

Міністерство освіти і науки України
Київський національний університет імені Тараса Шевченка
Географічний факультет
Кафедра метеорології та кліматології

На правах рукопису

УДК 551.58

**Просторовий розподіл та річний хід мінімальної температури повітря на
території України**

Галузь знань 10	Природничі науки
Спеціальність 103	Науки про Землю
Освітня програма	Метеорологія

Кваліфікаційна робота магістра
студента 2 курсу
освітнього рівня магістр
Зозулі Олександра Федоровича

Науковий керівник:
канд.геогр.н.
Шпиг Віталій Михайлович

Допустити до захисту:
Завідувач кафедри метеорології та кліматології, проф.Сергій СНІЖКО
«__»_____ 2025 р.

Київ – 2025

РЕФЕРАТ

Магістерська робота: 72 с, 36 рис., 38 джерел.

Об'єкт дослідження – мінімальна температура повітря на території України. *Метою роботи* є аналіз розподілу мінімальної температури повітря на території України та оцінка змін, які відбулися у період глобального потепління, на основі даних E-OBS Центру даних Європейського проекту з оцінки клімату та набору даних.

Методи досліджень – узагальнення та статистичний аналіз мінімальної за добу температури повітря. Розрахунки здійснювалися із використання спеціального програмного забезпечення на основі програмного пакету CDO та мови програмування Fortran. Візуалізація здійснювалася за допомогою програмного забезпечення Raporly.

Було розраховано значення середніх місячних мінімальних температур (середні мінімуми) повітря, середніх із абсолютних максимумів та мінімумів (середні абсолютні мінімуми) мінімальної температури повітря для всіх місяців року для двох кліматичних норм (1961-1990 рр. та 1991-2020 рр.).

Показано, що на території України значення середніх місячних мінімальних температур, середніх із абсолютних максимумів та мінімумів мінімальної температури повітря найменшими є у січні і найбільшими у липні. Встановлено, що найбільше зростання середніх мінімумів відбулося у зимові місяці із максимумом у січні. Найбільшим воно було на півночі України. Показано, що на значній частині території України у літні місяці мало місце збільшення величини середніх абсолютних максимальних значень мінімальної температури повітря та середніх абсолютних мінімумів.

МІНІМАЛЬНА ТЕМПЕРАТУРА ПОВІТРЯ, E-OBS, ЗМІНА КЛІМАТУ,
УКРАЇНА

ABSTRACT

Master's Thesis: 72 p., 36 fig., 38 references.

Object of research is the minimum air temperature in the territory of Ukraine. *The aim of the work* is analysis of the distribution of the minimum air temperature in the territory of Ukraine and the estimation of the changes that occurred during the global warming period, based on the E-OBS data of the European Climate Assessment & Dataset.

Research methods are generalization and statistical analysis of the minimum air temperature. Calculations were carried out using special software based on the CDO Software package and the Fortran programming language. Visualization was carried out using the Panoply Software.

The values of the average monthly minimum air temperatures (average minimums), the average of the absolute maximums and minimums (average absolute minimums) of the minimum air temperatures for all months for two climate norms (1961-1990 and 1991-2020) were calculated.

It is shown that in the territory of Ukraine the values of average monthly minimum temperatures, average absolute maximum and minimum of minimum air temperature are the lowest in January and the highest in July. It is established that the greatest increase in average minimum occurred in the winter months with a maximum in January. It was the greatest in the north of Ukraine. It is shown that in a significant part of the territory of Ukraine in the summer months the value of average absolute maximum values of minimum air temperature and average absolute minimum increases.

MINIMUM AIR TEMPERATURE, E-OBS, CLIMATE CHANGE,
UKRAINE

ЗМІСТ

ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1 КЛІМАТОЛОГІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЩОДО МІНІМАЛЬНОЇ ТЕМПЕРАТУРИ ПОВІТРЯ В УКРАЇНІ ТА СВІТІ	8
1.1 Дослідження часових змін	8
1.2 Гомогенізація, грідінг та кліматичні проєкції.....	15
1.3 Прикладні аспекти	18
РОЗДІЛ 2 МЕТОДИ ТА МАТЕРІАЛИ ДОСЛІДЖЕННЯ	19
2.1 Дані E-Obs. Їх обробка та аналіз	19
2.2 Описові кліматологічні статистики.....	19
РОЗДІЛ 3. ПРОСТОРОВО-ЧАСОВИЙ РОЗПОДІЛ МІНІМАЛЬНОЇ ТЕМПЕРАТУРИ ПОВІТРЯ НА ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ ТА ЙОГО ЗМІНИ	21
3.1 Середні місячні мінімальні температури повітря взимку	21
3.2 Середні місячні мінімальні температури повітря навесні	25
3.3 Середні місячні мінімальні температури повітря влітку	29
3.4 Середні місячні мінімальні температури повітря восени	33
РОЗДІЛ 4. ПРОСТОРОВО-ЧАСОВИЙ РОЗПОДІЛ ОСЕРЕДНЕНИХ ЕКСТРЕМАЛЬНИХ ЗНАЧЕНЬ МІНІМАЛЬНОЇ ТЕМПЕРАТУРИ ПОВІТРЯ НА ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ ТА ЇХ ЗМІНИ	37
4.1 Середні із абсолютних максимумів та мінімумів мінімальної температури повітря взимку	37
4.2 Середні із абсолютних максимумів та мінімумів мінімальної температури повітря навесні	44

4.3 Середні із абсолютних максимумів та мінімумів мінімальної температури повітря влітку	51
4.4 Середні із абсолютних максимумів та мінімумів мінімальної температури повітря восени	58
ВИСНОВКИ	65
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	67

ВСТУП

Актуальність теми. Мінімальна температура повітря є одним із основних кліматичних показників температурного режиму. Її просторово-часовий розподіл залежить від радіаційного режиму, фізико-географічних та мікрокліматичних особливостей території, сезонних коливань циркуляції атмосфери тощо. Вона характеризує температурний режим навколишнього середовища. Зміни клімату та необхідність їх дослідження спонукали вчених в Україні та закордонном насамперед вивчати зміни середніх багаторічних, середніх місячних та середніх добових значень температури повітря у приземному шарі та атмосферних опадів. Також було розроблено спеціальні індекси, які дозволяють краще описувати термічний режим. Так, наприклад, для мінімальної температури повітря ідентифікація екстремально високої мінімальної добової температура повітря здійснюється за допомогою індекса «тропічні ночі», коли мінімальна температура повітря перевищує 20°C. Також відносно нещодавно активно розпочалися дослідження змін її значень на великих територіях.

Метою роботи є аналіз розподілу мінімальної температури повітря на території України та оцінка змін, які відбулися у період глобального потепління.

Завдання дослідження:

1. Провести обробку даних щодо добової мінімальної температури повітря (*анг.* E-OBS) Центру даних Європейського проекту з оцінки клімату та набору даних (*анг.* European Climate Assessment and Dataset project / ECAD).
2. Обчислити середню місячну мінімальну температуру повітря для кожного місяця року для двох кліматичних норм (1961-1990 рр. та 1991-2020 рр.).

3. Знайти у рядах даних найбільші (максимальні) значення мінімальної температури повітря для кожного вузла регулярної сітки для кожного місяця року для двох кліматичних норм (1961-1990 рр. та 1991-2020 рр.).
4. Знайти у рядах даних найменші (мінімальні) значення мінімальної температури повітря для кожного вузла регулярної сітки для кожного місяця року для двох кліматичних норм (1961-1990 рр. та 1991-2020 рр.).
5. Встановити особливості просторового розподілу мінімальної температури повітря, річного ходу та оцінити зміни, які відбулися у період глобального потепління на території України.

Об'єкт дослідження – мінімальна температура повітря на території України.

Предмет дослідження – просторовий розподіл мінімальної температури повітря та її річний хід.

Матеріали та методи досліджень. Дослідження ґрунтується на добових даних E-OBS щодо мінімальної температури повітря, приведеної у вузли регулярної сітки із кроком $0,25^\circ \times 0,25^\circ$. Для вирішення поставлених завдань у роботі застосовано методи статистичного аналізу, які використовуються у класичній кліматології.

Структура кваліфікаційної роботи. Дипломна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, переліку використаних джерел (38 найменувань). Робота містить 36 рисунків. Загальний обсяг роботи 72 с.

РОЗДІЛ 1

КЛІМАТОЛОГІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЩОДО МІНІМАЛЬНОЇ ТЕМПЕРАТУРИ ПОВІТРЯ В УКРАЇНІ ТА СВІТІ

1.1 Дослідження часових змін

Процеси, що відбуваються у географічному середовищі, зумовлюються термічними умовами. Температура повітря, як одна з основних метеорологічних величин, визначає характер та режим погоди, впливає на різнобічну життєдіяльність людини [28].

Температура повітря характеризується рядом показників, які відображають кліматичні особливості місцевості [28], а саме: середня річна температура повітря, середня місячна температура повітря, декадна температура повітря, середня добова температура повітря, максимальна температура повітря (абсолютний максимум температури повітря, висока температура повітря / температура повітря вище певного порогового значення тощо), мінімальна температура повітря (абсолютний мінімум температури повітря, низька температура повітря / температура повітря нижче певного порогового значення тощо).

Більшість вітчизняних досліджень присвячені дослідженню середньої річної, середньої місячної та середньої добової температури повітря. Так, наприклад, у [27] викладено результати дослідження, які базуються на інформації зі 185 державних метеорологічних станцій, які проводили наземні спостереження у період з 1961 по 2005 рр. У [27] також виконано порівняння із кліматологічною стандартною нормою за 1961-1990 рр. і показано зміни у датах стійкого переходу середньої добової температури повітря через 0 °C, 5 °C, 10 °C, 15 °C весною та восени на території України. Також тут представлено інформацію про радіаційний режим у холодний та вегетаційний

періоди та моніторинг прогнозу дат стійкого переходу середньої добової температури повітря через зазначені межі (0 °C, 5 °C, 10 °C, 15 °C).

У [23, 25, 28] описується просторово-часовий розподіл середньої місячної температури повітря на території України для січня та липня, річний та добовий хід температури повітря. В обох цих виданнях, зазначається, що термічний режим зумовлений географічним положенням, радіаційним режимом, циркуляцією атмосфери та підстильною поверхнею. Вплив кожного з них протягом року є не рівнозначним. Це спричиняє значні контрасти температури. Взимку, коли роль сонячної радіації послаблюється внаслідок зменшення висоти Сонця і тривалості дня, а також збільшення хмарності, температурний режим формується під впливом циркуляції атмосфери і пов'язаної з нею адвекції повітря. Найтеплішими є західні та південно-західні регіони, що знаходяться під впливом повітряних мас із Чорного і Середземного морів. Із просуванням на схід та північний схід збільшується частота вторгнень повітря із Азії та Арктики, саме цим пояснюються найбільш низькі значення температури повітря, котрі тут спостерігаються. Влітку термічний режим визначається великою кількістю сонячної радіації, слабкою адвекцією та характером підстильної поверхні. Найбільша висота Сонця та тривалість дня забезпечують інтенсивне прогрівання підстильної поверхні й повітря. Зменшуються контрасти температури, у наслідок чого її поле стає більш однорідним [25, 28].

Багаторічна динаміка температури повітря зимового та весняного сезонів описується у [26] на основі даних метеорологічних станцій, які розташовані у центральних областях України, виконано аналіз кліматичних показників, які описують термічний режим, за весь період інструментальних спостережень. На метеостанціях м. Умань, м. Кропивницький та м. Полтава прослідковується тренд на підвищення як середніх річних температур повітря, так і температур за окремими місяцями. Зокрема, у [26] зазначається, що в Умані середні річні температури за весь період спостережень (137 років) зросли з +6,8°C до +8,4°C, тобто на 1,6 градуси. У м. Кропивницький середні річні температури за весь

період спостережень (148 років) зросли з $+7,4^{\circ}\text{C}$ до $+8,8^{\circ}\text{C}$, тобто на 1,4 градуси. У м. Полтава середні річні температури за весь період спостережень (198 років) зросли з $+5,9^{\circ}\text{C}$ до $+8,4^{\circ}\text{C}$, тобто на 2,5 градуси (з 1886 року – з $+6,4^{\circ}\text{C}$ до $+8,6^{\circ}\text{C}$, тобто на 2,2 градуси).

Подібне дослідження виконано на основі даних Волинської області [26], де показано, що абсолютний мінімум температури повітря у Волинській області впродовж 2001-2020 рр. спостерігався у м. Володимир 03 лютого 2012 р. і становив $-31,9^{\circ}\text{C}$. За весь період метеоспостережень на Волині (із 1944 р.) абсолютний мінімум ($-37,2^{\circ}\text{C}$) зафіксовано метеостанцією «Любешів» у 1950 р.

У [35] зазначається, що, зважаючи на триваючий процес підвищення температури повітря у глобальній кліматичній системі та виникнення багатьох несприятливих погодних явищ, актуальним є всебічне дослідження особливостей просторово-часового розподілу температури повітря середньої добової, середньої місячної та екстремальних (максимальної та мінімальної).

У [2] добові дані про температуру повітря, відносну вологість, загальну хмарність і швидкість вітру (на висоті 10 м над землею) за 12 UTC, а також максимальну та мінімальну добову температуру, кількість опадів і висоту снігового покриву проаналізовані з метою визначення придатності клімату для відпочинку на природі та туризму у Польщі, Сербії та Україні.

У [3] досліджується біокліматична диференціація гірського клімату і розкривається відповідь на питання, як різні географічні чинники (висота над рівнем моря, фізико-географічний тип території, континентальність клімату та розташування території відносно головного гірського хребта) впливають на термічний стрес у північних Карпатах. Для аналізу теплового стресу в регіоні використано щоденні метеорологічні дані 21 станції національних метеорологічних мереж Польщі, України та Словаччини за період 1986-2015 рр. Використовувалися щоденні дані про температуру повітря, відносну вологість, загальну хмарність і швидкість вітру на висоті 10 м над землею. Автори цього дослідження показують, що холодний стрес значно збільшується, а тепловий стрес зменшується внаслідок підвищення висоти, через континентальність

клімату та фізико-географічні відмінності між західною та східною частинами північних Карпат на їх східній околиці холодний стрес є більш очевидним, ніж у західній, на південних схилах Карпат тепловий стрес значно частіше, ніж на північних ділянках.

Як зазначається у [4], у нинішньому контексті зміни клімату підвищення мінімальних температур, зареєстроване в останні десятиліття, привернуло особливу наукову увагу через його важливість для належного нічного сну та здоров'я населення, серед інших міркувань. Одним із основних індикаторів, які зазвичай розглядаються, є частота тропічних ночей ($\geq 20^{\circ}\text{C}$), які почали широко поширюватися в регіонах, досі виключених з такого типу подій. У цій науковій статті аналізуються тропічні ночі в Іспанії у період з 1970 по 2023 роки. Розглядаються їх середня щорічна кількість, їх інтенсивність, їх місячний розподіл та середня кількість послідовних зареєстрованих тропічних ночей, а також їх зв'язку із відносною вологістю. Результати, отримані на основі аналізу 75 гомогенізованих серій, розташованих у 44 різних провінціях. На основі мінімальної температури, в якій спостерігалось збільшення частоти та інтенсивності тропічних ночей, які поступово подовжують сезон, у якому вони можуть з'являтися, було виділено сім великих областей. Подібним чином було виявлено загальне збільшення максимальної кількості послідовних ночей з температурою вище 20°C , на додаток до високої відносної вологості в прибережних районах під час таких епізодів.

У [13] виконано аналіз столітніх щоденних записів щодо температури та опадів для станцій у Європі на захід від 60° сх. Визначено набір кліматичних індексів, отриманих із добових рядів, головним чином зосереджених на екстремумах. Лінійні тренди цих індексів оцінюються за період 1901-2000 рр. Середні тренди для 75 станцій, які переважно представляють Європу на захід від 20° сх.д., показують потепління для всіх температурних показників. У [13] зазначається, що зима в середньому стала теплішою ($\sim 1,0^{\circ}\text{C}/100$ років), ніж літо ($\sim 0,8^{\circ}\text{C}$), як для максимальної (TX), так і для мінімальної (TN) температури повітря. Загалом, нагрівання TX взимку було сильнішим у теплому «хвості»,

ніж у холодному «хвості» (1,6 та 1,5°C для 98-го та 95-го, але $\sim 1,0^\circ\text{C}$ для 2-го, 5-го та 10-го процентилів). Однак існують великі регіональні відмінності в моделях температурних тенденцій. Влітку існує тенденція до більш сильного потепління, як для TX, так і для TN, у теплому, ніж у холодному «хвості» лише в деяких частинах Центральної Європи. Загальна зимова кількість опадів, усереднена на 121 європейській станції на північ від 40° пн.ш., значно збільшилася на $\sim 12\%$ за 100 років. Тенденції 90-го, 95-го та 98-го процентилів добової зимової кількості опадів були подібними. Жодної загальної довгострокової тенденції щодо загальної кількості літніх опадів не виявлено, але існує загальна слабка (статистично незначуща та залежна від регіону) тенденція до того, що літні опади стають дещо інтенсивнішими, але менш поширеними. Автори [13] також зазначають, що неоднорідність даних і відносна рідкість щільності станцій у багатьох частинах Європи перешкоджають більш надійним висновкам. Важливо розробляти нові методи для уніфікації щоденних даних.

В Україні Українським гідрометеорологічним інститутом ДСНС України та НАН України (м. Київ, Україна) проводяться роботи зі збереження кліматичних даних [19]. Ці роботи виконуються у співпраці з Університетом імені Юстуса Лібіха Гіссена (м. Гіссен, Німеччина), Всесвітньою метеорологічною організацією (ВМО) та Met Office Hadley Center (Ексетер, Велика Британія). Велика увага приділяється середнім добовим метеорологічним спостереженням на території сучасної України, починаючи з 1850 року і до наших днів. Дані оцифровуються і переводяться в електронний вигляд. Так, у [19] зазначається, що було врятовано 291 103 значення. Більше половини із цього числа (165 980, $\sim 57\%$) пов'язані з даними про температуру повітря, 124 376 значень даних ($\sim 42,7\%$) стосуються записів атмосферного тиску і 747 значень ($\sim 0,3\%$) є даними про опади. Виконується простий контроль якості оцифрованих даних, включаючи взаємне порівняння між станціями, а також порівняння з місячними даними температури, попередньо оцифрованими з інших паперових джерел. Процедури контролю якості показали досить

хорошу відповідність між врятованими часовими рядами на місячній шкалі часу, а також з місячними даними з незалежних джерел. Однак кілька періодів для кількох станцій слід використовувати з обережністю через відносно великі розбіжності, які були знайдені. Врятовану цифрову базу даних можна використовувати для аналізу екстремальних значень за період до 1850 року порівняно з сучасним кліматом, регіональних кліматологічних досліджень і використовуватимуть для майбутнього повторного аналізу.

У [20] описано результати, які були отримані під час виконання міжнародного проекту CARPATCLIM. Учасники якого зібрали, перевірили якість, гомогенізували, гармонізували та інтерполювали щоденні дані для 16 метеорологічних змінних і багатьох похідних показників за період з 1961 по 2010 рік. Основним результатом проекту є Кліматичний атлас Карпатського регіону, розміщений на спеціальному веб-сайті і складається із добових сіток високої роздільної здатності ($0,1^\circ \times 0,1^\circ$) усіх змінних та індикаторів на різних етапах часу. У цій статті проаналізовано просторову та часову мінливість 10 змінних: мінімальної, середньої та максимальної температури, добового діапазону температур, кількості опадів, хмарного покриття, відносної тривалості сонячного сяйва, відносної вологості, тиску повітря на поверхні та швидкості вітру на висоті 2 м. Для кожної змінної представлено сітку за період 1961-2010 рр. та розглянуто лінійні тренди як на річній, так і на сезонній основі. Було встановлено наступне: 1) температура підвищується в кожному пору року, зокрема протягом останніх трьох десятиліть, підтверджуючи тенденції, що спостерігаються в Європі; 2) швидкість вітру зменшується з кожним сезоном; 3) хмарність і відносна вологість зменшувалися навесні, влітку та взимку і збільшувалися восени; 4) відносна тривалість сонячного сяйва поведилася протилежно; 5) кількість опадів і приземний атмосферний тиск не показали значної тенденції, хоча вони дещо зросли у річному розрізі. У [20] також обговорюється кореляція між змінними.

У [29] представлено результати дослідження щодо просторово-часових змін мінімальної температури повітря на території України упродовж 1991-2013

років, які отримані на основі аналізу даних спостережень, які проводилися на 186 метеорологічних станціях державної гідрометеорологічної мережі. Автори зазначають, що порівняльний аналіз двох десятиліть показав відсутність довготермінових змін мінімальної температури повітря влітку. Також у [29] виявлено зменшення кількості випадків екстремально низьких температур в грудні та їх збільшення у січні. Збільшення кількості таких випадків у січні зафіксовано в східних та частково в центральних районах країни. Окрім того, автори вказують на зменшення повторюваності градацій мінімальної температури повітря 0°C і -3°C у травні та вересні, а також зменшення повторюваності градацій мінімальної температури повітря 12°C та 15°C та збільшення числа випадків з температурою повітря від 3°C до 9°C у квітні.

У [32] на основі даних спостережень державної мережі метеорологічних станцій розглянуто зміни температури повітря (середньої місячної, максимальної та мінімальної) для двох періодів (1991-2000 рр. та 2001-2010 рр.) у порівнянні із кліматичною нормою. Авторами виявлено збільшення абсолютного максимуму і вказується, що абсолютний мінімум температури повітря за 20 років, які розглядалися, майже не змінився.

У [31] виконано аналіз змін екстремумів (мінімальна, максимальна) приземної температури повітря на території України. Аналіз було проведено із використанням гомогенізованої бази даних щодо середніх за місяць добових значень мінімальної та максимальної приземної температури, які вимірювалися на 178 метеорологічних станціях за період 1946-2015 рр. У результаті виконаного авторами дослідження показано, що в рядах мінімальної та максимальної температури повітря та її добового діапазону характерні нелінійні регулярні тенденції (тренди). Для першої половини досліджуваного періоду (1946-1980 рр.) зміни за інтенсивністю та за напрямом істотно інші порівняно з його другою половиною (1981-2015 рр.). Також у [31] проаналізовано вплив кліматологічної неоднорідності первинної інформації на оцінку трендів у часових рядах і досліджено сезонні та просторові особливості виявлених температурних тенденцій. У результаті чого показано, що у 1946-

1980 рр. зміни мінімальної та максимальної температури є статистично незначущими на всій території України. Проте їх протилежна направленість призводить до статистично значущих змін (зниження) добового діапазону температур. На відміну від попереднього періоду, у 1981-2015 рр. на всій території України спостерігалось істотно та статистично значуще підвищення як денної, так і нічної температури повітря. При цьому швидше зростання відмічається для максимальної температури, що на думку авторів спричинило значне збільшення добового діапазону температур, статистично значущого на більшій частині території України.

1.2 Гомогенізація, грідинг та кліматичні проєкції

Кліматологічні дослідження температури повітря, які виконувалися українськими та іноземними вченими упродовж XX – початку XXI століття, ґрунтувалися на даних наземних спостережень. Як правило, джерелом даних слугували метеостанції, які розташовані на суходолі неоднорідно. Аналіз просторового розподілу по території виконувався шляхом картографування.

На початку XXI століття з'являються глобальні і регіональні моделі клімату (які враховують різні чинники, такі як зміни викидів парникових газів, природні зміни клімату та інші фактори), за допомогою яких науковці обчислюють кліматичні проєкції (сценарії можливих майбутніх змін клімату) та програмні засоби, які дозволяють здійснювати гомогенізацію та грідинг даних спостережень (їх приведення у вузли регулярної сітки). Розглянемо коротко результати таких досліджень для території України.

Так, у [14] описується база даних середньомісячної температури повітря, зібраних в Україні. Ця база даних містить записи про 514 станцій, які працювали в той чи інший час протягом 1812-2014 років. Зазначається, що метадані були зібрані із використанням доступних описів історій станцій. Регулярні спостереження на досить великій кількості станцій, що містяться в базі даних, почалися на початку 1880-х років. Однак через пропуски у

спостереженнях, які сталися під час Першої та Другої світових воєн і призвели до великої кількості випадків відсутніх даних, надійний уніфікований набір даних можна отримати лише за період 1946–2014 рр. Саме для цього періоду автори [14] уніфікували дані 178 станцій за допомогою програмного забезпечення HOMER. Загальна кількість виявлених ними поломок становила 287. Проте лише приблизно 31% із цих помилок можна пояснити переміщенням станції. У [14] також зазначається, що величини зсуву у річних рядах не перевищують $\pm 1^{\circ}\text{C}$ з малим від'ємним середнім значенням. Також у цій публікації зазначається, що в середньому неоднорідності часового ряду впливають на незначне підвищення температури повітря над територією України у минулому й, як наслідок, на зниження швидкості підвищення температури. Аналіз трендів необроблених і гомогенізованих часових рядів підтвердив цей висновок. Гомогенізовані дані показують більш реалістичну картину просторового розподілу температурних тенденцій, на відміну від багатьох осередків вищих або нижчих значень тенденції в необроблених даних. Як зазначається у [14], після гомогенізації площі з незначними трендами значно зменшилися.

У [15] представлено результати створення та аналізу набору даних довгострокових часових рядів мінімальної, максимальної та середньомісячної температури повітря та атмосферних опадів, що охоплює період 1946-2020 рр., для території України. Набір даних був створений шляхом ретельної обробки історичних кліматичних даних, яка включала всі обов'язкові кроки: відновлення даних/оцифрування відсутніх значень та/або періодів у часових рядах станції з паперових джерел, їх контроль якості та гомогенізацію та, нарешті, інтерполяцію на сітці $0,1^{\circ} \times 0,1^{\circ}$. Станційні дані склалися з місячних значень 178 станцій температури повітря (по кожному з трьох параметрів) і 224 станцій атмосферних опадів. Забезпечення якості та гомогенізація виконувались авторами за допомогою широко розповсюдженого програмного забезпечення гомогенізації HOMER (HOMogEnization в R), тоді як добре відоме програмне забезпечення інтерполяції MISH (Метеорологічна інтерполяція на

основі даних гомогенізації поверхні) використовувалося для створення регулярної сітки. Подібний підхід було використано й у [18].

