

The Nevzorov airborne hot-wire LWC-TWC probe: Principle of operation and performance characteristics // J. Atmos.Oceanic.Technol. – 1998. – Vol. 15. – P. 1495-1510.

8. Kryvobok O. Monitoring characteristics of young convective clouds using MSG data. Meteo-France, Toulouse. Visiting Scientist Report. – 30 January 2005. P. 49.

*Український гідрометеорологічний інститут, Київ*

Т.Н. Заболоцкая, А.А. Кривобок, О.Я. Скриник, В.М. Шпиг

Т.М. Zabolotska, О.А. Kryvobok, О.У. Skrynyk, V.M. Shpyg

**Верификация спутниковой информации относительно микрофизических параметров и верхней границы облаков**

**Verification of satellite data for microphysical parameters and upper layer of clouds**

*Определена достоверность спутниковых измерений верхней границы облаков и их микрофизических параметров (оптическая толщина, водозапас, фазовое состояние и эффективный радиус капель на верхней границе) в течение 2011-2015 гг., сравнивая их с соответствующими средними статистическими данными самолетного зондирования за тридцатилетний период (1961-1990 гг.).*

*The reality of cloud upper layer and microphysical parameters (optical thickness, cloud liquid water path, cloud phase, effective radius drops) measurements by satellite during 2011-2015 have estimated with comparative analysis of air sounding data in thirty-year period (1961-1990).*

**Ключевые слова:** спутниковые наблюдения, самолетное зондирование, верхняя граница облаков, оптическая толщина, водозапас, фазовое состояние, эффективный радиус капель.

**Keywords:** satellite observations, air sounding, upper layer of clouds, optical thickness, cloud liquid water path, cloud phase, effective radius of drops.

УДК 551.582; УДК 551.58.001.57; 551.58.001.18+551.509.3

**С.В. Краковська, Н.В. Гнатюк, Т.М. Шпиталь, Л.В. Паламарчук**

## **ПРОЕКЦІЇ ЗМІН ПРИЗЕМНОЇ ТЕМПЕРАТУРИ ПОВІТРЯ ЗА ДАНИМИ АНСАМБЛЮ РЕГІОНАЛЬНИХ КЛІМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ У РЕГІОНАХ УКРАЇНИ В ХХІ СТОЛІТТІ**

Наведено й проаналізовано проєкції змін, абсолютні значення та довірчі інтервали середніх місячних, сезонних та річних температур повітря для трьох 20-річних періодів у ХХІ ст. для всієї території України та окремо для 5-ти виділених регіонів. Усі характеристики розраховано за визначеним оптимальним ансамблем із 10-ти регіональних кліматичних моделей європейського проєкту ENSEMBLES, сценарій А1В за номенклатурою IPCC.

**Ключові слова:** приземна температура повітря, ансамблеве моделювання, зміна клімату, регіональні кліматичні моделі, ENSEMBLES.

### **Вступ**

В умовах значних кліматичних змін, які засвідчив останній п'ятий звіт Міжурядової групи експертів зі зміни клімату [11], кліматична інформація стає необхідною для планування розвитку кліматозалежних галузей господарства. У провідних країнах світу проводяться оцінки поточних та очікуваних у майбутньому змін клімату – глобального та регіонального (окремі країни

та їх області) [1, 2, 3, 6], а також розробляються заходи з адаптації до змін та пом'якшення впливу на клімат [14, 15]. Оцінки можливих впливів на екосистеми та їхні складові, галузі економіки та життєдіяльність людей зазвичай починаються з аналізу фактичних та прогнозованих змін температурного режиму, а саме, усереднених характеристик, тобто середніх річних, сезонних та місячних приземних температур повітря.

Кількісні оцінки сучасних та прогнозованих змін основних кліматичних характеристик для території України вже проводили автори на основі даних моделей загальної циркуляції атмосфери та океану – МЗЦАО [5]. Зокрема, було отримано багаторічні середні тенденції кліматичних умов для всієї території країни для трьох сценаріїв: оптимістичний В1, песимістичний А2 та збалансований А1В. Проте у зв'язку з великим просторовим кроком глобальних моделей (від 100 до 300 км) всю територію країни покриває від 7 до 70 вузлів розрахункової сітки, результати, отримані за допомогою МЗЦАО, занадто узагальнені і можуть давати значні похибки в ході визначення кліматичних характеристик для регіонів малих просторових масштабів. Для проведення оцінок на рівні окремих регіонів/областей в [8, 9] рекомендовано застосовувати регіональні кліматичні моделі (РКМ), які мають розділення 25 км та дані у понад 1000 вузлах на території України. У роботах [1-4] автори провели верифікацію деяких регіональних моделей щодо коректності розрахунків основних кліматичних характеристик (приземної температури повітря та опадів) в Україні та в окремих областях за контрольний період 1961-1990 рр. Результати досліджень показали, що РКМ задовільно відтворюють регіональні особливості клімату території і їх рекомендовано для використання на території України. Оскільки ансамблеве усереднення модельних результатів дозволяє значно зменшити регулярну розрахункову помилку, властиву всім кліматичним моделям, у цій роботі буде використано оптимальний ансамбль для оцінок температури повітря на території України, сформований із 10 РКМ європейського проекту ENSEMBLES [8, 9, 12, 15].

Для виявлення і врахування можливих територіальних відмінностей у змінах кліматичних характеристик у межах України здійснено поділ усієї території на 5 регіонів: *захід* – Рівненська, Волинська, Львівська, Закарпатська, Тернопільська, Хмельницька, Чернівецька, Івано-Франківська; *північ* – Сумська, Чернігівська, Київська, Житомирська; *схід* – Харківська, Донецька, Луганська; *південь* – Запорізька, Миколаївська, Херсонська, Одеська, АР Крим; та *центр* – Вінницька, Черкаська, Кіровоградська, Дніпропетровська, Полтавська області. Під час районування враховано такі чинники: *подібність* фізико-географічних умов, *однотипність* прояву кліматоутворювальних чинників, відносно *однорідність* кліматичних полів температури та опадів, а також адміністративно-територіальний поділ держави. Останній чинник є важливим для

застосування отриманих результатів дослідження для розроблення стратегічних планів ведення господарства та розвитку регіонів в умовах кліматичних змін, а також для планування регіональних заходів з адаптації до зміни клімату та оцінки їхньої ефективності.

### Методика

Для розрахунків проєкцій змін приземної температури повітря в регіонах України в XXI ст. використовували як базові дані європейської бази E-Obs, які були попередньо верифіковані [7, 10], та ансамбль з 10 РКМ, який був визначений оптимальним, тобто, з найменшими похибками в крос-валідації (метод «сліпого прогнозу», [13]) на періоді сучасного клімату 1991-2010 рр. щодо стандартного кліматичного 1961-1990 рр. [12]. У часовому вимірі вибрано такі прогнозні періоди: найближче майбутнє 2011-2030 рр., середину століття 2031-2050 рр. та віддалену перспективу 2081-2100 рр.

Для отримання проєкцій змін та абсолютних значень середніх місячних кліматичних характеристик застосовано таку методику:

1) у кожному вузлі розрахункової сітки 25x25 км (близько 1200 вузлів для України) визначали різниці між значеннями кожної РКМ із 10, що були відібрані для оптимального ансамблю, у три прогнозні періоди щодо базового періоду 1991-2010 рр.;

2) до значень температури повітря європейської бази даних E-Obs у контрольний період 1991-2010 рр. додавали (адитивний метод) отримані зміни температури (модельні) і таким чином отримували в усіх вузлах сітки проєкції абсолютних значень для кожного з майбутніх періодів окремо для кожної РКМ з ансамблю;

3) для середніх місячних температур визначали їхній довірчий інтервал за рівнем значущості 0,95 за отриманими абсолютними значеннями всіх РКМ з ансамблів знову ж у всіх вузлах сітки;

4) для кожного вузла сітки отримані індивідуальні абсолютні значення та визначені зміни всіх РКМ в ансамблях усереднювали – отримували ансамблеве середнє для кожного з трьох прогнозних періодів;

5) з даних просторових розподілів приземної температури повітря 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-ти регіонів і всієї території країни.

