

В.Ф. Мартазінова¹

vazira@gmail.com;

Н.С. Городецька²

Gorodetskaya@nas.gov.ua

Л.С. Рибченко¹

L.S.Rybchenko@gmail.com

С.В. Савчук¹

SvetlanaSVS120676@gmail.com

Н.П. Гребенюк¹

dearnadin9@gmail.com;

О.Г. Татарчук¹

¹ Український гідрометеорологічний інститут ДСНС України та НАН України, Київ

² Інститут гідромеханіки НАН України, Київ

УДК 551.580

ОСОБЛИВОСТІ ТЕМПЕРАТУРНО-ВОЛОГІСНОГО РЕЖИМУ ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ З ПОЧАТКУ ХХІ СТОРІЧЧЯ ПІД ВПЛИВОМ ЗМІН ВЕЛИКОМАСШТАБНОЇ АТМОСФЕРНОЇ ЦИРКУЛЯЦІЇ

Розглянуто сучасний стан температурно-вологісного режиму території України з 1991 р. до сьогодні під впливом змін великомасштабної атмосферної циркуляції. За допомогою моделі атмосферної циркуляції В. Мартазінової та розкладання полів тиску за EOF визначено початок формування сучасного кліматичного режиму з 2006 року. Для аналізу сучасного температурно-вологісного режиму було використано дані полів температури повітря, атмосферних опадів, тиску, геопотенціалу у вузлах географічної сітки Атлантико-Європейського сектору архіву УкрГМІ-КДДПП; архіву NOAA Північної півкулі; температури повітря, опадів, прямої сонячної радіації українських станцій з 1991 р. Встановлено, що температура з початку нашого століття на території України зростає, посушливі процеси з дефіцитом опадів спостерігаються у квітні, серпні та вересні. Збільшення посушливих процесів позначається на сучасному стані прямої сонячної радіації, яка у теплий період останніх 15 років перевищує норму попередніх років практично по всій території України, особливо у північних та центральних областях.

Ключові слова: посуха, зволоженість, атмосферна циркуляція, пряма сонячна радіація, температура повітря, атмосферні опади.

ВСТУП

Посуха в Україні є несприятливим проявом сучасного клімату. Вперше визначення посухи дав завідувач Одеського дослідного поля В. Г. Ротмістров (1913) [2], який визначав її як тривалий бездощовий період, що призводить до вичерпування запасів вологи, які засвоюють рослини у коренеживаному шарі ґрунту. Таке визначення посухи зберігається до сьогодні. Про це явище опубліковано багато робіт [2–4, 8, 10–11, 13–15, 18–29]. Посуха — це тривале бездощів'я, що нерідко супроводжується високою температурою, низькою вологістю повітря та сухими вітрами, яке в умовах недостатньо високого рівня агротехніки призводить до значного зменшення запасів продуктивної вологи в ґрунті. За характером посухи поділяються на атмосферні, ґрунтові, атмосферно-ґрунтові та гідрологічні. В основі кожної з них лежить атмосферна посуха. Саме її тривалий вплив (як правило, понад двох тижнів) сприяє прояву ґрунтової посухи [11, 13]. Змішана посуха часто виникає внаслідок тривалої атмосферної та ґрунтової посухи [3–4, 10]. Посухи на території України в останні десятиліття досліджуються недос-

татньо. Тому в списку літератури наведено більш ранні роботи з дослідженнями на території України, у яких докладно описувалися її гідрометеорологічні характеристики. Дослідження атмосферної посушливості останніх десятиліть проводилось в рамках проекту гідрометслужби.

Існують різні способи та критерії визначення посухи, це зафіксовано в документі ВМО [8] і [4–6, 10–11, 13–19, 25–32]. Загальновизнаного кількісного показника посухи немає, здебільшого вона являє собою різні комбінації величин температури повітря й опадів. Незважаючи на те, що основні параметри посухи — це високі температури літку та незначні опади, ці параметри формуються атмосферою циркуляцією.

Зміна атмосферної циркуляції в різні часові періоди призводить до різного стану посух, їх тривалості та частоти прояву. Тому для дослідження атмосферної посухи, насамперед, необхідно дослідити зміну й стан сучасної атмосферної циркуляції над регіоном, яку формує зміна великомасштабної атмосферної циркуляції, а на тлі глобального підвищення температури великомасштабна цирку-

ляція повітря призвела до значного формування атмосферної меридіональної циркуляції. В результаті частота посух за такої циркуляції почала збільшуватися.

Метою роботи є оцінка формування нових умов кліматичного режиму регіону в останні десятиліття за допомогою фізико-статистичної моделі великомасштабної атмосферної циркуляції (АС) [21]. Зміна великомасштабної циркуляції розраховується від десятиліття до десятиліття над Північною півкулею від початку попереднього століття до перших десятиліть поточного століття.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Для дослідження сучасного стану температурно-вологісного режиму на території України було використано електронні архіви метеорологічних полів мінімальної та максимальної температури, полів опадів, тиску, геопотенціалу у вузлах географічної сітки для території Атлантико-Європейського сектору відділу кліматичних досліджень і довгострокового прогнозу погоди (КД і ДПП) УкрГМІ за період 1991–2021 рр.; архіви баричних і температурних полів Physical Sciences Laboratory of National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) на території Північної півкулі за період спостереження; дані архіву ЦГО щодо температури повітря, атмосферних опадів українських станцій і прямої сонячної радіа-

ції актинометричних станцій із 1991 р. Для дослідження сучасного термічного режиму атмосфери у випадках посух в Україні була застосована кліматична модель АС (атмосферної циркуляції) [21].

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Кліматична модель великомасштабної циркуляції атмосфери Північної півкулі. У дослідженнях, які проводяться у відділі кліматичних досліджень та довгострокового прогнозу погоди Українського гідрометеорологічного інституту (УкрГМІ), значна увага приділяється вивченню зміни атмосферної циркуляції, як основного прояву зміни клімату. Атмосферна циркуляція сама є кліматоутворюючим фактором, оскільки вона формується внаслідок впливу природних й антропогенних чинників, що містить у собі одночасно весь комплекс погодних умов, і тому є найкращим й узагальненим індикатором зміни регіонального та глобального клімату [5–6, 16, 23, 24, 27–29]. Для аналізу зміни великомасштабної атмосферної циркуляції над Північною півкулею та територією Атлантико-Європейського сектору використано результати дослідження зміни полів приземного тиску протягом ХХ ст. і початку ХХІ ст. (рис. 1). Зміни полів тиску від десятиріччя до десятиріччя розглядали для січня (рис. 1а), коли синоптичні процеси мають найбільшу активність.

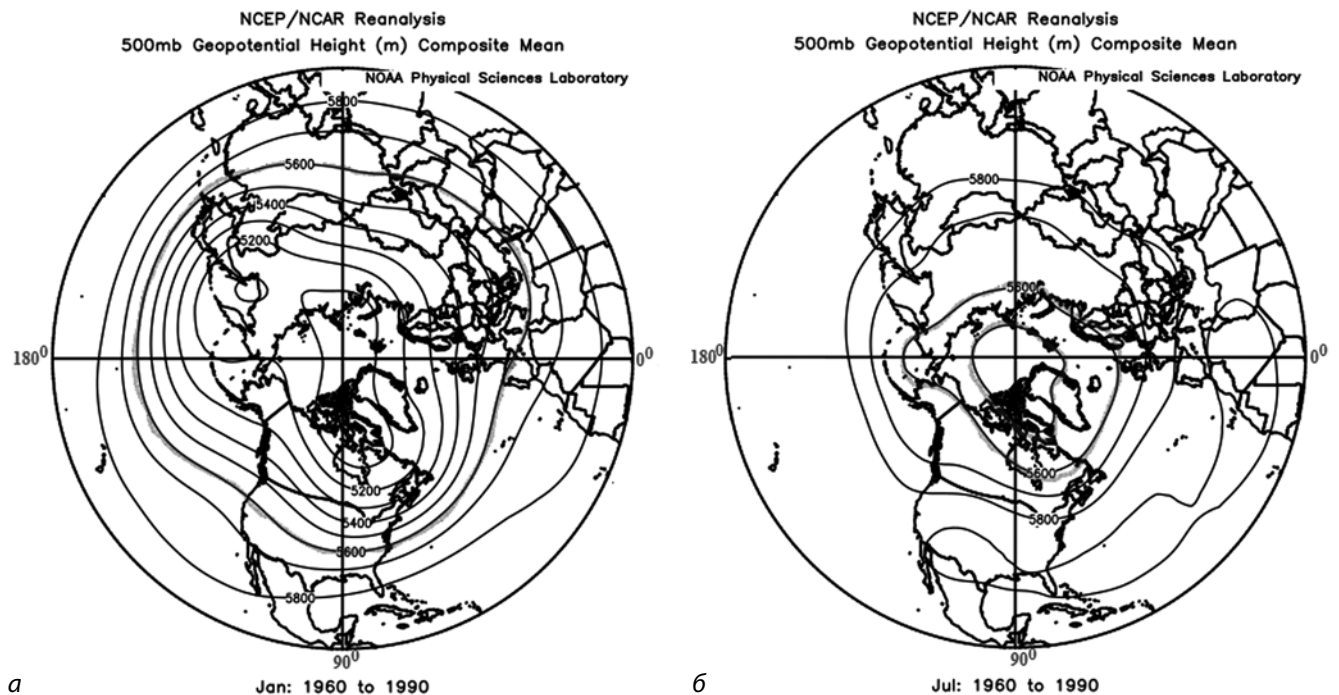


Рис. 1. Великомасштабна циркуляція атмосфери у Північній півкулі на середньому рівні тропосфери (на рівні 5 км від поверхні землі) для січня (а) та липня (б) за ізолініями геопотенціальних висот ізобаричної поверхні 500 мбар [гПа]

