енергії).

Результати обробки даних показали, що на кінець XXI ст. МЗЦАО прогнозують підвищення середньорічної температури повітря усереднене для всієї території України по відношенню до 2001-2010 рр. для В1 від 0,7 до 3,0^{o}С з усередненим значенням 2,0±0,8^{o}С, для А1В від 2,4 до 4,2^{o}С з усередненим значенням 3,1±0,7^{o}С і для А2 від 2,6 до 4,6^{o}С з усередненим значенням 3,8±0,8^{o}С.

Прогнози відібраних МЗЦАО щодо зміни середніх річних сум опадів в Україні в XXI ст. по відношенню до 2001-2010 рр. суттєво різняться між собою і мають великий діапазон відносних до сучасних значень: від -23,4% до 11,6% в окремі десятиліття. Прогнози усереднених за модельним ансамблем річних сум опадів на XXI ст. також різняться для кожного з розглянутих сценаріїв: для сценарію В1:прогнозується збільшення опадів до 2,3% з прикінцевим значенням 1,8±5,1 %, за виключенням середини століття, коли прогнозується зменшення сум опадів на -0,3%; для сценарію А1В середні значення сум опадів збільшаться на 0,3- 0,5%, виключення – наступне десятиріччя, коли прогнозується зменшення опадів на -1,4%; для сценарію А2 опади в усі десятиріччя перевищують на 0,3-2,7% значення першого десятиріччя за виключенням останнього десятиліття, коли опади зменшуються на -2,9%.

Усереднені прогностичні сезонні значення температури повітря та сум опадів, що розраховані для території України за ансамблем з 10 МЗЦАО до 2100 р. показали, що:

- очікується підвищення приземної температури повітрі у всі сезони року, з найбільшими швидкостями зростання температур у зимовий сезон;
- з високою ймовірністю можна стверджувати, що підвищення річної температури повітря відбуватиметься за рахунок зменшення повторюваності низьких температур в зимовий сезон по всій території України;
- перехідні термічні сезони матимуть приблизно однакові швидкості та характер змін температури;
- такі зміни температури можуть привести до згладжування річного ходу та зменшення його амплітуди (переважно за рахунок збільшення зимових мінімумів);

- прогностичні дані вказують на можливість зміни режиму випадання опадів за рахунок збільшення їх сум у зимовий та весняний періоди та зменшення у літній та осінній;
- найбільші швидкості змін приземної температури повітря та сум опадів отримані в моделях для сценарію А2 (максимальний коефіцієнт лінійного тренду сягає 0,068 ^{o}C/рік для мінімальних в Україні температур зими), найменші – для В1.

Визначено, що модель ECHAM5/MPI-OM можна визнати оптимальною для моделювання клімату України, оскільки різниці її значень з ансамблевими середніми – мінімальні. Результати даної МЗЦАО можна рекомендувати як початкові та граничні умови для проведення чисельного моделювання клімату України з регіональними моделями.

Побудовано сценарії змін регіонального клімату України впродовж XXI ст. на основі регіональних кліматичних моделей (РКМ). Для цього в першу чергу було проведено верифікацію 14 РКМ, розрахунки яких для всієї Європи виконувалися в рамках проекту FP-6 ENSEMBLES [47] для сценарію SRES A1B [33] з горизонтальним розділенням 25 км, і виділено оптимальні для України ансамблі окремо для оцінок змін температури повітря з 10 РКМ та для опадів з 4 РКМ. Серед розглянутих РКМ регіональна модель REMO, розроблена в Інституті метеорології Макса-Планка (м.Гамбург, Німеччина) визнана найбільш оптимальною на території України в представлені основних кліматичних характеристик (середніх місячних температур повітря та кількості опадів), і її рекомендовано застосовувати для тих досліджень, де неможливо використання ансамблів та/або необхідні добові дані.

Проведено розрахунки за отриманими ансамблями для трьох періодів: найближнє майбутнє 2011-2030 рр., середина сторіччя 2031-2050 рр. та навіддаленіша перспектива 2081-2100 рр. для середньої, максимальної та мінімальної місячних та річних температур та їх добових амплітуд (адитивним методом), місячної та річної кількості опадів (мультиплікативним методом) та відносної вологості повітря (за власними значеннями РКМ). Для середніх місячних та річних температур і кількості опадів також розраховані довірчі інтервали для ансамблів РКМ за рівня значущості 0,95. Зміни характеристик визначалися по відношенню до періоду сучасного клімату 1991-2010 рр. Розрахунки проводилися для всіх вузлів розрахункової сітки на території країни (близько 1200 вузлів) за місячними та добовими даними та усереднювалися для 5 виділених за подібністю фізико-географічних умов, однотипністю прояву кліматоутворюючих чинників, відносною однорідністю полів кліматичних характеристик та адміністративно-територіальним поділом держави, що важливо саме для планування та розробки заходів адаптації до змін клімату у регіонах. Результати подано у таблицях, графіках, гістограмах та просторових розподілах.

Аналіз проекцій середніх місячних температур повітря показав, що найменші зміни прогнозуються для весни і для західного регіону в усі сезони на протязі всього XXI сторіччя. Локалізація ж максимальних змін температури різна для різних сезонів та прогнозних періодів. Так у найближчий період 2011-2030 рр. найбільше потепління очікується влітку на північному сході країни. В наступні 20

років схожий розподіл отримано вже для зими, а літом максимальне потепління перемістилося у південні області. Взагалі для цього серединного періоду 2031-2050 рр. розподіл підвищень температури взимку і влітку матиме практично «дзеркальне» широтне розташування в той час, як в перехідні сезони і для річних значень характерніший меридіональний розподіл із збільшенням потепління з заходу на схід. Ця тенденція зберігається і до кінця сторіччя, але вже літнє потепління на півдні буде набагато перевищувати зимове на півночі в період 2081-2100 рр.

Аналіз змін та прогнозованих абсолютних значень середніх максимальних температур, які характеризують найтеплішу половину доби (денні максимуми), і середніх мінімальних температур, які відповідають нічним мінімумам показав, що (1) в найближчий період максимальне потепління для нічних мінімумів (> 0,9^{o}C) очікується у північно-східній частині країни взимку та у Луганській області влітку та восени, а для денних максимумів (> 0,8^{o}C) – в північних областях (Чернігівській та Сумській) влітку та восени, найменші зміни прогнозуються у Карпатах та Криму; (2) в наступний період 2031-2050 рр. в більшій мірі будуть рости мінімальні температури в холодне півріччя з жовтня до квітня, в травні і вересні зміни практично однакові, а влітку однозначно потепління буде відбуватися за рахунок підвищення денних максимумів; (3) на кінець сторіччя для періоду 2081-2100 рр. прогнозується максимальне підвищення всіх температур з абсолютним максимумом у північному регіоні в грудні для нічних мінімумів (+4,8^{o}C), річний хід змін обох температур має два максимуми у серпні та грудні, мінімальні зміни очікуються у квітні (для максимумів), травні (для мінімумів) та жовтні (для обох температур).

В тепле півріччя максимально теплішати буде на півдні та сході в більшій мірі вдень, а в холодне півріччя – на півночі вночі. Такий характер термічних змін може непрямо вказувати на те, що їх можливою причиною будуть зміни характеристик хмарності, яка в свою чергу може мінятися під впливом змін в атмосферній циркуляції. Наслідком же таких змін термічного режиму буде зменшення середніх добових амплітуд взимку на півночі (зменшення континентальності клімату) та їх збільшення влітку на півдні (відповідно збільшення континентальності) порівняно з сучасним кліматом.