У [37] описано підхід, де для створення бази даних щодо мінімальної, максимальної та середньомісячної температури повітря також використовувалося програмне забезпечення MISH, алгоритм якого базується на ідеях геостатистичного просторового моделювання (такого, як, наприклад, крігінг), але для обчислення статистичної інформації, необхідної для проведення інтерполяції, залучені довгі гомогенізовані ряди кліматологічних показників. В якості додаткових предикторів використано висоту місцевості, компоненти локальної топографії у програмному забезпеченні AURELHY та відстань до берегової лінії Чорного та Азовського морів. Також застосовується кросс-валідаційна процедура для здійснення оцінки точності інтерполяції.

Як вже зазначалося вище, розвиток числових атмосферних моделей дозволив робити розрахунки значень кліматичних показників на майбутнє. Серед таких робіт варто відзначити [34], яку можна віднести до однієї з найбільш ранніх для нашої держави. У ній зроблена перша кількісна оцінка зміни температури повітря та кількості опадів для території України на XXI століття по сезонах із використанням ансамблю із 10 глобальних моделей проекту CMIP3 (*англ.* Coupled Model Intercomparison Project, phase 3). Проаналізовано та представлено відмінності у прогнозах досліджуваних величин для трьох спеціально розроблених МГЕЗК (*англ.* Intergovernmental Panel on Climate Change / Міжурядова група експертів зі зміни клімату) сценаріїв: B1, A1B, A2.

Пізніше з'явилися наукові публікації, в яких описуються не лише очікувані зміни, але й методи корекції відхилень між розрахованими та реальними кліматичними показниками значень приземної температури повітря, отриманих у прогнозах ансамблів регіональних кліматичних моделей [30].

1.3 Прикладні аспекти

Мінімальна температура, різні кількісні критерії, які її характеризують, використовується у багатьох галузях економіки. Так, у [2] вона використовується для визначення придатності клімату для відпочинку на природі та туризму на території Польщі, Сербії та України. У цьому дослідженні показано, що пасивним формам відпочинку (сонячні та повітряні ванни) перевагу надають переважно в місяці з травня по серпень або вересень. Для активних видів відпочинку погода в літні місяці дуже несприятлива, особливо на курортах, розташованих на півдні (Сербія, південь України). Активним видам відпочинку тут надають перевагу в осінні, зимові та весняні місяці.

У [24] розглядається вплив блокувальних процесів на повторюваність та інтенсивність аномальних умов погоди в Україні, пов'язаних із температурою повітря, а [38] погодних умов на території нашої держави. Зокрема, у [24] зазначається, що блокувальні процеси, які зберігаються більше п'яти днів на території України, суттєво впливають на її термічний режим впродовж всього року, насамперед на величину аномалії максимальної та мінімальної приземної температури повітря, кількість днів та максимальну тривалість періоду зі спекою, сильним морозом та атмосферною посухою. Цей вплив найбільше проявляється влітку, особливо у південних та східних областях України. Бази даних щодо температури повітря з регулярною сіткою можуть використовуватися для дослідження посух [16].

Мінімальна температура повітря використовується для опису біологічних потреб сільсько-господарських культур та їх вегетації [36], а також в енергетиці [5] та лісовому господарстві [17].

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИ ТА МАТЕРІАЛИ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Дані E-Obs. Їх обробка та аналіз

Для виконання поставленої мети у дослідженні було використано дані щодо добової мінімальної температури повітря (*анг.* E-OBS) Центру даних Європейського проекту з оцінки клімату та набору даних (*анг.* European Climate Assessment and Dataset project / ECAD). У цьому центрі зберігаються та накопичуються дані не лише відносно мінімальної температури повітря, але й інших метеорологічних величин [6]. База даних містить декілька їх наборів: сирі (у тому вигляді, в якому їх надавали національні гідрометеорологічні або метеорологічні служби, або наукові центри); оброблені (де виконувався аналіз наявності помилок у рядах даних); приведені у вузли регулярної сітки (таких наборів є декілька). Детальний опис алгоритмів отримання таких даних та їх застосування у наукових дослідженнях добре описані у [1, 6-12, 21-22].

Часова роздільність даних становить 1 доба, тобто одній добі відповідає одне значення. Горизонтальна роздільність даних, які були використані у цьому дослідженні, становить $0,25^{\circ} \times 0,25^{\circ}$. Оригінальний формат даних – NetCDF. Декодування та подальші розрахунки описових кліматичних статистик (див. п. 2.2) здійснювалися за допомогою програмного забезпечення, яке було розроблене в Українському гідрометеорологічному інституті ДСНС України та НАН України, на основі програмного пакету CDO та мови програмування Fortran. Візуалізація здійснювалася у Panoply.

2.2 Описові кліматологічні статистики

Обчислення виконувалися із використанням основних статистичних характеристик, які використовуються в кліматології:

1. Середнє (багаторічне) значення, яке розраховується за формулою

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_n}{n}$$

де x – член ряду (окремі значення), n – число членів ряду (період спостережень).

2. Кліматична норма (1961-1990 рр.) для кожного місяця року визначалася як

$$y(1990) = \frac{1}{30} \sum_{i=1961}^{1990} x_{(i)}$$

3. Кліматична норма (1991-2020 рр.) для кожного місяця року визначалася як

$$y(2020) = \frac{1}{30} \sum_{i=1991}^{2020} x_{(i)}$$

Середню місячну мінімальну температуру повітря (середній мінімум) обчислено на основі середніх добових значень. Також обчислювався середній із абсолютних максимумів та середній із абсолютних мінімумів температури повітря (середній абсолютний мінімум) за окремі місяці шляхом пошуку найбільшого та найменшого значення упродовж кожного місяця для кожного вузла регулярної сітки із подальшим їх осередненням упродовж окремо взятої кліматичної норми.

Відхилення кліматичної норми – різниця значень між нормою 1991-2020 рр. та 1961-1990 рр. у кожному вузлі сітки.

РОЗДІЛ 3

ПРОСТОРОВО-ЧАСОВИЙ РОЗПОДІЛ МІНІМАЛЬНОЇ ТЕМПЕРАТУРИ ПОВІТРЯ НА ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ ТА ЙОГО ЗМІНИ

3.1 Середні місячні мінімальні температури повітря взимку

Розглянемо середні місячні мінімальні температури (середній мінімум) повітря взимку. Найбільш прохолодним місяцем року є січень. Так, для кліматичної норми 1961-1990 рр. на більшій частині території західних областей значення середнього мінімуму перебували у межах від -8°C до -6°C (див. рис. 3.1). Ізотерми при цьому орієнтовані практично меридіонально. На півночі та значній частині центральних і східних областей значення середнього мінімуму були у межах від -8°C до -10°C . Лише у Сумській та на сході Чернігівської, Харківської та Луганської областей значення середнього мінімуму були нижчими -10°C . Розподіл ізотерм мав орієнтацію із північного заходу на південний схід – схід. У південних регіонах та на півночі Криму значення середнього мінімуму були у межах від -8°C до -4°C , при цьому ізотерми були орієнтовані із заходу на схід, тобто їх розподіл мав широтний характер. Такий розподіл порушується у Карпатських та Кримських горах, де спостерігаються нижчі значення середнього мінімуму. Просторовий розподіл середнього мінімуму у період кліматичної норми 1991-2020 рр. характеризується зростанням його значень: від -4°C до -8°C практично на всій території України, за виключенням Карпат Криму. Також варто зауважити на збільшенні меридіональності ізотерм. Аналізуючи відхилення між двома кліматичними нормами варто зауважити, що вони мали квазіширотний характер. Найбільше зростання середнього мінімуму відбулося на півночі України.

Розподіл середнього мінімуму у лютому та грудні (найтепліший із зимових місяців) в цілому подібний до січня (див. рис. 3.2 та рис. 3.3).

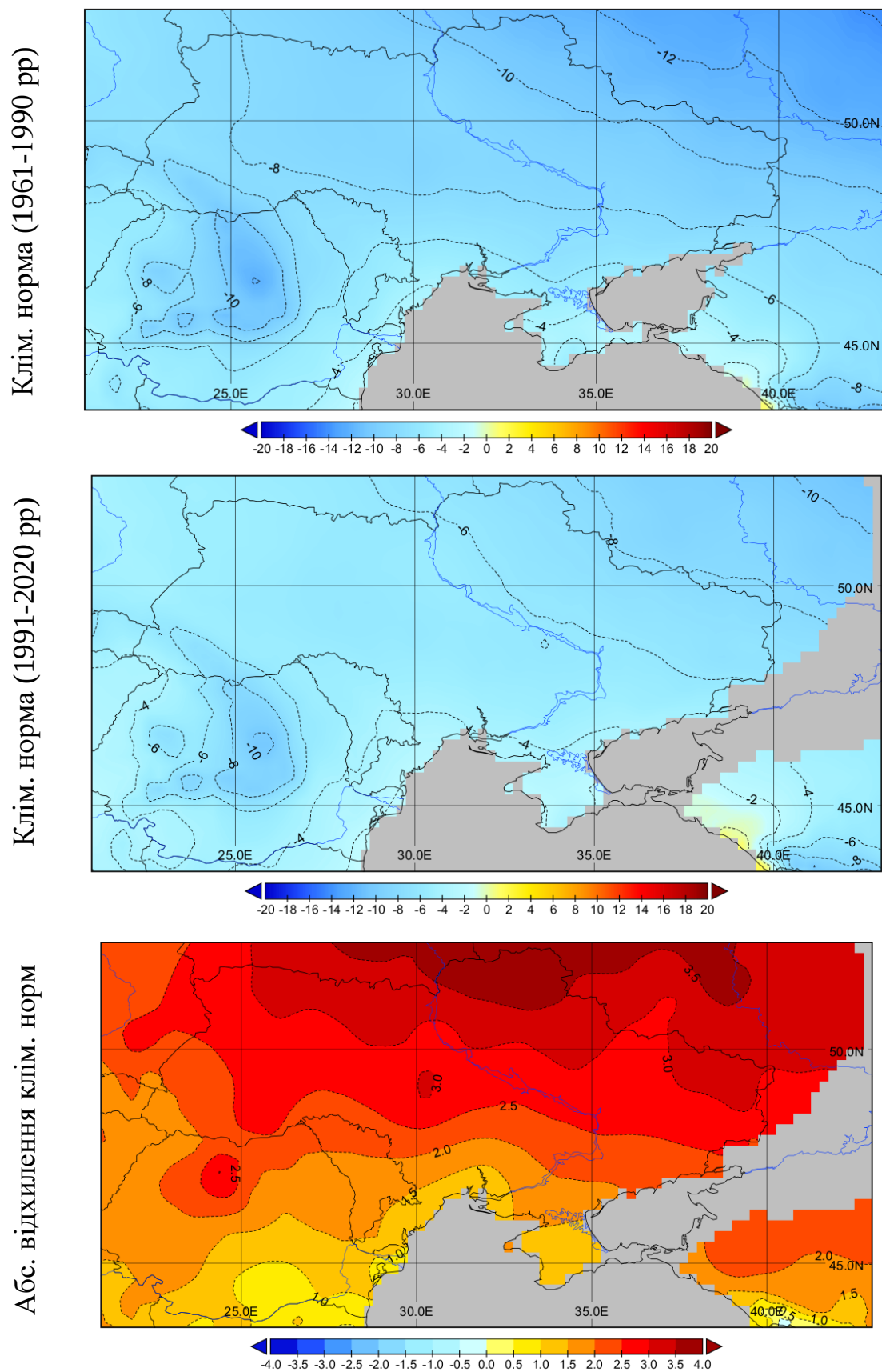


Рис. 3.1 Кліматичні норми 1961-1990 pp. та 1991-2020 pp. середньої місячної мінімальної температури повітря та абсолютне відхилення між ними (січень)

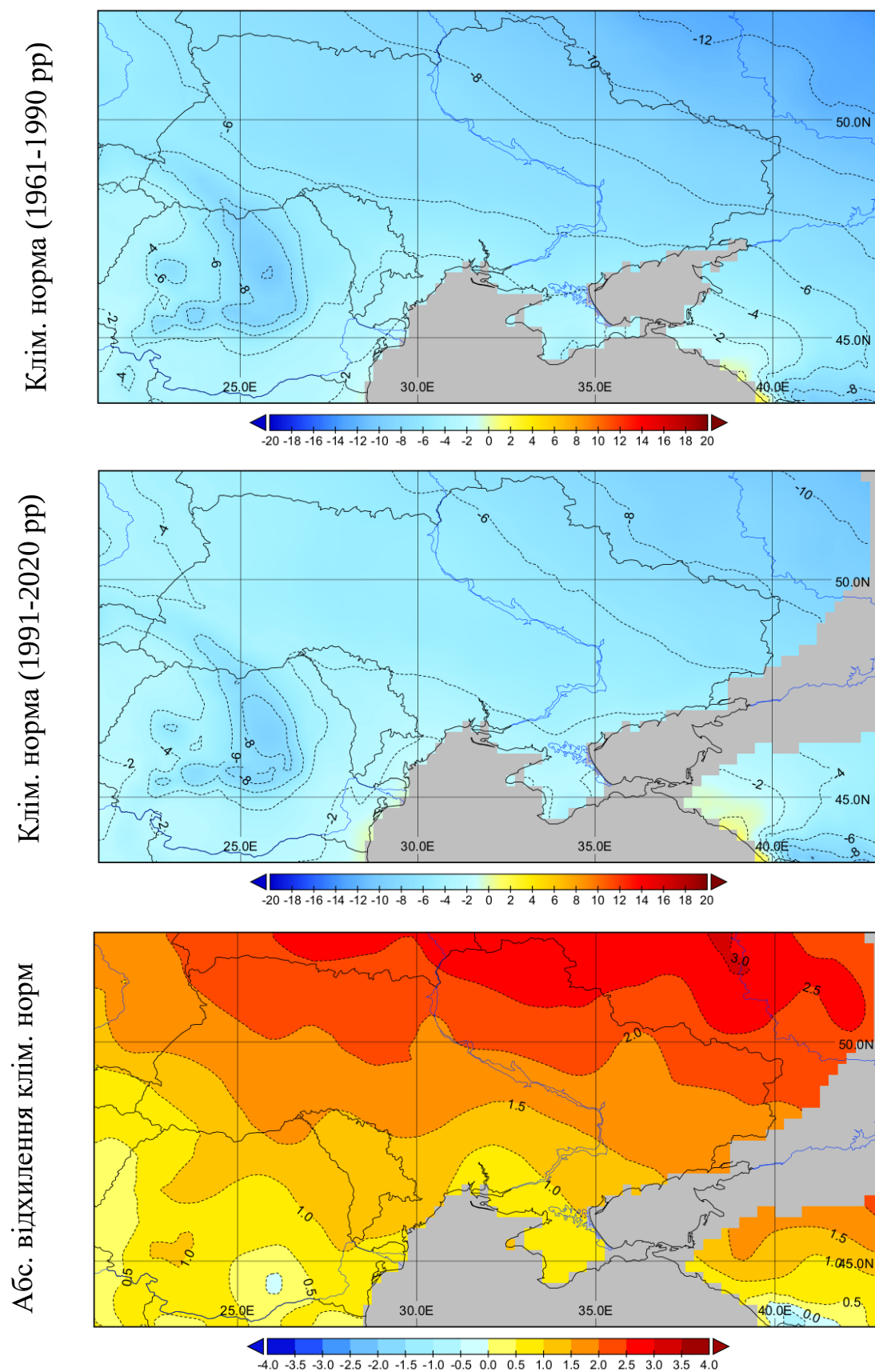


Рис. 3.2 Кліматичні норми 1961-1990 рр. та 1991-2020 рр. середньої місячної мінімальної температури повітря та абсолютне відхилення між ними (лютий)

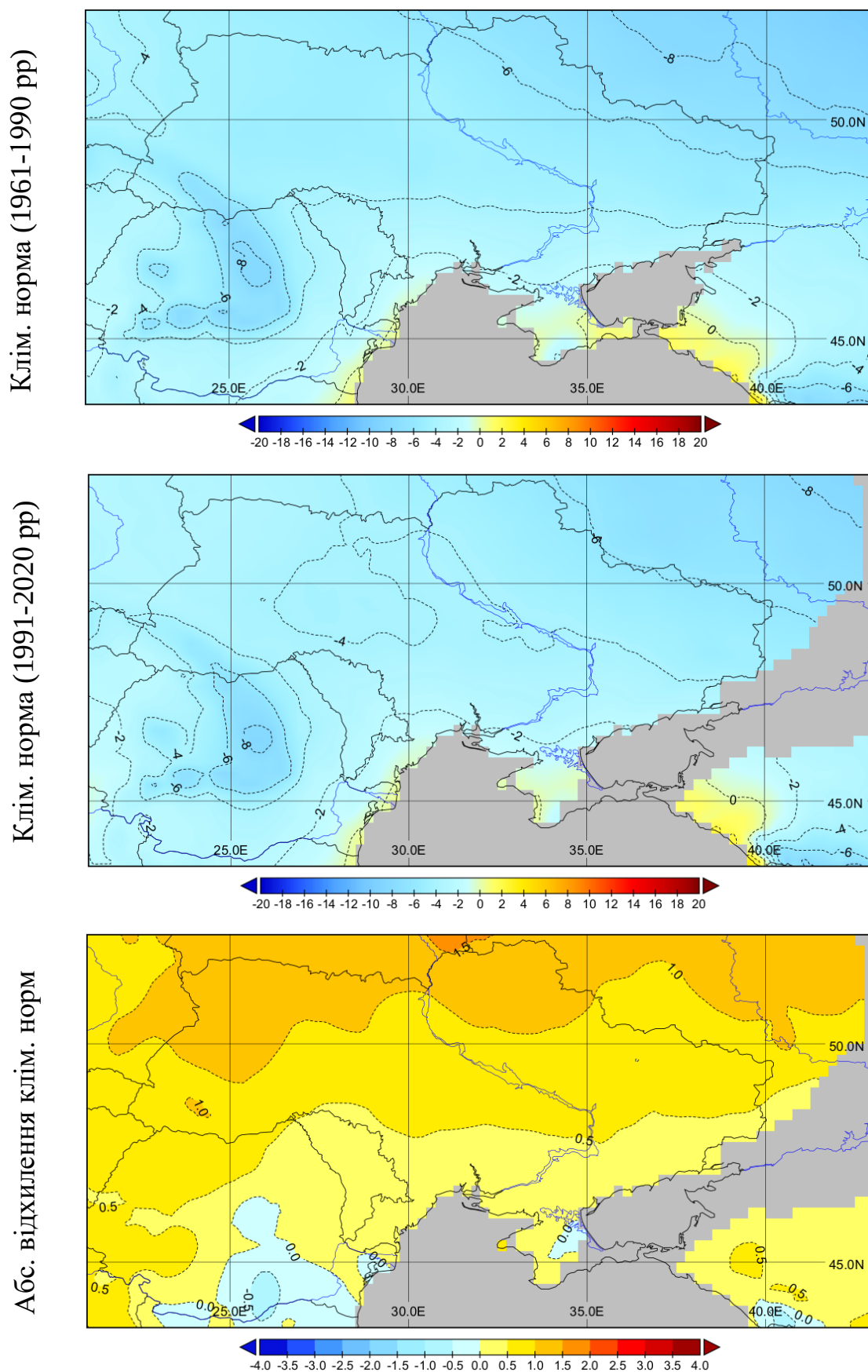


Рис. 3.3 Кліматичні норми 1961-1990 pp. та 1991-2020 pp. середньої місячної мінімальної температури повітря та абсолютне відхилення між ними (грудень)

3.2 Середні місячні мінімальні температури повітря навесні

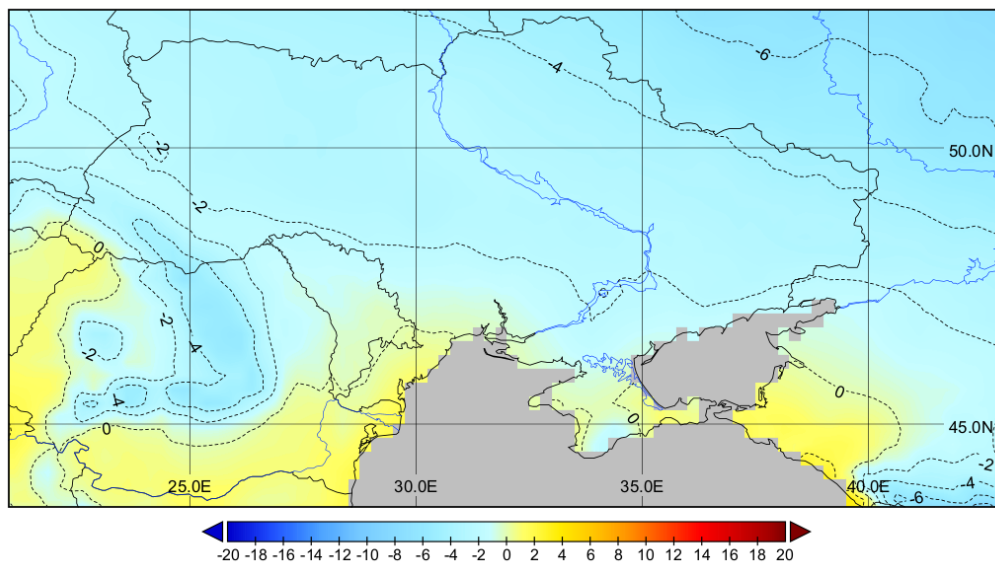
Упродовж весни для обох кліматичних норм характерними є квазімеридіональна орієнтація ізотерм на більшості території України (за виключенням півдня та Криму) у березні. Ця закономірність порушується у квітні, коли розподіл середнього мінімуму стає більш однорідним. У травні, очевидно, під впливом збільшення надходження кількості сонячної радіації на земну поверхню він трансформується й утворюється великий за площею гребінь тепла, який орієнтований із півдня на північ із центральною віссю вздовж р. Дніпро. До речі, цей гребінь виділявся й у квітні, але лише у період кліматичної норми 1961-1990 рр. (див. рис. 3.4 та рис. 3.5).

Розглянемо значення середнього мінімуму. Так, у березні на більшості території України для кліматичної норми 1961-1990 рр. вони мали значення від -2°C до -4°C , для кліматичної норми 1991-2020 рр. – від 0°C до -2°C .

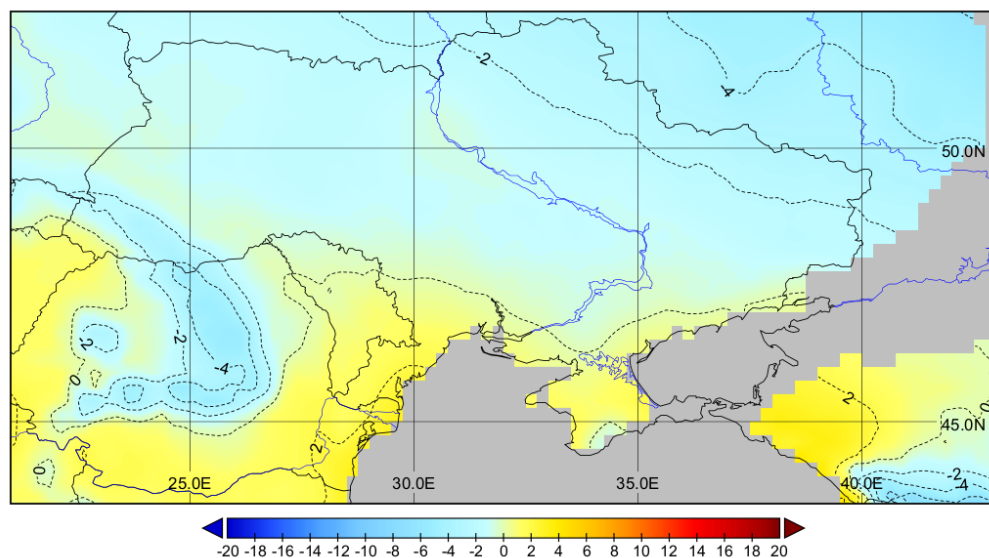
У квітні відбувається перехід значень середнього мінімуму від від'ємних до додатних. Виключенням є Карпатські гори, де вони ще залишаються від'ємними. У травні для обох кліматичних норм характерним є те, що на всій території України вже спостерігаються додатні значення середнього мінімуму. Від $+8^{\circ}\text{C}$ до $+10^{\circ}\text{C}$ на північному заході, північному сході та сході країни до $+10^{\circ}\text{C}$... $+12^{\circ}\text{C}$ уздовж Дніпра, у центральних областях, на півдні та у Криму. Вийнятком є Карпати, де значення були нижчими за $+8^{\circ}\text{C}$ та Закарпатська низовина, де вони досягали значень $+10^{\circ}\text{C}$ (див. рис. 3.6).

Аналізуючи відхилення між двома кліматичними нормами необхідно відзначити, що квазіширотного характеру, як це було у зимові місяці, більше не спостерігається. Найбільше зростання середнього мінімуму відбулося на півночі України у березні (на $+1,5^{\circ}\text{C}$). У березні можна вести мову про деяку меридіональність у закономірності змін, а у квітні та травні на фоні загального збільшення виділяються окремі осередки, як у сторону збільшення, так і зменшення (див. рис. 3.4-3.6).