На *рис. 1* показано просторове розташування основних центрів дії атмосфери Північної півкулі у січні та липні, що формують погодні умови у помірних широтах.

Узимку спостерігається три баричних максимуми і пов'язані із ними гребні (див. *рис. 1*): Північно-Атлантичний, Сибірський та Канадський. Між ними розташовані три баричних мінімуми і пов'язані із ними улоговини: Європейська, Алеутська та Ісландська. Улоговини виражені яскравіше: дві з них добре помітні поблизу 80 зх.д. і 140 сх.д., третя, слабше виражена — між 10 і 60 зх.д. Улоговини та гребні чіткіше проявляються у високих широтах, а в низьких широтах вони мають майже зональний характер. Перетворення великомасштабної атмосферної циркуляції від місяця до місяця відбувається внаслідок зміни знаку градієнта термічних впливів системи суходолу-океану та полюс-екватор на атмосферу. У зимовий час осьова лінія 540 дкм проходить близько 50 град. пн. ш. До весни ця ізолінія піднімається на північ і її місце займає ізолінія 556 дкм. До середини літа ізолінія 556 дкм також піднімається на північ і її місце займає ізолінія 572 дкм. У липні відповідні головні улоговини зміщені і менш виразні на карті осереднених значень абсолютної топографії ізобаричної поверхні 500 мбар (*рис. 1б*). На цей час осьова зимова ізолінія знаходиться біля Північного полюсу. Три улоговини, що відповідають Європейському, Алеутському і Ісландському мінімумам тиску мають деякі зміщення. Між улоговинами розташовані три гребні: Азорський, Канадський та Сибірський термічний максимуми тиску. До осені циркуляція починає опускатися до південних широт, формуючи зимову циркуляцію над Північною півкулею. Враховуючи вище сказане потрібно зазначити, що зміна кліматичних центрів загальної циркуляції атмосфери краще виявляється в зимовий час. Тому в цій статті кліматична зміна великомасштабної атмосферної циркуляції Північної півкулі для всіх сезонів розглядається протягом більш як одного століття через її зміни в січні. Клімат України взимку формують три кліматичні центри дії атмосфери: Північно-Атлантичний гребінь, Європейський мінімум і Сибірський гребінь.

Характеристики баричних полів січня кожного десятиліття для Північної півкулі

$$\bar{P} = (\bar{p}_1, \bar{p}_2, \dots, \bar{p}_j, \dots, \bar{p}_n), \quad (1)$$

отримані за допомогою меридіонального осереднення поля

$$\bar{p}_j = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N p_{ij}, \quad (2)$$

де \bar{p}_j — середній тиск j -тої довготи, $j = -180, -175, \dots,$

$0, \dots, 175$ градусів довготи та представлені у вигляді розкладання в ряд Фур'є:

$$\bar{P} = P^* + \sum_{m=1}^{n/2} \left(a_m \cos \frac{2\pi m}{n} j + b_m \sin \frac{2\pi m}{n} j \right), \quad (3)$$

де a_m і b_m — коефіцієнти розкладання (3); m — хвильове число. Враховуючи, що планетарна атмосферна циркуляція в нижньому шарі атмосфери у тропосфері протягом року має трьохвихрову систему, будемо аналізувати розкладання лише для хвильового числа $m=3$.

Просторове розташування центрів дії атмосфери можна розрахувати за фазою хвилі $m=3$ за формулою (4):

$$\Phi_m = \arctg \frac{b_m}{a_m}. \quad (4)$$

Напрямок руху хвилі від десятиріччя до десятиріччя визначено за допомогою різниць фаз хвилі $m=3$ для сусідніх десятиліть за виразом (5):

$$\Delta \Phi_m = \Phi_m^\ell - \Phi_m^{\ell-1}, \quad (5)$$

де Φ_m^ℓ — фаза хвилі $m=3$ ℓ -ого десятиліття; $\Phi_m^{\ell-1}$ — фаза хвилі $m=3$, $(\ell-1)$ -ого десятиріччя; $\ell = 1, \dots, 13$ відповідає десятиріччям 1890–1899 рр., 1900–1909 рр., 1910–1919 рр., ..., 2000–2009 рр., 2010–2019 рр.

Від'ємне значення характеризує зсув хвилі зі сходу на захід, а додатне — зі заходу на схід. Аналіз фаз Φ_m^ℓ хвилі $m=3$ дозволив виявити положення поля тиску біля поверхні землі у кожному ℓ десятиріччі протягом ХХ ст. і початку ХХІ ст. у Північній півкулі й її динаміку за $\Delta \Phi_m$ від десятиріччя до десятиріччя. Загалом упродовж століть зсув хвилі $\Delta \Phi_m$ за десятиріччями можна бачити на *рис. 2*.

За *рис. 2*, хвиля $m=3$ зміщується у кожному періоді глобального потепління по-різному. До 1950–1959 рр. відзначається переміщення великомасштабної атмосферної циркуляції на захід відносно першого 10-річчя 1900–1909 рр. Цей зсув становить близько 40 градусів за довготою. Це найзахідніший зсув, який в середині ХХ ст. вплинув на зниження температури практично над усіма районами Північної півкулі. Повернення великомасштабної атмосферної циркуляції на схід до положення першого десятиріччя 1900–1909 рр. (*рис. 2*) відбувається в останньому десятиріччі ХХ ст., 1990–1999 рр. Такий стан великомасштабної атмосферної циркуляції формує теплі зимові процеси над Північною півкулею та добре узгоджується за температурою у першому й останньому періодах глобального потепління. Амплітуда зміщення хвилі становить близько 40 градусів і вказує на розмах хвилі ± 20 градусів від нейтрального положення її в 1930–1939 рр.

Зсув атмосферної циркуляції на захід або схід відповідає різному стану над суходолом та океаном. Її зміщення на захід, відповідає холодним зимам на півкулі. За *рис. 2*, атмосферна циркуляція після 2000 р. прагне зайняти більш західне положення, як у середині сторіччя, коли на півкулі спостерігалася холодна циркуляція.

Розкладання метеорологічних полів тиску за природними ортогональними функціями (EOF) для січня протягом 2000–2017 рр. та 2000–2009 рр. показало, що зміни напрямку атмосферної циркуляції у бік холодної циркуляції означили дату переходу атмосферної циркуляції на захід з 2005–2006 рр. Це можна бачити з *рис. 3*, де показано графік тимчасової залежності коефіцієнтів першої EOF для періодів 2000–2017 рр. і 2000–2009 рр. Перша EOF є основною кліматичною складовою. З цієї дати усі кліматичні параметри перебудовуються на сучасну циркуляцію. Порівняння температурного та вологісного режиму періодів 1991–2005 років та 2006–2020 рр., результати якого наведено нижче, дає можливість підтвердити тенденцію сучасного кліматичного режиму.

Прояв сучасного режиму температури й опадів в Україні з початку ХХІ сторіччя. Одними з основних параметрів кліматичного режиму регіону є температура й опади, що визначають зміну клімату. Щоб показати прояви сучасного кліматичного режиму з 2006 р. під впливом зміни з цього часу великомасштабної атмосферної циркуляції, розглянемо відхилення середньої місячної температури повітря та суми опадів за 2006–2020 рр. відносно 1991–2005 рр. за місяці сезонів на території України.