Для середніх місячних добових амплітуд температури повітря характерне те, що в тепле півріччя добові амплітуди температури повітря не будуть значно змінюватися впродовж XXI ст. на противагу холодному півріччю. Зменшення значень добових амплітуд в холодну пору року, особливо взимку, можуть пояснюватися саме зменшенням нічних мінімумів, тобто відсутністю значного нічного вихолоджування, яке може відбуватися завдяки зменшенню кількості ясних ночей, збільшенню хмарності і, як наслідок, кількості опадів. Такі зміни можуть відбутися завдяки перебудові циркуляції атмосфери і збільшенню кількості та/або тривалості проходження циклонів над Україною в холодне півріччя. Але ця гіпотеза потребує спеціальних детальних досліджень баричних полів у проекціях кліматичних моделей.

У період найближчого майбутнього 2011-2030 рр. очікується як збільшення місячних сум опадів так і їх зменшення. При цьому у лютому, травні, липні,

вересні та жовтні тенденції зміни протилежні за знаком у різних виділених районах, однозначне зменшення кількості опадів прогнозується для серпня, однозначне збільшення – в інші місяці на всій території України. Загалом можливий діапазон змін сум місячних опадів в цей період в Україні від -20% до +42%. Серед регіонів найбільші зміни як у бік збільшення, так і зменшення місячних сум опадів має південний регіон. Для періоду 2031-2050 рр. в основному очікується збільшення сум опадів для всієї території країни навесні, взимку, за винятком несуттєвих зменшень у центрі та на півдні, та для річних значень. Влітку на більшості території країни очікується зменшення кількості опадів максимально у серпні на сході (до -18%), але на півночі та заході зволоження збільшуватиметься. Однозначне збільшення кількості опадів прогнозується у вересні (до +21% на сході) та у грудні (максимально на заході до +37%). Річні значення максимально збільшуватимуться на заході (+13%), а усереднене для України збільшення опадів складе +8%. У наступному періоді віддаленого майбутнього (2081-2100 рр.) відмічені для попереднього періоду тенденції до збільшення зволоження в холодний, зокрема взимку, і посушливості у теплий період року, зокрема влітку, не тільки зберігатимуться, а й посиляться. Так амплітуда прогнозованих змін стає від -40% до +48%. Максимальне збільшення опадів знову очікується на заході і на півночі Для цього періоду, на відміну від попередніх, декілька місяців мають значущі зміни: збільшення опадів на півночі та заході з грудня до березня та на сході у січні та листопаді, зменшення у центрі та на сході в серпні. Найменші зміни очікуються у травні та червні, крім того у ці місяці немає однозначної тенденції: в одних районах опади зменшуються, а в інших зростають. Максимальні значення на кінець сторіччя відмічаються на заході і півночі влітку (105 і 71 мм у липні відповідно), а мінімальні – на сході і півдні також влітку – 21 мм у серпні, і ці значення мають досить низький довірчий інтервал, що свідчить про високу узгодженість моделей.

Взагалі до кінця сторіччя прогнозуються досить суттєві зміни у річному ході опадів, який у всіх регіонах стає хвилеподібним, а класичний розподіл з максимумом влітку як в стандартний кліматичний період 1961-1990 рр. зберігається тільки на заході, хоча і там в інші сезони помітні «хвилі».

Таким чином щодо змін кількості опадів основні висновки такі, що холодний період року стає вологішим, а теплий – посушливішим, і північно-західні території стають краще волого забезпеченими, а південно-східні більш посушливими, що може відобразитись на урожайності сільського господарства та на роботі інших галузей. Зростання зимових сум опадів на заході може спричинити посилення весняних паводків.

Аналіз можливих змін відносної вологості повітря показав, що дана характеристика до середини XXI ст. може змінитися несуттєво: в межах ±3% для місячних значень та ±1% для річних. Але ці оцінки було проведено вперше, і вони потребують подальших досліджень і уточнень із залученням більшої кількості фактичних даних для верифікації регіональних кліматичних моделей.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Балабух В.О. Мінливість дуже сильних дощів і сильних злив в Україні // Наук. праці УкрНДГМІ. -№257, 2008. - С. 61-72.
2. *Говоркова В.А., Катцов В.М., Мелешко В.П., Павлова Т.В., Школьник И.М.* Климат России в XXI веке. Часть 2. Оценка пригодности моделей общей циркуляции атмосфери и океана CMIP3 для расчетов будущих изменений климата России // Метеорология и гидрология. – №8, 2008. – С.5-19.
3. Історія та фізико-географічний опис метеорологічних станцій України (Кліматологічний довідник) / за редакцією О. Косовця та Н. Швень. – Київ, 2011. – 462 с.
4. Кліматичний Кадастр України (електронна версія) Державна гідрометеорологічна служба УкрНДГМІ, Центральна Геофізична Обсерваторія – Київ, -2006.
5. Клімат України / За ред. В.М.Ліпінського, В.А.Дячука, В.М.Бабіченко/ - Київ, Вид. Раєвського, 2003. -343с.
6. Кобышева Н.В., Наровлянский Г.Я. Климатологическая обработка метеорологической информации. – Л.: Гидрометеоиздат, 1978. – 296 с.
7. *Краковська С.В.* Чисельні проекції кліматичних змін в Луганській області до 2050 р. // Наук. праці УкрНДГМІ. -№261, 2011. –С.37-55.
8. Краковская С.В., Паламарчук Л.В., Дюкель Г.А. Региональная модель (РЕМО) в изучении сильных осадков в Карпатах // Метеорологія, кліматологія та гідрологія.-№50, 2008. - С.75-80.
9. *Краковська С.В., Паламарчук Л.В., Шедеменко І.П., Дюкель Г.О., Гнатюк Н.В.* Верифікація даних світового кліматичного центру (CRU) та регіональної моделі клімату (REMO) щодо прогнозу приземної температури повітря за контрольний період 1961-90 рр. // Наук. праці УкрНДГМІ. -№257, 2008. - С. 42-60.
10. Кричак С.О. Региональное моделирование современного климата европейской территории России с помощью модели RegCM3 // Метеорология и гидрология. – №1, 2008. – С.31-41.
11. *Мелешко В.П., Катцов В.М., Говоркова В.А., Спорышев П.В., Школьник И.М., Шнееров Б.Е.* Климат России в XXI веке. Часть 3. Будущие изменения климата, рассчитанные с помощью ансамбля моделей общей циркуляции атмосфери и океана CMIP3 // Метеорология и гидрология. – №9, 2008. – С.5-21.
12. *Мелешко В.П., Катцов В.М., Мирвис В.М., Говоркова В.А., Павлова Т.В.* Климат России в XXI веке. Часть I. Новые свидетельства антропогенного изменения климата и современные возможности его расчета // Метеорология и гидрология. – №6, 2008. – С.5-19.
13. *Паламарчук Л.В., Краковська С.В., Шедеменко І.П., Дюкель Г.О., Гнатюк Н.В.* Верифікація даних світового кліматичного центру (CRU) та регіональної моделі клімату (REMO) щодо прогнозу поля опадів в Україні за контрольний період 1961-1990 рр. // Наук. праці УкрНДГМІ. -№258, 2009.