## Результати

### Просторові розподіли сезонних та річних змін температури

Проведені розрахунки дозволили отримати просторові розподіли прогнозованих змін температури повітря для всіх трьох досліджуваних періодів, які у вигляді карт сезонних та річних значень представлено на рис. 1-3. З їх аналізу очевидно, що прогнозовані зміни матимуть просторові й часові відмінності.

Так, у найближчому майбутньому (рис. 1) порівняно з сучасним періодом прогнозуються сезонні зростання температури в межах від  $0,1$  до  $0,8^\circ\text{C}$ . Найнижчі прирости значень температури отримано для весняного сезону з мінімальними значеннями близько  $0,1^\circ\text{C}$  на заході та максимальними (до  $0,3^\circ\text{C}$ ) на півдні. Найбільше підвищення значень температури для цього періоду прогнозується в літній сезон ( $0,6 \div 0,8^\circ\text{C}$ ), з максимумами на сході та північному сході. Трохи нижчі, і відносно однорідні, прирости значень температури відмічатимуться восени ( $0,5 \div 0,7^\circ\text{C}$ ). У зимовий сезон очікується значна просторова неоднорідність зміни середніх температур: від мінімальних підвищень значень на  $0,2^\circ\text{C}$  (південний захід та захід) до максимальних ( $0,7^\circ\text{C}$ ) на сході, але на більшості території

середнє сезонне підвищення температур узимку становитиме  $0,3 \div 0,5^\circ\text{C}$ . Для річних змін приземної температури повітря характерний однорідніший просторовий розподіл, і їх значення майже на всій території країни в межах  $0,4 \div 0,5^\circ\text{C}$ .

Установлені для середини століття (рис. 2) середні сезонні зміни температур повітря також указують на їх зростання щодо сучасних значень. Діапазон приростів температури знаходиться в межах  $0,7 \div 1,9^\circ\text{C}$ . Особливістю цього періоду є максимальне підвищення температур у зимовий сезон, коли практично для 90 % території приріст середніх сезонних температур очікується в межах  $1,5 \div 1,9^\circ\text{C}$  з максимальними значеннями на півночі, північному сході й сході. Над незначними за площею регіонами на південному заході й півдні очікується підвищення зимових температур повітря лише в межах  $1,3 \div 1,4^\circ\text{C}$ . Літній сезон відзначається просторовою неоднорідністю змін температур, але для більшої частини території підвищення температури матиме значення в межах  $1,4 \div 1,7^\circ\text{C}$ . Максимальне підвищення очікується на півдні та сході, а найменші зміни для сезону ( $1,1 \div 1,2^\circ\text{C}$ ) – на південному заході.

Восени, як і для попереднього періоду, характерна більша просторова однорідність змін, а їх

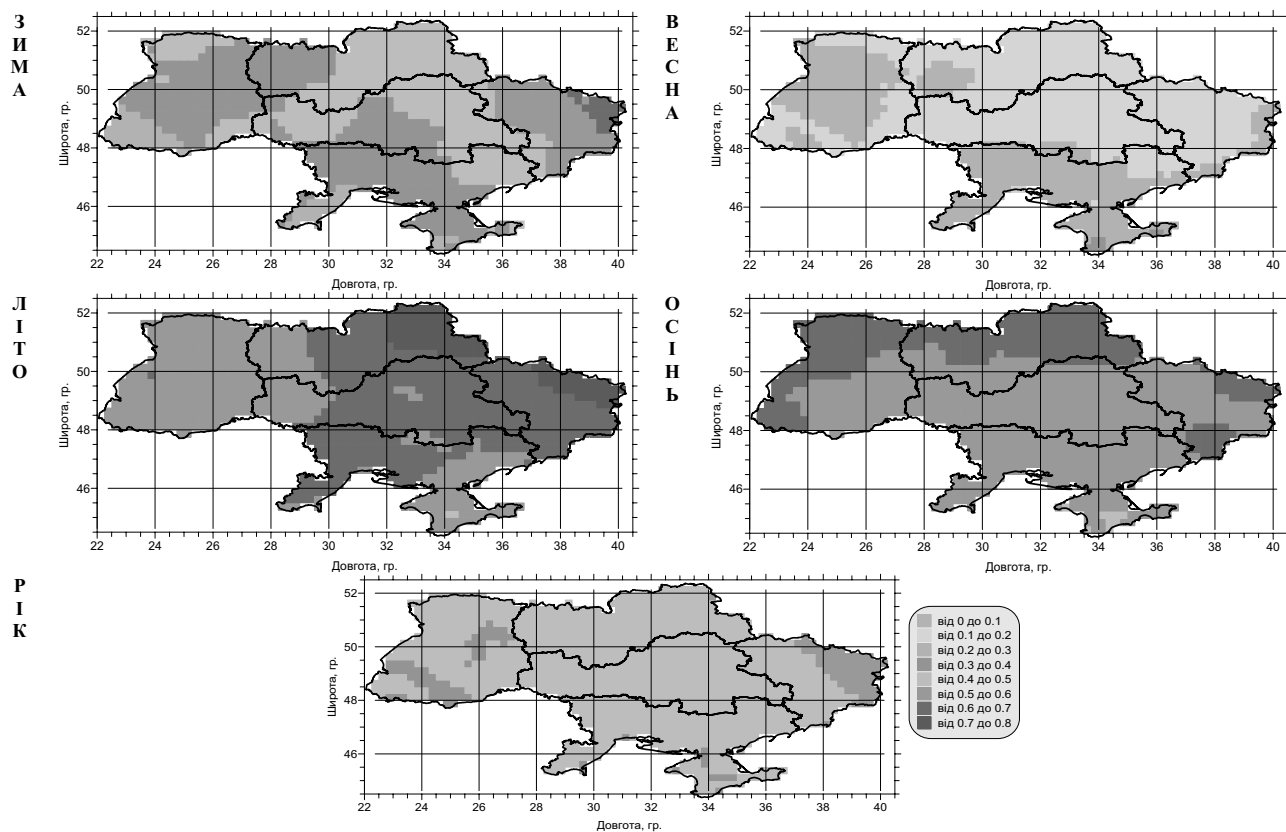


Рис. 1. Зміни температури повітря в 2011-2030 рр. щодо 1991-2010 рр.