Клім. норма (1961-1990 pp)



Клім. норма (1991-2020 pp)



Абс. відхилення клім. норм

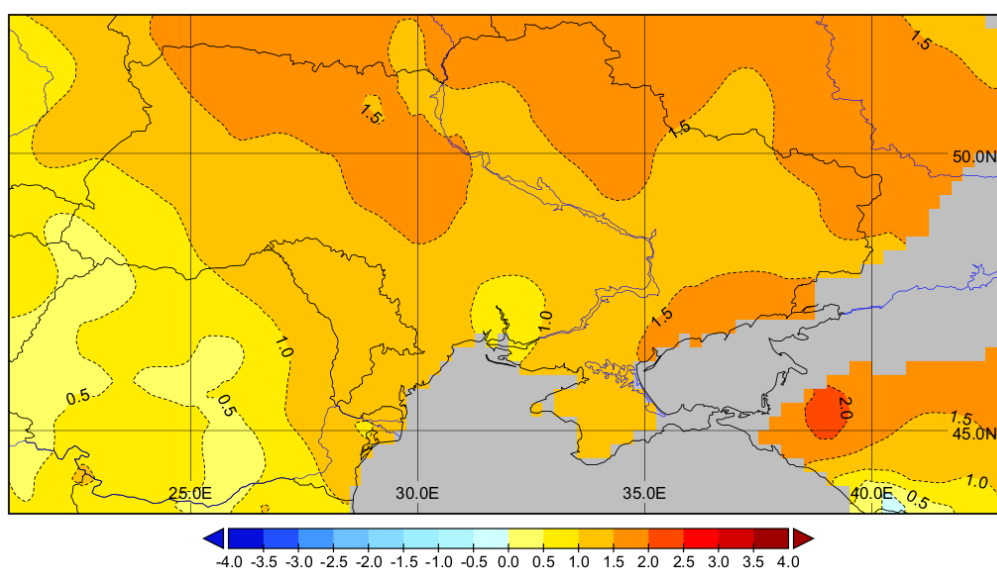


Рис. 3.4 Кліматичні норми 1961-1990 pp. та 1991-2020 pp. середньої місячної мінімальної температури повітря та абсолютне відхилення між ними (березень)

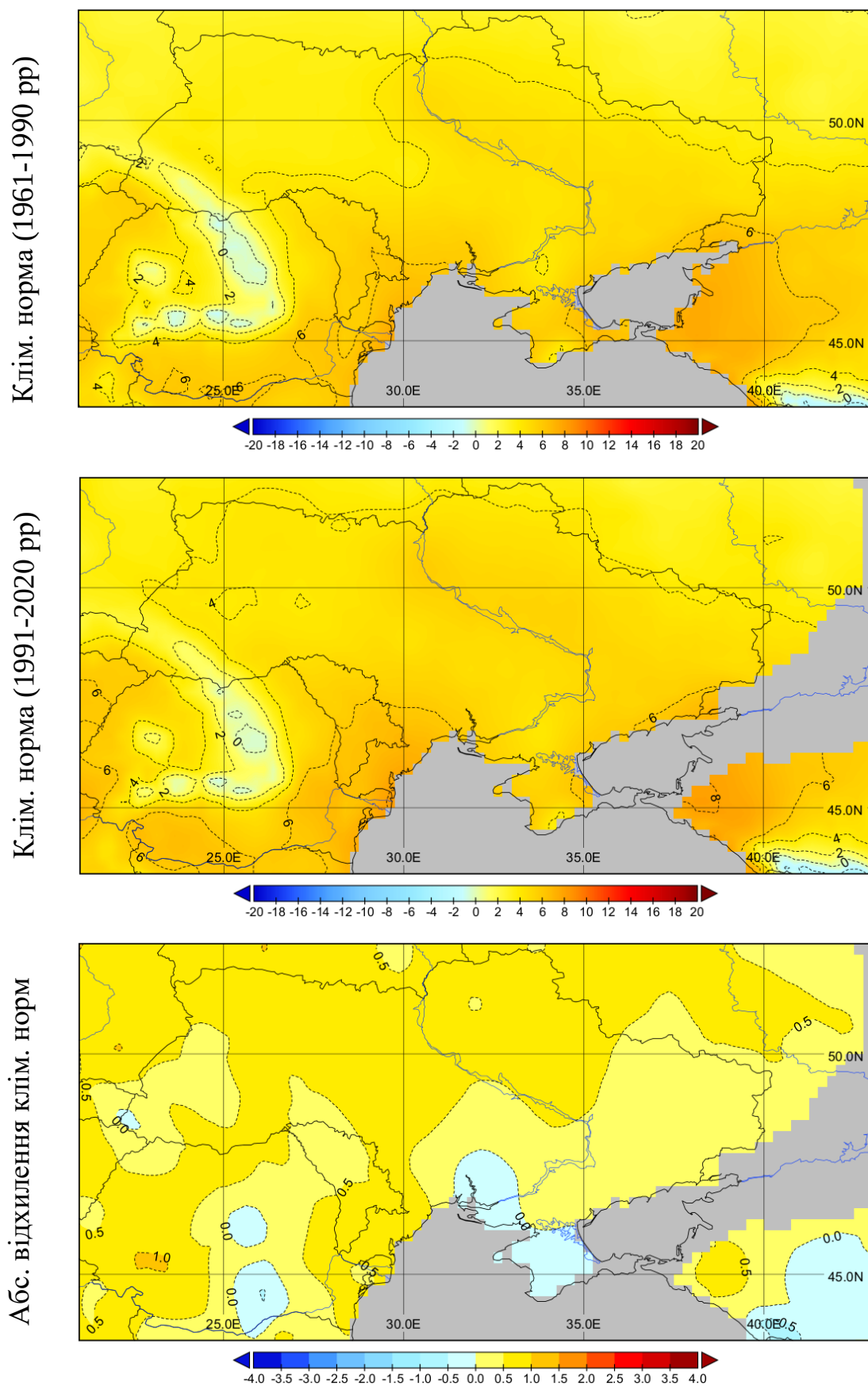
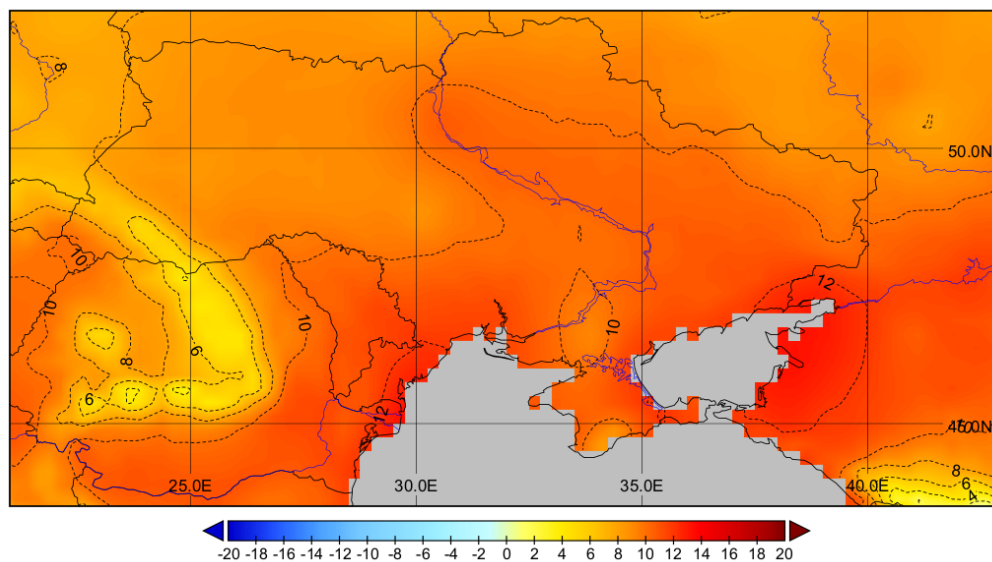
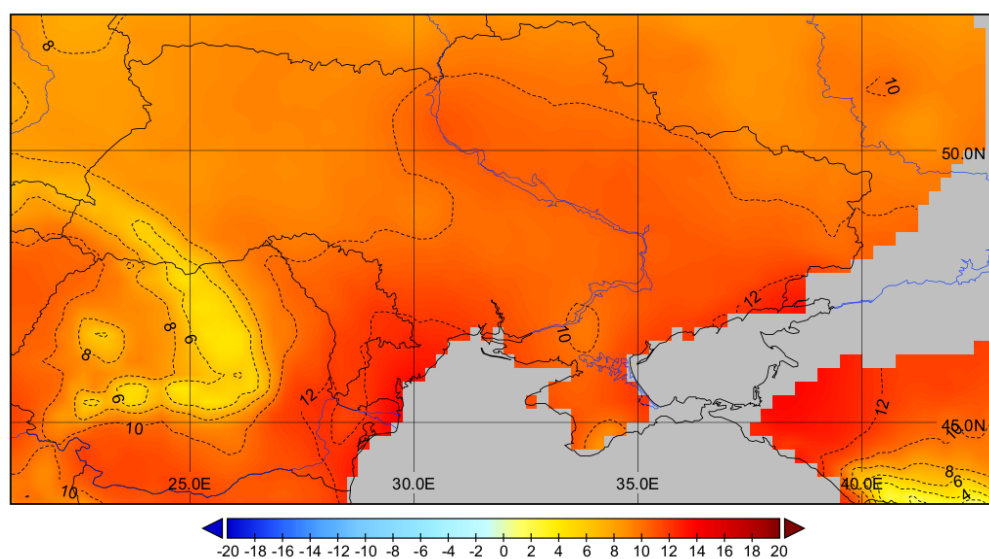


Рис. 3.5 Кліматичні норми 1961-1990 pp. та 1991-2020 pp. середньої місячної мінімальної температури повітря та абсолютне відхилення між ними (квітень)

Клім. норма (1961-1990 рр)



Клім. норма (1991-2020 рр)



Абс. відхилення клім. норм

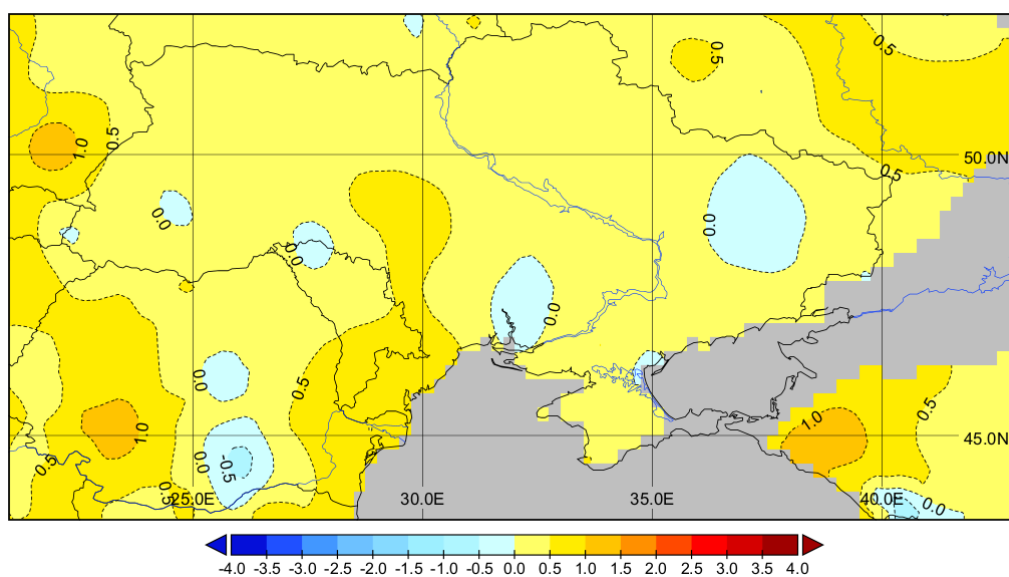


Рис. 3.6 Кліматичні норми 1961-1990 рр. та 1991-2020 рр. середньої місячної мінімальної температури повітря та абсолютне відхилення між ними (травень)

3.3 Середні місячні мінімальні температури повітря влітку

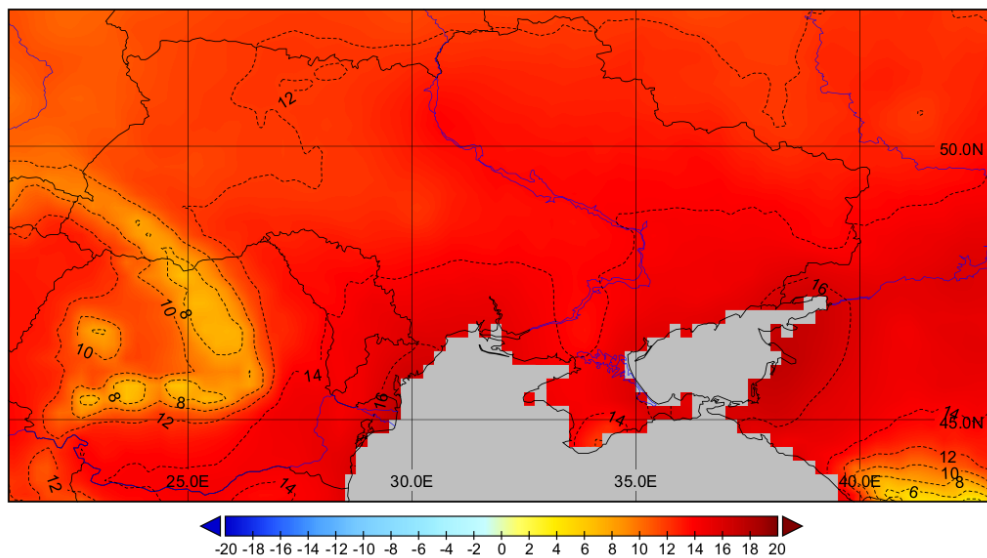
У червні середні місячні мінімальні температури (середній мінімум) повітря нижчими на північному заході, північному сході та сході України (від приблизно $+10^{\circ}\text{C}$ до $+12^{\circ}\text{C}$), а також у Карпатських (нижче $+10^{\circ}\text{C}$) та Кримських горах (нижче $+14^{\circ}\text{C}$). На решті території країни значення середнього мінімуму перебувають у межах від $+12^{\circ}\text{C}$ до $+16^{\circ}\text{C}$. Найвищі спостерігаються на півдні України та Криму. Також варто виділити наявність області підвищених значень у Закарпатті. Такі закономірності розподілу, у принципі, характерні для обох кліматичних норм (див. рис. 3.7).

У липні значення середнього мінімуму є найвищими серед усіх місяців року. Практично на всій території України його значення були вищими за $+14^{\circ}\text{C}$, за виключенням гірської системи Карпат, де вони були нижчими, ніж $+10^{\circ}\text{C}$. Найвищі значення спостерігалися на півдні, у Криму та Закарпатській низовині (див. рис. 3.8).

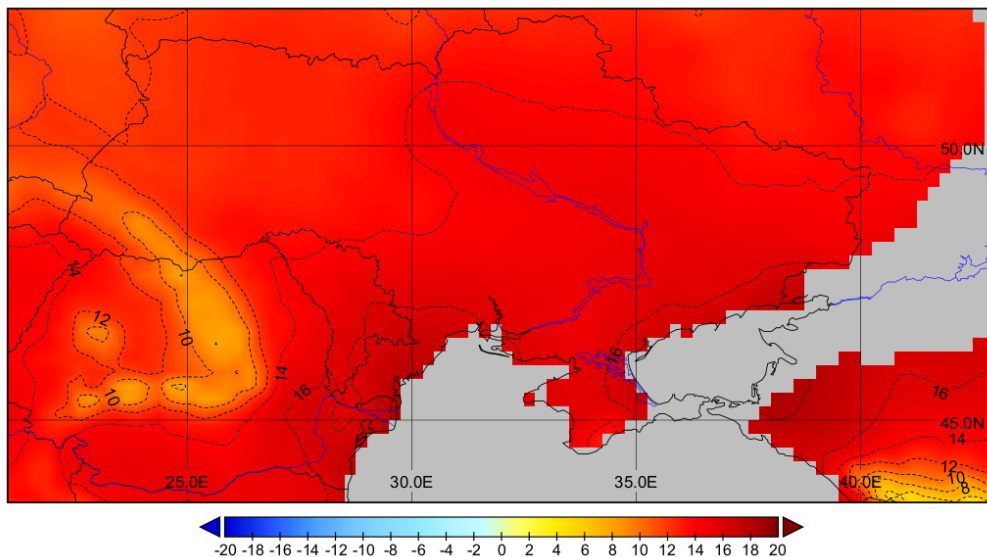
У серпні для кліматичної норми 1961-1990 рр. характерними були значення середнього мінімуму для західних, північно-західних, північних, північно-східних і частини центральних районів України. У період нової кліматичної норми (1991-2020 рр.) ізотерма $+14^{\circ}\text{C}$ суттєво змістилася на північ, а площа країни, де спостерігаються середні місячні мінімальні температури $+14^{\circ}\text{C}$ і вище, значно збільшилася. Як і у попередні місяці на загальному фоні області понижених значень мають місце у Карпатських та Кримських горах.

Розглянемо зміни, які відбулися, якщо порівнювати ці дві кліматичні норми між собою. На всій території України спострігається збільшення значень середнього мінімуму. Найменші значення зростання мінімальної температури мали місце у червні (в окремих районах – на понад $+1^{\circ}\text{C}$), а найбільші у липні та серпні (місцями – понад $+1,5^{\circ}\text{C}$). На загальному фоні збільшення значень зберігся його осередковий характер, деякі із них мають витягнуту форму та орієнтовані із півдня на північ (див. рис. 3.7-3.9).

Клім. норма (1961-1990 рр)



Клім. норма (1991-2020 рр)



Абс. відхилення клім. норм

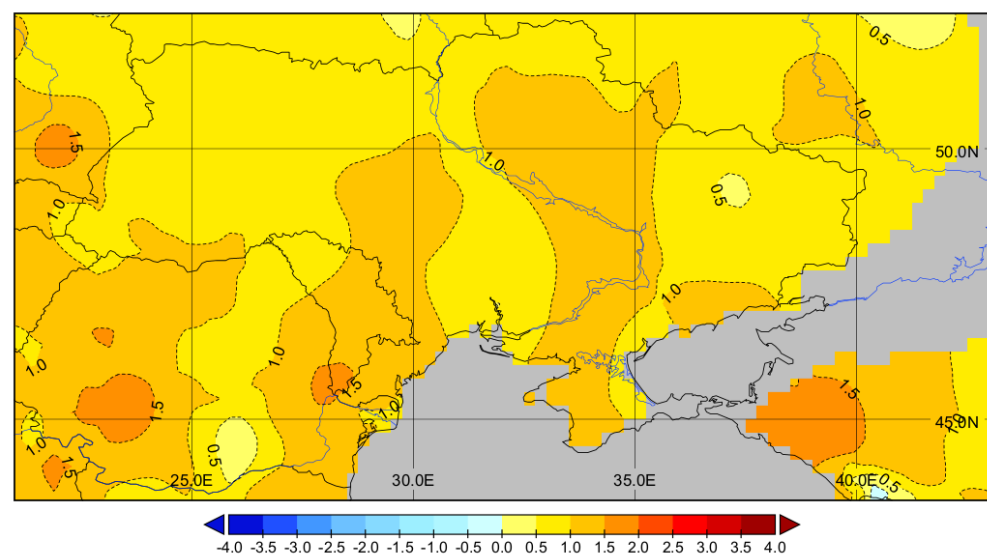


Рис. 3.7 Кліматичні норми 1961-1990 рр. та 1991-2020 рр. середньої місячної мінімальної температури повітря та абсолютне відхилення між ними (червень)

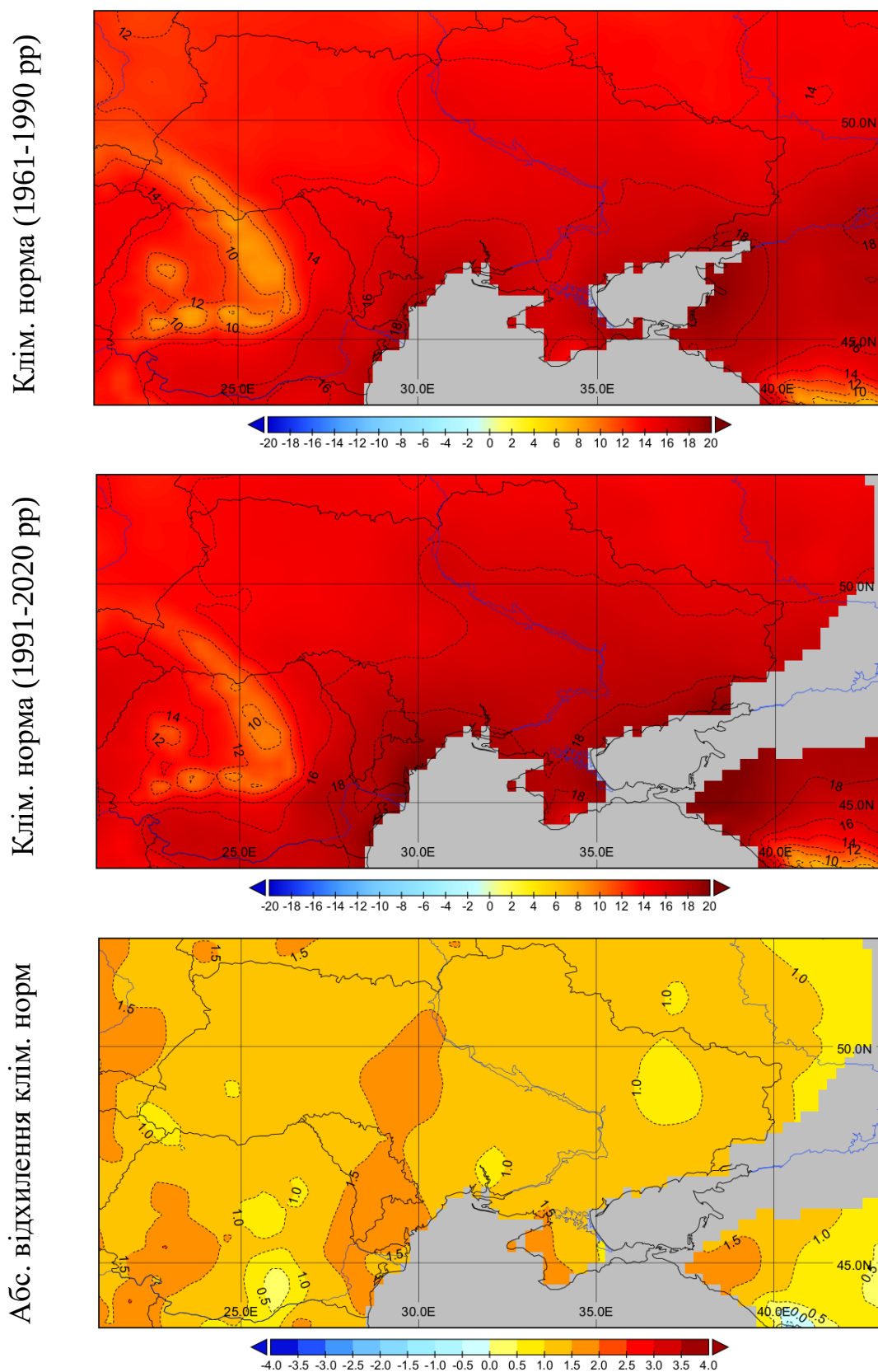


Рис. 3.8 Кліматичні норми 1961-1990 pp. та 1991-2020 pp. середньої місячної мінімальної температури повітря та абсолютне відхилення між ними (липень)

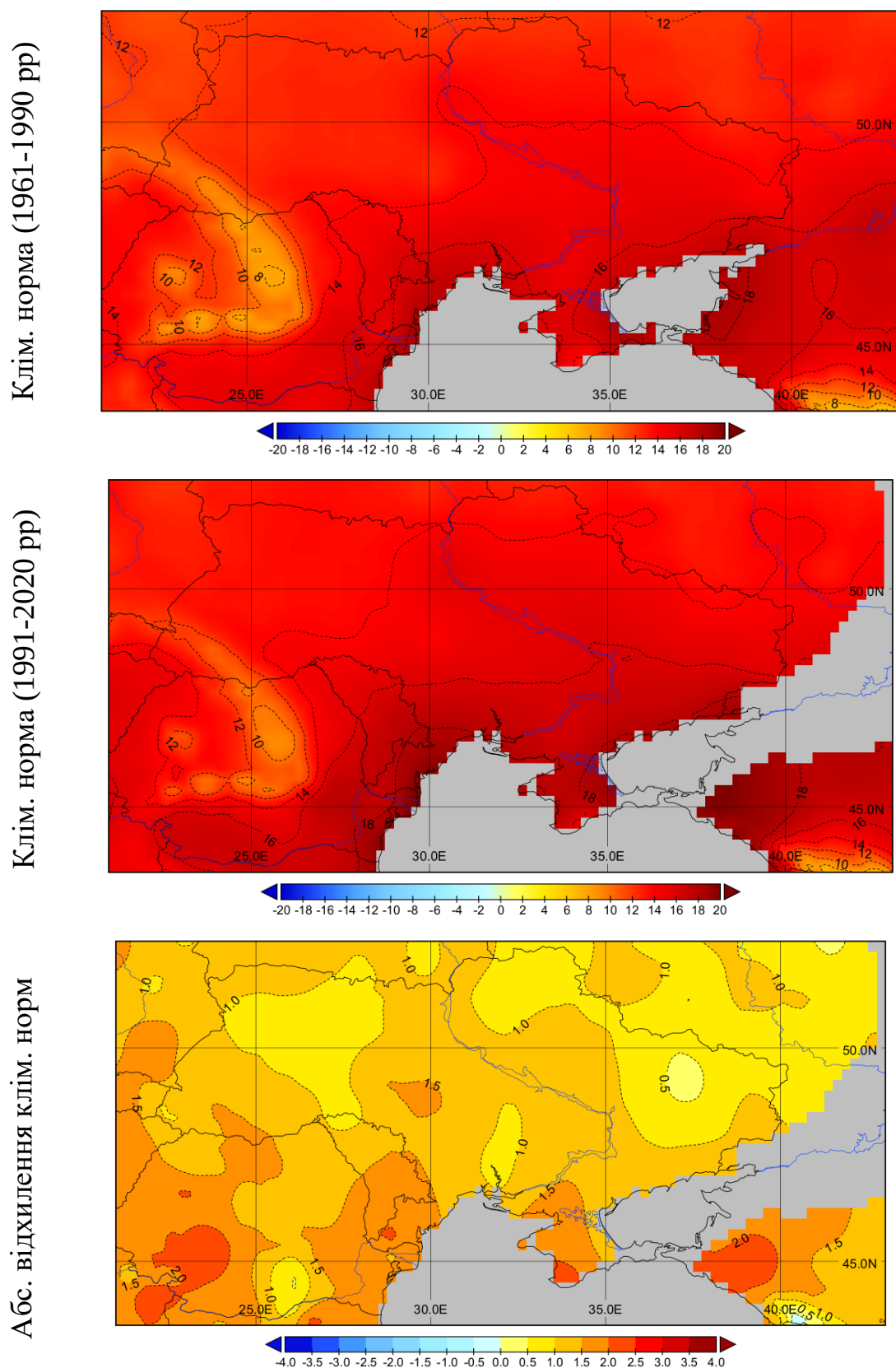


Рис. 3.9 Кліматичні норми 1961-1990 pp. та 1991-2020 pp. середньої місячної мінімальної температури повітря та абсолютне відхилення між ними (серпень)

3.4 Середні місячні мінімальні температури повітря восени

Восени розпочинається помітне зменшення значень середнього мінімуму. Так, у вересні для кліматичної норми 1961-1990 рр. його величина коливалася від $+8^{\circ}\text{C}$ до $+10^{\circ}\text{C}$ практично на всій території західних та північних областей, а також значної частини північно-східних (за невеликим винятком, де вони були нижчими), центральних та східних областей. На півдні центральних областей та у південних областях значення середнього мінімуму були від $+10^{\circ}\text{C}$ до $+12^{\circ}\text{C}$. У період нової кліматичної норми ізотерма $+12^{\circ}\text{C}$ суттєво змістилася на північ, особливо уздовж р. Дніпро. Як й у літні місяці у вересні спостерігається гребінь тепла (див. рис. 3.10).