14. Скриник О.А., Скриник О.Я. Відновлення пропусків у часових рядах метеорологічних показників // *Наукові праці УкрНДГМІ*. – 2011. – Вип. 260. – С. 46 – 53.
15. Стихійні метеорологічні явища на території України за останнє двадцятиріччя (1986-2005 рр.) / За ред. *В.М.Ліпінського, В.І.Осадчого, В.М.Бабіченко*. – К.: Ніка-Центр, 2006. – 312 с.
16. Шедеменко І.П., Краковська С.В., Гнатюк Н.В. Верифікація даних Європейської бази E-OBS щодо приземної температури та кількості опадів у адміністративних областях України // Наук. праці УкрНДГМІ. - №262, 2012. – С. 71-90.
17. Яглом А.М. Корреляционная теория стационарных случайных функций (с примерами из метеорологии). – Л.: Гидрометеоиздат, 1981. -280 с.
18. Christensen, J.H., B. Hewitson, A. Busuioc, et al. Regional Climate Projections. **In**: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of WG I to the Fourth Assessment Report of the IPCC [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. – 2007. – 94 pp.
19. *Corobov, R., Sheridan, S., Overcenko, A. and N. Terinte.* Air temperature trends and extremes in Chisinau (Moldova) as evidence of climate change // Clim. Res. – 2010. – Vol.42: 247–256.
20. Giorgi, F. and Bates, G. The climatological skill of a regional model over complex terrain // Monthly Weather Review. – 1989. – 117: 2325–2347.
21. Giorgi, F. and Mearns L.O. Introduction to special issue: Regional climate modeling revisited // J.Geophys.Res. – 1999. – Vol.104: 6335-6352.
22. Gnatiuk, N., Krakovska S. Homogenization and quality control of temperature datasets for Ukrainian stations of the Carpathian region // Geophysical Research Abstracts, Vol. 14, EGU2012-959-4, 2012
23. Gnatiuk, N., S. Krakovska, L. Palamarchuk, A. Bilozerova. Climate change projections for Ukraine in the 21st century based on the best RCM ensembles // Geophysical Research Abstracts, Vol. 15, EGU2013-889-1, 2013.
24. *Haylock, M.R., N. Hofstra, A.M.G. Klein Tank, E.J. Klok, P.D. Jones, M. New.* 2008: A European daily high-resolution gridded dataset of surface temperature and precipitation. J. Geophys. Res (Atmospheres), **113**, D20119, doi:10.1029/2008JD10201
25. Jacob, D., B.JJ.M. Van den Hurk, U. Andre, G. Elgered, C. Fortelius, L.P. Graham, S.D. Jackson, U. Karstens, Chr. Kopken, R. Lindau, R. Podzun, B. Rockel, F. Rubel, B.H. Sass, R.N.B. Smith, X. Yang: A comprehensive model inter-comparison study investigating the water budget during the BALTEX-PIDCAP period. // Meteor. Atm., 2001.- № 77.- C.61-73.
26. Kiel, J.T., J. J. Hack, G. B. Bonan, B. A. Boville, B. P. Briegleb, D. L. Williamson, and P. J. Rasch: Description of the NCAR Community Climate Model (CCM3) // NCAR Tech. Rep. –1996. – TN-420+STR. – 152 pp.

27. *Kjellström, E., Bärring, L., Gollvik, S., Hansson, U., Jones, C., Samuelsson, P., Rummukainen, M., Ullerstig, A., Willén U. and Wyser, K.*. A 140-year simulation of European climate with the new version of the Rossby Centre regional atmospheric climate model (RCA3) // Reports Meteorology and Climatology 108. – 2005. – SMHI, SE-60176 Norrköping, Sweden, 54 pp.
28. Krakovska, S., V. Balabukh, L. Palamarchuk, G. Djukel, N. Gnatiuk. Analysis and projections of climate change impacts on flood risks in the Dniester river basin based on the ENSEMBLES RCM data // Geophysical Research Abstracts, Vol. 14, EGU2012-863-2, 2012.
29. Krakovska, S., N. Gnatiuk, L. Palamarchuk, I. Shedemenko. The best ensembles of RCMs for climate change projections in Ukraine // Geophysical Research Abstracts, Vol. 15, EGU2013-1028-3, 2013.
30. Krakovska, S., Goettel, H., Jacob, D., Pfeifer, S.: Study of the flood events in the Carpathians and along the Elbe river with aid of the numerical models. // Geophysical Research Abstracts. – 2006. – Vol. 8, 00060, SRef-ID: 1607-7962/gra/EGU06-A-00060.
31. Meehl, G.A., T.F. Stocker, W.D. Collins, P. Friedlingstein, A.T. Gaye, J.M. Gregory, A. Kitoh, R. Knutti, J.M. Murphy, A. Noda, S.C.B. Raper, I.G. Watterson, A.J. Weaver and Z.-C. Zhao, 2007: Global Climate Projections. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 100 pp.
32. Mitchell T.D., Carter T.R., Jones P.D., et al. A comprehensive set of high-resolution grids of monthly climate for Europe and the globe: The observed record (1901-2000) and 16 scenarios (2001-2100) // Tyndall Centre Working Paper No.55, Tyndall Centre for Climate Change Research, University of East Anglia, Norwich, UK, 2004.
33. Nakićenović, N., and R. Swart (eds.), 2000: *Special Report on Emissions Scenarios*. *A Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 599 pp.
34. Osadchy V., Nabyvanets Y., Skrynyk O., Krakovska S. and Skrynyk O. Homogenization of long monthly air temperature time series collected in Ukraine // Proceedings of Seventh Seminar for Homogenization and Quality Control in Climatological Databases and COST ES-0601 “HOME” Action Management Committee and Final Meeting, Budapest, Hungary, 24 – 28 October 2011
35. Pal, J., Small, E. and Eltahir, E. Simulation of regional-scale water and energy budgets: Representation of subgrid cloud and precipitation processes within RegCM // Journal of Geophysical Research-Atmospheres. – 2000. – 105(D24): 29579–29594.

36. Pal J.S., Giorgi F., Bi X. et al.: Regional Climate Modeling for the Developing World: The ICTP RegCM3 and RegCNET // Bull.Amer.Meteor.Soc.– 2007.– Vol.88: 1395–1409.
37. Palamarchuk, L., Shpyg, V., Krakovskaia, S. Floods in the Carpathians: synoptic analysis and numerical modeling // Geophysical Research Abstracts. – 2005. – Vol. 7, 00967, Sref-ID: 1607-7962/gra/EGU05-A-00967.
38. Randall, D.A., R.A. Wood, S. Bony, R. Colman, T. Fichefet, J. Fyfe, V. Kattsov, A. Pitman, J. Shukla, J. Srinivasan, R.J. Stouffer, A. Sumi and K.E. Taylor, 2007: Climate Models and Their Evaluation. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M.Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 74 pp.
39. Roeckner, E., K. Arpe, L. Bengtsson, M. Cristoph, M. Claussen, L. Dumenil, M. Esch, U. Schlese, U. Schulzweida. The atmospheric general circulation model ECHAM4: Model description and simulation of present-day climate // Max-Planck-Institute fur Meteorologie, Report.– 1996. – No.218.
40. Samuelsson, P., Jones, C.G., Willén, U., Ullerstig, A., Gollvik, S. *and co-authors.* 2011. The Rossby centre regional climate model RCA3: Model description and performance. *Tellus* **63A**, 4–23.
41. Seth, A., S. A. Rauscher, S. J. Carmago, J.-H. Qian, and J. S. Pal: RegCM3 regional climatologies using reanalysis and ECHAM global model driving fields // Climate Dyn.– 2006.– Vol.28.– 461–480.
42. Szentimrey,T., 2011: Manual of homogenization software MASHv3.03, Hungarian Meteorological Service, p. 66.
43. *Taylor, K.E.,* 2001: Summarizing multiple aspects of model performance in a single diagram // J. Geophys. Res., 106, 7183-7192.
44. *Trenberth, K.E., P.D. Jones, P. Ambenje, R. Bojariu, D. Easterling, A. Klein Tank, D. Parker, F. Rahimzadeh, J.A. Renwick, M. Rusticucci, B. Soden and P. Zhai,* 2007: Observations: Surface and Atmospheric Climate Change. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis.* Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M.Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
45. Venema,V.K.C., Mestre,O., Aguilar,E., Auer,I., Guijarro,J.A., Domonkos,P., Vertacnik,G., Szentimrey,T., Stepanek,P., Zahradnicek,P., Viarre,J., Müller-Westermeier,G., Lakatos,M., Williams,C.N., Menne,M.J., Lindau,R., Rasol,D., Rustemeier,E., Kolokythas,K., Marinova,T., Andresen,L., Acquaotta,F., Fratianni,S., Cheval,S., Klancar,M., Brunetti,M., Gruber,C., Prohom Duran,M., Likso,T., Esteban,P., and Brandsma,T. 2012: Benchmarking homogenization algorithms for monthly data, Clim. Past, 8, 89-115.