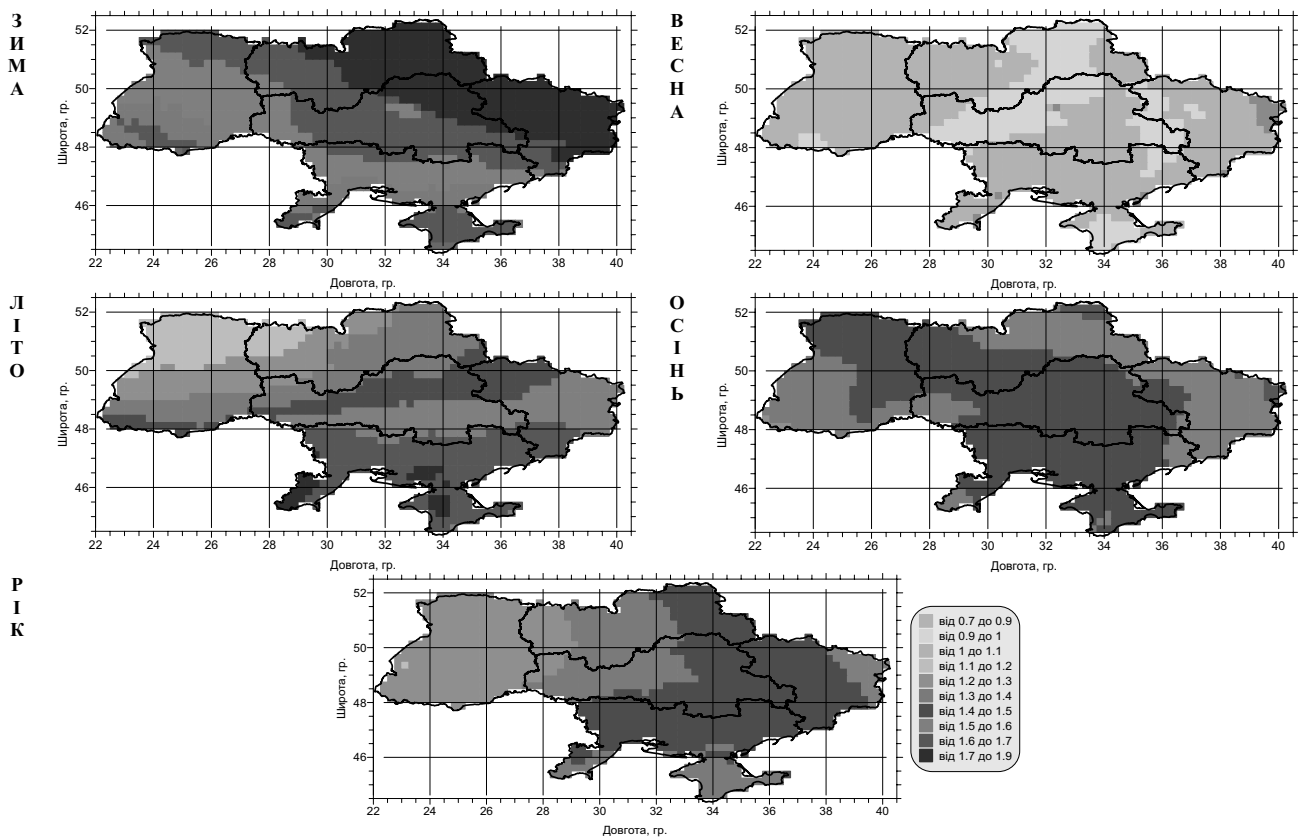


Рис. 2. Зміни температури повітря в 2031-2050 рр. щодо 1991-2010 рр.

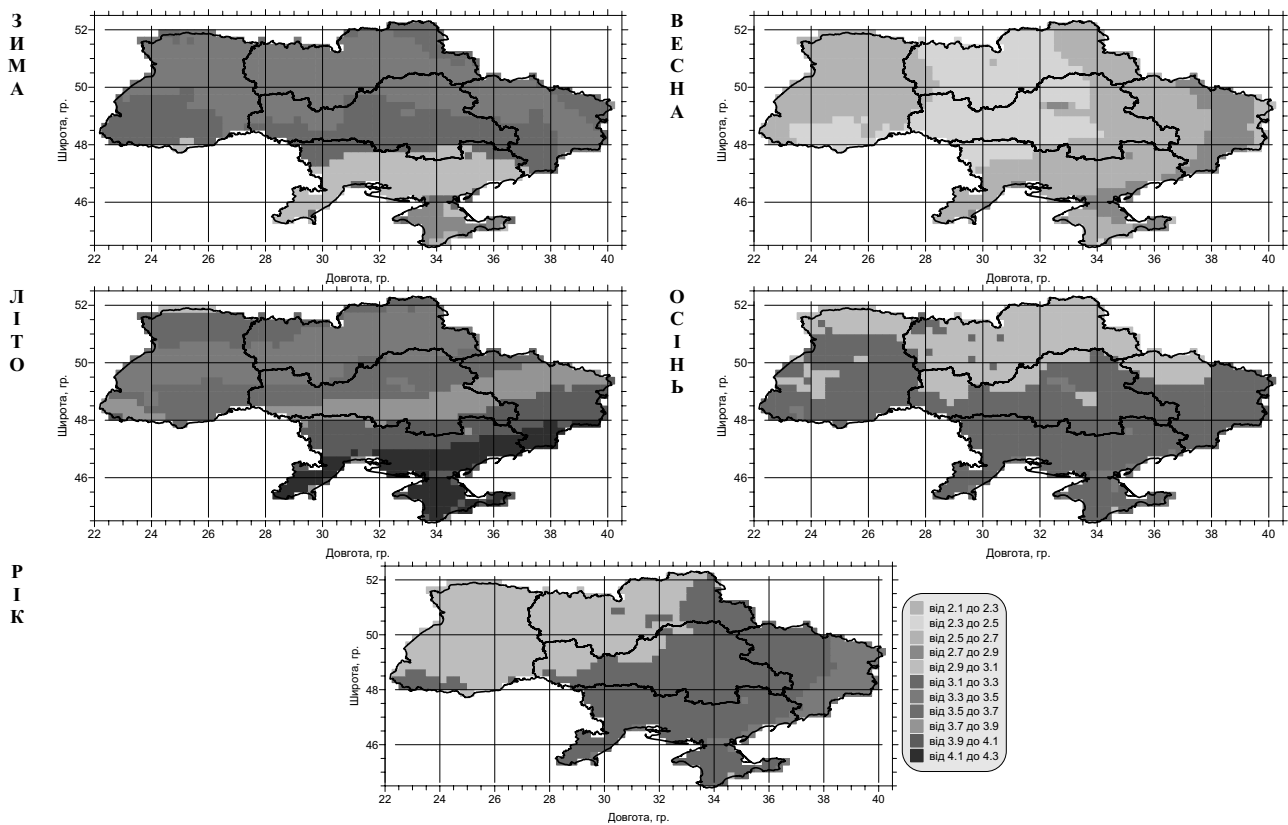


Рис. 3. Зміни температури повітря в 2081-2100 рр. щодо 1991-2010 рр.

значення становить для більшої частини території  $1,5 \div 1,6^\circ \text{C}$  з максимумами на півдні та південному сході. Навесні прогноуються найменші прирости значень температур, діапазон яких у межах  $0,7 \div 1,1^\circ \text{C}$ . Максимальне підвищення очікується на півдні та сході, а найменші прирости значень – на заході. Прогнозовані річні значення зміни температури до середини століття порівняно із сучасним періодом мають діапазон від  $1,2^\circ \text{C}$  на заході до  $1,6^\circ \text{C}$  на крайньому сході в Луганській області, що збігається з даними, наведеними в [1].

У віддаленій перспективі до кінця XXI ст. (рис. 3) підвищення сезонних температур повітря щодо сучасного періоду очікується в діапазоні від  $2,1$  до  $4,3^\circ \text{C}$ . Особливістю просторового розподілу цих змін є достатньо чітко виражена зональна закономірність, що проявляється в усі сезони, крім весняного, де просторовий розподіл змін температур скоріше азональний (меридіональний). Максимальні зміни значень температури повітря в цей період очікуються в літній сезон. Діапазон змін –  $3,1 \div 4,3^\circ \text{C}$ , від максимальних на півдні до найменших на півночі. У зимові сезони очікуються зміни в межах  $2,7 \div 3,7^\circ \text{C}$  і відзначаються вони зворотним щодо літнього широтним розподілом, коли максимальні підвищення очікуються на крайньому сході та півночі й зменшуватимуться прогнозовані зміни температури на південь. Найменші значення підвищення температур весною на заході ( $2,1^\circ \text{C}$ ) із збільшенням на схід до  $2,7^\circ \text{C}$ . До кінця століття прогнозується підвищення річних температур в Україні в межах від  $2,9^\circ \text{C}$  на заході та півночі до  $3,5^\circ \text{C}$  на крайньому сході держави.

#### Зміни середніх місячних температур у регіонах

У період найближчого майбутнього 2011–2030 рр. (рис. 4, 5, табл. 1) прогнозовані зміни термічного режиму мають тенденції як до потепління, так і до похолодання, яке найвірогідніше в березні (до  $-0,3^\circ \text{C} \pm 0,3^\circ \text{C}$  на сході) і не виключене в січні та лютому (до  $-0,5^\circ \text{C}$ , враховуючи довірчі інтервали). У квітні та травні зміни температури становлять  $0,3 \div 0,4^\circ \text{C} \pm 0,3 \div 0,4^\circ \text{C}$ , тобто можливий діапазон змін в Україні від  $-0,1^\circ \text{C}$  до  $0,8^\circ \text{C}$ . Починаючи з червня до кінця року прогнозується однозначне потепління, максимально в грудні на  $0,8 \div 1,3^\circ \text{C} \pm 0,4 \div 0,6^\circ \text{C}$ . Серед регіонів найбільші зміни як у бік потепління, так і похолодання має східний регіон практично у всі місяці, за винятком періоду серпень–жовтень, коли максимальне потепління прогнозується для західного регіону.