У жовтні, що характерно для обох кліматичних норм, спостерігається суттєве зниження середнього мінімуму на всій території країни. Єдине, що потрібно підкреслити, для кліматичної норми 1961-1990 рр. у більшості регіонів спостерігалися значення від $+4^{\circ}\text{C}$ до $+6^{\circ}\text{C}$, за винятком Карпатських гір, Криму і Закарпаття, південних областей та сходу північно-східних та східних областей. Для кліматичної норми 1991-2020 рр. загальна картина збереглася, проте відзначимо, що величина середнього мінімуму зросла (див. рис. 3.11).

У листопаді у період кліматичної норми 1961-1990 рр. на більшості території України значення середнього мінімуму були у межах від -4°C до $+0^{\circ}\text{C}$. У Карпатах вони були ще нижчими. У західних районах західних областей, на значній частині території центральних областей, у південних областях та Криму його значення були вищими за $+0^{\circ}\text{C}$ (див. рис. 3.12).

Розглянемо зміни, які відбулися, якщо порівнювати ці дві кліматичні норми між собою. У вересні на всій території України спострігається збільшення значень середнього мінімуму. Також зберігається осердкова структура на загальному фоні. У жовтні також повсюдно спострігається збільшення, а ось у листопаді було виявлено факт наявності смуги зменшення середнього мінімуму уздовж узбережжя Азовського моря.

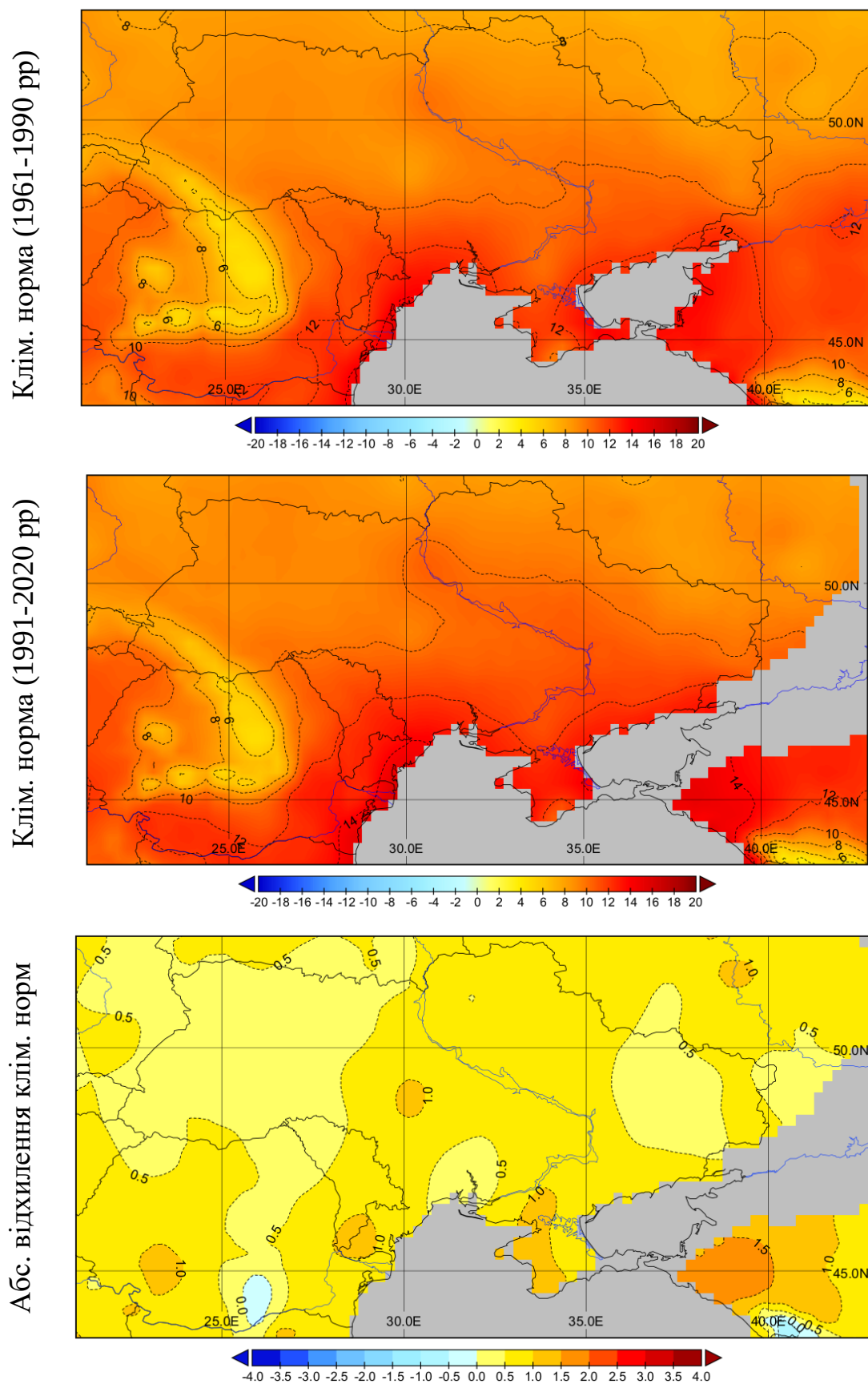


Рис. 3.10 Кліматичні норми 1961-1990 pp. та 1991-2020 pp. середньої місячної мінімальної температури повітря та абсолютне відхилення між ними (вересень)

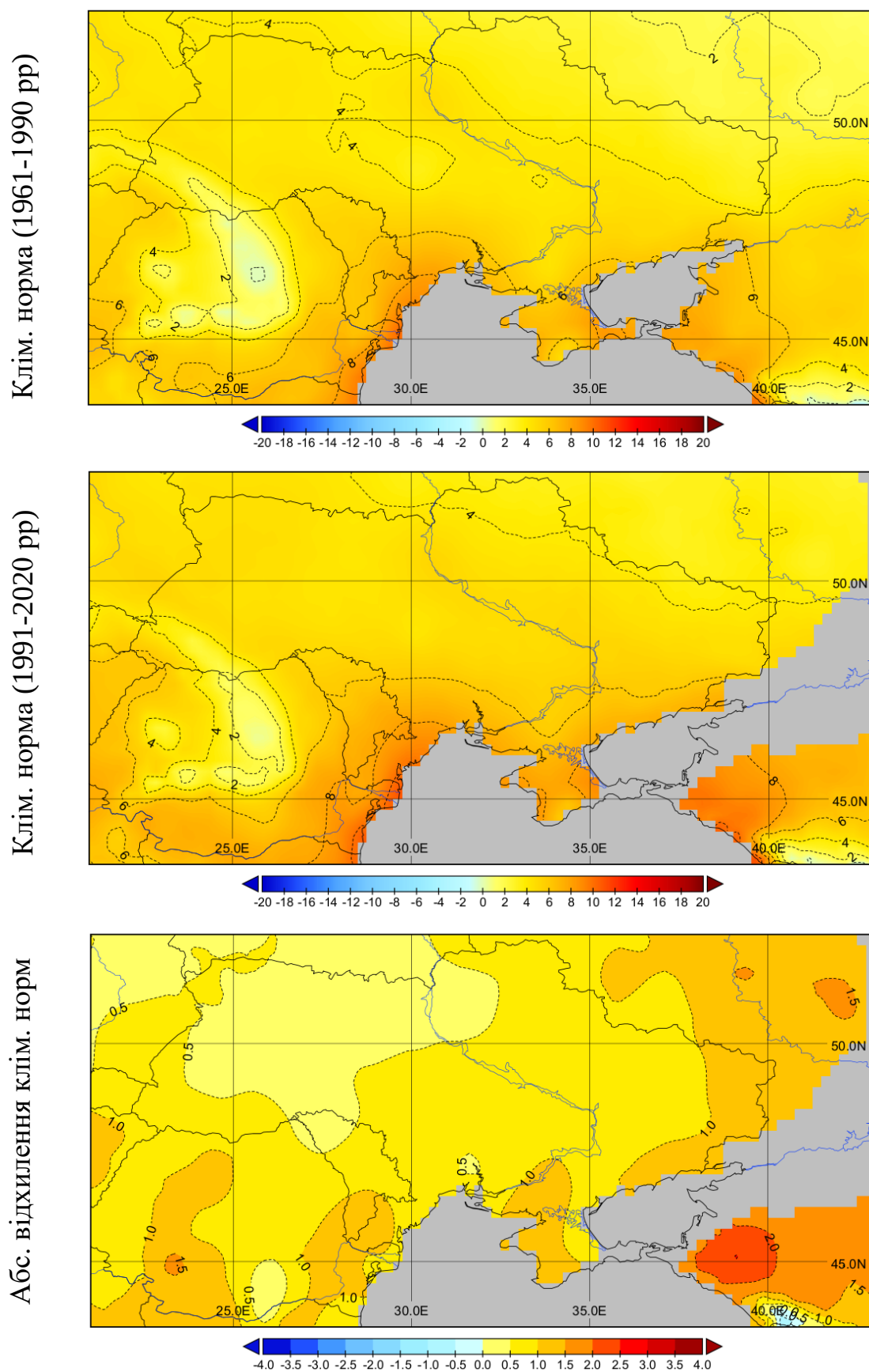


Рис. 3.11 Кліматичні норми 1961-1990 pp. та 1991-2020 pp. середньої місячної мінімальної температури повітря та абсолютне відхилення між ними (жовтень)

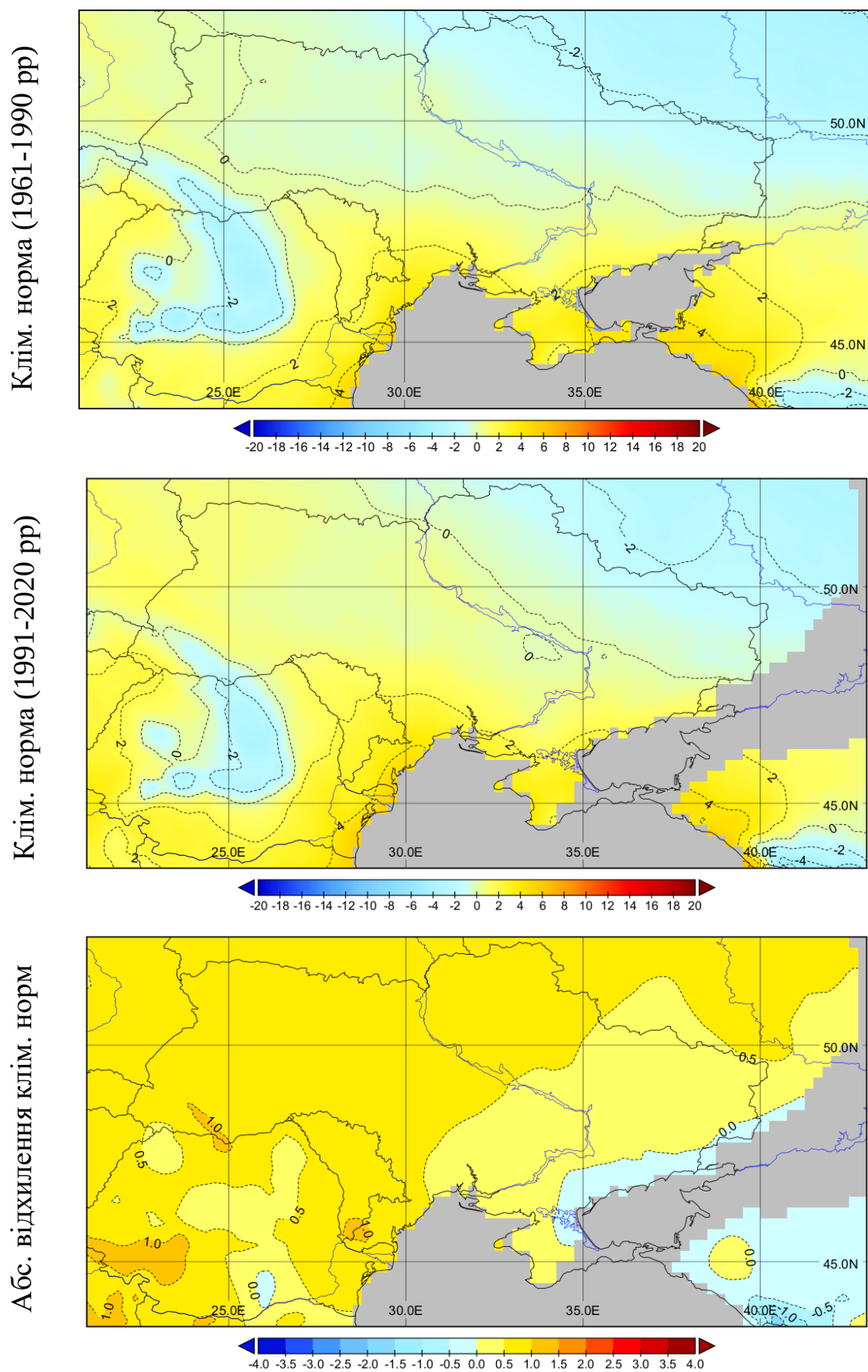


Рис. 3.12 Кліматичні норми 1961-1990 pp. та 1991-2020 pp. середньої місячної мінімальної температури повітря та абсолютне відхилення між ними (листопад)

РОЗДІЛ 4

ПРОСТОРОВО-ЧАСОВИЙ РОЗПОДІЛ ОСЕРЕДНЕНИХ ЕКСТРЕМАЛЬНИХ ЗНАЧЕНЬ МІНІМАЛЬНОЇ ТЕМПЕРАТУРИ ПОВІТРЯ НА ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ ТА ЇХ ЗМІНИ

4.1 Середні із абсолютних максимумів та мінімумів мінімальної температури повітря взимку

Розглянемо середні із абсолютних максимумів та мінімумів (середній абсолютний мінімум) мінімальної температури повітря взимку. У порівнянні із середнім мінімумом розподіл значень середнього абсолютного максимуму мінімальної температури повітря у січні (див. рис. 3.1 та рис. 4.1) має досить згладжений характер. Для періоду кліматичної норми 1961-1991 рр. на більшій частині території України його значення були у межах від 0°C до +4°C. Вийнятком були Карпатські гори, схід північно-східних та східних областей України, де вони були нижчими за 0°C, а також центральна частина Кримського півострова та Керченський півострів, де вони були вищими, ніж +4°C. У період нової кліматичної норми площа значень вище за +4°C суттєво збільшилася.

Найнижчі значення середнього абсолютного мінімуму спостерігаються на північному сході та сході України (< -21°C), а також у Карпатах (< -18°C), див. рис. 4.4.

Загалом у лютому та грудні загальна картина розподілу описаних вище для січня кліматичних показників є подібною (див. рис. 4.2, 4.3 та рис. 4.5, 4.6). Варто також відзначити, що за різницею між середнім із абсолютних максимумів та мінімумів мінімальної температури повітря грудень є найтеплішим місяцем зими. Найбільші зміни (переважно зростання значень) відбулися у січні та лютому, а їх розподіл має квазіширотний характер (див. рис. 4.1-4.6).

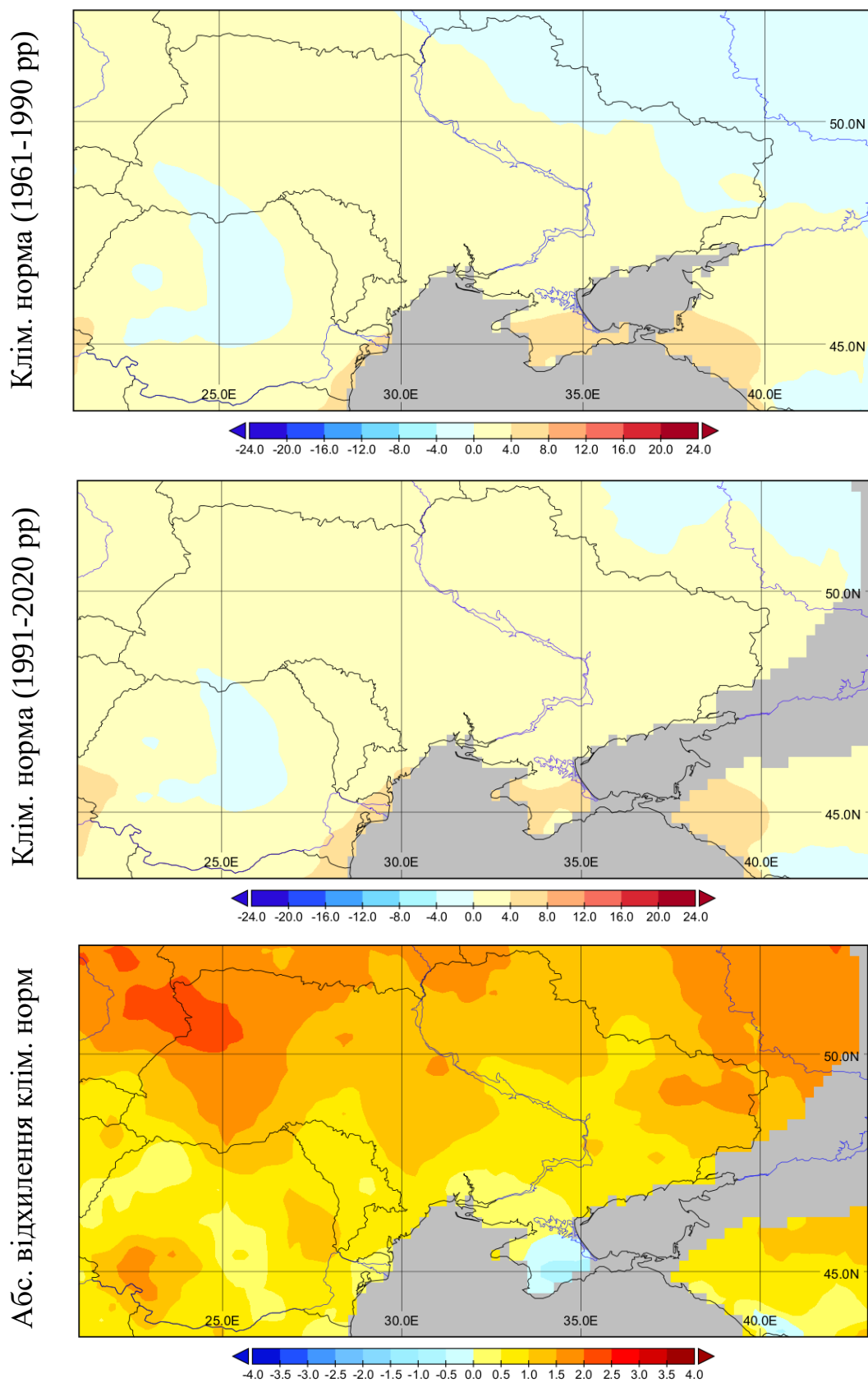


Рис. 4.1 Кліматичні норми середніх абсолютних максимальних значень мінімальної температури повітря та абсолютне відхилення між ними (січень)

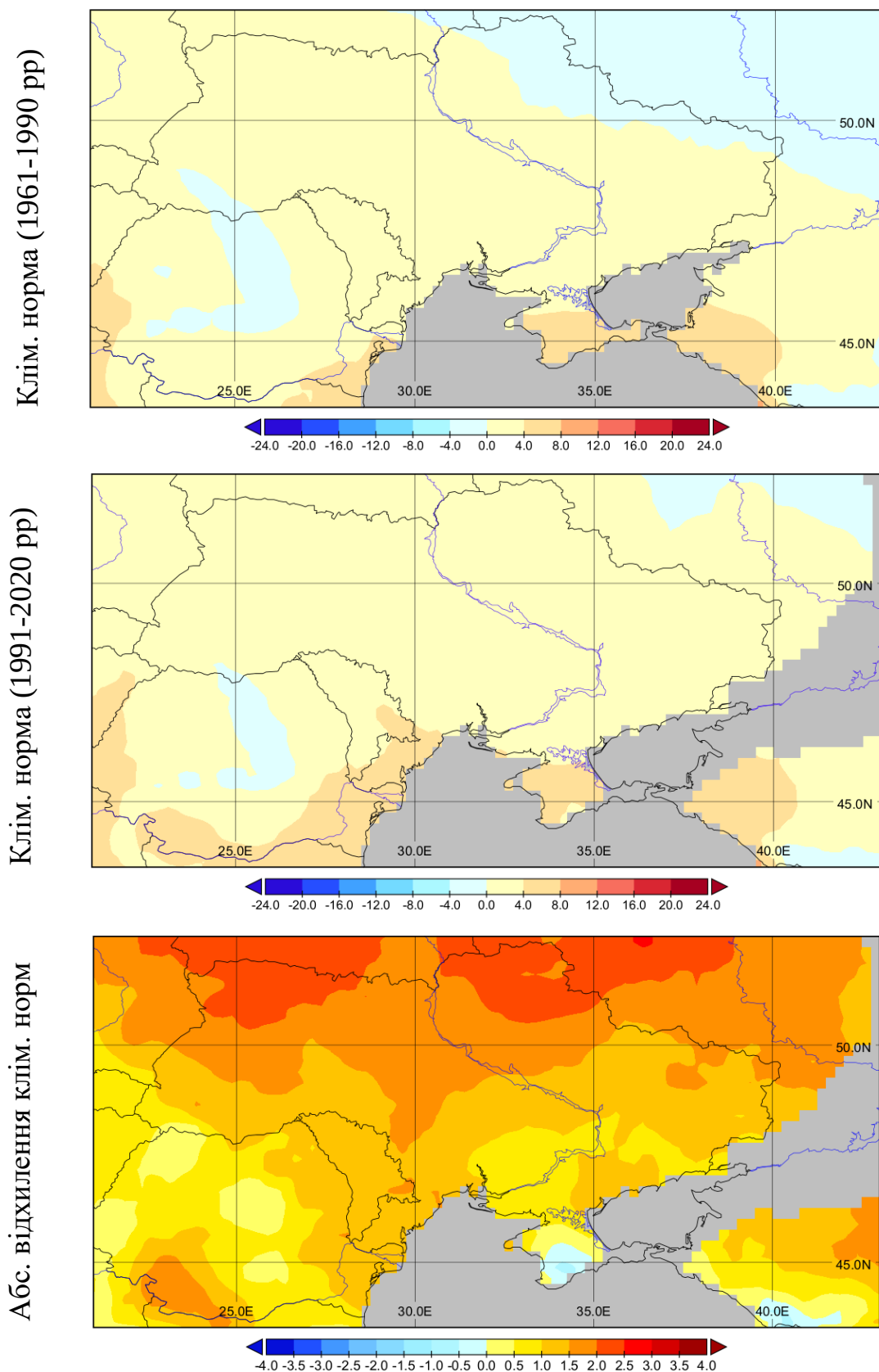


Рис. 4.2 Кліматичні норми середніх абсолютних максимальних значень мінімальної температури повітря та абсолютне відхилення між ними (лютий)