46. WMO: Guide to Climatological Practices, 3rd Ed., 2010 (доступний з http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/documents/Guidefulltext.pdf)
47. http://ensembles-eu.metoffice.com
48. http://www.carpatclim-eu.org/pages/home/
49. http://www.cecilia-eu.org
50. http://www.clavier-eu.org

Додаток А
Перелік метеорологічних (кліматологічних) станцій, дані яких гомогенізувалися

N (Index)	Назва	Національний код (Series)	Географічні координати		Висота, *м*
			довгота, °	широта, °	
1	Любешів	33075	25.51666669	51.76666671	149.0
2	Світязь	33067	23.84916671	51.48166669	164.0
3	Ковель	33173	24.70666670	51.19777779	173.0
4	Володимир-Волинський	33177	24.35000002	50.83333338	192.8
5	Луцьк	33187	25.39555558	50.72083337	195.3
6	Сарни	33088	26.61666670	51.31666668	154.0
7	Рівне	33301	26.15277779	50.60250003	227.0
8	Дубно	33296	25.75000004	50.40000002	198.0
9	Рава-Руська	33287	23.62722225	50.24222223	252.0
10	Камянка-Бузька	33288	24.35000002	50.11666667	212.0
11	Броди	33297	25.15000001	50.10000001	227.0
12	Яворів	33392	23.38333335	49.95000005	254.0
13	Мостиська	33391	23.16333334	49.79138893	232.0
14	Львів	33393	23.96527783	49.80750004	319.0
15	Дрогобич	33398	23.56694447	49.36222224	275.0
16	Стрий	33513	23.80833338	49.25777779	302.0
17	Турка	33511	23.02972222	49.15027779	594.0
18	Славське	33516	23.45000002	49.85000004	592.0
19	Шепетівка	33317	27.04027778	50.16194445	277.0
20	Ямпіль	33421	26.20500001	49.94805560	274.0
21	Хмельницький	33429	26.93750005	49.35361113	348.8
22	Нова Ушиця	33557	27.26666668	48.85000004	292.0
23	Камянець Подільський	33548	26.60861114	48.69333337	217.0
24	Кременець	33299	25.73333337	50.13333334	259.0
25	Тернопіль	33415	25.69111115	49.52777780	327.0
26	Бережани	33409	24.95000005	49.43333336	303.0
27	Чортків	33536	25.76666671	49.01666667	320.0
28	Долина	33524	23.99777783	48.97694450	470.0
29	Івано-Франківськ	33526	24.68888892	48.88944449	275.0
30	Яремча	33645	24.55000003	48.45000002	531.0
31	Коломия	33651	25.05555556	48.54888892	295.0
32	Пожижевська	33646	24.53333336	48.15000001	1451.0
33	Великий Березний	33514	22.46666669	48.90000005	205.0
34	Нижні Ворота	33517	23.10000001	48.76666671	496.0
35	Плай	33515	23.20694446	48.65888892	1330.0
36	Нижній Студений	33518	23.36666669	48.70000004	615.0

37	Ужгород	33631	22.26111112	48.63333337	113.0
38	Міжгірря	33633	23.50444447	48.52666669	456.0
39	Берегове	33634	22.65000003	48.20000001	113.0
40	Хуст	33638	23.29222224	48.17861112	164.0
41	Рахів	33647	24.19805557	48.04750000	430.0
42	Чернівці	33658	25.97250005	48.26638890	242.0
43	Селятин	33657	25.21666668	47.88333338	762.0
44	Семенівка	33049	32.58333336	52.18333334	160.0
45	Щорс	33136	31.96666672	51.80000004	127.0
46	Покошичі	33146	32.96666672	51.76666671	193.0
47	Чернігів	33135	31.15361112	51.40666669	140.0
48	Ніжин	33246	31.90000005	51.03333334	124.0
49	Остер	33236	30.90000005	50.95000005	112.0
50	Прилуки	33362	32.36361113	50.57916670	132.0
51	Олевськ	33203	27.63333337	51.21666668	182.0
52	Овруч	33213	28.78361115	51.32888891	168.0
53	Коростень	33215	28.61416670	50.95500005	185.0
54	Новоград-Волинський	33312	27.61666670	50.60000003	216.0
55	Житомир	33325	28.73277782	50.27722224	214.0
56	Чорнобиль	33231	30.22555557	51.26638890	123.0
57	Тетерів	33228	29.58305559	50.69277781	132.0
58	Київ	33345	30.53638892	50.39222224	166.0
59	Бориспіль	33347	30.94944449	50.33583335	121.0
60	Баришівка	33354	31.33750002	51.35527780	100.0
61	Яготин	33356	31.80000004	50.23333335	126.0
62	Фастів	33339	29.92666671	50.06916667	208.0
63	Біла Церква	33464	30.10638889	49.82861115	179.0
64	Миронівка	33466	31.08194445	49.64555559	151.0
65	Золотоноша	33484	32.01750000	49.66722226	94.0
66	Черкаси	33487	32.00305556	49.40916669	106.0
67	Жашків	33581	30.10000001	49.23333335	235.0
68	Сміла	33593	31.86527782	49.18444445	126.0
69	Чигирин	33605	32.68194448	49.05944445	123.0
70	Звенигородка	33586	30.90000005	49.08333334	214.0
71	Умань	33587	30.23305557	48.76694448	214.0
72	Білопілля	33446	28.88527782	49.84027782	257.0
73	Хмільник	33439	27.93333338	49.56666670	284.0
74	Вінниця	33562	28.60333336	49.24805557	296.5
75	Жмеринка	33564	28.13333334	49.01666667	313.0
76	Гадяч	33577	29.38333335	48.80000004	210.0
77	Могилів-Подільський	33663	27.78333337	48.45000002	77.0