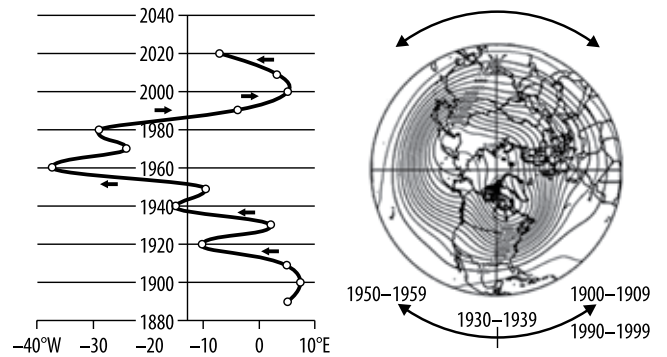


Рис. 2. Напрямок зміщення $\Delta\Phi_3$ трьохвихрової хвилі $m=3$ над Північною півкулею протягом ХХ ст. і початку ХХІ ст.

Зимовий сезон. Температурний режим у кожному зимовому місяці змінювався в період 2006–2020 рр. по-різному (*рис. 4*). Середня місячна температура грудня практично на всій території підвищилася на 2°C відносно 1991–2005 рр., а у наступні зимові місяці (січень і лютий) вона практично не змінилася на півдні Львівської та Івано-Франківської областей. Водночас, у січні температура знижується до -1°C на північ і схід вузькою смугою відносно наступних територій: Рівненська – Хмельницька – Тернопільська – Чернівецька області; а також — у північних і східних регіонах.

Місячна сума опадів (*рис. 4*) на заході країни в грудні здебільшого мало змінюється у 2006–2020 рр. порівняно з попереднім періодом, проте спостерігається підвищення на 10–15 мм у північних та північно-західних областях, зменшення кількості опадів відбувається у південно-східних областях. У січні вона повсюдно зростає, особливо в східних

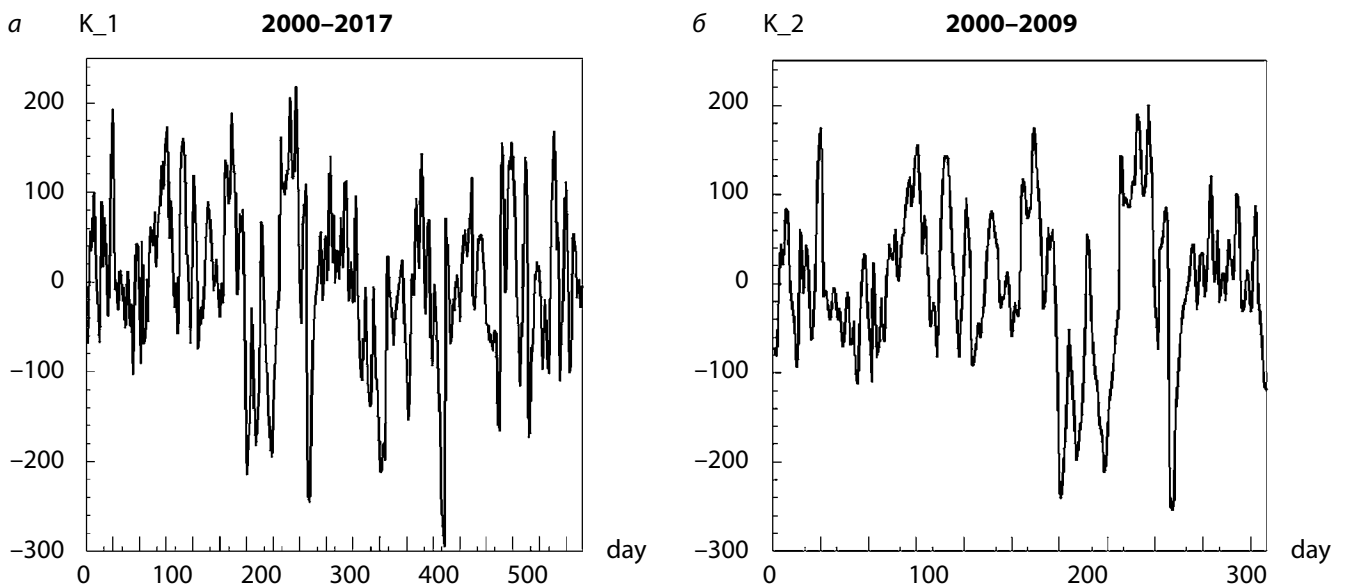


Рис. 3. Часові залежності коефіцієнтів першої моди EOF поля тиску для періодів 2000–2017 рр. і 2000–2009 рр. Січень

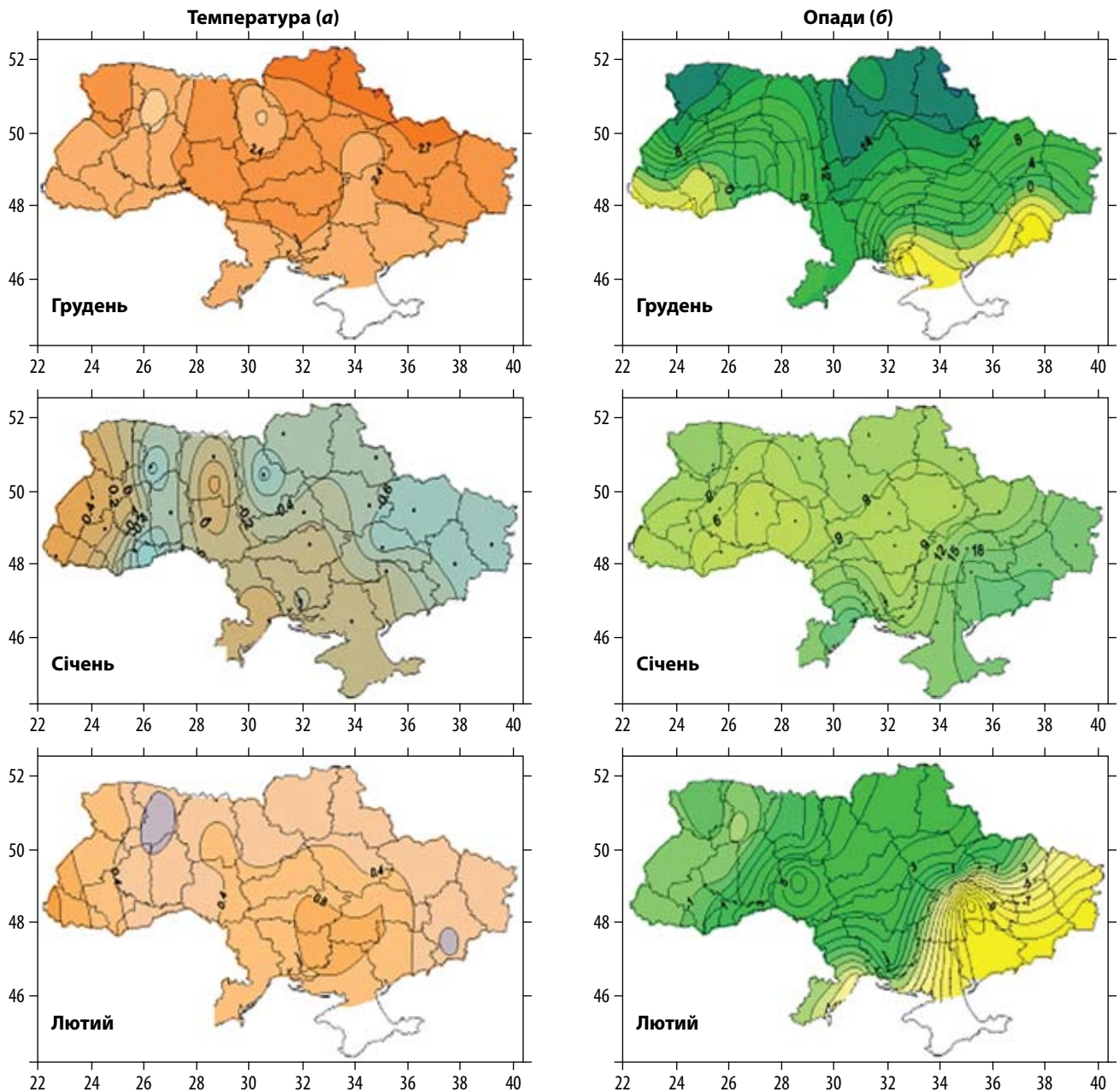


Рис. 4. Відхилення середньої місячної температури (°С) та місячної суми опадів (мм) зимового сезону за 2006–2020 рр. відносно 1991–2005 рр.

областях. У лютому сума опадів не змінюється, знижуючись незначно на Закарпатті та на 10–15 мм у південно-східних областях України.

Зауважимо, що зима, особливо в січні, останні 15 років стає холоднішою ніж у попередні періоди, а сума опадів на більшості території зростає.