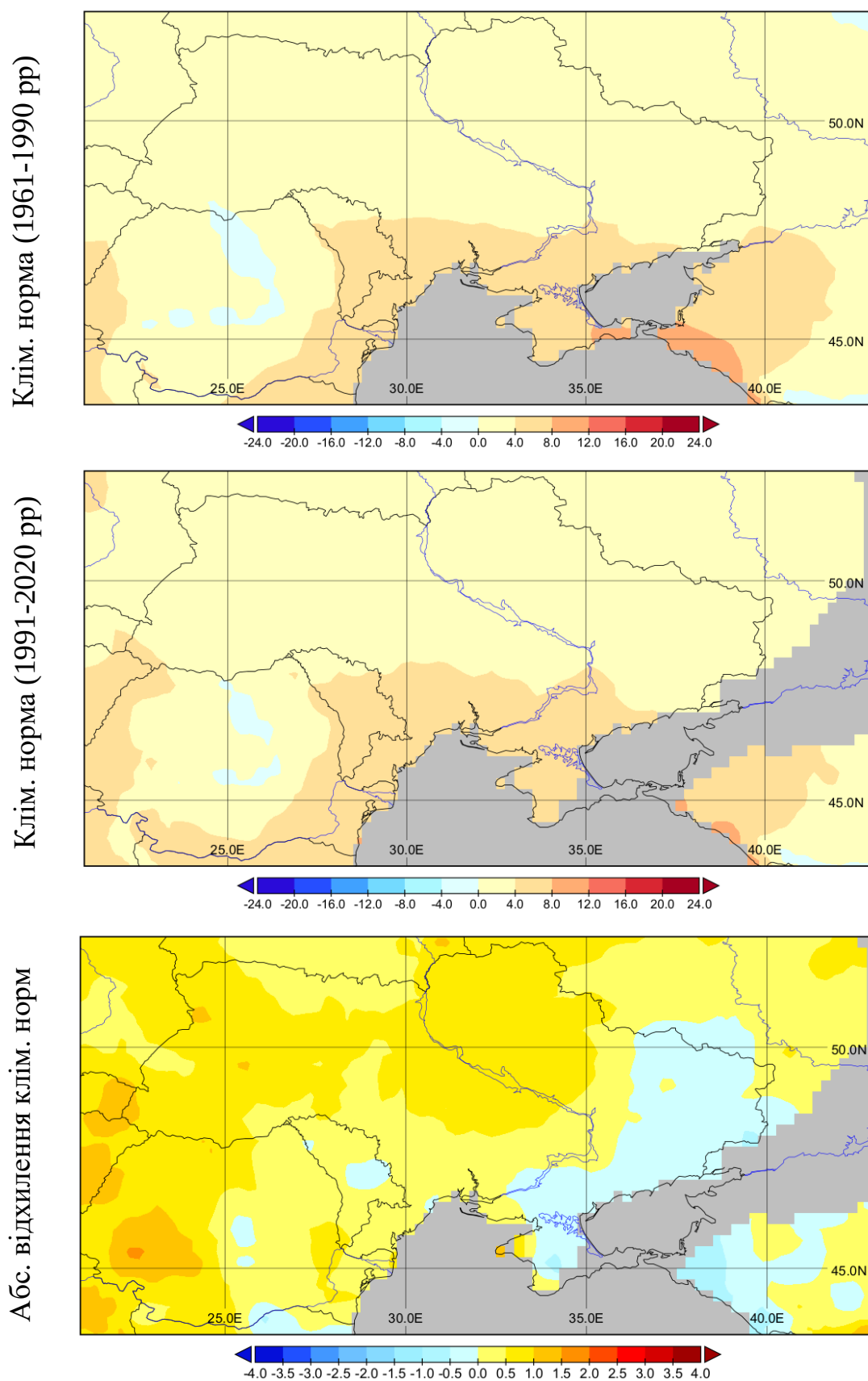


Рис. 4.3 Кліматичні норми середніх абсолютних максимальних значень мінімальної температури повітря та абсолютне відхилення між ними (грудень)

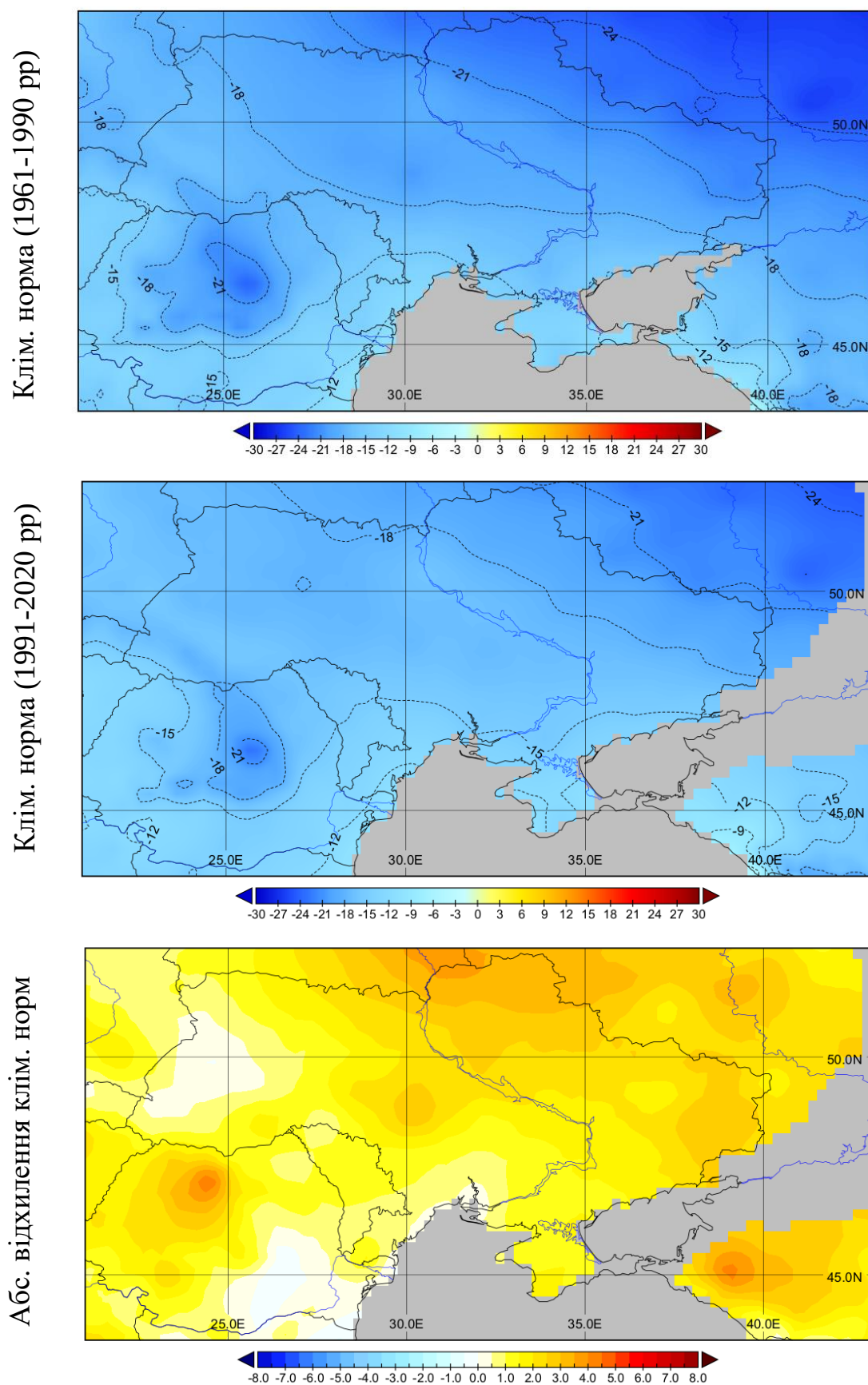


Рис. 4.4 Кліматичні норми середніх абсолютних мінімальних значень мінімальної температури повітря та абсолютне відхилення між ними (січень)

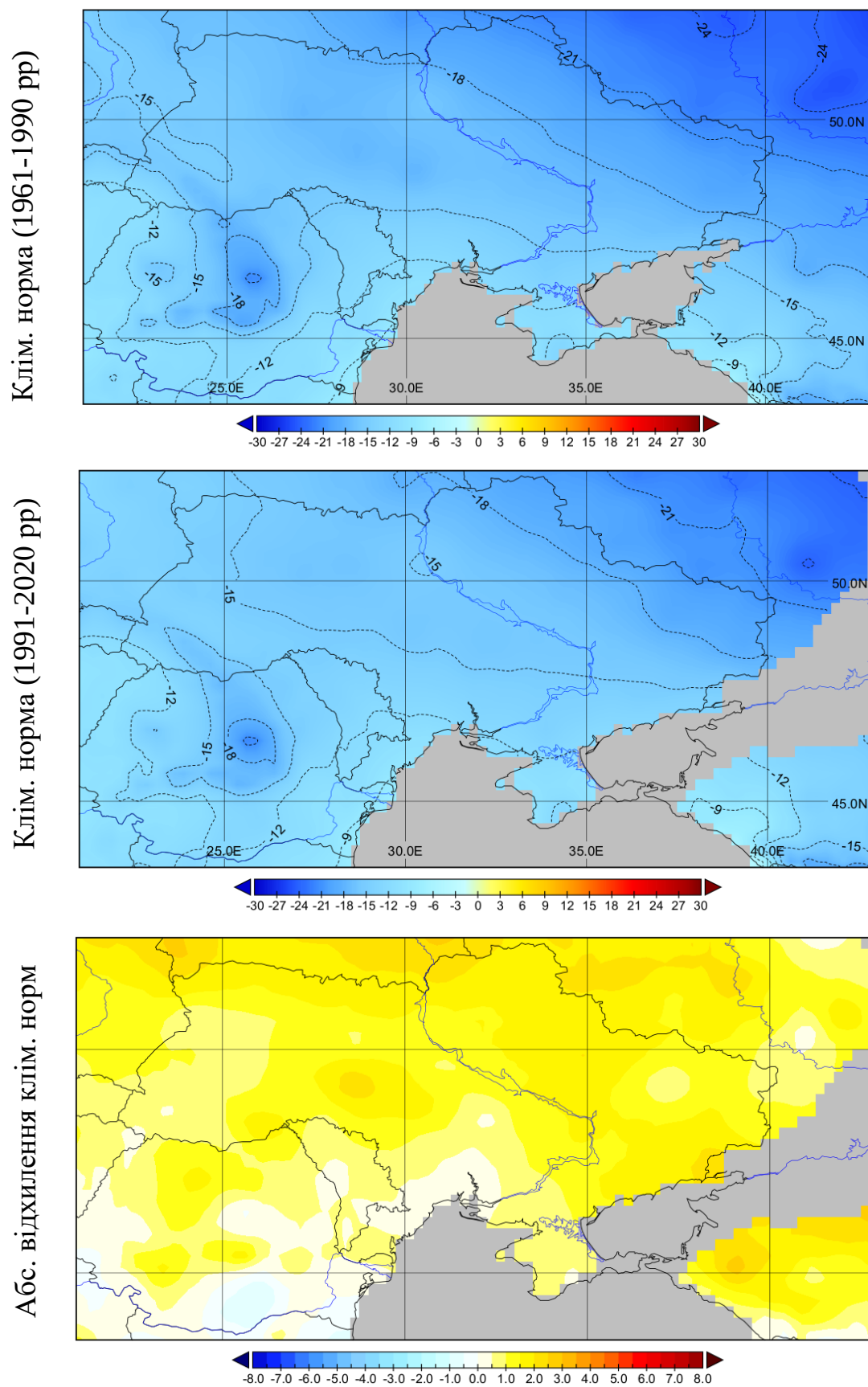


Рис. 4.5 Кліматичні норми середніх абсолютних мінімальних значень мінімальної температури повітря та абсолютне відхилення між ними (лютий)

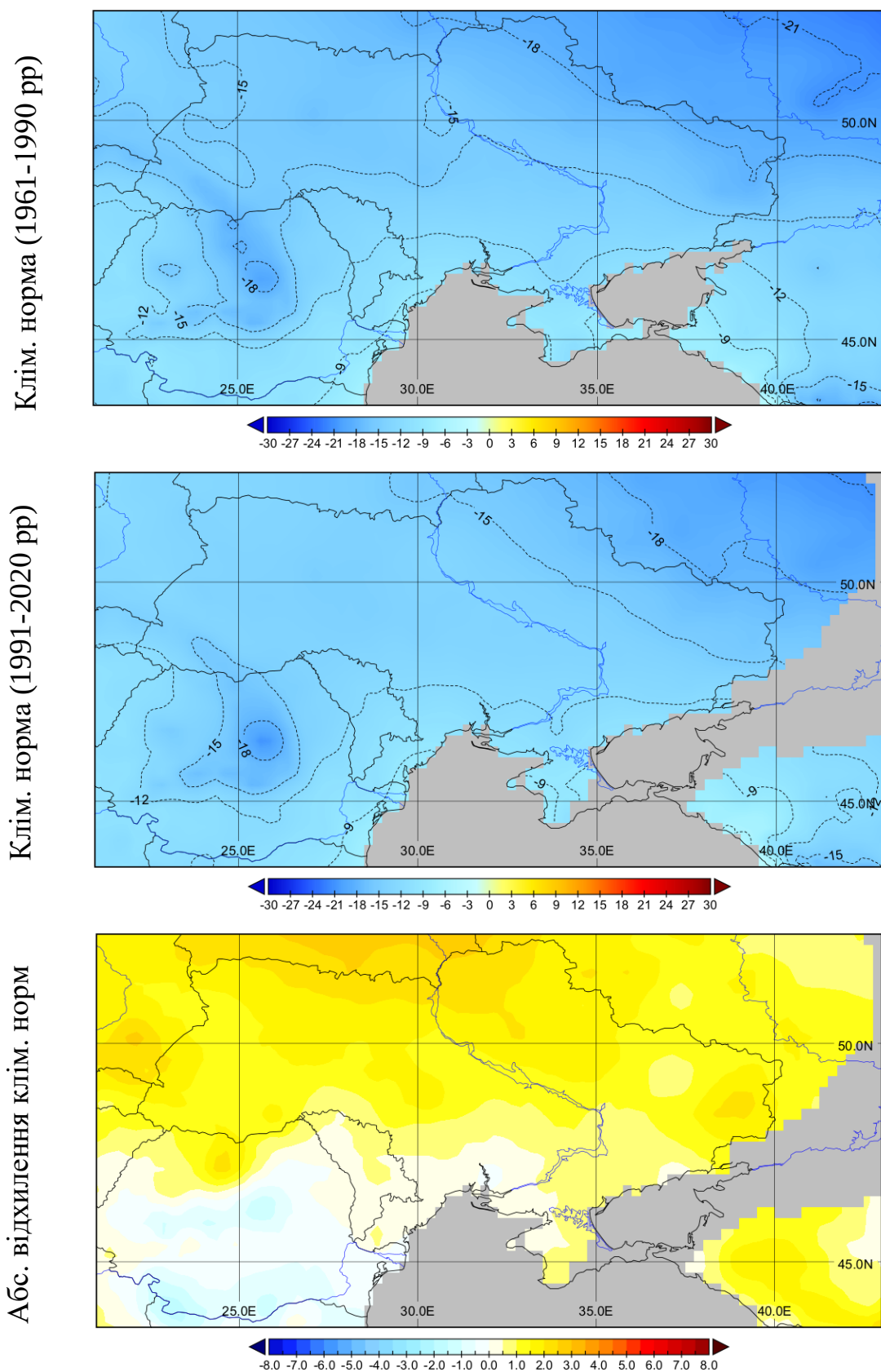


Рис. 4.6 Кліматичні норми середніх абсолютних мінімальних значень мінімальної температури повітря та абсолютне відхилення між ними (грудень)

4.2 Середні із абсолютних максимумів та мінімумів мінімальної температури повітря навесні

У березні у період кліматичної норми 1961-1991 рр. розподіл середніх із абсолютних максимумів мінімальної температури повітря був більш строкатим, аніж у період кліматичної норми 1991-2020 рр. Саме у наш час площа значень понад $+4^{\circ}\text{C}$ значно розширилася. У Карпатському регіоні має місце область понижених значень. Розподіл значень середнього абсолютного мінімуму, як й у зимові місяці, загалом зберігає квазімеридіональну орієнтацію. Найнижчі значення також мають місце у Карпатських горах, сході північно-східних та східних областей України (див. рис. 4.7, 4.10).

У квітні розподіл середніх із абсолютних максимумів мінімальної температури повітря стає більш однорідним, практично повсюдно його значення є більшими за $+4^{\circ}\text{C}$ (див. рис. 4.9). Вийняток становлять Карпатські гори (де значення є нижчими), південний захід Одеської області (чорноморське узбережжя) та Київська агломерація, де прослідковується острів тепла, до речі, його також видно і на картах середнього абсолютного мінімуму у лютому та грудні (див. рис. 4.5, 4.6).

У травні у період кліматичної норми 1961-1991 рр. на більшості території України середніх із абсолютних максимумів мінімальної температури повітря були більшими за $+12^{\circ}\text{C}$. Більшими за $+16^{\circ}\text{C}$ вони були у м. Київ, на північно-західному узбережжі Чорного моря та на узбережжі Азовського моря. У період кліматичної норми 1991-2020 рр. уздовж р. Дніпро з'являється гребінь тепла, площа ж підвищених значень на узбережжі морів та навколо м. Київ значно збільшується.

У весняні місяці на території України спостерігалось, як збільшення, так і зменшення показників, які розглядалися. Із переважним зростанням середніх із абсолютних максимумів мінімальної температури на Поліссі та у Лісостепу, до деякого зменшення середніх абсолютних мінімумів у квітні та травні (див. рис. 4.7-4.12).

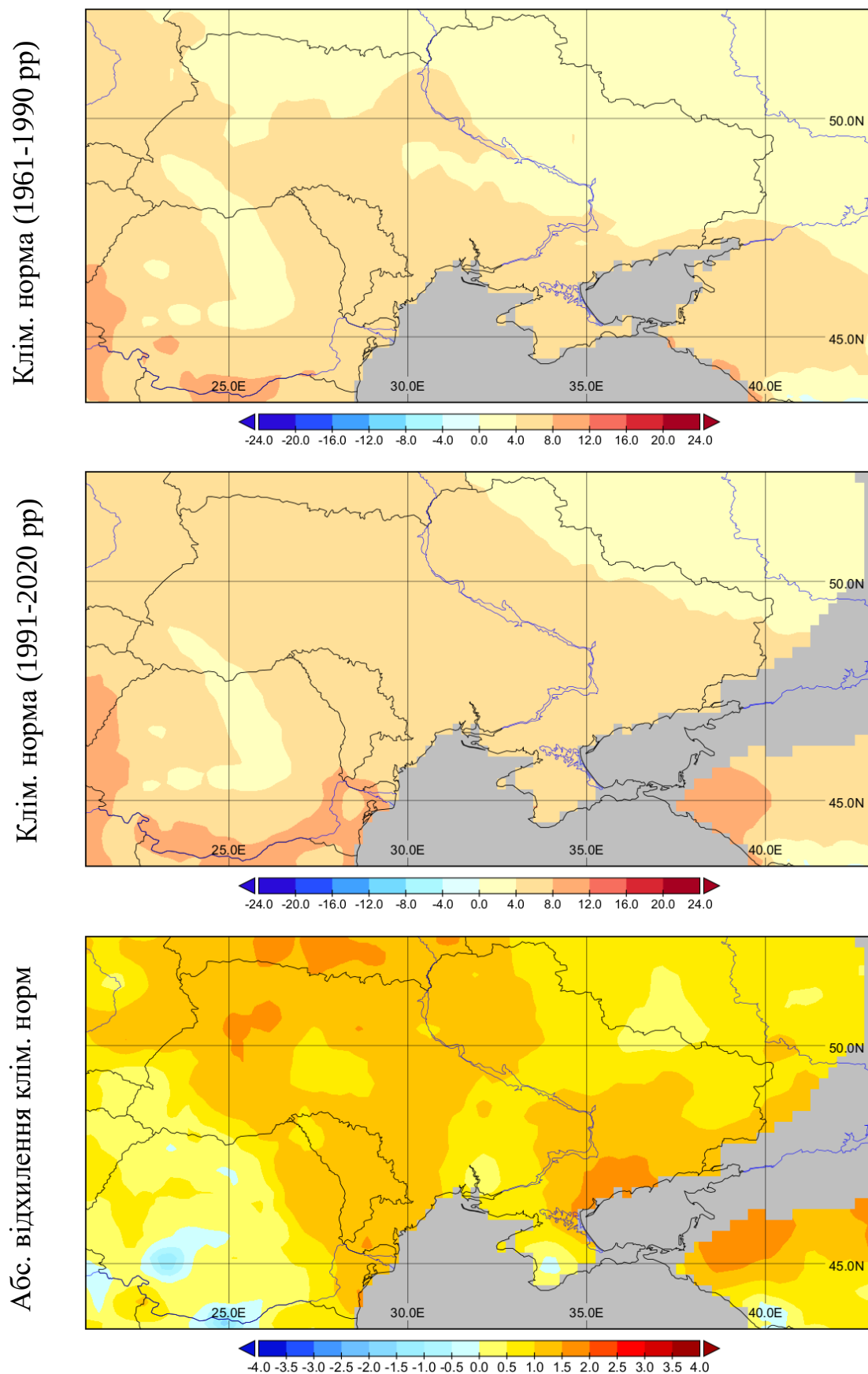


Рис. 4.7 Кліматичні норми середніх абсолютних максимальних значень мінімальної температури повітря та абсолютне відхилення між ними (березень)

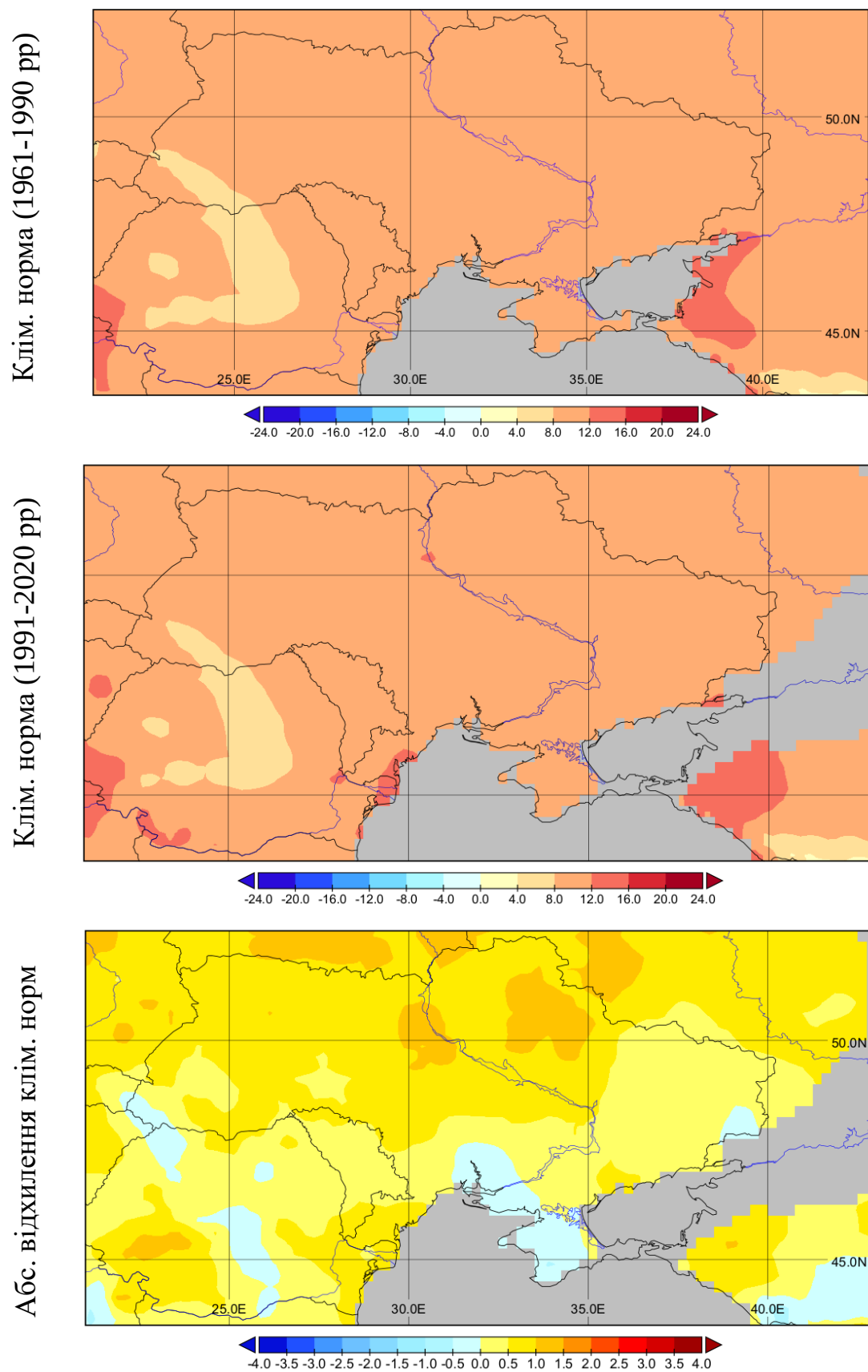


Рис. 4.8 Кліматичні норми середніх абсолютних максимальних значень мінімальної температури повітря та абсолютне відхилення між ними (квітень)

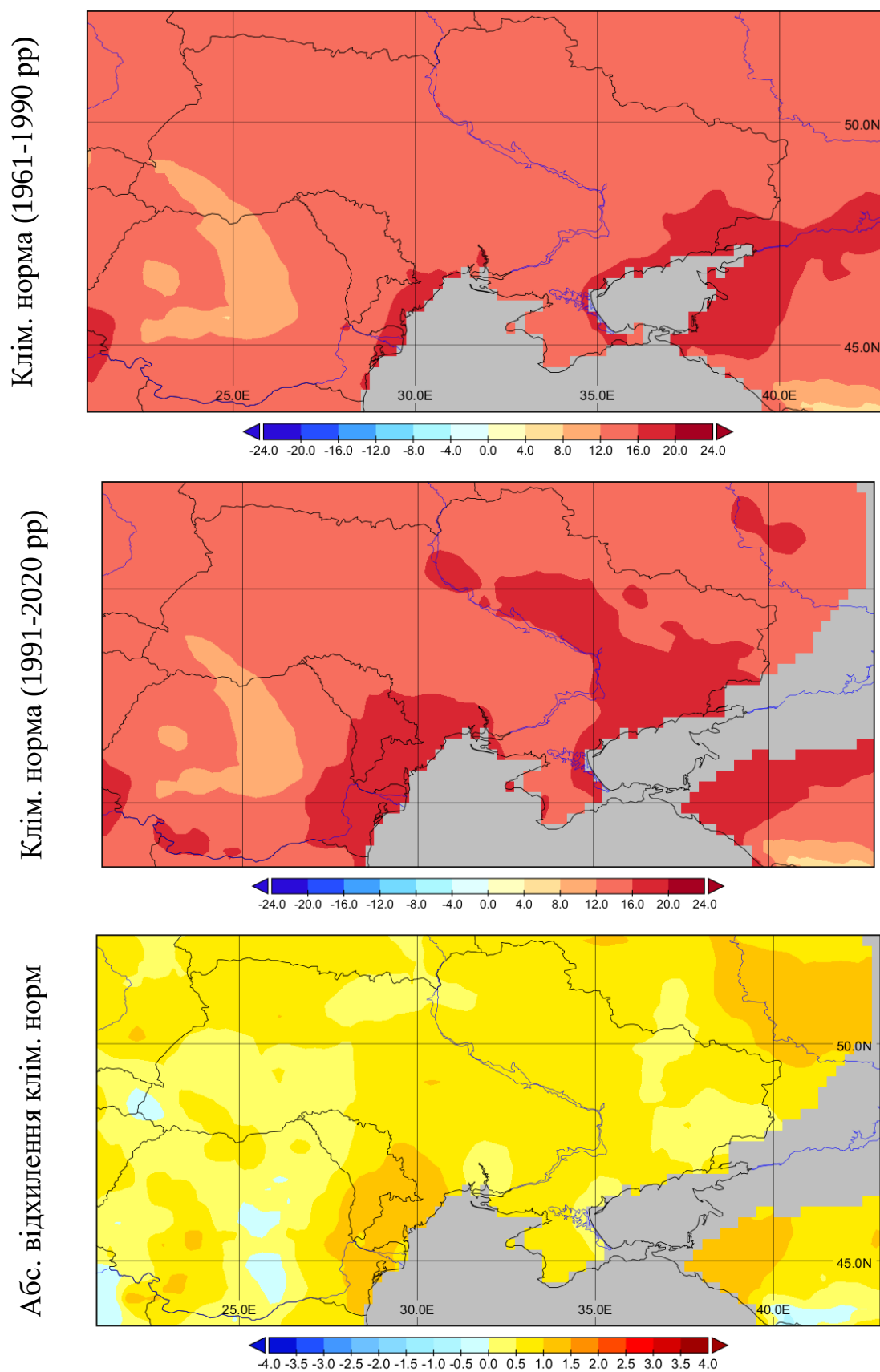


Рис. 4.9 Кліматичні норми середніх абсолютних максимальних значень мінімальної температури повітря та абсолютне відхилення між ними (травень)