78	Світловодськ	33614	33.24972223	49.07111111	85.4
79	Новомиргород	33598	31.64888892	49.82611115	178.7
80	Знамянка	33609	32.69083337	48.73944448	180.0
81	Кіровоград	33711	32.28333335	48.54361114	170.0
82	Гайворон	33686	29.84500004	48.34472224	149.5
83	Помічна	33705	31.40000002	48.23333335	210.7
84	Бобринець	33717	32.16666668	48.06666667	142.2
85	Долинська	33719	32.75055559	48.10444445	176.0
86	Любашівка	33761	30.26861113	47.85083338	181.0
87	Затишшя	33759	29.88333338	47.33333335	193.0
88	Сербка	33833	30.75194448	47.01305556	72.0
89	Роздольна	33834	30.07083334	46.85000004	146.0
90	Одеса	33835	30.77027782	46.44083336	42.0
91	Білгород-Дністровський	33830	30.36666669	46.18333334	1.0
92	Сарата	33896	29.67027781	46.02416667	12.0
93	Болград	33887	28.62583337	45.68277781	80.0
94	Вилкове	33898	29.59277781	45.39444446	1.0
95	Первомайськ	33699	30.85805560	48.05250000	104.9
96	Вознесенськ	33777	31.32000002	47.58250003	26.1
97	Баштанка	33788	32.46805558	47.41277780	84.0
98	Миколаїв	33846	31.90944449	47.05444445	49.0
99	Очаків	33848	31.53888892	46.62388892	35.0
100	Велика Олександрівка	33862	33.28805557	47.31722224	57.0
101	Нижні Сірогози	33877	34.40000002	46.85000004	53.5
102	Нова Каховка	33869	33.35861113	46.78916671	26.4
103	Херсон	33902	32.70833337	46.73833337	47.0
104	Асканія Нова	33915	33.87972227	46.45111113	28.0
105	Бехтери	33907	32.28305557	46.24305557	6.0
106	Геніченськ	33910	34.80722226	46.16416667	14.0
107	Хорли	33917	33.30000002	46.08333334	6.3
108	Срілкове	33961	34.87777782	45.90083338	4.0
109	Дружба	33058	33.94583338	52.05305556	190.0
110	Глухів	33156	33.98333338	51.65000003	164.0
111	Конотоп	33261	33.20000001	51.23333335	144.0
112	Суми	33275	34.74805559	50.85861116	180.0
113	Ромни	33268	33.44277780	50.76833337	168.0
114	Лебедин	33382	34.51333336	50.58722225	131.0
115	Гадяч	33376	33.98138894	50.36694446	154.0
116	Лубни	33377	33.99972227	50.01694445	155.7
117	Веселий Поділ	33495	33.25750001	49.60972225	96.0
118	Полтава	33506	34.54472225	49.60944448	160.0

119	Кобеляки	33621	34.20777779	49.15388890	115.0
120	Золочів	34208	35.96166672	50.29638890	159.0
121	Богодухів	34302	35.49805558	50.16472223	196.3
122	Приколотне	34301	37.35000002	50.16666668	212.7
123	Коломак	34304	35.23333335	49.85000004	180.0
124	Харків	34300	36.27888890	49.92666671	154.0
125	Купянськ	34319	37.65000003	49.65000003	87.0
126	Комсомольське	34317	36.53333336	49.60000003	102.0
127	Красноград	34401	35.40000002	49.35000002	158.0
128	Ізюм	34415	37.30000002	49.18333334	77.0
129	Лозова	34409	36.31666668	48.90000005	175.0
130	Сватове	34421	38.16805556	49.41000002	85.0
131	Біловодськ	34434	39.55944447	49.18750001	74.4
132	Луганськ	34523	39.22750001	48.56555558	58.8
133	Дар’ївка	34537	39.47500002	48.07111111	300.0
134	Артемівськ	34510	38.01472222	48.55722225	123.0
135	Дебальцеве	34524	38.43611113	48.35972224	334.0
136	Красноармійськ	34514	37.15611112	48.29277779	193.4
137	Донецьк	34519	37.72638893	48.07222223	224.0
138	Волноваха	34615	37.48333336	47.61666670	266.0
139	Маріуполь	34712	37.48444447	47.04250000	68.0
140	Губиниха	34407	35.25000001	48.80000004	127.0
141	Дніпропетровсь	34504	35.08500000	48.36000002	142.0
142	Павлоград	34502	35.88777782	48.55305558	65.0
143	Комісарівка	33723	33.90000005	48.43333336	118.0
144	Синельникове	34505	35.45000002	48.35000002	147.0
145	Чаплине	34509	36.23777779	48.14361112	173.0
146	Кривий Ріг	33791	33.21111112	48.05333334	123.0
147	Лошкарівка	33801	34.17333334	47.97111116	83.0
148	Нікополь	33805	34.40194447	47.59222225	53.0
149	Запоріжжя	34601	35.08250000	47.87888893	59.3
150	Гуляйполе	34606	36.26833335	47.65027781	117.0
151	Пришиб	34607	35.33250002	47.26055557	86.8
152	Кирилівка	34609	36.33444446	47.33027779	220.9
153	Мелітополь	34704	35.35638891	46.83027782	33.3
154	Бердянськ	34717	36.78333337	47.75000004	1.0
155	Ботієве	34708	35.84305560	46.68333337	17.0
156	Ішунь	33933	33.81611115	45.92694449	3.0
157	Роздольне	33922	33.48333336	45.78333337	16.0
158	Джанкой	33934	34.39972224	45.70416670	6.0
159	Чорноморське	33924	32.71611115	45.52166669	9.0
160	Клепініне	33939	34.17555556	45.52611114	37.0
161	Нижньогірськ	33962	34.70972226	45.44666669	19.0

162	Мисова	33981	35.82277782	45.44972225	15.0
163	Керч	33983	36.41472224	45.37416669	46.0
164	Опасне	33986	36.63333337	45.36666669	0.0
165	Євпаторія	33929	33.37444446	45.18972223	2.0
166	Владиславівка	33973	35.37972224	45.17055556	35.0
167	Білогірськ	33966	34.59861114	45.04527778	205.0
168	Сімферополь	33946	33.96722227	45.04027778	180.0
169	Феодосія	33976	35.38166669	45.03722222	22.0
170	Поштове	33945	33.94361116	44.83250004	172.0
171	Алушта	33959	34.40222224	44.66055559	70.0
172	Севастополь	33991	33.53250003	44.61694448	7.0
173	Ай-Петрі	33998	34.06861111	44.46916669	1180.0
174	Ялта	33990	34.15527779	44.48111114	66.0

Додаток Б
Автоматизований алгоритм MASH для гомогенізації часових рядів місячних значень метеорологічних (кліматологічних) показників

1) MASHMonthly\CostHomeInput\CostHomeInput.bat;
2) MASHMonthly\Sam\SAMPAR\SAMPAR.BAT;
   (Рівень значимості: 0.05 (адитивна модель, наприклад, для температури повітря) або 0.01 (мультиплікативна модель, наприклад, для опадів).
3) MASHMonthly\Sam\Sammiss\SAMMISSOUT.BAT;
4) MASHMONTHLY\SAM\SAMVERI\SAMVERI.BAT.
   (Файли результатів: V{J}. (J=1,….,17), Verisum)
5) MASHMonthly\Sam\MASH\MASHPAR\MashparSam.bat;
6) MASHMonthly\Sam\MASH\MASHMISS.BAT;
7) MASHMonthly\Sam\MASH\MASHVERI.BAT;
8) MASHMonthly\Sam\MASH\MASHLIER.BAT;
9) MASHMonthly\Sam\MASH\MASHAUTO\MAUTOPAR.BAT;
10) MASHMonthly\Sam\MASH\MASHAUTO\MASHAUTO.BAT;
11) MASHMonthly\Sam\MASH\MASHVERI.BAT, *(Результат: MASHVERO.RES)*;
12) MASHMonthly\Sam\MASH\MASHEND\MashendSam.bat;
13) MASHMonthly\Sam\SAMAUTO\SAUTOPAR12SBL.BAT;
14) MASHMonthly\Sam\SAMAUTO\SAMAUTO12.BAT;
15) MASHMONTHLY\SAM\SAMVERI\SAMVERI.BAT;
   (Файли результатів: V{J}. (J=1,….,17), Verisum)
16) MASHMonthly\Sam\SAMEND\SAMEND.BAT;
17) MASHMonthly\ CostHomeOutput\ CostHomeOutput.bat.

Додаток В

Результати гомогенізації середніх річних значень температури повітря (фрагмент файлу MASHVERO.RES)

VERIFICATION OF HOMOGENIZATION (Ordered Statistics)

I. TEST STATISTICS FOR SERIES INHOMOGENEITY

Null hypothesis: the examined series are homogeneous.