Весняний сезон. У весняний сезон (рис. 5) загалом спостерігається підвищення середньої місячної температури з 2006 р., особливо в березні, до 1,5°С і вище. У квітні та травні вона зросла на всій території, але на відміну від травня, у квітні найбільше підвищення температури зафіксовано на заході, тоді як у травні — на сході України.

Зміни в опадах упродовж весни між періодами помітно відрізняються (рис. 5). Кількість опадів у березні змінилася несуттєво, збільшилася до 10 мм лише на південному заході: на Львівщині, у межах Івано-Франківської та Хмельницької областей. У квітні відбувається суттєве зменшення кількості опадів, на 15–25 мм (до 30–50 %), практично по всій території, особливо в північних і центральних областях. Незначне їх збільшення на 5–10 мм (до 20%) зафіксовано на півдні, південному та північному сході.

У травні по всій території України вони значно зростають, найбільше на 30–40 мм (48 %), — на

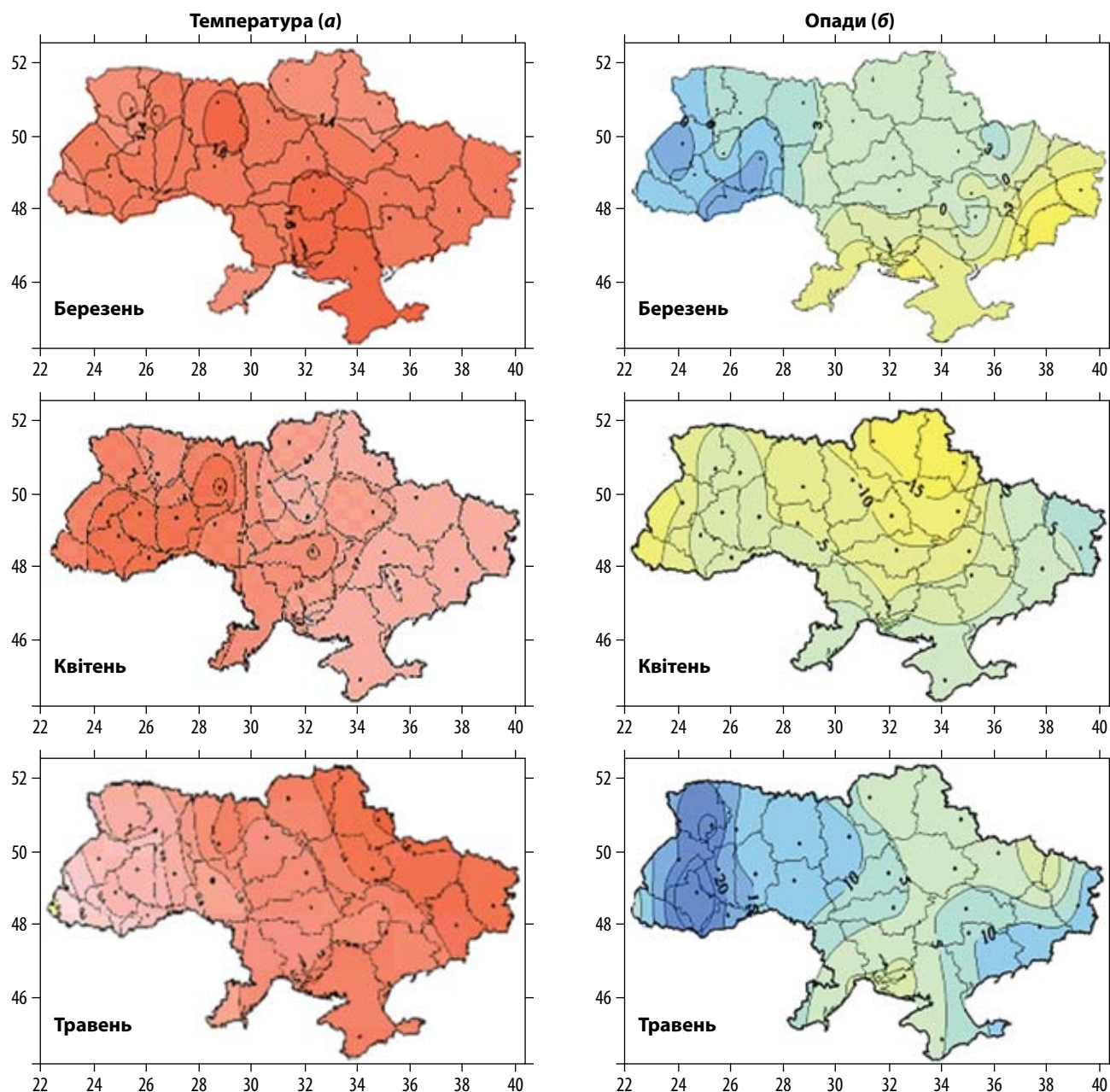


Рис. 5. Відхилення середньої місячної температури повітря ($^{\circ}\text{C}$) і суми опадів (мм) у весняному сезоні за 2006–2020 рр. відносно 1991–2005 рр.

заході: у Львівській, Волинській та Закарпатській областях. Найвище зростання кількості опадів спостерігалось у західних областях. Відхилення становили 30–40 мм, або 48% щодо 1991–2005 рр. На крайньому південному сході кількість опадів також збільшується. Зазначимо, що у березні, квітні та травні середньомісячна температура повітря у 2006–2020 рр. підвищується на всій території України відносно 1991–2005 рр. на 1°C . Особливо помітно температура зросла в березні. Щодо опадів можна зазначити, що їх істотне зменшення відбувається у квітні, незначне — у березні; у травні — незначне підвищення місячної суми опадів на більшій

частині території, найбільше — на заході України (див. рис. 5).

Літній сезон. У червні та серпні літнього сезону середня місячна температура повітря (рис. 6) у 2006–2020 рр. відносно 1991–2005 рр. підвищується до 1°C і вище на всій території України, найбільше (до 2°C) — на півдні та південному сході. У липні відзначається найменше підвищення температури за літній сезон до 1°C . Загалом влітку, впродовж 2006–2020 рр. на всій території України температура повітря підвищується.

Кількість опадів в усі місяці літнього сезону на більшій частині території країни зменшується від-