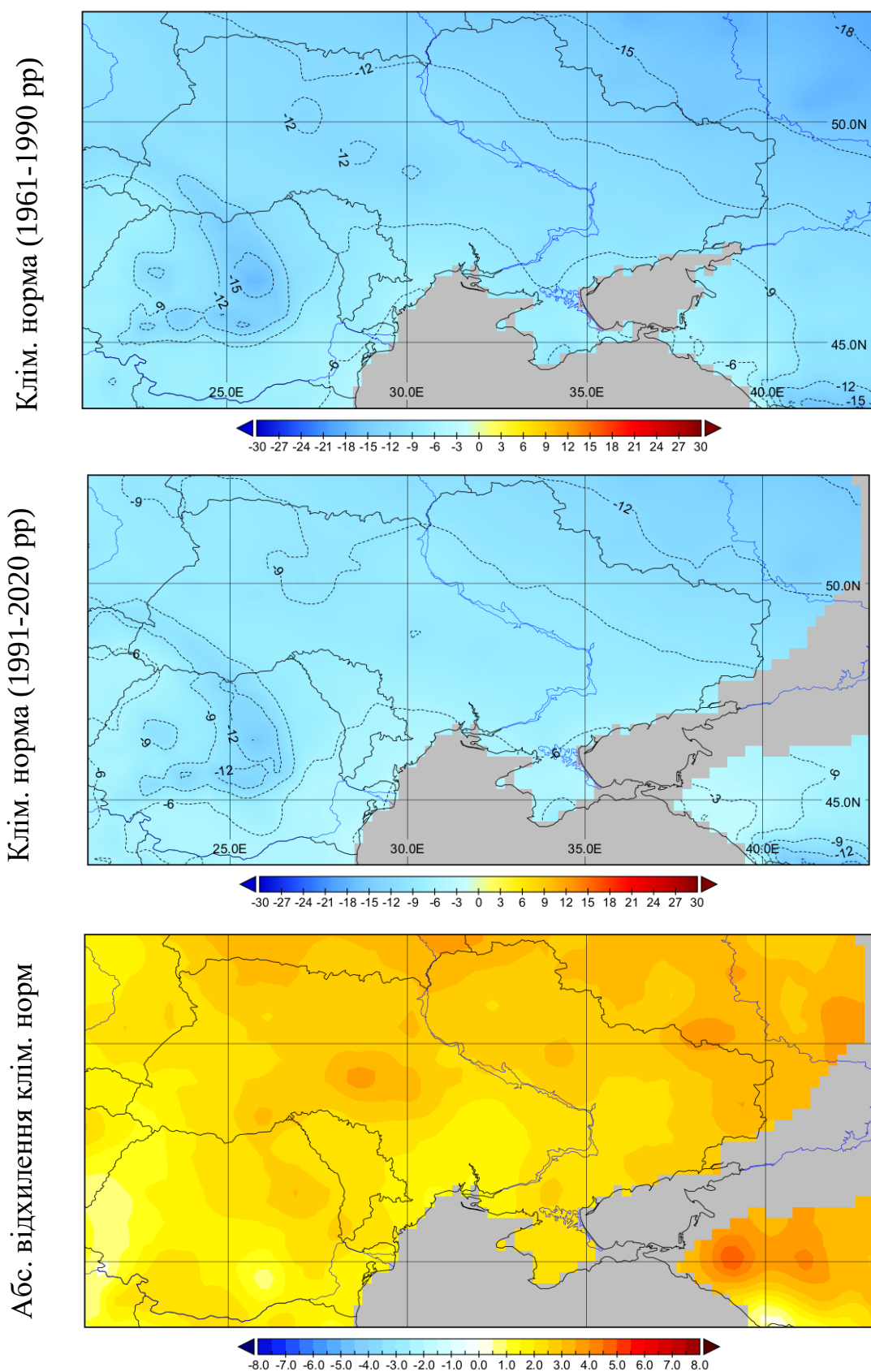


Рис. 4.10 Кліматичні норми середніх абсолютних мінімальних значень мінімальної температури повітря та абсолютне відхилення між ними (березень)

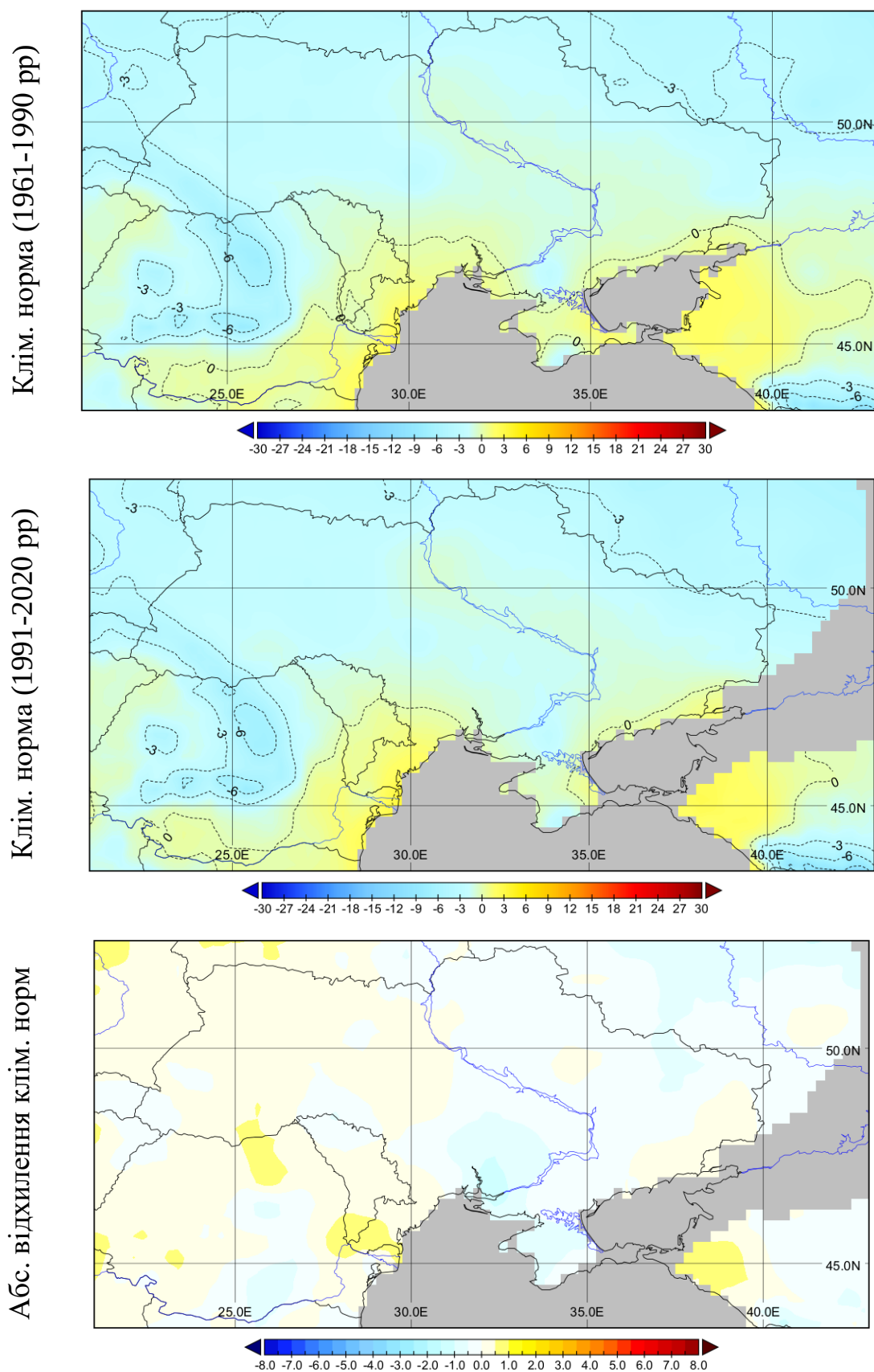


Рис. 4.11 Кліматичні норми середніх абсолютних мінімальних значень мінімальної температури повітря та абсолютне відхилення між ними (квітень)

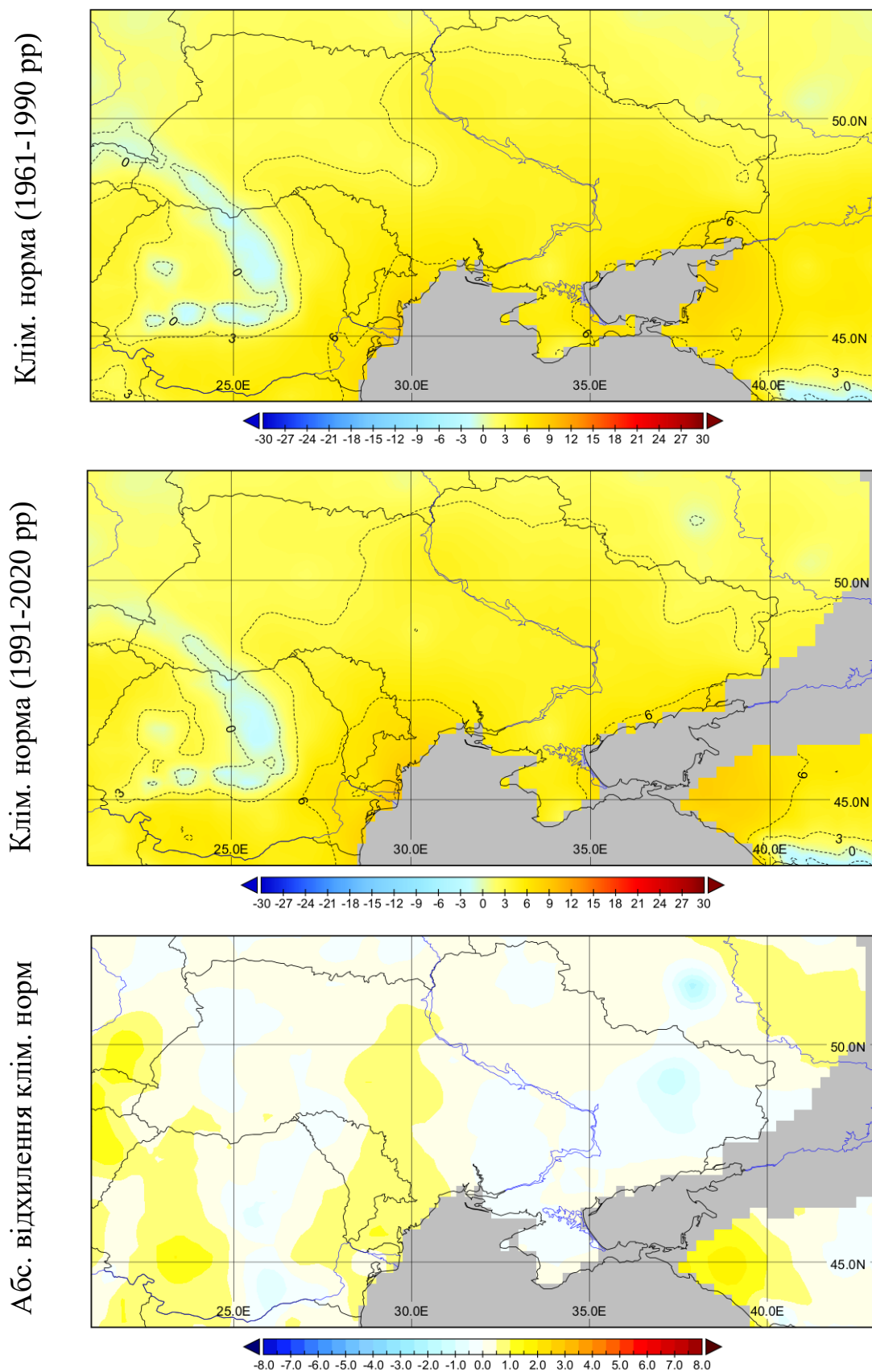


Рис. 4.12 Кліматичні норми середніх абсолютних мінімальних значень мінімальної температури повітря та абсолютне відхилення між ними (травень)

4.3 Середні із абсолютних максимумів та мінімумів мінімальної температури повітря влітку

Червень характеризується тим, що на більшій частині території України значення середніх із абсолютних максимумів мінімальної температури повітря є вищими за $+16^{\circ}\text{C}$. Ще більшими вони є на північно-західному узбережжі Чорного моря та на узбережжі Азовського моря. Нижчі значення мають місце у Карпатських горах. Варто також відзначити, що у період нової кліматичної норми відбулося розширення областей значень понад $+20^{\circ}\text{C}$ на півдні України. Деяке збільшення значень та площ відбулося й у просторовому розподілі середнього абсолютного мінімуму.

У наш час у липні на значних територіях рівнинної частини України спостерігаються значення середніх із абсолютних максимумів мінімальної температури повітря, які становлять $+20^{\circ}\text{C}$ і вище. Причому у порівнянні із кліматичною нормою 1961-1990 рр. відбулося радикальне збільшення площ, де такі значення спостерігаються. Просторовий розподіл середнього абсолютного мінімуму нагадує просторовий розподіл середнього мінімуму (див. рис. 3.8 та рис. 4.17).

У серпні зберігається загальний фон, який характерний для кожної із кліматичних норм липня, проте відбувається зменшення площ зі значеннями середніх із абсолютних максимумів мінімальної температури повітря понад $+20^{\circ}\text{C}$. На заході, північному заході, північному сході та сході України значення середнього абсолютного мінімуму є нижчими за $+9^{\circ}\text{C}$.

Влітку на території України спостерігалось повсюдне збільшення середніх із абсолютних максимумів мінімальної температури та переважно збільшення значень середнього абсолютного мінімуму (див. рис. 4.13-4.18). В обох випадках просторовий розподіл змін мав плямистий (осередковий характер) на загальному фоні.

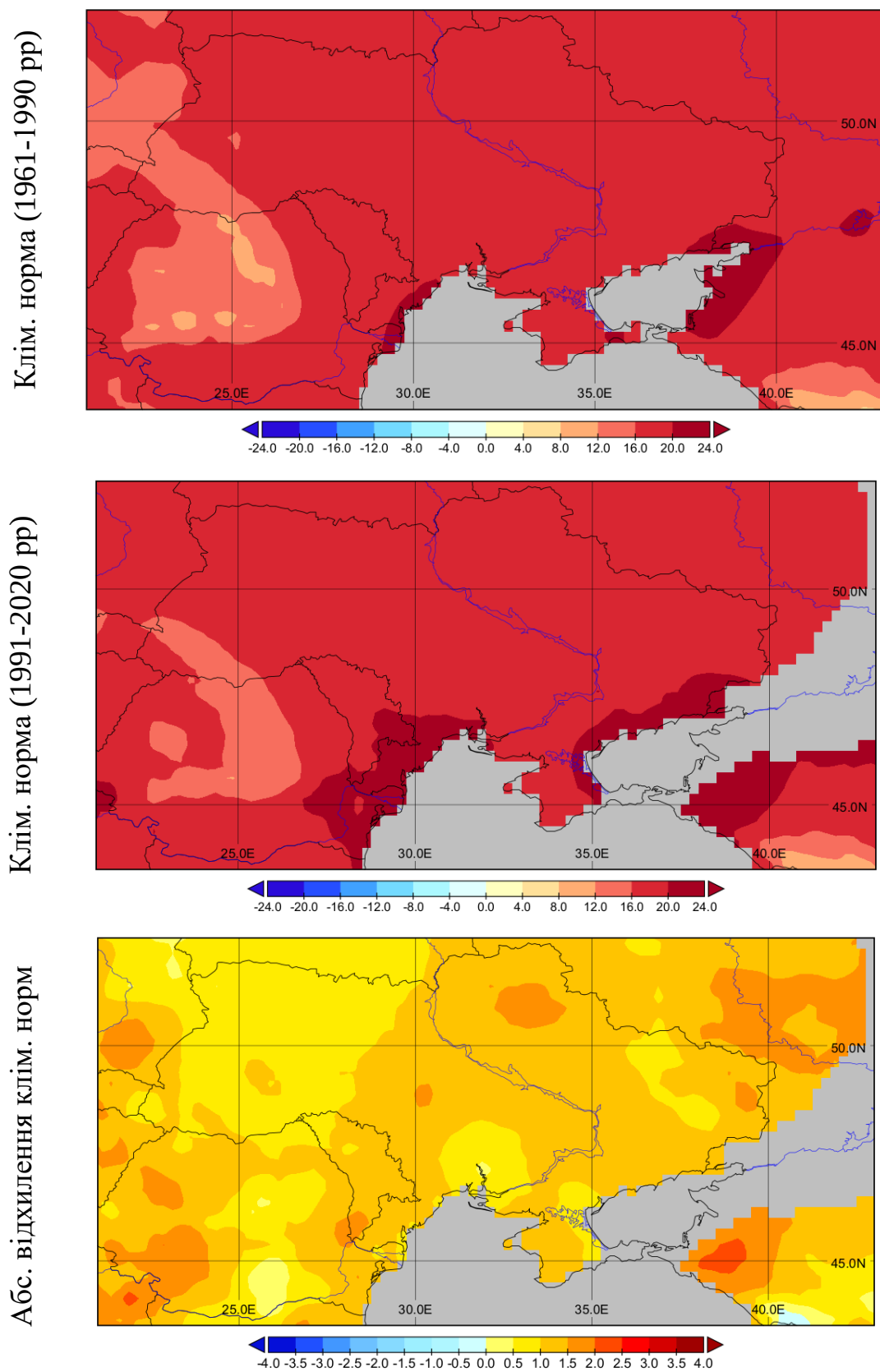


Рис. 4.13 Кліматичні норми середніх абсолютних максимальних значень мінімальної температури повітря та абсолютне відхилення між ними (червень)

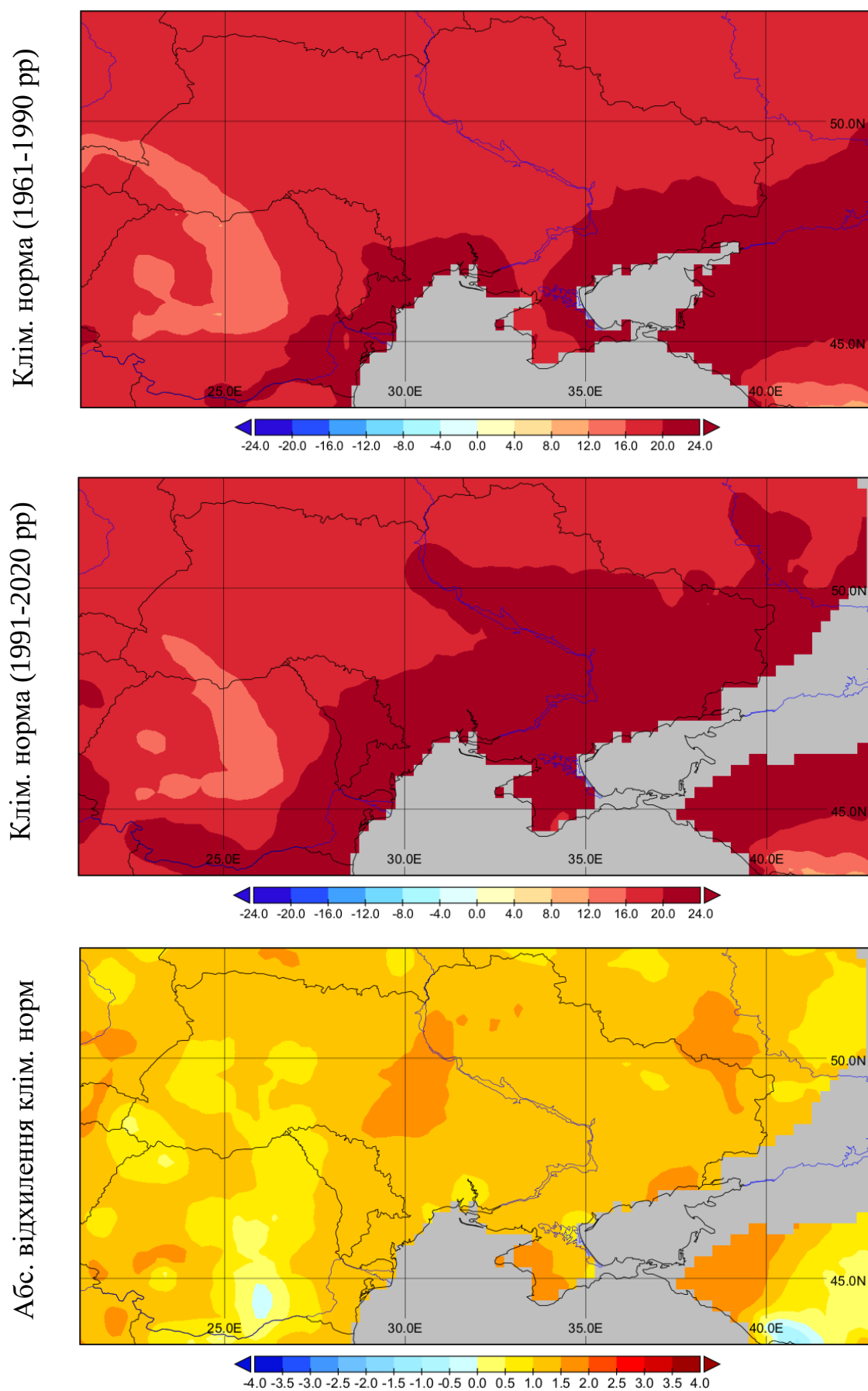


Рис. 4.14 Кліматичні норми середніх абсолютних максимальних значень мінімальної температури повітря та абсолютне відхилення між ними (липень)

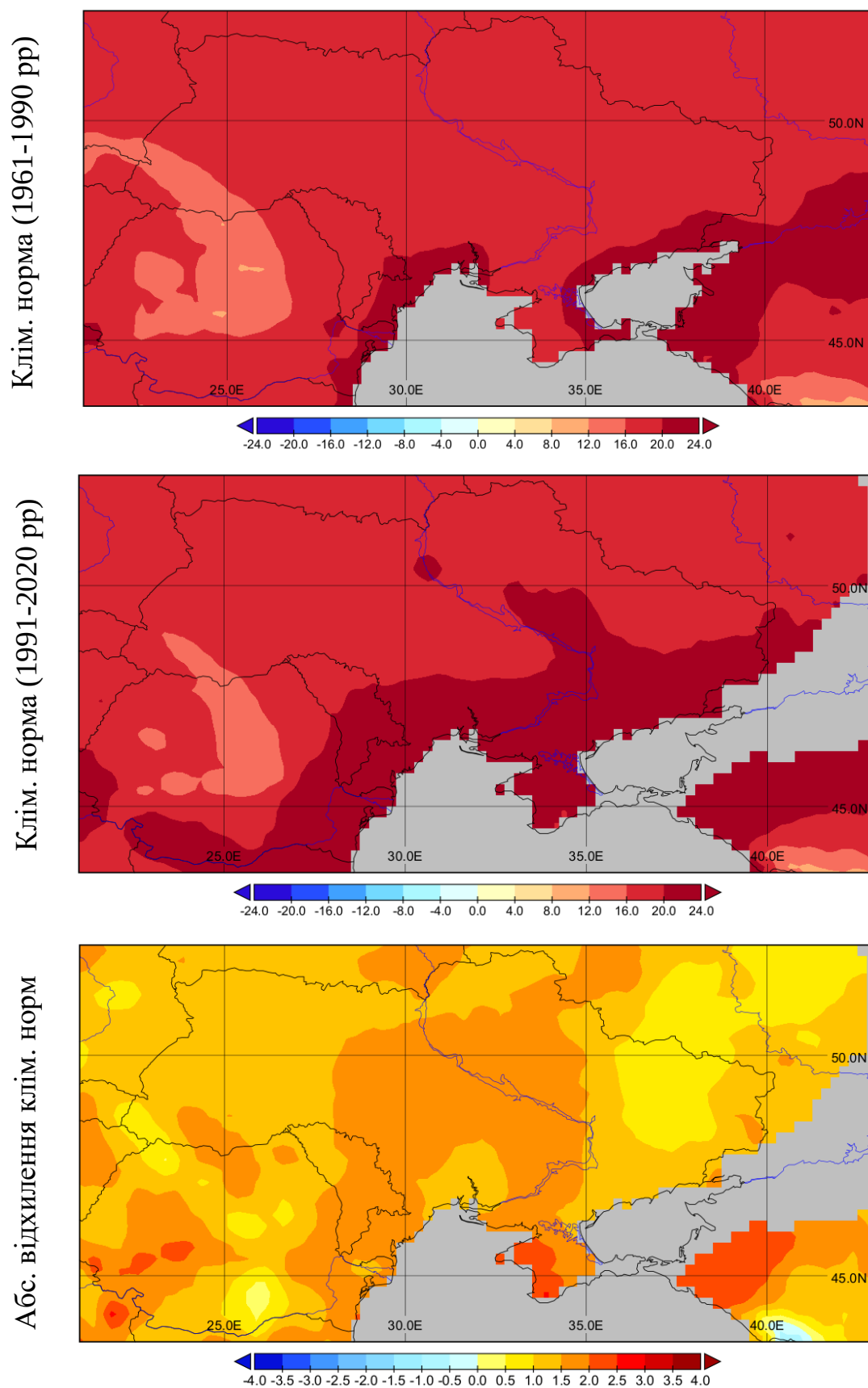


Рис. 4.15 Кліматичні норми середніх абсолютних максимальних значень мінімальної температури повітря та абсолютне відхилення між ними (серпень)