Critical value (significance level 0.05): 20.86

Test statistics (TS) can be compared to the critical value.

The larger TS values are more suspicious!

1. Test Statistics After Homogenization

Series	Index	TSA	Series	Index	TSA	Series	Index	TSA
3351	16	119.92	3399	172	56.62	3352	29	53.16
3399	174	52.42	3351	36	52.25	3440	129	50.94
3318	5	50.11	3365	31	48.99	3376	86	48.60
3364	41	44.81	3333	62	42.95	3394	168	42.74
3346	63	41.71	3306	2	40.63	3370	83	40.17
3395	171	39.41	3369	95	37.69	3377	96	36.43
3430	124	36.25	3343	73	35.99	3358	67	35.67
3356	74	35.44	3351	34	35.07	3368	82	34.17
3352	28	33.89	3357	76	33.66	3384	98	33.55
3392	165	33.13	3332	55	32.52	3358	70	32.47
3364	30	32.35	3440	140	31.98	3344	72	31.65
3355	22	31.26	3394	170	31.24	3331	19	30.45
3334	59	30.26	3335	60	30.23	3393	160	29.90
3321	52	29.77	3361	78	29.34	3308	6	29.24
3398	164	29.18	3362	119	29.15	3460	150	29.06
3363	37	28.42	3450	142	28.16	3337	115	28.11
3392	157	27.80	3327	112	27.31	3338	114	26.92
3383	88	26.80	3390	105	26.78	3460	152	26.50
3431	126	26.36	3307	1	26.25	3354	23	26.16
3342	21	25.84	3450	145	25.49	3360	69	25.38
3371	85	25.35	3321	53	25.32	3386	102	25.24
3387	101	25.10	3375	87	25.03	3341	25	24.92
3353	27	24.90	3326	113	24.74	3453	133	24.68
3391	104	24.48	3451	134	24.03	3389	94	23.38
3323	56	22.99	3470	155	22.90	3334	58	22.89
3346	64	22.72	3380	148	22.63	3329	24	22.60
3313	45	22.42	3379	146	22.39	3420	120	22.38
3317	3	22.23	3388	93	21.91	3461	138	21.79
3460	149	21.73	3351	33	21.63	3305	109	21.47
3390	103	21.39	3359	79	21.37	3331	54	20.84
3363	38	20.76	3391	106	20.68	3430	121	20.64
3363	39	20.62	3430	123	20.51	3452	135	20.11
3393	158	19.97	3383	91	19.42	3359	68	19.26
3470	153	19.20	3365	43	19.19	3356	75	19.18

3330	7	19.15	3323	49	19.07	3324	48	19.02
3329	8	18.97	3336	50	18.77	3396	167	18.62
3471	154	18.52	3320	51	18.46	3372	143	18.20
3360	80	18.17	3340	26	17.97	3389	92	17.83
3349	117	17.71	3441	128	17.69	3358	71	17.65
3460	151	17.52	3398	163	17.42	3440	127	17.42
3350	118	17.33	3351	17	17.32	3384	99	17.29
3328	10	17.23	3365	42	17.12	3471	139	17.05
3304	44	17.05	3348	65	16.57	3442	130	16.55
3314	46	16.21	3351	18	16.18	3450	141	15.86
3322	57	15.77	3451	137	15.65	3348	66	15.59
3397	166	15.50	3371	84	15.50	3398	162	15.44
3452	132	15.42	3326	111	15.19	3430	122	14.33
3328	9	14.18	3339	14	13.61	3315	110	13.46
3339	15	13.20	3383	89	13.17	3450	144	13.08
3443	131	12.93	3337	116	12.75	3393	156	12.70
3380	147	12.43	3397	169	12.41	3317	4	12.13
3383	90	12.09	3313	47	12.09	3339	12	11.99
3335	61	11.98	3396	161	11.96	3351	35	11.90
3339	13	11.61	3363	40	11.29	3364	32	11.29
3451	136	11.06	3391	107	10.14	3342	20	9.95
3378	97	9.70	3392	159	9.32	3396	108	9.19
3366	77	8.87	3431	125	8.62	3329	11	8.32
3399	173	7.02	3386	100	6.76	3371	81	5.46

AVERAGE: **23.79**

2. Test Statistics Before Homogenization

Series	Index	TSB	Series	Index	TSB	Series	Index	TSB
3397	166	32029.89	3318	5	1233.27	3342	21	1231.43
3305	109	1040.17	3384	98	732.33	3332	55	701.29
3379	146	595.14	3315	110	542.04	3327	112	467.46
3321	53	417.30	3346	63	392.45	3440	140	377.46
3356	74	373.73	3351	16	340.45	3378	97	307.22
3334	59	240.43	3341	25	238.89	3323	56	225.38
3308	6	225.21	3394	168	211.52	3352	29	208.26
3338	114	207.02	3440	129	197.01	3399	174	196.89
3443	131	196.07	3392	157	193.78	3351	36	193.18
3430	121	191.04	3390	103	189.16	3371	85	178.12
3317	4	176.67	3363	39	175.85	3358	70	174.02
3322	57	170.38	3396	161	165.15	3376	86	161.75
3363	37	159.96	3356	75	154.15	3393	160	152.86
3395	171	137.37	3324	48	135.03	3330	7	132.79
3470	153	131.09	3452	132	129.82	3365	31	123.08
3314	46	112.74	3380	148	111.04	3339	13	109.19
3364	30	106.49	3370	83	105.47	3391	107	104.08
3384	99	97.43	3343	73	96.38	3328	10	94.01

3348	65	91.87	3317	3	91.54	3354	23	88.75
3344	72	85.25	3450	145	84.50	3348	66	83.50
3460	150	80.20	3394	170	80.03	3321	52	76.38
3329	24	76.28	3393	158	76.11	3380	147	74.96
3398	163	73.21	3358	67	72.82	3331	19	72.61
3358	71	70.28	3337	116	70.16	3353	27	69.54
3366	77	69.50	3339	14	69.21	3440	127	68.82
3431	126	68.48	3371	84	67.93	3359	79	67.57
3326	111	67.19	3461	138	66.12	3399	172	65.29
3451	134	64.03	3342	20	62.07	3335	60	62.04
3351	34	61.61	3340	26	61.20	3355	22	60.38
3351	33	60.10	3390	105	59.80	3339	12	58.11
3392	165	56.91	3306	2	56.60	3383	91	56.23
3307	1	56.20	3430	124	56.06	3359	68	54.12
3364	41	54.09	3431	125	53.74	3362	119	51.50
3335	61	51.37	3451	136	49.85	3470	155	49.54
3333	62	49.45	3339	15	49.00	3430	123	48.71
3357	76	48.59	3450	144	44.95	3320	51	44.80
3368	82	42.95	3420	120	42.87	3386	102	42.55
3375	87	42.22	3360	80	41.80	3460	149	41.62
3372	143	41.34	3389	92	39.13	3363	38	38.76
3383	90	38.53	3360	69	37.70	3383	88	37.44
3442	130	37.08	3334	58	36.79	3361	78	36.66
3450	141	36.54	3352	28	36.37	3389	94	36.32
3369	95	36.19	3391	104	35.62	3391	106	35.50
3460	151	35.47	3337	115	34.97	3453	133	34.81
3329	11	34.77	3304	44	33.31	3313	45	33.14
3393	156	32.72	3450	142	30.86	3346	64	30.51
3398	164	29.21	3328	9	28.46	3471	139	28.29
3326	113	27.61	3460	152	27.48	3350	118	27.39
3396	167	26.87	3392	159	26.67	3377	96	25.97
3452	135	25.95	3323	49	25.84	3329	8	25.77
3336	50	25.67	3451	137	25.49	3331	54	24.81
3383	89	23.24	3363	40	21.27	3397	169	20.93
3365	42	19.66	3441	128	18.48	3349	117	17.55
3351	17	17.23	3471	154	16.64	3351	18	16.18
3388	93	15.45	3430	122	15.11	3398	162	14.45
3386	100	13.90	3396	108	13.04	3364	32	13.02
3387	101	12.22	3313	47	12.05	3351	35	11.90
3365	43	10.60	3399	173	7.84	3371	81	5.46