Найменші довірчі інтервали по всій території країни було отримано для серпня ( $\pm 0,1 \div 0,2^\circ \text{C}$ ), що свідчить про високу ступінь імовірності отриманих середніх значень застосованого ансамблю. Найбільші довірчі інтервали отримано для січня, липня, листопада та грудня, що свідчить про найбільшу неузгодженість проєкцій окремих моделей у ці місяці.

На рис. 5 наведено усереднені за площами (з табл. 1) та максимальні й мінімальні значення середніх місячних температур у кожному з регіонів та в Україні. Річні розподіли наочно ілюструють межі, в яких змінюються в регіонах наведені характеристики. Так найменше температури відрізняються між собою в північному та східному регіонах, де в цілому однорідніші природні умови. Натомість на заході та півдні країни розкид

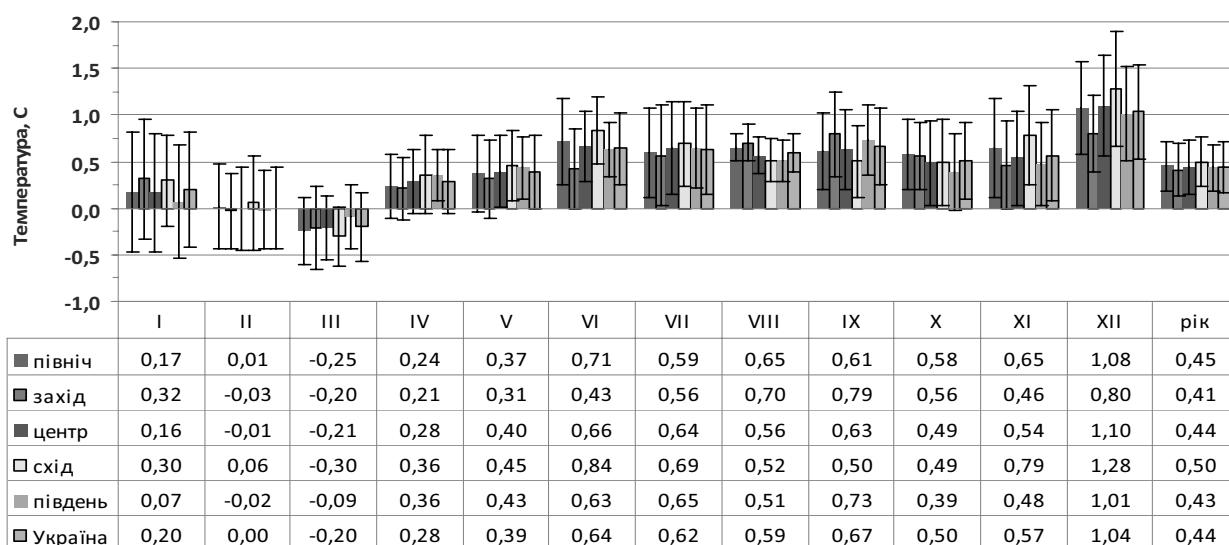


Рис. 4. Проєкція змін середніх місячних температур повітря по регіонах в 2011–2030 рр. щодо 1991–2010 рр. з довірчими інтервалами за ансамблем з 10 РКМ

Таблиця 1

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

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

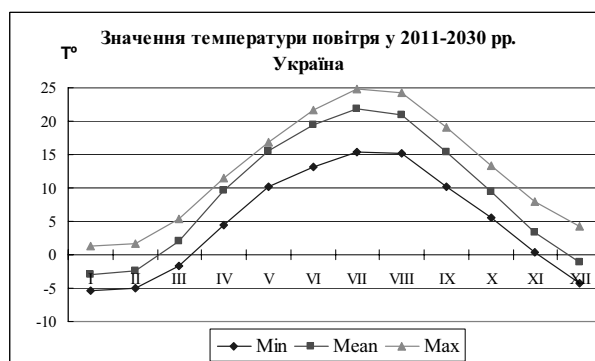
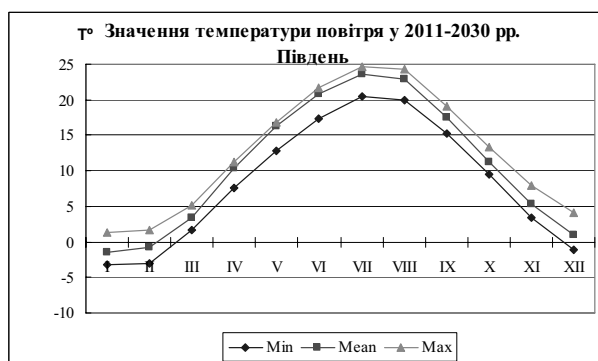
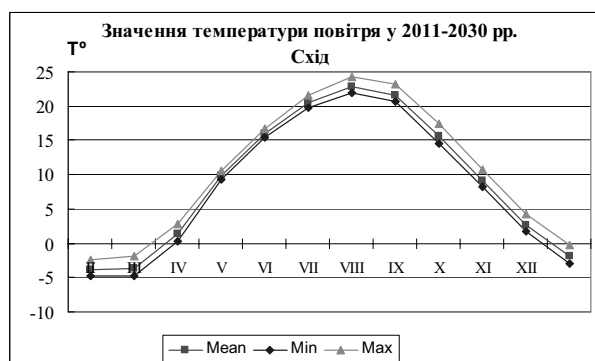
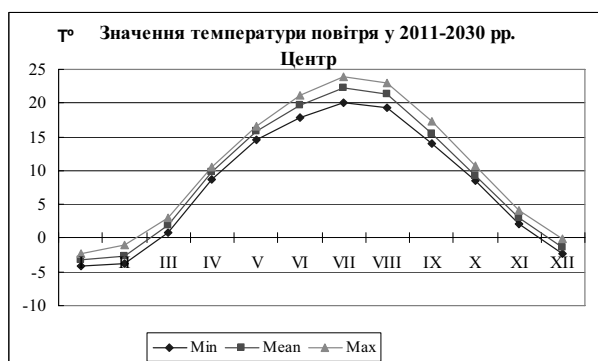
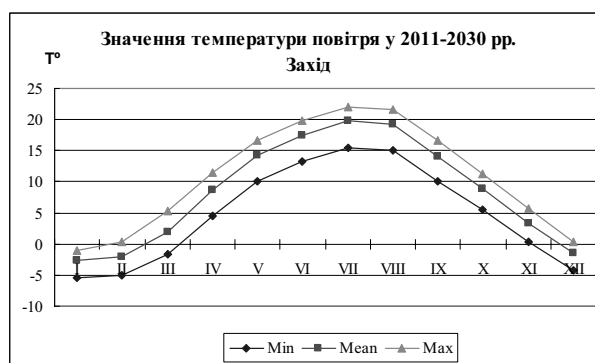
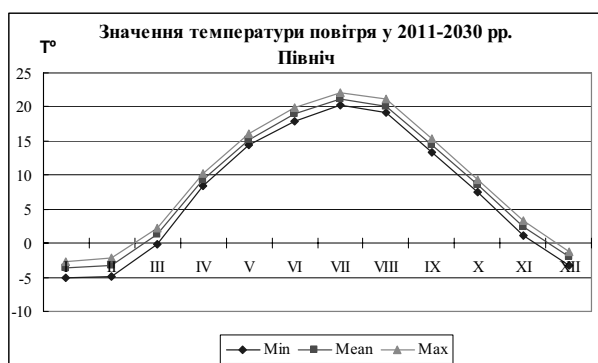


Рис. 5. Річний хід усередненої, максимальної та мінімальної температури повітря за площею регіонів та всієї території України для періоду 2011-2030 рр.

температур найбільший через наявність гірських масивів і, очевидно, що мінімальна температура на заході відповідає Карпатським, а на півдні – Кримським горам так само, як максимальна на заході – Закарпаттю.

Дослідження річного ходу температури повітря на основі середньомісячних прогностичних значень для періоду 2011-2030 рр. вказує на збереження стандартного для континентальних регіонів помірних широт характеру розподілу – з мінімальними значеннями в січні і максимальними в липні для всіх регіонів. Амплітуди річного ходу змінюються від максимальних 26,8° С

на сході до мінімальних 22,5° С на заході, що відповідає наростанню континентальності клімату із заходу (північного заходу) на схід (південний схід). Виявлено, що річна амплітуда для півдня становить 25,1° С, тоді як для північного регіону – 24,8° С.