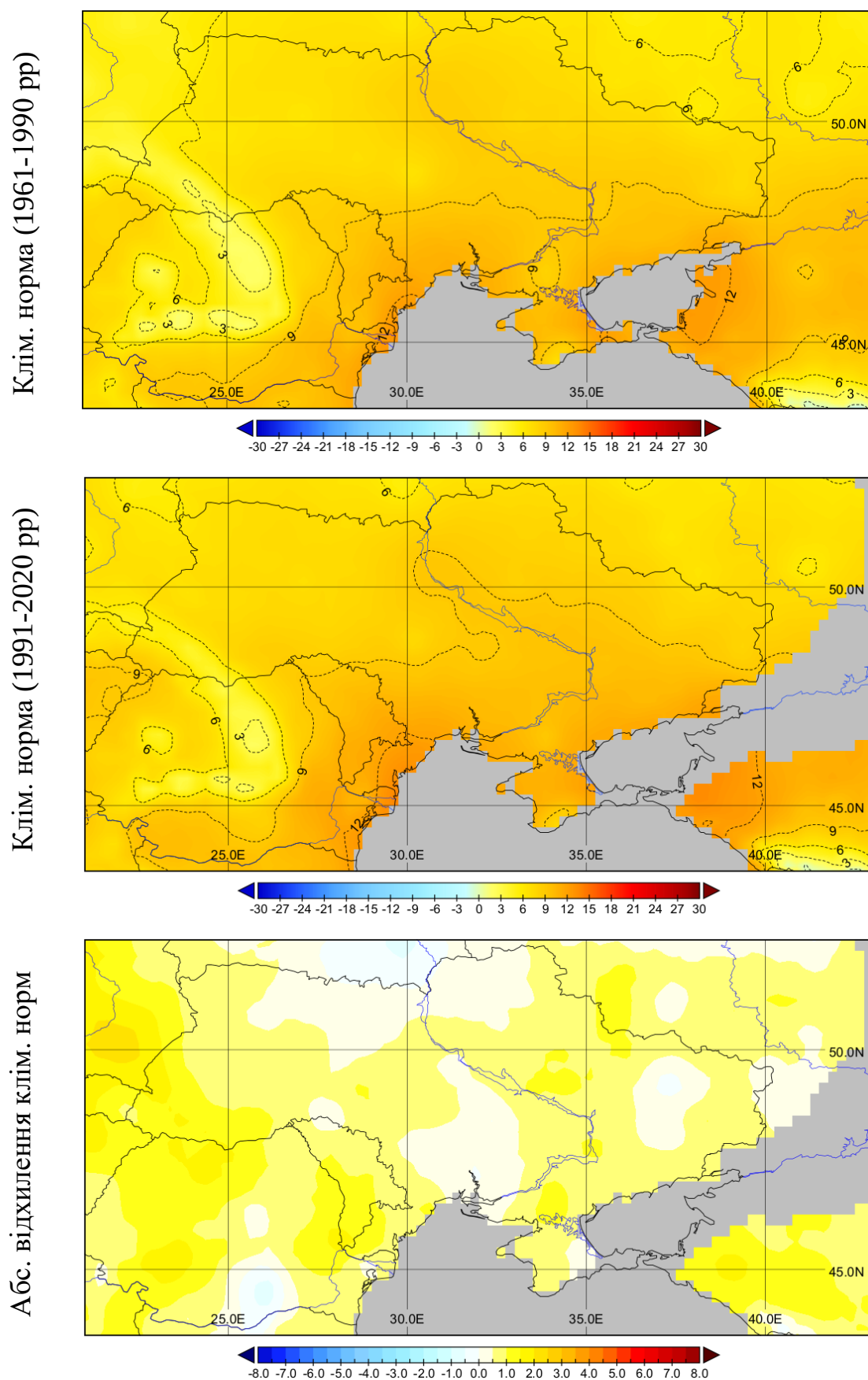


Рис. 4.16 Кліматичні норми середніх абсолютних мінімальних значень мінімальної температури повітря та абсолютне відхилення між ними (червень)

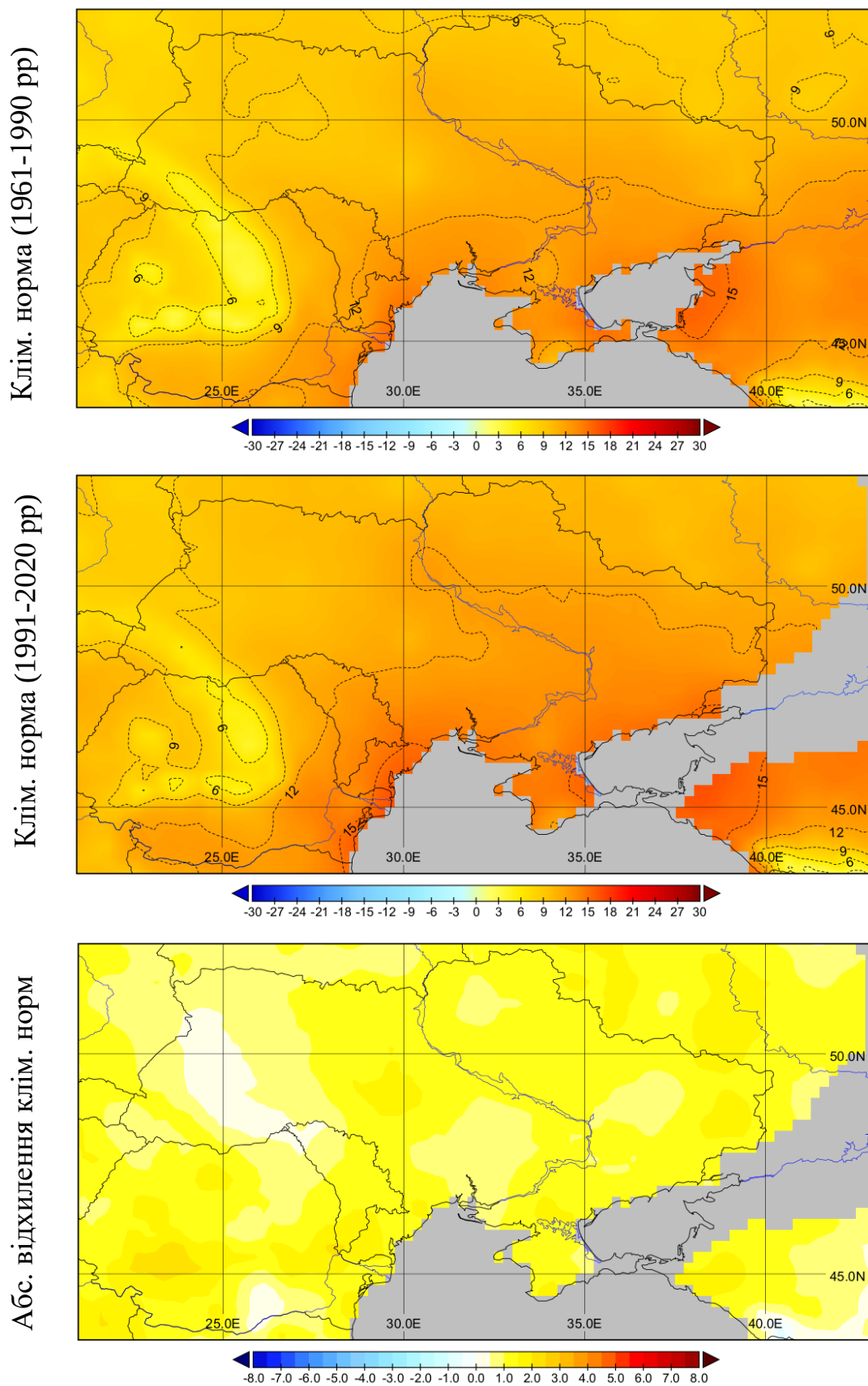


Рис. 4.17 Кліматичні норми середніх абсолютних мінімальних значень мінімальної температури повітря та абсолютне відхилення між ними (липень)

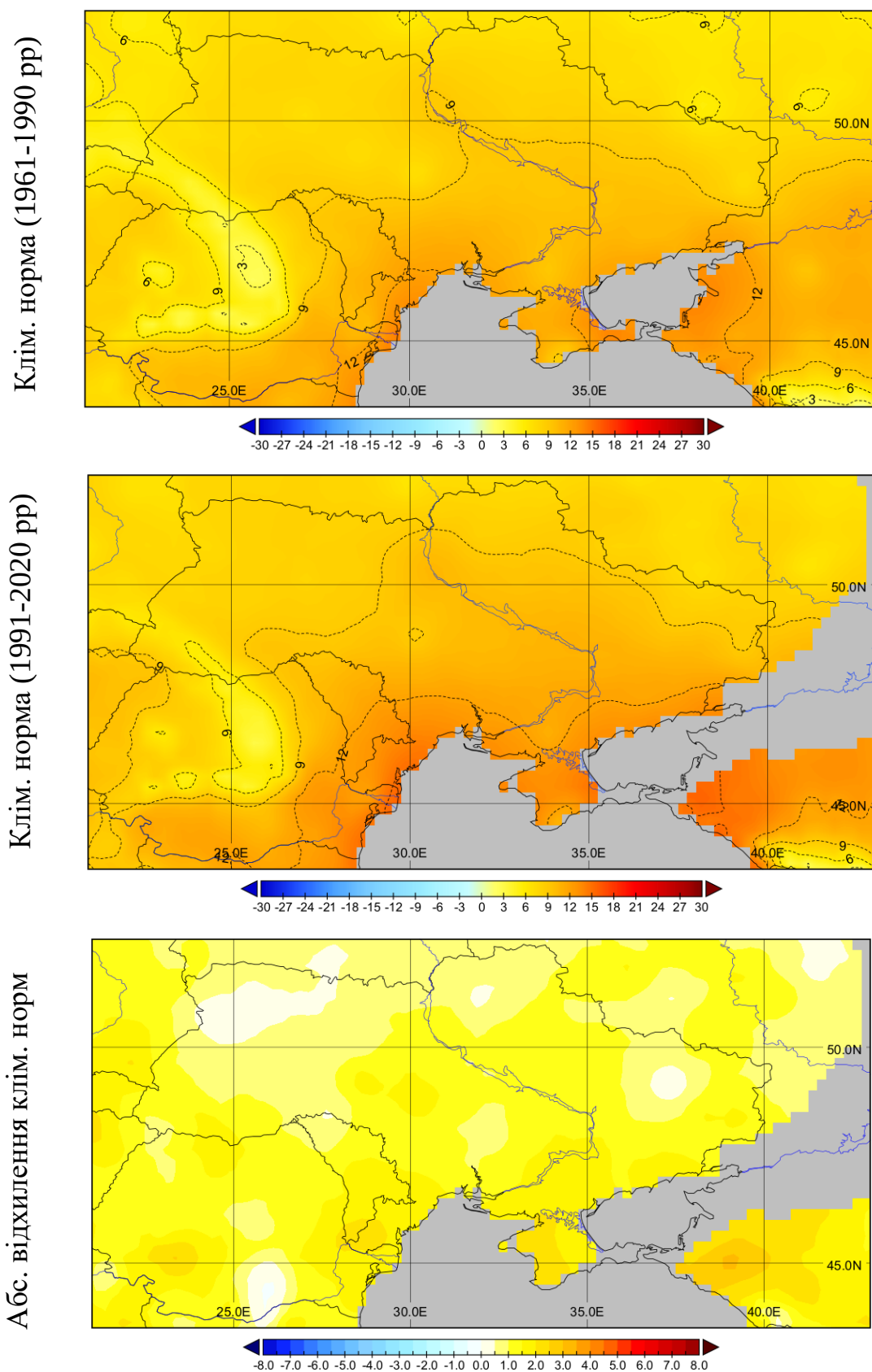


Рис. 4.18 Кліматичні норми середніх абсолютних мінімальних значень мінімальної температури повітря та абсолютне відхилення між ними (серпень)

4.4 Середні із абсолютних максимумів та мінімумів мінімальної температури повітря восени

У вересні розподіл середніх із абсолютних максимумів мінімальної температури повітря характеризується тим, що на більшості території України спостерігаються його значення понад $+12^{\circ}\text{C}$. Лише у Карпатах вони є нижчими за $+8^{\circ}\text{C}$. Дві кліматичні норми для цього місяця відрізняються між собою більшою площею значень понад $+16^{\circ}\text{C}$ у сучасний період та наявністю, хоча і не так витягнутого на північ, гребеня тепла. Значення середнього абсолютного мінімуму понад $+3^{\circ}\text{C}$ сильно змістилися на північ і зросла площа, яку вони охоплюють.

У жовтні відбувається повсюдне зменшення значень середніх із абсолютних максимумів мінімальної температури повітря у порівнянні із вереснем. На більшості території України вони становлять $+8^{\circ}\text{C} \dots +12^{\circ}\text{C}$. У Карпатах – $+4^{\circ}\text{C}$ і нижче, а на півдні України та у Криму – $+12^{\circ}\text{C}$ і вище, окрім Кримських гір, де вони є трохи нижчими. Значення середніх абсолютних мінімумів є нижчими за -3°C на півночі, північному сході та сході України. Ця закономірність характерна для обох кліматичних норм. Відмінність між ними полягає у збільшенні значень (їх зростання) на півдні України (особливо поблизу) морських узбережь та просування гребеня тепла уздовж р. Дніпро на північ.

У листопаді загалом картина у розподілі цих двох кліматичних показників є подібною до жовтня. Відмінність полягає у загальному пониженні температурного фону приблизно на 4°C та появи квазімеридіональності в орієнтації ізоліній середніх абсолютних мінімумів, на більшій частині території України, окрім півдня України (включно із Кримом) та Карпатах, де має місце висотна поясність.

Осіню для обох кліматичних показників мав місце їх плямистий (осередковий характер) на загальному фоні (див. рис. 4.19-4.24).

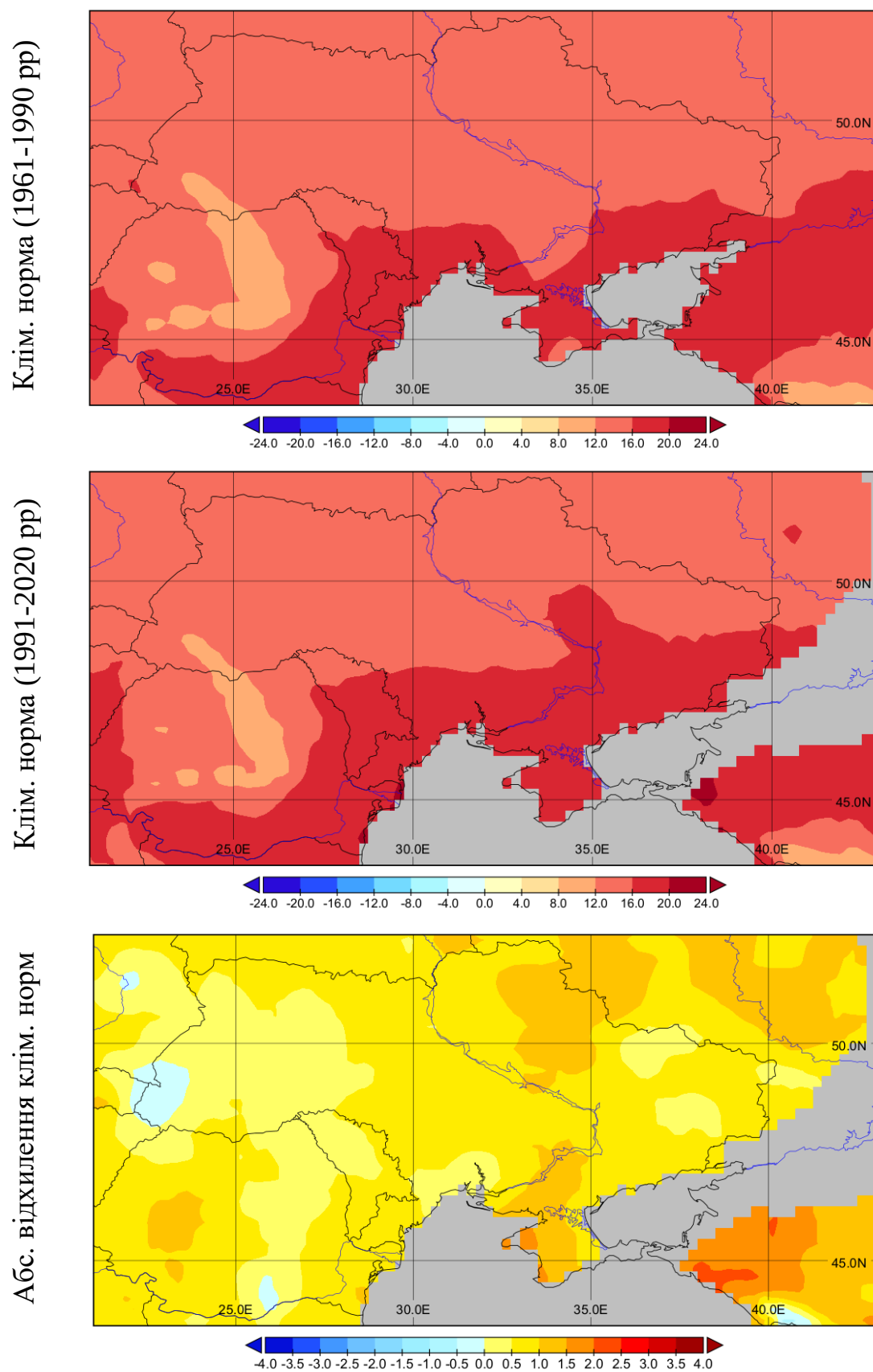


Рис. 4.19 Кліматичні норми середніх абсолютних максимальних значень мінімальної температури повітря та абсолютне відхилення між ними (вересень)

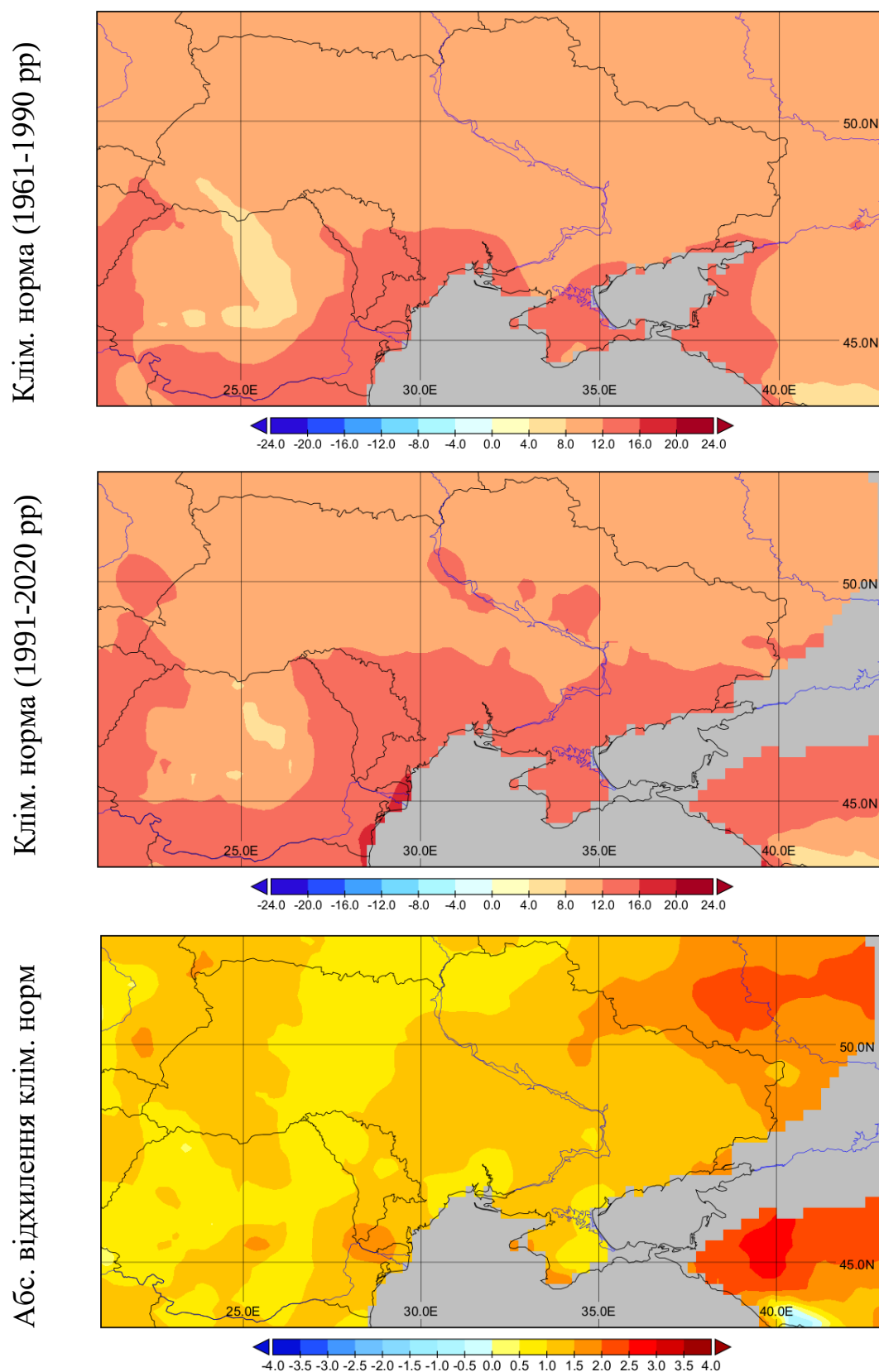


Рис. 4.20 Кліматичні норми середніх абсолютних максимальних значень мінімальної температури повітря та абсолютне відхилення між ними (жовтень)

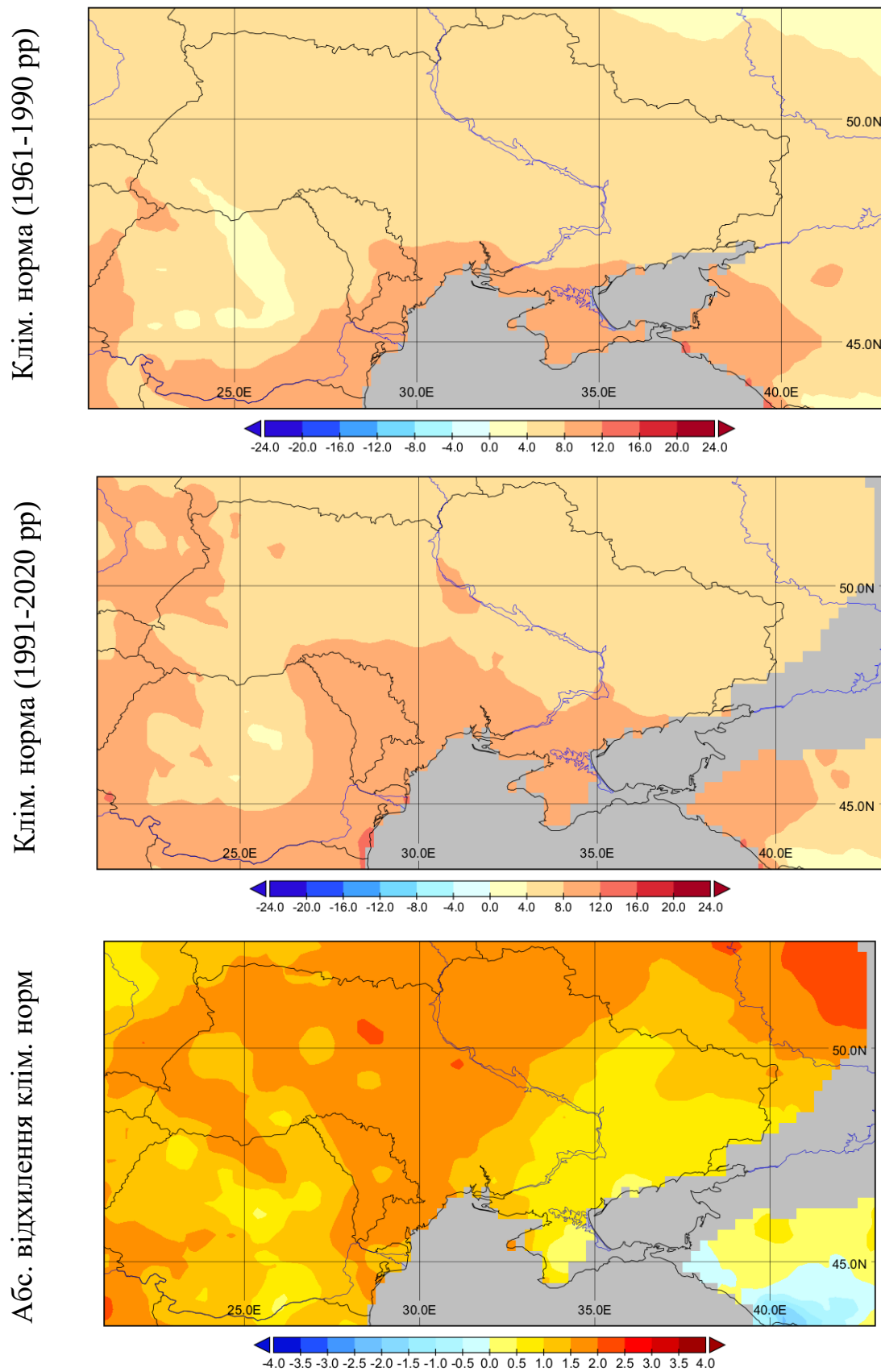


Рис. 4.21 Кліматичні норми середніх абсолютних максимальних значень мінімальної температури повітря та абсолютне відхилення між ними (листопад)