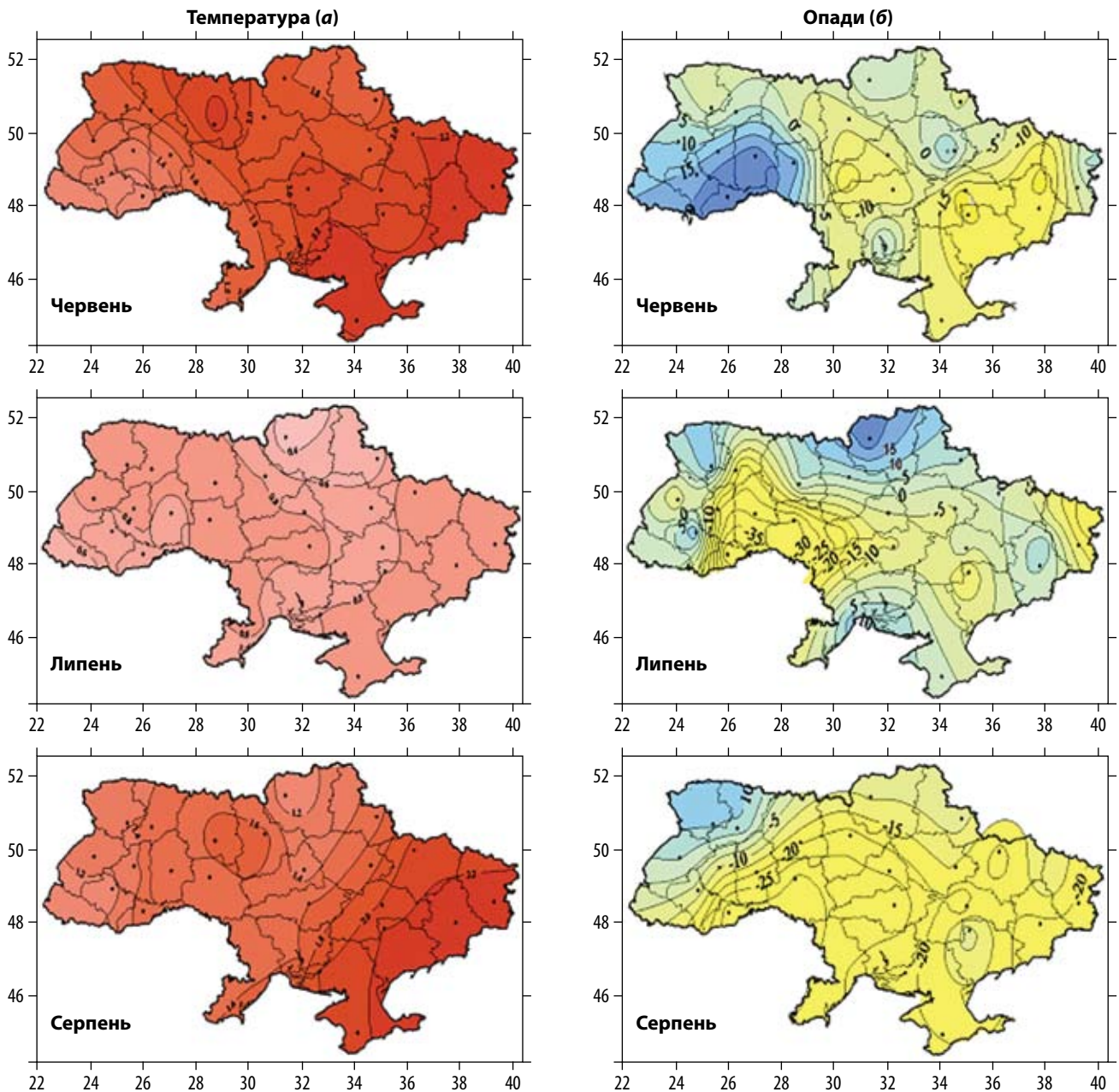


Рис. 6. Відхилення середньої місячної температури повітря (°C) і суми опадів (мм) у літньому сезоні, вересні та жовтні за 2006–2020 рр. щодо 1991–2005 рр.

носно 1991–2005 рр. (рис. 6). Осередки зі зменшенням опадів займають значну територію. Якщо в центрі осередків зменшення кількості опадів у червні досягає 15–20 мм, то в липні територія осередків розширюється і зменшення опадів у центрі досягає 35–40 мм. У серпні їх зміна істотно відрізняється від попередніх літніх місяців. Вони зменшуються повсюдно, місцями сягаючи 25–30 мм (в середньому близько 50 % місячної норми). Тобто, підвищення середньої місячної температури та суттєве зменшення опадів влітку, особливо в серпні, призводить до атмосферно-грунтової посухи. Розширення території зі щораз нижчою кіль-

кістю опадів від червня до серпня визначається сучасним станом атмосферної циркуляції, тенденція зміни якої повинна зберегтися у наступні роки (див. рис. 2).

Осінній сезон. Восени температура повітря у вересні та листопаді в 2006–2020 рр. підвищилася практично однаково на більшості території України до 1,5°C відносно 1991–2005 рр. (рис. 7). Жовтень зберігає температурний режим попереднього періоду практично по всій території.

Протягом осені суттєво змінюється сума опадів. У вересні, на крайньому заході України вона знизилась на 20 мм, але в наступний місяць ці втрати

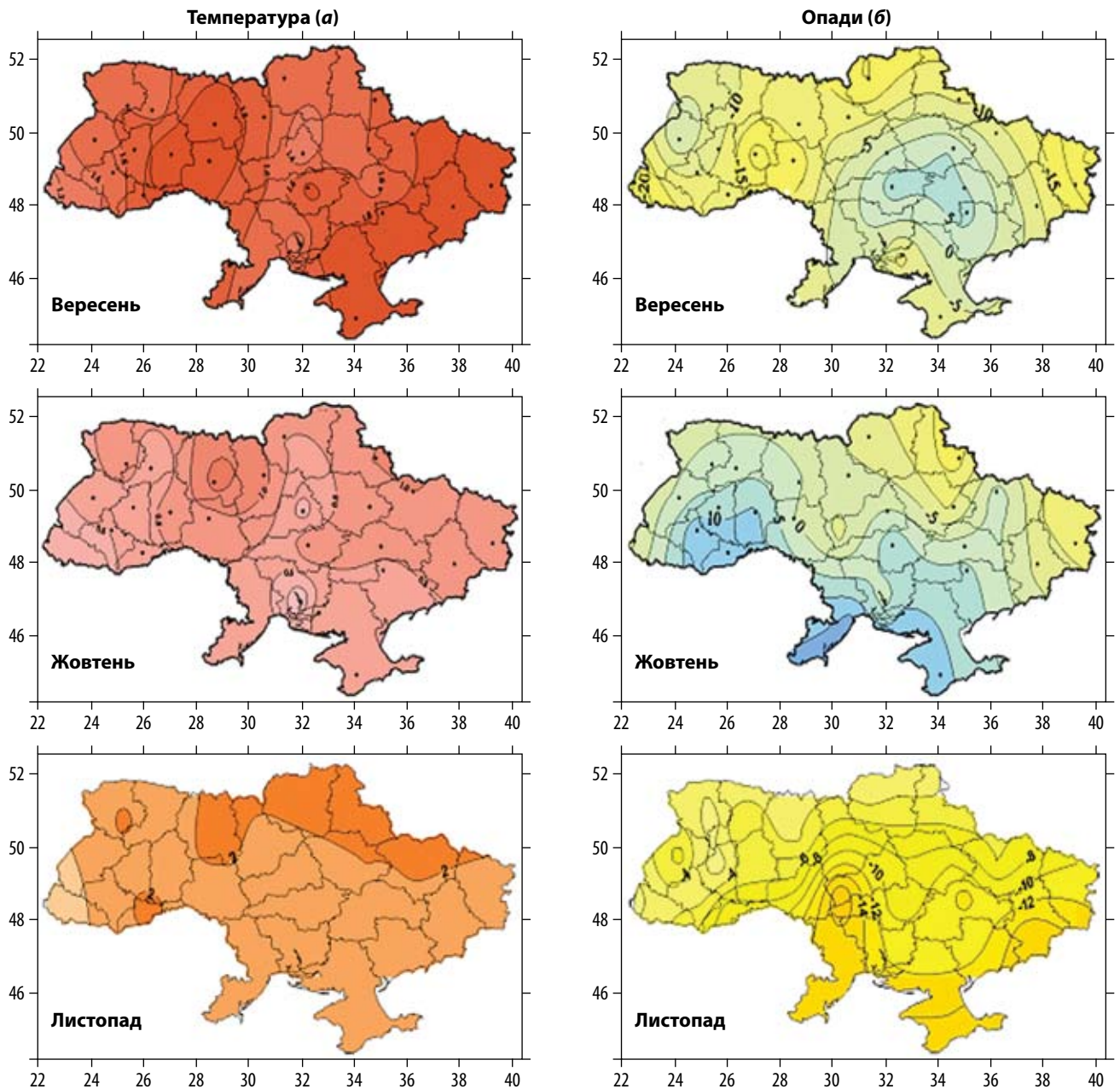


Рис. 7. Відхилення середньої місячної температури повітря ($^{\circ}$) і суми опадів (мм) в осінній сезон за 2006–2020 рр. відносно 1991–2005 рр.

поступово відновлюються. У листопаді знову спостерігається зменшення опадів по всій території України, особливо в центральних, східних і південних регіонах (рис. 7).

Тобто початок осіннього сезону за останні 15 років відзначається зниженням місячних сум опадів із суттєвим їх дефіцитом і переважним підвищенням температури. Це зберігає погодні умови останнього літнього місяця, що завдає значних збитків сільському господарству.

Отже, просторові зміни температури й опадів у країні за останній період спостерігаються у кожному місяці. Їх зміни описані у цьому підрозділі й

визначають характер сучасного клімату України відповідно до змін атмосферної циркуляції.