Проекції змін температури повітря до середини ХХІ ст. (2031-2050 рр.) також указують на однозначне потепління в усі місяці року щодо сучасних значень (рис. 6, 7, табл. 2). 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

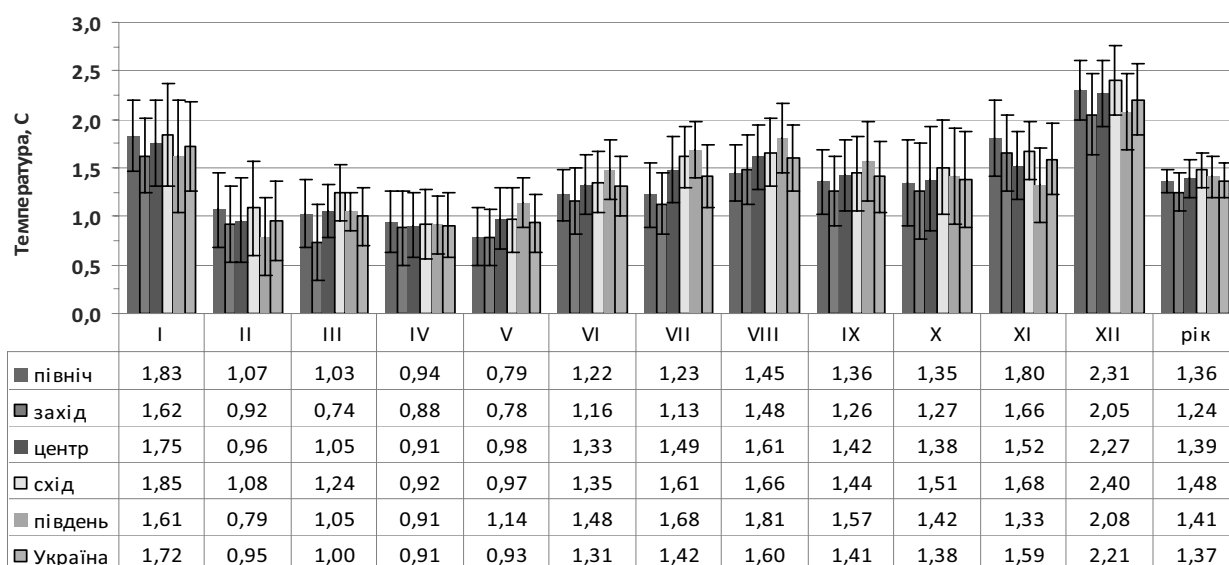


Рис. 6. Проекція змін середніх місячних температур повітря по регіонах в 2031-2050 рр. щодо 1991-2010 рр. з довірчими інтервалами за ансамблем з 10 РКМ

Таблиця 2

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 <i>0,4</i>	-2,1 <i>0,4</i>	2,5 <i>0,3</i>	10,0 <i>0,3</i>	15,6 <i>0,3</i>	19,5 <i>0,3</i>	21,8 <i>0,3</i>	21,0 <i>0,3</i>	15,2 <i>0,3</i>	9,3 <i>0,4</i>	3,6 <i>0,4</i>	-0,8 <i>0,3</i>	9,5 <i>0,1</i>
Захід	-1,4 <i>0,4</i>	-1,0 <i>0,4</i>	2,8 <i>0,4</i>	9,4 <i>0,4</i>	14,8 <i>0,3</i>	18,2 <i>0,3</i>	20,4 <i>0,3</i>	19,9 <i>0,4</i>	14,5 <i>0,4</i>	9,5 <i>0,5</i>	4,5 <i>0,4</i>	-0,3 <i>0,4</i>	9,3 <i>0,2</i>
Центр	-1,7 <i>0,4</i>	-1,8 <i>0,4</i>	3,1 <i>0,3</i>	10,5 <i>0,3</i>	16,4 <i>0,3</i>	20,4 <i>0,3</i>	23,1 <i>0,3</i>	22,3 <i>0,3</i>	16,3 <i>0,4</i>	10,2 <i>0,5</i>	4,0 <i>0,4</i>	-0,3 <i>0,3</i>	10,2 <i>0,2</i>
Схід	-2,3 <i>0,5</i>	-2,6 <i>0,5</i>	2,8 <i>0,3</i>	10,5 <i>0,4</i>	16,4 <i>0,3</i>	21,0 <i>0,3</i>	23,8 <i>0,3</i>	22,8 <i>0,3</i>	16,6 <i>0,4</i>	10,2 <i>0,5</i>	3,6 <i>0,3</i>	-0,7 <i>0,4</i>	10,2 <i>0,2</i>
Південь	0,1 <i>0,6</i>	0,1 <i>0,4</i>	4,6 <i>0,2</i>	10,8 <i>0,3</i>	17,0 <i>0,3</i>	21,7 <i>0,3</i>	24,7 <i>0,3</i>	24,2 <i>0,4</i>	18,3 <i>0,4</i>	12,3 <i>0,5</i>	6,2 <i>0,4</i>	2,0 <i>0,4</i>	11,8 <i>0,2</i>
Україна	-1,4 <i>0,5</i>	-1,4 <i>0,4</i>	3,2 <i>0,3</i>	10,2 <i>0,3</i>	16,0 <i>0,3</i>	20,1 <i>0,3</i>	22,7 <i>0,3</i>	22,0 <i>0,3</i>	16,1 <i>0,4</i>	10,3 <i>0,5</i>	4,4 <i>0,4</i>	0,0 <i>0,4</i>	10,2 <i>0,2</i>