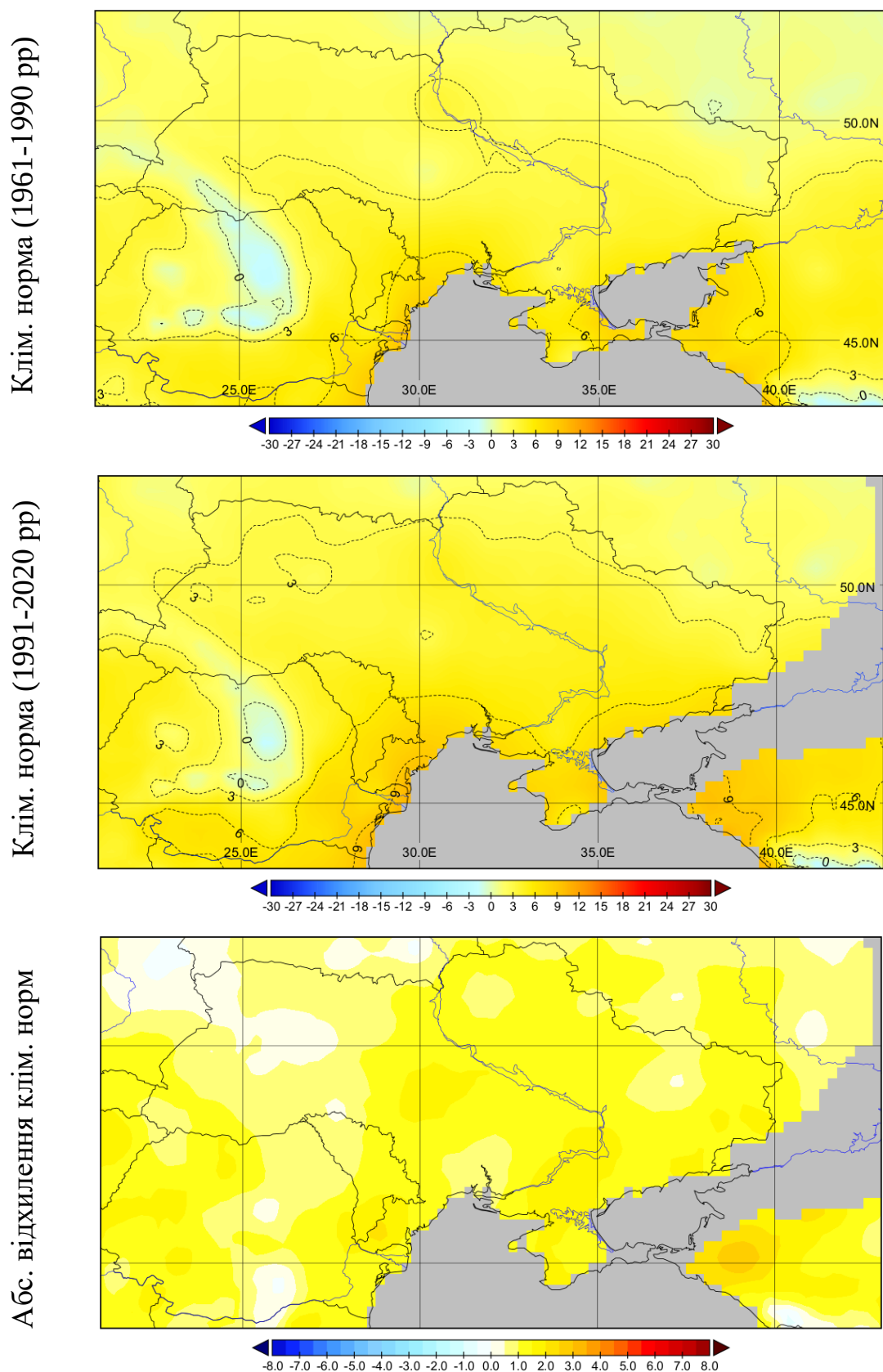


Рис. 4.22 Кліматичні норми середніх абсолютних мінімальних значень мінімальної температури повітря та абсолютне відхилення між ними (вересень)

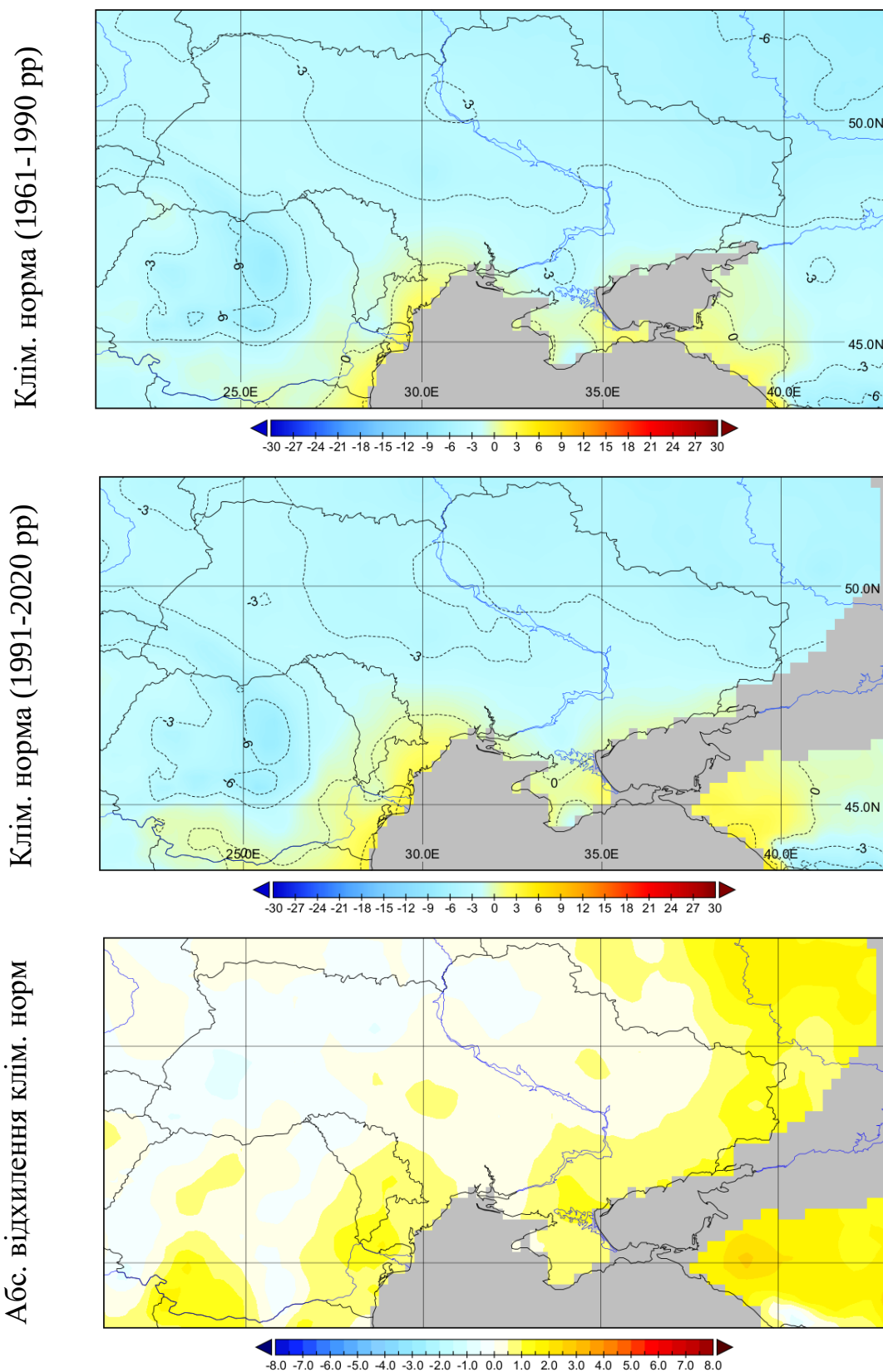


Рис. 4.23 Кліматичні норми середніх абсолютних мінімальних значень мінімальної температури повітря та абсолютне відхилення між ними (жовтень)

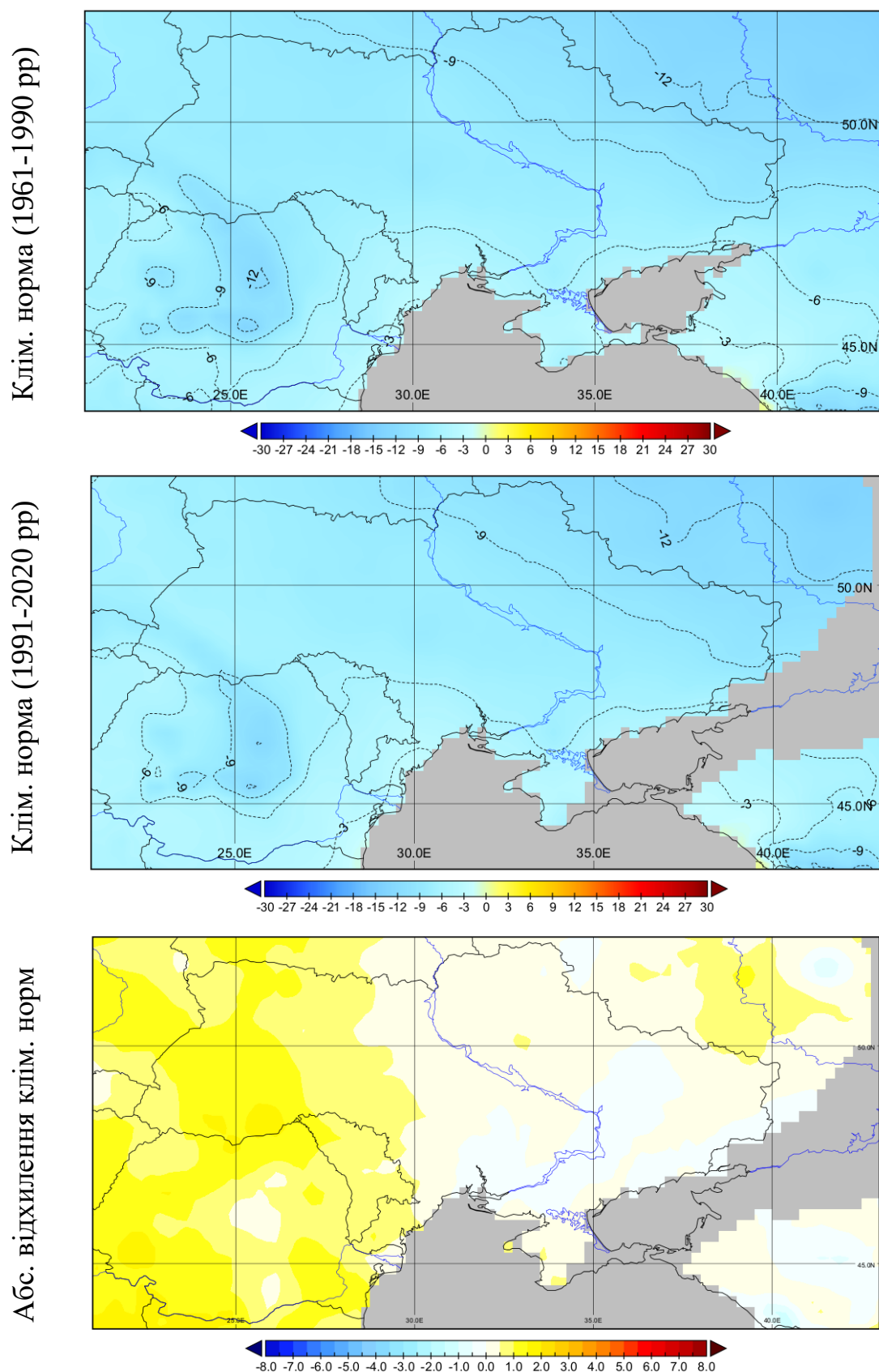


Рис. 4.24 Кліматичні норми середніх абсолютних мінімальних значень мінімальної температури повітря та абсолютне відхилення між ними (листопад)

ВИСНОВКИ

Аналіз наукової літератури показав, що у наш час у кліматологічних дослідженнях має місце тенденція до застосування кліматичних даних, які приведені у вузли регулярної сітки. Ряди даних фактичних спостережень продовжують використовуватися у прикладних дослідженнях та дослідженнях, що пов'язані із вивченням зміни клімату в окремо взятому місці чи регіоні. Інформація про мінімальну температуру повітря (різні її характеристики) є особливо необхідною у сільському та лісовому господарствах, в енергетиці, а також у туристичній сфері.

Було розраховано значення середніх місячних мінімальних температур (середні мінімуми) повітря, середніх із абсолютних максимумів та мінімумів (середні абсолютні мінімуми) мінімальної температури повітря для всіх місяців року для двох кліматичних норм (1961-1990 рр. та 1991-2020 рр.).

Показано, що на території України значення середніх місячних мінімальних температур, середніх із абсолютних максимумів та мінімумів мінімальної температури повітря найменшими є у січні і найбільшими у липні. Також варто зауважити, що у січні розподіл ізотерм середнього мінімуму мав орієнтацію із північного заходу на південний схід – схід, тобто був квазімеридіональним. У південних регіонах та на півночі Криму значення середнього мінімуму були у межах від -8°C до -4°C , при цьому ізотерми були орієнтовані із заходу на схід, тобто їх розподіл мав широтний характер. Загальна картина просторового розподілу середнього мінімуму порушується у горах Криму та Карпат (де прослідковується висотна поясність).

Аналіз відхилення між двома кліматичними нормами 1961-1990 рр. та 1991-2020 рр. показав, що найбільше зростання середніх мінімумів відбулося саме у зимові місяці із максимумом у січні. Найбільше зростання мало місце на півночі України. Аналіз просторового розподілу дав можливість виявити квазіширотний характер цих змін.

Також було виявлено наявність великого гребеня тепла, який орієнтований із півдня на північ із центральною віссю вздовж р. Дніпро та острова тепла, який відповідає Київській агломерації. Зміна клімату супроводжується збільшенням площі цього гребеня у теплий період року та його поширенням на північ.

Було показано, що на значній частині території України у літні місяці мало місце збільшення величини середніх абсолютних максимальних значень мінімальної температури повітря та середніх абсолютних мінімумів. При цьому упродовж періоду кліматичної норми 1991-2020 рр. відбулося зміщення на північ ізотерм однакових значень цих показників та збільшення площ, де спостерігаються вищі їх значення, у порівнянні із кліматичною нормою 1961-1990 рр.

Таким чином, можна ствержувати, що на території України саме у зимові місяці відбулося найбільше зростання значень мінімальних температур повітря, а також у літні за рахунок зростання величини як найменших, так і найбільших значень мінімальних температур повітря.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Alexander L.V., Zhang X., Peterson T.C., Caesar J., Gleason B., Klein Tank A.M.G., Haylock M., Collins D., Trewin B., Rahimzadeh F., Tagipour A., Ambenje P., Rupa Kumar K., Revadekar J. and Griffiths G. Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. *Journal Geophysical Research*. Vol. 111. D05109. <https://doi.org/10.1029/2005JD006290>
2. Błażejczyk A., Pecelj M., Skrynyk O., Krzysztof B. & Skrynyk O. Weather suitability for outdoor tourism in three European regions in first decades of the twenty-first century. *International Journal Biometeorology*, 65, 1339–1356 (2021). <https://doi.org/10.1007/s00484-020-01984-z>
3. Błażejczyk K., Nejedlik P., Skrynyk O., Halaś A., Skrynyk O., Błażejczyk A. & Mikulova K. Influence of geographical factors on thermal stress in northern Carpathians. *International Journal Biometeorology*, 65, 1553–1566 (2021). <https://doi.org/10.1007/s00484-020-02011-x>
4. Correa J., Dorta P., López-Díez A., Díaz-Pacheco J. Analysis of tropical nights in Spain (1970–2023): Minimum temperatures as an indicator of climate change. *International Journal of Climatology*. 2024. Vol. 44, Issue 9. Pages 3006–3027. <https://doi.org/10.1002/joc.8510>
5. Doroshenko Anatoliy, Shpyg Vitalii, Budak Igor, Huda Kateryna. Numerical atmospheric models and their application in different areas of economics [In: Kvasniy L. and Tatomyr I. (eds) *Ukraine in the context of global and national modern servisation processes and digital economy*]: monograph. Praha: Oktan Print, 2020. P. 155-171. <https://doi.org/10.46489/UITCOG0909>
6. <https://www.ecad.eu/>
7. Haylock M.R., Hofstra N., Klein Tank A.M.G., Klok E.J., Jones P.D. and New M. A European daily high-resolution gridded data set of surface temperature

- and precipitation for 1950-2006. *Journal Geophysical Research*. 2008. Vol. 113. D20119. <https://doi.org/10.1029/2008JD010201>
8. Hofstra N., New M., McSweeney C. The influence of interpolation and station network density on the distributions and trends of climate variables in gridded daily data. *Clim. Dyn.* 2010. Vol. 35. 841. <https://doi.org/10.1007/s00382-009-0698-1>
 9. Hofstra N., Haylock M., New M., Jones P.D. Testing E-OBS European high-resolution gridded dataset of daily precipitation and surface temperature. *Journal Geophysical Research*. 2009. Vol. 114. D21101. <https://doi.org/10.1029/2009JD011799>
 10. Klein Tank A.M.G. et al. Daily dataset of 20th-century surface air temperature and precipitation series for the European Climate Assessment. *International Journal Climatology*. 2002. Vol. 22. P. 1441–1453.
 11. Klein Tank A.M.G. and G.P. Konnen. Trends in indices of daily temperature and precipitation extremes in Europe, 1946-99. *Journal Climate*. 2003. Vol. 16. P. 3665–3680.
 12. Klein Tank A.M.G., Peterson T.C., Quadir D.A., Dorji S., Zou X., Tang H., Santhosh K., Joshi U.R., Jaswal A.K., Kolli R.K., Sikder A., Deshpande N.R., Revadekar J.V., Yeleuova K., Vandasheva S., Faleyeva M., Gomboluudev P., Budhathoki K.P., Hussain A., Afzaal M., Chandrapala L., Anvar H., Amanmurad D., Asanova V.S., Jones P.D., New M.G., Spektorman T. Changes in daily temperature and precipitation extremes in central and south Asia. *Journal Geophysical Research*. 2006. Vol. 111. D16105. <https://doi.org/10.1029/2005JD006316>
 13. Moberg A., Jones P.D., Lister D., Walther A., Brunet M., Jacobeit J., Alexander L.V., Della-Marta P.M., Luterbacher J., Yiou P., Chen D., Klein Tank A.M.G. et al. Indices for daily temperature and precipitation extremes in Europe analysed for the period 1901-2000. 2006. *Journal Geophysical Research*. Vol. 111. D22106. <https://doi.org/10.1029/2006JD007103>

- 14.Osadchyi V., Skrynyk O., Radchenko R., Skrynyk O. Homogenization of Ukrainian air temperature data. *International Journal of Climatology*. 2018. Vol. 38, Issue 1. P. 497–505. <https://doi.org/10.1002/joc.5191>
- 15.Osadchyi V., Skrynyk O.A., Palamarchuk L., Skrynyk O.Y., Osypov V., Oshurok D., Sidenko V. Dataset of gridded time series of monthly air temperature (min, max, mean) and atmospheric precipitation for Ukraine covering the period of 1946-2020. *Data in Brief*. 2022, 44, 108553. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2022.108553>
- 16.Semenova I., Vicente-Serrano Sergio M. Long-term variability and trends of meteorological droughts in Ukraine. *International Journal of Climatology*. 2024. Vol. 44, Issue 6. P. 1849–1866. <https://doi.org/10.1002/joc.8416>
- 17.Shvidenko A., Buksha I., Krakovska S., Lakyda P. Vulnerability of Ukrainian Forests to Climate Change. *Sustainability*. 2017. 9(7). 1152. <https://doi.org/10.3390/su9071152>
- 18.Skrynyk O., Aguilar E., Skrynyk O., Sidenko V., Boichuk D., Osadchyi V. Quality control and homogenization of monthly extreme air temperature of Ukraine. *International Journal of Climatology*. 2019. Vol. 39, Issue 4. P. 2071–2079. <https://doi.org/10.1002/joc.5934>
- 19.Skrynyk O.Y., Luterbacher J., Allan R., Boichuk D., Sidenko V., Skrynyk O.A., Palarz A., Oshurok D., Xoplaki E., Osadchyi V. Ukrainian early (pre-1850) historical weather observations. *Journal Geoscience Data*. 2021. Volume8, Issue 1. pp. 55–73. <https://doi.org/10.1002/gdj3.108>
- 20.Spinoni J. et al. Climate of the Carpathian Region in the period 1961–2010: climatologies and trends of 10 variables. *International Journal of Climatology*. 2015. Vol. 35, Issue 7. P. 1322–1341. <https://doi.org/10.1002/joc.4059>
- 21.Squintu A.A., van der Schrier G., van den Besselaar E.J.M. and R.C. Cornes. Building long and homogenous temperature series in ECA&D: blending of neighbour series. *J. Appl. Meteorol. Climatol.* 59: 175–189. <https://doi.org/10.1175/JAMC-D-19-0033.1>

22. Wijngaard J.B., Klein Tank A.M.G. and Konnen G.P. Homogeneity of 20th century European daily temperature and precipitation series. 2003. International Journal Climatology. 2003. Vol. 23. P. 679–692.
23. Белоконь К.В., Манідіна Є.А. Метеорологія і кліматологія: навчально-методичний посібник для здобувачів ступеня вищої освіти бакалавра спеціальності 183 «Технології захисту навколишнього середовища» освітньо-професійної програми «Технології захисту навколишнього середовища». Запоріжжя: Запорізький національний університет, 2023. 160 с.
24. Балабух В.О., Базалєєва Ю.О., Ягодинець С.М. Вплив блокувальних процесів на повторюваність та інтенсивність аномальних умов погоди в Україні, пов'язаних з температурою повітря. Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2016. Т. 3. С. 85–94.
25. Врублевська О.О., Катеруша Г.П. Клімат України та прикладні аспекти його використання: навчальний посібник. Одеса: ОДЕКУ, 2012. – 180 с.
26. Гелевера О., Мостіпан М., Топольний С. Багаторічна динаміка температури повітря зимового та весняного сезонів у центральній Україні. Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія». 2023. 59. 83–94.
<https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-59-07>
27. Дати переходу температури повітря в Україні за сучасних умов клімату / За ред. В.І. Осадчого, В.М. Бабіченко. – К.: Ніка-Центр, 2010. 304 с.
28. Клімат України / [За ред. В.М. Ліпінського, В.А. Дячука, В.М. Бабіченко]. Київ: Видавництво Раєвського, 2003, 343 с.
29. Клок С.В., Красюкова Я.В. Просторово-часові зміни мінімальної температури повітря на території України на сучасному етапі. Наукові праці Українського гідрометеорологічного інституту. 2016. Вип. 268. С. 51-57.
30. Краковська С., Паламарчук Л., Азаров Є., Чигарева А., Шпиталь Т. Метод найменших квадратів в оцінюванні точності проєкцій приземної

- температури повітря в Україні за ансамблями регіональних кліматичних моделей. Геофізичний журнал. 2023. 44(5). 34–53. <https://doi.org/10.24028/gj.v44i5.272326>
- 31.Осадчий В.І., Агуілар Е., Скриник О.А., Бойчук Д.О., Сіденко В.П., Скриник О.Я.. Добова асиметрія кліматичних змін температури повітря в Україні. Український географічний журнал. 2018. №3. С. 21–30. <https://doi.org/10.15407/ugz2018.03.021>
- 32.Осадчий В.І., Бабіченко В.М. Температура повітря на території України в сучасних умовах клімату. Український географічний журнал. 2013. № 4. С. 32–39.
- 33.Павловська Т., Федонюк М., Рудик О. Температурний режим повітря у Волинській області: хронологічний та хорологічний аспекти. Географічний часопис Волинського національного університету імені Лесі Українки. 2023. № 1. С. 39–48. <https://doi.org/10.32782/geochasvnu.2023.1.04>
- 34.Паламарчук Л.В., Гнатюк Н.В., Краковська С.В., Шедеменко І.П., Дюкель Г.О. Сезонні зміни клімату в Україні в ХХІ столітті. Наукові праці Українського гідрометеорологічного інституту. 2010. Вип. 259. С. 104-120.
- 35.Пясецька С., Щеглов О. Сучасний характер змін середньої місячної температури повітря протягом 2006-2020 рр. Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія», 2023. 58. 217–230. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-58-17>
- 36.Рудік О.Л., Сергєєв Л.А., Римар Д.Є., Чугак В.В. Оцінка агрокліматичних умов післяжнивного періоду Сухостепової природно-сільськогосподарської зони України. Аграрні інновації. 2022. № 13. С. 126–136. <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2022.13.20>
- 37.Скриник О.А., Осадчий В.І., Сзентімерей Т., Біхарі З., Сіденко В.П., Ошурук Д.О., Бойчук Д.О., Скриник О.Я. Просторова інтерполяція

кліматологічних даних з урахуванням топографічних та фізико-географічних особливостей території України. Український географічний журнал. 2020. 2. С. 13–19. <https://doi.org/10.15407/ugz2020.02.013>

38. Хохлов В.М., Боровська Г.О., Уманська О.В., Тенетко М.С. Зміна погодних умов на території України в умовах зміни клімату. Український гідрометеорологічний журнал. 2016. №17. С. 31–37.