AVERAGE: **301.33**

Додаток Г

Результати гомогенізації середніх місячних значень температури повітря

(файл Verisum після кроку 15 автоматизованого алгоритму)

Index 1:	3398	162	76.16	3359	68	57.08	3331	54	56.38
Index 2:	3440	127	75.30	3341	25	54.16	3317	3	52.19
Index 3:	3362	119	68.79	3351	16	58.87	3359	68	51.68
Index 4:	3342	21	82.07	3365	31	67.71	3450	144	56.85
Index 5:	3391	106	148.92	3396	108	78.34	3452	132	51.42
Index 6:	3321	53	106.20	3352	29	99.55	3370	83	66.34
Index 7:	3333	62	83.16	3352	29	74.11	3339	12	66.97
Index 8:	3333	62	107.89	3334	59	101.29	3334	58	72.62
Index 9:	3351	36	103.81	3307	1	74.74	3450	141	65.04
Index 10:	3365	31	81.17	3351	16	78.93	3397	169	56.60
Index 11:	3324	48	134.82	3346	63	61.52	3351	16	58.03
Index 12:	3363	39	163.02	3471	139	63.99	3323	49	62.64
Index 13:	3359	68	98.60	3333	62	83.66	3339	14	80.43
Index 14:	3375	87	81.27	3342	20	71.97	3397	166	71.74
Index 15:	3397	166	93.44	3351	35	79.85	3326	111	67.18
Index 16:	3351	16	111.07	3308	6	51.89	3323	49	50.22
Index 17:	3351	16	130.38	3352	29	115.26	3341	25	93.81

(файл Verisum після кроку 4 автоматизованого алгоритму)

Index 1:	3321	53	2868.55	3315	110	2406.03	3397	166	1447.04
Index 2:	3397	166	1861.00	3342	21	298.32	3318	5	284.29
Index 3:	3305	109	2084.50	3397	166	2053.69	3440	140	400.00
Index 4:	3305	109	6822.26	3397	166	3693.88	3342	21	575.12
Index 5:	3397	166	2437.96	3358	70	385.32	3342	21	276.03
Index 6:	3397	166	4227.73	3430	121	509.35	3323	56	210.10
Index 7:	3397	166	3177.64	3342	21	397.58	3371	85	355.47
Index 8:	3397	166	6989.77	3371	85	1541.54	3348	66	218.17
Index 9:	3397	166	3243.02	3351	16	133.10	3371	85	129.40
Index 10:	3397	166	2515.05	3392	157	224.87	3384	98	216.36
Index 11:	3397	166	1578.64	3318	5	313.75	3379	146	313.53
Index 12:	3397	166	2614.80	3379	146	554.84	3342	21	424.31
Index 13:	3397	166	10519.12	3321	53	2643.94	3315	110	674.23
Index 14:	3397	166	7540.33	3305	109	1465.02	3440	140	1331.55
Index 15:	3397	166	16393.85	3430	121	1124.31	3371	85	857.15
Index 16:	3397	166	5268.85	3379	146	1023.90	3371	85	536.17
Index 17:	3397	166	32047.18	3342	21	1241.23	3318	5	1165.16

Додаток Д

Результати гомогенізації річних значень сум опадів

(фрагмент файлу MASHVERO.RES)

VERIFICATION OF HOMOGENIZATION (Ordered Statistics)

I. TEST STATISTICS FOR SERIES INHOMOGENEITY

Null hypothesis: the examined series are homogeneous.

Critical value (significance level 0.01): 31.00

Test statistics (TS) can be compared to the critical value.

The larger TS values are more suspicious!

1. Test Statistics After Homogenization

Series	Index	TSA	Series	Index	TSA	Series	Index	TSA
3351	35	88.90	3335	60	58.35	3351	34	54.62
3326	113	53.35	3380	148	52.88	3339	13	45.80
3331	19	36.65	3389	92	35.40	3431	126	35.11
3338	114	33.60	3329	24	33.44	3441	128	33.32
3398	164	33.20	3460	151	33.12	3339	12	33.05
3364	32	32.82	3340	26	32.13	3360	80	32.07
3372	143	30.42	3339	15	30.39	3363	37	30.19
3399	173	29.44	3389	94	29.04	3379	146	28.71
3358	67	28.48	3334	59	27.09	3352	29	27.08
3317	3	26.93	3440	129	26.85	3337	115	26.41
3384	98	26.39	3399	172	25.88	3342	20	25.38
3397	169	24.80	3315	110	24.60	3453	133	23.81
3391	104	23.53	3369	95	23.06	3440	127	22.91
3430	124	22.52	3430	122	22.49	3388	93	21.52
3348	66	21.34	3450	145	21.25	3376	86	20.35
3330	7	20.23	3364	30	20.17	3324	48	19.92
3329	8	19.70	3307	1	19.70	3386	102	19.57
3450	141	19.32	3351	16	19.20	3329	11	19.01
3375	87	18.93	3335	61	18.90	3333	62	18.86
3341	25	18.81	3359	68	18.78	3397	166	18.65
3390	103	18.45	3350	118	18.44	3395	171	18.06
3365	42	17.94	3451	137	17.78	3387	101	17.75
3328	10	17.37	3386	100	17.21	3392	157	17.18
3305	109	17.06	3452	135	16.83	3371	81	16.79
3460	150	16.66	3334	58	16.61	3360	69	16.57
3393	156	16.55	3346	63	16.48	3430	121	16.44
3331	54	16.40	3361	78	15.91	3450	144	15.88
3354	23	15.81	3318	5	15.78	3390	105	15.76
3344	72	15.69	3336	50	15.26	3380	147	14.72
3364	41	13.97	3351	18	13.79	3371	85	13.78
3322	57	13.71	3391	106	13.58	3351	36	13.56
3304	44	13.42	3353	27	13.31	3393	158	13.20
3391	107	13.06	3323	49	13.01	3306	2	12.96
3308	6	12.96	3450	142	12.96	3394	168	12.85

3470	153	12.61	3314	46	12.50	3327	112	12.42
3323	56	12.37	3356	74	12.22	3398	163	12.18
3365	43	12.12	3363	38	12.10	3383	89	12.01
3396	108	12.01	3396	167	11.89	3460	149	11.87
3357	76	11.80	3461	138	11.74	3460	152	11.70
3358	70	11.65	3442	130	11.27	3430	123	11.19
3317	4	11.16	3392	159	11.16	3332	55	11.12
3392	165	11.11	3328	9	11.04	3351	33	10.92
3363	40	10.86	3321	52	10.82	3339	14	10.80
3378	97	10.79	3346	64	10.71	3313	45	10.69
3342	21	10.59	3365	31	10.59	3362	119	10.44
3471	139	10.37	3351	17	10.20	3343	73	10.16
3371	84	9.88	3384	99	9.86	3352	28	9.82
3394	170	9.80	3470	155	9.79	3366	77	9.73
3399	174	9.67	3383	91	9.60	3443	131	9.52
3451	136	9.45	3313	47	9.43	3348	65	9.37
3363	39	9.23	3377	96	9.18	3368	82	8.96
3355	22	8.79	3431	125	8.77	3471	154	8.53
3370	83	8.33	3440	140	8.22	3321	53	8.03
3451	134	7.97	3359	79	7.79	3452	132	7.34
3383	88	7.22	3398	162	7.15	3358	71	7.06
3326	111	6.85	3396	161	6.77	3393	160	6.70
3349	117	6.69	3337	116	6.46	3356	75	6.36
3420	120	6.19	3320	51	5.83	3383	90	5.70