Особливості температурно-вологісного режиму сучасного клімату України. Основною метою цього підрозділу є аналіз особливостей основних параметрів посухи / зволоженості в Україні з перших десятиліть поточного століття. Вище описані зміни основних кліматичних показників — температури й опадів, що формуються під впливом зміщення великомасштабної атмосферної циркуляції на захід із 2006 р. на тлі глобального потепління. Підвищення температури повітря зафіксовано в усі місяці року, крім січня. Її зниження в січні та суттєве

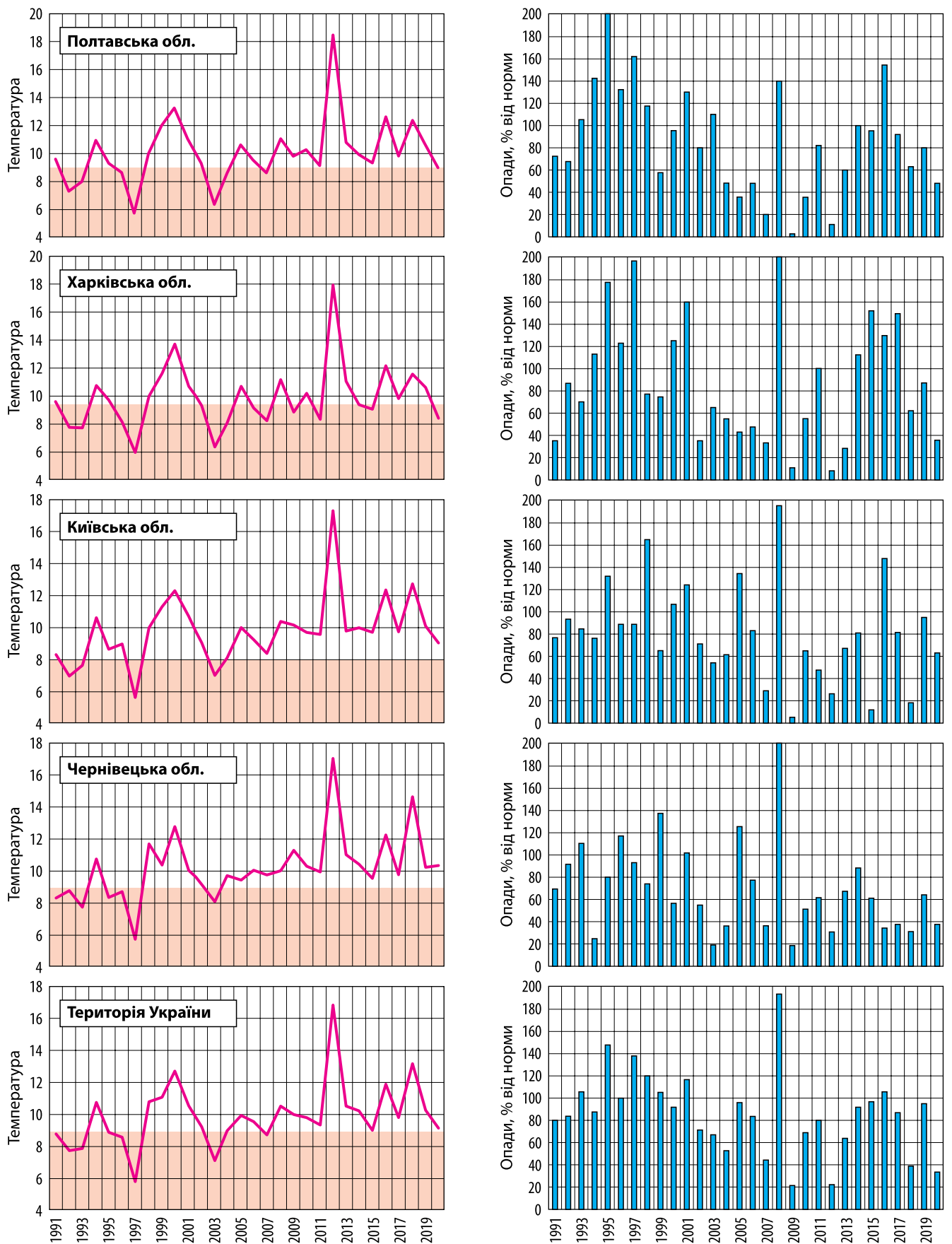


Рис. 8. Зміни середньої місячної температури повітря і місячної суми опадів на території України у квітні з 1991 по 2020 рр.

підвищення впродовж літа є реакцією впливу великомасштабної атмосферної циркуляції, яка займає більш західне положення в Північній півкулі, порівняно з кінцем попереднього сторіччя, на тлі глобального потепління. Зміщення атмосферної циркуляції на захід у Північній півкулі впродовж останніх десятиліть разом із глобальним потеплінням призводять до суттєвого зменшення опадів у теплий період, особливо в квітні, влітку та на початку осені. Слід зазначити, що саме зміщення на захід атмосферної циркуляції в попередні десятиріччя ХХ ст. сприяло спекотному, сухому літньому сезону й морозам узимку [21].

Під посухою розуміють тривалий бездощовий період при високих температурах повітря. ВМО у бюлетені про посухи [19] опублікувала таблицю всіх її критеріїв, що використовуються у різних країнах [1, 7, 16, 19, 23, 25, 26, 29–32]. За цієїєю таблицею, на території України для визначення посухи використовуються такі показники: гідротермічний коефіцієнт Селянінова [15]; показник вологозабезпечення Процорова [11]; індекс аридності Педя [8–9]; метеорологічний індекс продуктивності Багрова [1], стандартизований індекс опадів [19, 25, 31, 32]. Ці показники включають температуру, опади та їх відхилення від норм [7, 9, 16, 32], при цьому суму цих величин враховують за весь вегетаційний період.

Однак, ці критерії не є універсальними для усіх регіонів і тому по-різному визначають аномальність посухи протягом періоду вегетації [3, 9, 32].

У цьому підрозділі не розглядатимуться критерії посухи в період активної вегетації. Акцент зроблено на аналізі температурно-вологісного режиму на території України з початку поточного століття.

Для аналізу прояву посушливого процесу наводимо графіки часових змін температури та опадів з 1991 по 2020 рр. На графіках *рис. 8, 9* відмічено рожевим кольором значення температури нижчі за норму 1961–1990 рр. На прикладі зміни температури та опадів у квітні, які на *рис. 8* наведено по областях, розташованим у різних географічних районах країни і в середньому по території України періоду 1991–2020 рр., проаналізуємо можливості посушливих процесів. Починаючи з 2006 р. на більшості території України у квітні, крім східних областей, відбувається стійкий прояв атмосферної посухи — це високі температури та незначні опади, які сформовані певною атмосферною циркуляцією [7]. За температури повітря вище за норму та з опадами нижче 60% від норми посухи були у 2007, 2009, 2010–2013, 2015 та 2018 рр. Основною синоптичною ситуацією утворення посухи в Україні є вторгнення ядра антициклону холодного повітря з півночі до тилу циклону. Ці антициклони, малорухливі з низь-

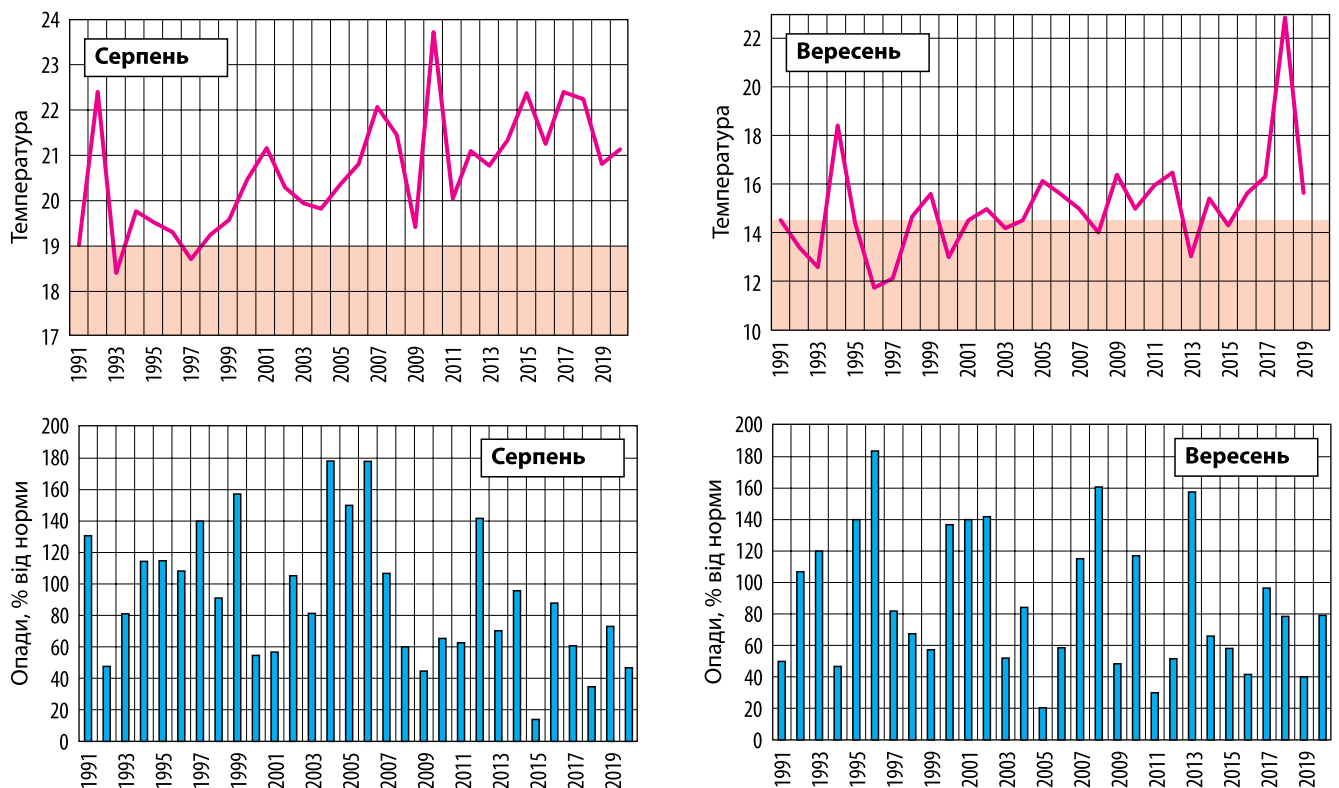


Рис. 9. Зміни середньої місячної температури повітря і місячної суми опадів на території України у серпні та вересні з 1991 по 2020 рр.