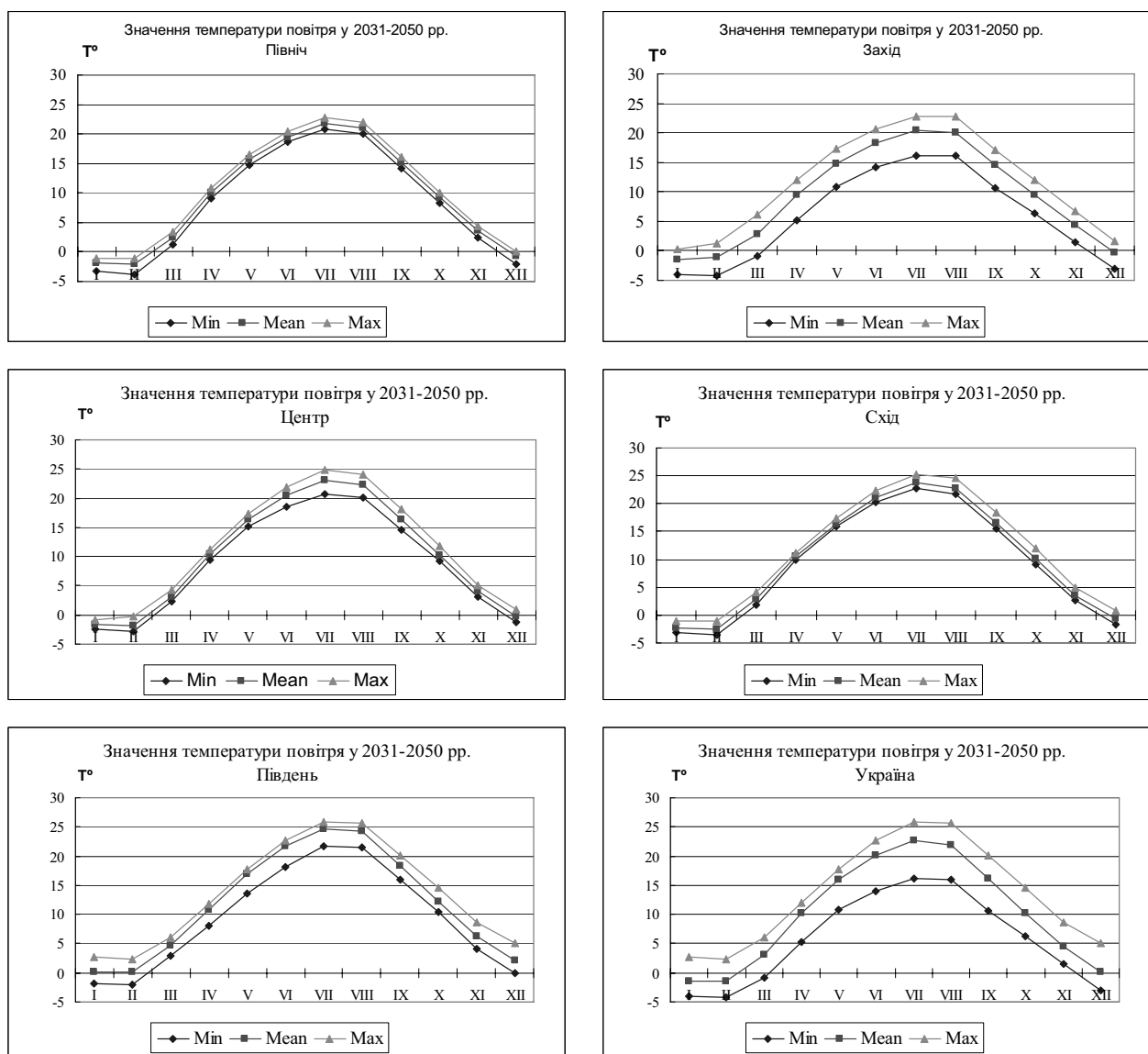


Рис. 7. Річний хід усередненої, максимальної та мінімальної температур повітря за площею регіонів та всієї території України для періоду 2031-2050 рр.

значне потепління ( $+1,7^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ ). Тому холодний період, зокрема, зимові місяці, стануть значно теплішими. Найменшими очікуються зміни навесні ( $0,7 \div 1,1^{\circ}\text{C} \pm 0,4 \div 0,5^{\circ}\text{C}$ ). Максимальне підвищення очікується на півдні та сході, а найменші прирости значень – на заході. Улітку та восени теплішати буде приблизно однаково з максимумом у серпні. А в холодний період року буде більше теплішати на півночі та сході, у теплий – на півдні й сході країни.

Найбільші довірчі інтервали ( $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ ) отримано для січня та жовтня, найменші (висока міжмодельна узгодженість)  $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$  – для річних значень.

До середини XXI ст. в основному зберігається стандартний річний розподіл температури повітря (рис. 7, табл. 2), але відмічається змиснення

зимового мінімуму на лютий (за винятком західного регіону). На півдні ж упродовж усього року середньомісячні температури додатні, що вказує на суттєве зменшення тривалості зимового термічного (кліматичного) сезону в цьому регіоні. Амплітуди річного ходу для всіх регіонів дещо знижуються, що свідчить про можливе зменшення континентальності клімату в Україні в цей період.

Такі зміни можуть вплинути на різні аспекти біосферного балансу і їх необхідно враховувати в довготривалому плануванні аграрної та енергетичної галузей, туризму та інших секторів економіки. Просторові закономірності змін зберігаються, найвищі значення річних амплітуд на сході –  $26,4^{\circ}\text{C}$ , а найменші на заході –  $21,8^{\circ}\text{C}$ .

На кінець XXI ст. в Україні прогнозується



підвищення річної температури в середньому на  $+3,2^{\circ}\text{C} \pm 0,6^{\circ}\text{C}$  щодо сучасного періоду (рис. 8, 9, табл. 3). Максимальні потепління очікуються в південному регіоні влітку (у липні на  $+4,3^{\circ}\text{C} \pm 0,6^{\circ}\text{C}$ , коли середня місячна температура сягне  $27,4^{\circ}\text{C}$ ) та в північному регіоні взимку (у грудні на  $+4,1^{\circ}\text{C} \pm 0,6^{\circ}\text{C}$ ), мінімальні потепління – у перехідні сезони в квітні-травні 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 в усіх регіонах та в грудні на сході ( $\pm 0,9^{\circ}\text{C}$ ).

У 2081–2100 рр. також очікується збереження стандартного річного ходу температури повітря з мінімальними значеннями в січні та максимальними в липні (рис. 9), але різниці середніх температур січня і лютого стають удвічі меншими за період 2011–2030 рр. (за винятком західного регіону).

На півдні та заході очікуються додатні середньомісячні температури повітря впродовж усього

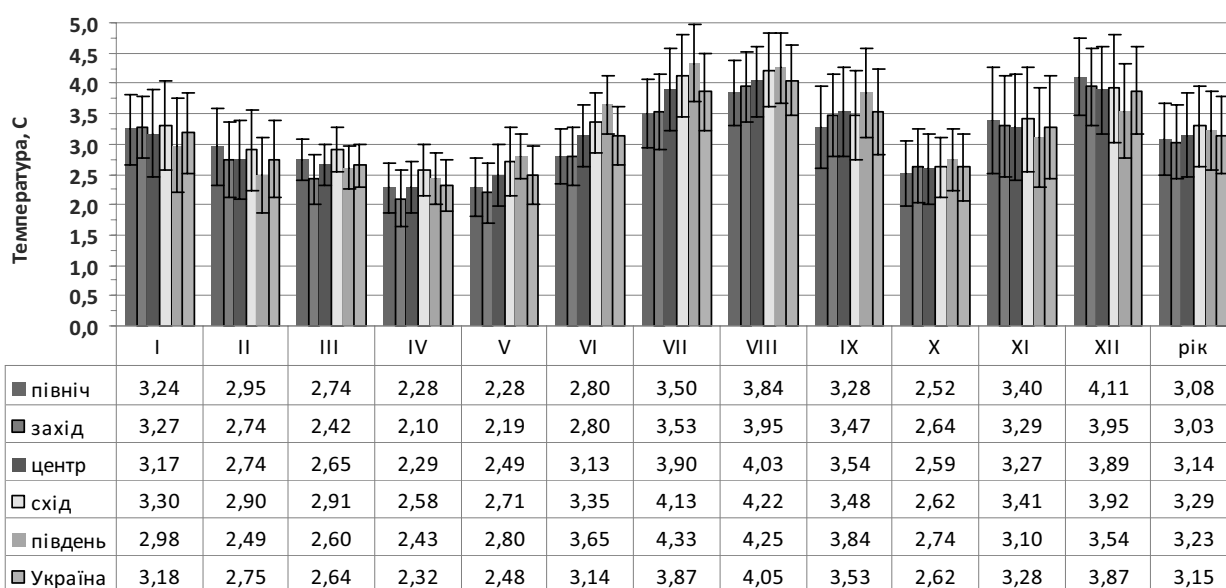


Рис. 8. Проекція змін середніх місячних температур повітря по регіонах в 2081–2100 рр. щодо 1991–2010 рр. з довірчими інтервалами за ансамблем з 10 РКМ