AVERAGE: **17.79**

2. Test Statistics Before Homogenization

Series	Index	TSB	Series	Index	TSB	Series	Index	TSB
3351	35	367.07	3326	113	146.30	3364	32	133.08
3339	13	121.26	3351	34	75.96	3390	103	72.17
3340	26	64.93	3453	133	62.13	3335	60	58.35
3398	164	53.12	3380	148	52.88	3339	12	52.69
3331	19	36.65	3389	92	35.40	3431	126	35.11
3341	25	35.08	3338	114	34.30	3329	24	33.44
3441	128	33.32	3460	151	33.12	3360	80	32.07
3372	143	30.42	3363	37	30.19	3399	173	29.44
3389	94	29.04	3384	98	28.74	3379	146	28.71
3327	112	28.56	3358	67	28.48	3334	59	27.09
3317	3	26.93	3440	129	26.85	3399	172	25.88
3339	15	25.41	3342	20	25.38	3364	41	24.90
3397	169	24.80	3329	8	24.07	3391	104	23.53
3315	110	23.17	3369	95	23.06	3440	127	22.91
3430	124	22.52	3430	122	22.49	3388	93	21.52
3352	29	21.50	3337	115	21.36	3348	66	21.34
3450	145	21.25	3376	86	20.35	3330	7	20.23
3364	30	20.17	3324	48	19.92	3351	36	19.80

3307	1	19.70	3386	102	19.57	3450	141	19.32
3365	43	19.23	3351	16	19.20	3336	50	19.02
3375	87	18.93	3335	61	18.90	3333	62	18.86
3359	68	18.78	3329	11	18.73	3397	166	18.65
3350	118	18.44	3395	171	18.06	3365	42	17.94
3451	137	17.78	3387	101	17.75	3363	38	17.44
3392	157	17.18	3305	109	17.06	3386	100	17.04
3371	81	16.79	3460	150	16.66	3334	58	16.61
3354	23	16.60	3360	69	16.57	3393	156	16.55
3346	63	16.48	3430	121	16.44	3331	54	16.40
3361	78	15.91	3450	144	15.88	3328	10	15.82
3318	5	15.78	3344	72	15.69	3390	105	15.16
3380	147	14.72	3351	18	13.79	3371	85	13.78
3322	57	13.71	3391	106	13.58	3304	44	13.42
3393	158	13.20	3391	107	13.06	3353	27	13.01
3323	49	13.01	3306	2	12.96	3308	6	12.96
3450	142	12.96	3394	168	12.85	3384	99	12.79
3470	153	12.61	3314	46	12.50	3323	56	12.37
3356	74	12.22	3383	89	12.01	3396	108	12.01
3398	163	11.94	3396	167	11.89	3460	149	11.87
3339	14	11.81	3357	76	11.80	3461	138	11.74
3460	152	11.70	3358	70	11.65	3442	130	11.27
3430	123	11.19	3317	4	11.16	3392	159	11.16
3332	55	11.12	3392	165	11.11	3328	9	11.04
3351	33	10.92	3363	40	10.86	3321	52	10.82
3378	97	10.79	3346	64	10.71	3313	45	10.69
3342	21	10.59	3365	31	10.59	3362	119	10.44
3471	139	10.37	3351	17	10.20	3343	73	10.16
3371	84	9.88	3352	28	9.82	3394	170	9.80
3470	155	9.79	3366	77	9.73	3399	174	9.67
3398	162	9.66	3383	91	9.60	3451	136	9.45
3313	47	9.43	3348	65	9.37	3363	39	9.23
3377	96	9.18	3452	135	9.00	3368	82	8.96
3355	22	8.79	3431	125	8.77	3471	154	8.53
3337	116	8.45	3370	83	8.33	3440	140	8.22
3452	132	8.14	3321	53	8.03	3451	134	7.97
3359	79	7.79	3420	120	7.63	3383	88	7.22
3358	71	7.06	3396	161	6.77	3393	160	6.70
3349	117	6.69	3356	75	6.36	3320	51	5.83
3383	90	5.70	3443	131	4.84	3326	111	4.83

AVERAGE: **22.29**

Додаток Е
Результати гомогенізації місячних сум опадів

(файл Verisum після кроку 15 автоматизованого алгоритму)

Index 1:	3356	74	52.94	3352	29	48.97	3398	164	43.54
Index 2:	3386	100	57.52	3392	159	52.28	3387	101	48.96
Index 3:	3323	49	75.59	3356	74	75.05	3363	37	52.03
Index 4:	3383	91	69.90	3391	104	60.35	3451	134	39.72
Index 5:	3342	20	42.17	3349	117	40.80	3377	96	40.76
Index 6:	3332	55	60.83	3399	174	37.36	3372	143	36.16
Index 7:	3326	113	76.94	3379	146	56.38	3430	121	54.00
Index 8:	3354	23	54.35	3342	20	38.04	3323	49	35.09
Index 9:	3383	91	60.12	3390	105	46.97	3318	5	46.96
Index 10:	3383	91	99.76	3336	50	79.10	3389	92	78.77
Index 11:	3369	95	38.78	3361	78	38.40	3370	83	36.90
Index 12:	3384	98	50.68	3378	97	48.55	3342	20	40.40
Index 13:	3431	126	104.54	3356	74	93.46	3330	7	81.88
Index 14:	3377	96	84.71	3386	102	64.07	3370	83	59.13
Index 15:	3326	113	67.06	3370	83	46.22	3351	36	37.13
Index 16:	3330	7	67.98	3343	73	65.74	3317	3	61.45
Index 17:	3335	60	53.60	3326	113	49.81	3351	34	38.66

(файл Verisum після кроку 4 автоматизованого алгоритму)

Index 1:	3326	113	195.08	3338	114	63.35	3440	129	63.31
Index 2:	3326	113	524.55	3322	57	78.08	3440	129	58.45
Index 3:	3326	113	450.34	3376	86	189.73	3346	64	167.29
Index 4:	3383	91	69.90	3391	104	60.35	3351	35	43.45
Index 5:	3337	115	56.90	3342	20	47.74	3352	29	41.40
Index 6:	3399	174	122.66	3332	55	60.83	3452	135	36.68
Index 7:	3326	113	126.01	3379	146	56.38	3430	121	54.00
Index 8:	3354	23	61.22	3341	25	37.03	3323	49	35.09
Index 9:	3322	57	71.70	3396	161	68.02	3383	91	60.12
Index 10:	3326	113	118.84	3383	91	99.76	3356	74	86.52
Index 11:	3326	113	134.39	3339	13	45.28	3351	35	41.58
Index 12:	3326	113	147.44	3340	26	83.23	3342	20	63.52
Index 13:	3326	113	300.32	3356	74	113.95	3351	35	109.60
Index 14:	3326	113	115.74	3377	96	89.01	3351	35	77.53
Index 15:	3326	113	143.21	3370	83	46.22	3351	36	37.13
Index 16:	3326	113	158.54	3317	3	97.05	3330	7	66.58
Index 17:	3326	113	579.80	3351	35	257.38	3364	32	103.20