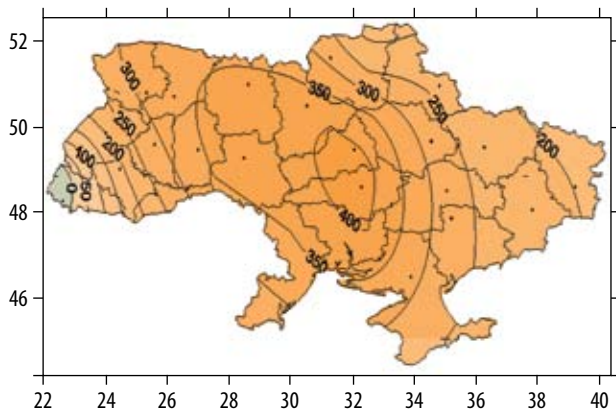


Рис. 10. Відхилення прямої сонячної радіації (МДж/м²) за теплий період року в 2006–2020 рр. відносно 1991–2005 рр.

кою температурою та вмістом незначної вологості, утворюють умови для формування атмосферної посухи. Надалі антициклон прогрівається, але вологість у ньому зменшується.

Атмосферна посуха в період активної вегетації (перехід середньодобової температури через +10°C від весни до осені) завдає суттєвих збитків сільському господарству. Середні значення температури та опадів для усієї території України можуть ґрунтовніше показати характер і рівень прояву посушливості у квітні. Аналіз графіків середніх значень температури та опадів в Україні на рис. 8, 9 у квітні, серпні та вересні демонструє, що найскладніші посушливі процеси спостерігаються на більшості території країни. Весняні посушливі процеси створюють умови з різкою невідповідністю між посиленою потребою рослин у волозі та її надходженням з ґрунту, внаслідок чого рослини можуть загинути [1, 3–4, 10, 14–15]. Як показано на рис. 6, 9, щодо минулого періоду, у серпні поточного періоду стали з'являтися інтенсивні великі посухи (2008, 2009–2011, 2015, 2017, 2018 рр.), які затримують нормальний розвиток пізніх сільськогосподарських культур і можуть призвести до загибелі рослин. Поширення посух на вересень завдає шкоди озимим та пізнім культурам. Інтенсивні посушливі процеси вересня можуть ускладнити умови для сівби озимих та появи їх сходів.

Збільшення кількості посушливих процесів на території України проявляється через значення прямої сонячної радіації біля поверхні землі [12]. За останні 15 років упродовж теплого періоду року її величина перевищує норму попередніх років практично на всій території України, особливо в північних і центральних областях, а нижчою є лише на крайньому заході. Різниця значень прямої сонячної радіації впродовж теплих періодів року у період 2006–2020 рр. у порівнянні з 1991–2005 рр. (рис. 10)

є додатною на всій території України, тобто мало місце збільшення прямої сонячної радіації. Найбільше зростання прямої сонячної радіації до 400 МДж/м² за теплий період 2006–2020 рр. відбувається у центральних областях.

Збільшення прямої сонячної радіації в сучасний теплий період на території України має позитивні та негативні наслідки. З одного боку для сонячних електростанцій це сприяє збільшенню вироблення енергії, а з іншого боку, для сільського господарства, її зростання обумовлює посушливі атмосферні процеси, що ускладнюють умови для висівання сільськогосподарських культур та появи їх сходів і вегетації.

ВИСНОВКИ

У статті наведено фізико-статистичну модель великомасштабної атмосферної циркуляції (АС), яка виявляє періодичність (близько 50–60 років) у положенні великомасштабної атмосферної циркуляції (див. рис. 2) у Північній півкулі. За допомогою цієї моделі можна прогнозувати за аналогами попередніх десятиліть її стан і положення в майбутньому. Однак, проблема впливу глобального потепління на її стан на даному етапі залишається невирішеною і її необхідно віднести до найважливішої сучасної задачі в метеорології. Вирішення цієї проблеми дасть змогу отримати надійні аналоги стану атмосферних процесів для прогнозу зміни клімату в майбутньому. Зазначимо, що закономірність у положенні великомасштабної атмосферної циркуляції не залежить від глобального потепління на відміну від її стану.

Модель зміни АС дозволила визначити нову тенденцію в кліматичному режимі України з 2006 р. Результати аналізу показали, що зима в січні стає холоднішою, а сума опадів узимку на більшості території зростає. Навесні 2006–2020 рр. температура повітря підвищилася по всій території на 1°C і більше. Суттєве зменшення кількості опадів відбувається у квітні практично по всій території України, особливо в північних та центральних областях. Кількість опадів у літній сезон зменшується в більшості регіонів. Від червня до серпня територія зменшення кількості опадів розширюється й у серпні займає практично всю територію України. Підвищення середньої місячної температури повітря та істотне зменшення кількості опадів від початку поточного століття в серпні та вересні сприяє появі атмосферно-ґрунтової посухи, яка завдає значної шкоди сільському господарству останніми роками. Отже, підкреслимо, що зміна кліматичних показників, таких як температура та опади, відбувається внаслідок зміни тенденції атмосферної циркуляції.