Таблиця 3

Середні місячні температури повітря (верхній рядок) та їх довірчі інтервали (курсив) 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	<u>-0,5</u> <i>0,6</i>	<u>-0,2</u> <i>0,6</i>	<u>4,2</u> <i>0,3</i>	<u>11,4</u> <i>0,4</i>	<u>17,1</u> <i>0,5</i>	<u>21,1</u> <i>0,4</i>	<u>24,1</u> <i>0,6</i>	<u>23,4</u> <i>0,5</i>	<u>17,1</u> <i>0,7</i>	<u>10,5</u> <i>0,5</i>	<u>5,2</u> <i>0,9</i>	<u>1,0</u> <i>0,6</i>	<u>11,2</u> <i>0,6</i>
Захід	<u>0,2</u> <i>0,5</i>	<u>0,8</u> <i>0,6</i>	<u>4,5</u> <i>0,4</i>	<u>10,7</u> <i>0,5</i>	<u>16,2</u> <i>0,5</i>	<u>19,9</u> <i>0,5</i>	<u>22,8</u> <i>0,6</i>	<u>22,4</u> <i>0,6</i>	<u>16,7</u> <i>0,7</i>	<u>10,9</u> <i>0,6</i>	<u>6,1</u> <i>0,8</i>	<u>1,6</u> <i>0,6</i>	<u>11,1</u> <i>0,6</i>
Центр	<u>-0,3</u> <i>0,7</i>	<u>0,0</u> <i>0,6</i>	<u>4,7</u> <i>0,3</i>	<u>11,9</u> <i>0,4</i>	<u>17,9</u> <i>0,5</i>	<u>22,2</u> <i>0,5</i>	<u>25,5</u> <i>0,7</i>	<u>24,7</u> <i>0,6</i>	<u>18,4</u> <i>0,7</i>	<u>11,4</u> <i>0,6</i>	<u>5,8</u> <i>0,9</i>	<u>1,4</u> <i>0,7</i>	<u>12,0</u> <i>0,7</i>
Схід	<u>-0,9</u> <i>0,7</i>	<u>-0,8</u> <i>0,7</i>	<u>4,5</u> <i>0,4</i>	<u>12,1</u> <i>0,4</i>	<u>18,2</u> <i>0,6</i>	<u>23,0</u> <i>0,5</i>	<u>26,3</u> <i>0,7</i>	<u>25,3</u> <i>0,6</i>	<u>18,6</u> <i>0,7</i>	<u>11,3</u> <i>0,5</i>	<u>5,3</u> <i>0,9</i>	<u>0,8</u> <i>0,9</i>	<u>12,0</u> <i>0,7</i>
Південь	<u>1,5</u> <i>0,8</i>	<u>1,8</u> <i>0,6</i>	<u>6,2</u> <i>0,4</i>	<u>12,4</u> <i>0,4</i>	<u>18,6</u> <i>0,4</i>	<u>23,9</u> <i>0,5</i>	<u>27,4</u> <i>0,6</i>	<u>26,6</u> <i>0,6</i>	<u>20,6</u> <i>0,7</i>	<u>13,6</u> <i>0,5</i>	<u>8,0</u> <i>0,8</i>	<u>3,5</u> <i>0,8</i>	<u>13,7</u> <i>0,6</i>
Україна	<u>0,1</u> <i>0,7</i>	<u>0,4</u> <i>0,6</i>	<u>4,8</u> <i>0,4</i>	<u>11,6</u> <i>0,4</i>	<u>17,6</u> <i>0,5</i>	<u>21,9</u> <i>0,5</i>	<u>25,1</u> <i>0,6</i>	<u>24,4</u> <i>0,6</i>	<u>18,3</u> <i>0,7</i>	<u>11,6</u> <i>0,5</i>	<u>6,1</u> <i>0,9</i>	<u>1,7</u> <i>0,7</i>	<u>12,0</u> <i>0,6</i>

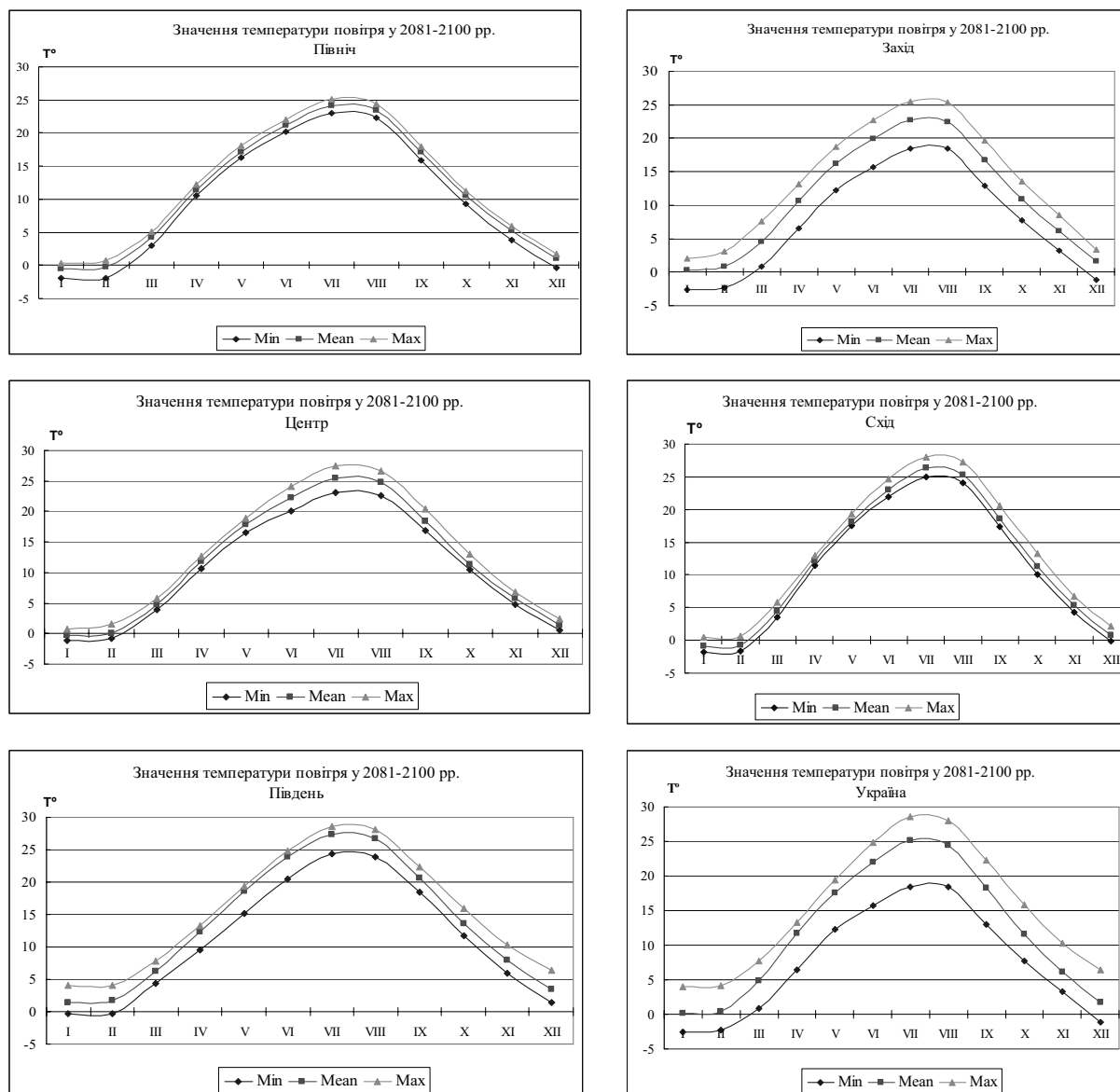


Рис. 9. Річний хід усередненої, максимальної та мінімальної температур повітря за площею регіонів та всієї території України для періоду 2081-2100 рр.

року, що підвищує ймовірність та збільшує площу регіонів, де можливим є скорочення тривалості зимового термічного сезону. Найбільший розмах температури за площею (аналогічно до попередніх періодів) у західному регіоні, а найменші відмінності – у північному та східному регіонах. Амплітуди річного ходу температури повітря в цей період дещо збільшаться (на  $0,1 \div 0,8^{\circ}\text{C}$ ) навіть щодо періоду 2011-2030 рр., але просторові закономірності розподілу річних амплітуд залишаться незмінними.

**Висновки**

За оптимальним ансамблем з 10-ти РКМ європейського проекту ENSEMBLES отрима-

но значення та зміни щодо сучасного періоду 1991-2010 рр. середніх місячної, сезонної та річної температури повітря для трьох періодів: найближчого майбутнього 2011-2030 рр., середини століття 2031-2050 рр. та найвіддаленішої перспективи 2081-2100 рр. Розрахунки проводилися для всіх вузлів розрахункової сітки РКМ на території країни (близько 1200 вузлів) та усереднювалися для 5 регіонів, виділених за подібністю фізико-географічних умов, однотипністю прояву кліматоутворювальних чинників, відносною однорідністю полів кліматичних характеристик та адміністративно-територіальним поділом держави, що важливо саме для планування та розробки заходів адаптації до змін клімату в регіонах.

Також розраховано довірчі інтервали отриманих значень за рівня значущості 0,95.

Отримані ансамблеві результати моделювання показують, що очікується підвищення температури повітря протягом усього століття щодо сучасного періоду. Так, середньорічна температура для всієї території України збереже тенденцію до підвищення і змінюватиметься від  $9,3^{\circ}\text{C} \pm 0,3^{\circ}\text{C}$  (2011-2030 рр.),  $10,2^{\circ}\text{C} \pm 0,2^{\circ}\text{C}$  (2031-2050 рр.) до  $12,0^{\circ}\text{C} \pm 0,6^{\circ}\text{C}$  (2081-2100 рр.).

Підвищуватимуться також і середні сезонні значення температури повітря: у найближчому майбутньому найсуттєвіше збільшення значень прогнозується в літній сезон на сході та північному сході України. Для середини століття максимальні підвищення температури очікуються в зимовий сезон на більшій частині території. У віддаленій перспективі – максимумами температур знову прогноуються влітку для півдня та південного сходу. Зональна закономірність змін температури в основні термічні сезони може вказувати на зниження в цей період інтенсивності циркуляції та зменшення її ролі у формуванні термічного режиму.

Дослідження річного ходу температури повітря на основі середньомісячних прогностичних значень указує на збереження стандартного для континентальних регіонів помірних широт характеру розподілу для всіх досліджуваних періодів. Деякі зміни можливі в середині століття, коли завдяки максимальним підвищенням температури в січні відбудеться зміщення мінімумів на лютий. Тенденція до підвищення температур, починаючи з середини століття, призведе до появи регіонів, де середньомісячні температури впродовж року будуть додатними, а значить зимові термічні сезони тут суттєво скоротяться або зникнуть.

\* \*

1. Краковська С.В. Чисельні проєкції кліматичних змін в Луганській області до 2050 р. // *Наук. пр. УкрНДГМІ.* – 2011. – № 261. – С. 37-55.
2. Краковська С.В., Білозерова А.К., Паламарчук Л.В. Проєкції регіональних кліматичних характеристик у XXI ст. за даними моделювання (на прикладі Одеської області) // *Фізична географія та геоморфологія.* *Наук. зб. / Київський нац. ун-т ім. Т.Г.Шевченка.* – 2015. – №2(78). – С. 129-136.
3. Краковська С.В., Гнатюк Н.В., Шпиталь Т.М. Можливі сценарії кліматичних умов у Тернопільській області впродовж XXI ст. // *Наук. записки Тернопільського нац. пед. ун-ту ім. Володимира Гнатюка. Серія Географія.* – 2014. – Вип. №1. – С. 55-67.
4. Краковська С.В., Паламарчук Л.В., Шедєменко 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. пр. УкрНДГМІ.* – 2008. – № 257. – С. 42-60.

5. Краковська С.В., Паламарчук Л.В., Шедєменко І.П., Дюкель Г.О., Гнатюк Н.В. Моделі загальної циркуляції атмосфери та океанів у прогнозуванні змін регіонального клімату України в XXI ст. // *Геофизический журнал.* – 2011. – № 6, Т. 33. – С. 68-81.
6. Кричак С.О. Региональное моделирование современного климата европейской территории России с помощью модели RegCM3 // *Метеорология и гидрология.* – 2008. – № 1. – С. 31-41.
7. Шедєменко 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. пр. УкрНДГМІ.* – 2012. – № 262. – С. 71-90.
8. Déqué, M., Somot, S., Sanchez-Gomez, E., Goodess, C.M., Jacob, D., Lenderink, G., Christensen, O.B. The spread amongst ENSEMBLES regional scenarios: regional climate models, driving general circulation models and interannual variability // *Climate Dynamics.* – 2012. – Т. 38. – №. 5-6. – С. 951-964.
9. Gnatiuk, N., S. Krakovska, L. Palamarchuk, A. Bilozeroва. Climate change projections for Ukraine in the 21<sup>st</sup> century based on the best RCM ensembles // *Geophysical Research Abstracts.* – 2013. – Vol. 15. – EGU2013-889-1.
10. 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.
11. IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.
12. Krakovska S., Gnatiuk N., Shpytal T., Shedemenko I. Methodology of the best RCMs ensemble selection applied for Ukraine // *Proc. of the International Conference on Regional Climate CORDEX (Brussels, Belgium).* – 2013.
13. Räisänen, J., & Rätty, O. Projections of daily mean temperature variability in the future: cross-validation tests with ENSEMBLES regional climate simulations // *Climate dynamics.* – 2013. – Т. 41. – № 5-6. – С. 1553-1568.
14. Storey K.B., Tanino K.K. Temperature adaptation in a changing climate: nature at risk – CABi, 2012. – Т. 3.
15. Van der Linden P., Mitchell J.F.B. ENSEMBLES: Climate Change and its Impacts: Summary of research and results from the ENSEMBLES project // *Met Office Hadley Centre, FitzRoy Road, Exeter EX1 3PB, UK.* – 2009. – Т. 160.

*Український гідрометеорологічний інститут, Київ*

С.В. Краковская, Н.В. Гнатюк, Т.Н. Шпиталь, Л.В. Паламарчук

S.V. Krakovska, N.V. Gnatiuk, T.M. Shpytal, L.V. Palamarchuk

**Проекция изменений приземной температуры воздуха по данным ансамбля региональных климатических моделей в регионах Украины в XXI веке**

**Projections of surface air temperature changes based on data of regional climate models' ensemble in the regions of Ukraine in the 21st century**

*Приведены и проанализированы проекции изменений, абсолютные значения и доверительные интервалы средних месячных, сезонных и годовых температур воздуха для трех 20-летних периодов в XXI в. для всей территории Украины и отдельно для 5-ти выделенных регионов. Все характеристики рассчитаны по определенному оптимальному ансамблю из 10 региональных климатических моделей европейского проекта ENSEMBLES, сценарий A1B по номенклатуре IPCC.*

*Projection, confidence intervals of mean monthly, seasonal and annual surface air temperatures (changes and absolute values) are presented and analyzed for three 20-year periods in the 21st century for the whole territory of Ukraine and separately for five selected regions. All characteristics are calculated on the determined optimal ensemble of 10 regional climate models from European FP-6 project ENSEMBLES designed for IPCC scenario A1B.*

**Ключевые слова:** приземная температура воздуха, ансамблевое моделирование, изменения климата, региональные климатические модели, ENSEMBLES.

**Keywords:** surface air temperature, ensemble modeling, climate change, regional climate models, ENSEMBLES.

УДК 551.515:551.58

**Ю.О. Базалєва, В.О. Балабух**

## **ПОВТОРЮВАНІСТЬ, ТРИВАЛІСТЬ ТА ІНТЕНСИВНІСТЬ БЛОКУВАЛЬНИХ ПРОЦЕСІВ, ЩО ЗУМОВЛЮЮТЬ АНОМАЛЬНІ ПОГОДНІ УМОВИ В УКРАЇНІ**

Досліджено повторюваність, тривалість та інтенсивність блокувань західного перенесення повітряних мас у тропосфері, що зумовлювали аномальні погодні умови в Україні в період з 1979 по 2013 рр. Наведено характерні риси цих процесів, їх зміну протягом останніх десятиліть, значущість, достовірність, частку невизначеності цих змін та їхні особливості щодо блокувальних процесів, які спостерігали в Євроатлантичному секторі північної півкулі.

**Ключові слова:** циркуляція атмосфери, блокувальні процеси, аномальні погодні умови, зміни клімату.

### **Вступ**

Дослідження механізмів формування та зміни аномальної циркуляції атмосфери та їхніх наслідків є одним із найактуальніших і складних завдань сучасної синоптичної та динамічної метеорології. Серед цих процесів особливе місце посідає блокування західного перенесення повітряних мас у тропосфері, що належить до основних форм меридіональної циркуляції атмосфери, зберігається тривалий час і зумовлює великі аномалії метеорологічних величин та значну кількість небезпечних і стихійних явищ погоди (тривалі періоди з високою та низькою температурою повітря, з дощем та посухою, сильні вітри, хуртовини тощо). Протягом останніх десятиріч

у позатропічних широтах північної півкулі відмічено тенденцію до збільшення загальної кількості та тривалості блокувальних процесів, що пов'язано з глобальним потеплінням клімату [1]. Такі зміни зумовили збільшення кількості небезпечних явищ погоди та аномалій метеорологічних характеристик у багатьох регіонах планети. У зв'язку з чим блокування західного перенесення повітряних мас, їхніх регіональних особливостей та наслідків є актуальним завданням як для розуміння процесів, що спостерігаються в кліматичній системі, так і для їх прогнозування з різною завчасністю.

**Мета** цієї роботи — дослідити повторюваність, тривалість та інтенсивність блокувальних проце-