ЛІТЕРАТУРА / REFERENCES

- Багров Н.А. О метеорологическом индексе урожайности. *Метеорология и гидрология*. 1983. **11**. С. 92–99. [Bagrov N.A. (1983). On the meteorological index of productivity. *Meteorology and hydrology*. **11**. 92–99] [in Russian].
- Бова Н.В. О климатическом изучении засух на Юго-Востоке СССР. *Изв. АН. СССР. Сер. геогр. и геофиз.* 1946. **10**. № 5. С. 418–430. [Bova N.V. (1946). On the climatic study of droughts in the South-East of the USSR. *Proceedings of the Academy of Sciences of the USSR. Geography and geophysics series*. **10**. № 5. 418–430] [in Russian].
- Бучинский И.Е. Засухи, суховеи и пыльные бури на Украине и борьба с ними. Киев: Урожай, 1970. 236 с. [Buchinskij I.E. (1970). Droughts, hot winds and dust storms in Ukraine and the fight against them. Kyiv: Harvest, 236 p.] [in Russian].
- Вилькенс А.А. Дмитренко В.П. О динамике влагозапасов почвы при засухах. *Тр. УкрНИГМИ*. 1978. **169**. С. 23–39. [Vil'kens A.A. Dmitrenko V.P. (1978). On the dynamics of soil moisture reserves during droughts. *Proceedings of UHMI*. **169**. 23–39] [in Russ.].
- Климат Украины: кол. моногр. / под ред. Г.Ф. Прихотько, А.В. Ткаченко, В.М. Бабиченко. Л.: Гидрометеиздат, 1967. 414 с. [Climate of Ukraine: collective monograph / Edited by G.F. Prihot'ko, A.V. Tkachenko, V. M. Babichenko. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1967. 414 p.] [in Russian].
- Клімат України: кол. моногр. / за ред. В.М. Ліпінського, В.А. Дячука, В.М. Бабіченко. Київ: Вид-во Раєвського, 2003. 343 с. [Climate of Ukraine: collective monograph / Edited by V.M. Lipinskiy, V.A. Diachuk, V.M. Babichenko. Kyiv: Raevsky Publishing House, 2003. 343 p.] [in Ukrainian].
- Мартазинова В.Ф., Сологуб Т.А. Атмосферная циркуляция, формирующая засушливые условия на территории Украины в конце XX столетия. *Наук. Праці УкрНДГМІ*. 2000. **248**. С. 36–47. [Martazinova V. F., Sologub T. A. (2000). Atmospheric circulation that forms arid conditions on the territory of Ukraine at the end of the 20th century. *Scientific Practices of UHMI*. **248**. 36–47] [in Russian].
- Педь Д.А. Климатические особенности атмосферных засух и избыточного увлажнения. *Тр. Гидрометцентра СССР*. 1975. **156**. с. 39–63. [Ped' D.A. (1975). Climatic features of atmospheric droughts and excess moisture. *Proceedings of the Hydrometeorological Center of the USSR*. **156**. 39–63] [in Russian].
- Педь Д.А. О показателе засухи и избыточного увлажнения. *Тр. Гидрометцентра СССР*. 1975. **156**. С. 19–38. [Ped' D. A. (1975). On the index of drought and excessive moisture. *Proceedings of the Hydrometeorological Center of the USSR*. **156**. 19–38] [in Russian].
- Приходько Г.Ф. Некоторые данные о продолжительности, интенсивности и времени выпадения различных типов осадков на Украине. *Тр. УкрНИГМИ*. 1956. **6**. С. 161–166. [Prihod'ko G.F. (1956). Some data on the duration, intensity and time of precipitation of various types of precipitation in Ukraine. *Proceedings of UHMI*. **6**. 61–166] [in Russian].
- Процеров А.В. Общая характеристика засух и основные особенности засухи 1946 года. *Труды ЦИП*. Москва, 1949. **13** (40). С. 5–12. [Procerov A.V. (1946). General characteristics of droughts and the main features of the drought. *Proceedings of the Central Institute of Forecasts*. Moscow, 1949. **13** (40). 5–12] [in Russian].
- Рибченко Л.С., Савчук С.В. Визначення змін складових радіаційного режиму сонячної радіації за 1991–2020 рр. відносно 1961–1990 рр. в Україні. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2022. **3** (65). С. 96–104. DOI: 10.17721/2306–5680.2022.3.7 (дата звернення: 22.12.2022). [Rybchenko L.S., Savchuk S.V. (2022). Determination of changes in the components of the radiation regime of solar radiation in 1991–2020 relative to 1961–1990 in Ukraine. *Hydrology, hydrochemistry and hydroecology*. **3** (65). 96–104. DOI: 10.17721/2306–5680.2022.3.7] (date of access: 22.12.2022) [in Ukrainian].
- Розова К.С. Бездошові періоди на Україні. Київ: Вид-во Української академії с.-г. наук, 1961. 70 с. [Rozova K.S. (1961). Rainless periods in Ukraine. Kyiv: Publishing House of the Ukrainian Academy of Agricultural Sciences, 70 p.] [in Ukrainian].
- Розова К.С. Бездождевые периоды на Украине, их распределение и продолжительность. *Тр. УкрНИГМИ*. 1958. **13**. [Rozova K.S. (1958). Rainless periods in Ukraine, their distribution and duration. *Proceedings of UHMI*. **13**] [in Russian].
- Селянинов Г.Т. Происхождение и динамика засух. Засухи в СССР. Их происхождение повторяемость и влияние на урожай: кол. моногр. / под ред. А.И. Руденко. Л.: Гидрометеиздат, 1958. С. 5–30. [Seljaninov G.T. (1958). Origin and dynamics of droughts. Droughts in the USSR. Their origin, repeatability and impact on the harvest: collective monograph / Edited by A.I. Rudenko. L.: Gidrometeoizdat, 5–30] [in Russian].
- Alvarez-Castro M. Carmen, Faranda Davide, Yio Pascal. (2018). Atmospheric Dynamics Leading to West European Summer Hot Temperatures Since 1851. *J. Complexity*, ID 2494509 | <https://doi.org/10.1155/2018/2494509>
- Choi J.W., Cha Y., Kim J.Y. (2017). Prediction Experiment of Regional Drought over Korea Using the Similarity of Spatiotemporal Patterns of Past Droughts. *J. Climatol Weather Forecasting*. **5**. 190. DOI: 10.4172/2332–2594.1000190 (date of access: 22.12.2022).
- Fischer E.M., Seneviratne S.I., Lüthi D., Schär C. (2007). Contribution of land-atmosphere coupling to recent European summer heat waves. *Geophys. Res., Lett.* **34**, L06707.
- Handbook of Drought Indicators and Indices BMO. (2016). № 1173.
- Hu X., Huang B., Cherubini F. (2019). Impacts of idealized land cover changes on climate extremes in Europe. *Ecol., Indicators*. **194**. 626–635.
- Martazinova V., Bakhmutov V., Melnyk G. (2019). Variability of Atmospheric Circulation and Geomagnetic Field in the Northern Hemisphere. ESS Open Archiv, December 05. DOI: 10.1002/essoar.10501262.1 (date of access: 22.12.2022).
- Martazinova V. (2005). The Classification of Synoptic Patterns by Method of Analogs. *J. Environ. Sci. Eng.* **7**. 61–65.
- Martazinova V.F. (2006). The transformation of the large-scale atmospheric circulation during the 20th and beginning of the 21st centuries. APCC Seminar Reports. URL: <http://www.apcc21.net/common/download.php?filename=sem/Long-range%20forecast.pdf> (date of access: 22.12.2022).
- Martazinova V.F., Tymofeyev V.E., Ivanova E.K., Chayka D.Yu. (2009). Present-day climate of Eastern Europe as viewed against atmospheric circulation change. *Bulletin of Geography*. **1**. 7–18.

25. Sábitz J., Pongrácz R., Bartholy J. (2014). Estimated changes of drought tendency in the Carpathian Basin. *Hungarian Geographical Bulletin*. **63** (4). 365–378. DOI: 10.15201/hungeobull.63.4.1
26. Russo A., Gouveia C.M., Dutra E., Soares P.M.M., Trigo R.M. (2019). The synergy between drought and extremely hot summers in the Mediterranean. *Environ. Res. Lett.* **14** 014011.
27. Sheffield J., Wood E., Roderick M. (2012). Little change in global drought over the past 60 years. *Nature*. **491** (7424). 435–438. DOI: 10.1038/nature11575 (date of access: 22.12.2022).
28. Sousa P.M., Barriopedro D., García-Herrera R., Ordóñez C., Soares P.M., Trigo R.M. (2020). Distinct influences of large-scale circulation and regional feedbacks in two exceptional 2019 European heatwaves. *Communications Earth & Environment*. **1**. Article number: 48.
29. Spinoni J., Vogt J.V., Naumann G., Barbosa P., Dosio, A. (2018). Will drought events become more frequent and severe in Europe? *Int. J. Climatol.* **38**. 1718–1736.
30. Zcheischler, J. et al. (2018). Future climate risk from compound events. *Nat. Climate Change*. **8**. 469–477.
31. Zuzulová V., Šiška B. (2017). Identification of Drought in Western Slovakia by Palmer Drought Severity Index (PDSI). Slovak Republic Acta Regionalia et Environmentalica 1 Nitra. Slovaca Universitas Agriculturae Nitriae. 7–14.
32. Utkuzova D.N., Han V.M., Vil'fand R. M. (2015). Statistical analysis of extreme drought and wet events in Russia. *J. Atmos Ocean Opt.* **28**. 336–346. DOI: 10.1134/S1024856015040144 (date of access: 22.12.2022).

**V.F. Martazinova¹, N.S. Horodetska²,
L.S. Rybchenko¹, S.V. Savchuk¹,
N.P. Hrebeniuk¹, O.H. Tatarchuk¹**

¹ Ukrainian Hydrometeorological Institute (UHMI) of SESU and NASU, Kyiv

² Institute of Hydromechanics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv

FEATURES OF THE CURRENT STATE OF THE TEMPERATURE-HUMIDITY REGIME OF UKRAINE SINCE THE BEGINNING OF THE XXI CENTURY UNDER THE INFLUENCE OF CHANGES OF LARGE-SCALE ATMOSPHERIC CIRCULATION

The current state of the temperature and humidity regime of the territory of Ukraine from 1991 to the present time under

the influence of changes in large-scale atmospheric circulation is considered. The atmospheric circulation model by V. Martazinova and the EOF decomposition of pressure fields, the beginning of the formation of the modern climate regime since 2006 was determined. For the analysis of the modern temperature-humidity regime, the data of the fields of air temperature, atmospheric precipitation, pressure, geopotential in the nodes of the geographic grid of the Atlantic-European sector of the archive of UkrGMI-CDDPP; NOAA Northern Hemisphere Archive; air temperature, precipitation, direct solar radiation of Ukrainian stations since 1991 were used. It is established that the temperature since the beginning of our century on the territory of Ukraine is growing, dry processes with deficit of precipitation are observed in April, August and September. The increase of the drought processes affects the current state of direct solar radiation, which for the warm period of the last 15 years exceeds the norm of previous years almost in all territory of Ukraine, especially in the northern and central regions.

Keywords: drought, humidity, atmospheric circulation, direct solar radiation, air temperature, atmospheric precipitation.