

ГЕОГРАФІЧНІ АСПЕКТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ГЛОБАЛЬНОГО ГІДРОЛОГІЧНОГО ЦИКЛУ

DOI: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2025.2.4>

УДК: 551.583

Тимофєєв В.Є., Рибченко Л.С., Савчук С.В.

Український гідрометеорологічний інститут ДСНС України та НАН України

ХАРАКТЕРИСТИКА ПОСУШЛИВИХ ЯВИЩ СУЧАСНОГО КЛІМАТИЧНОГО ПЕРІОДУ, МЕТЕОРОЛОГІЧНІ УМОВИ ТА ЦИРКУЛЯЦІЙНІ ЧИННИКИ

У роботі надано характеристику посушливих явищ сучасного кліматичного періоду в світі зміни регіонального клімату включно з аналізом окремих метеорологічних величин і складових режиму сонячної радіації, з оцінкою стану атмосферної циркуляції та прогностичного потенціалу.

Відзначено почастищення посушливих явищ зі збільшенням ступеню посушливості на більшості території України, на що впливає підвищення температури повітря та дефіциту опадів, внаслідок зростання прямої сонячної радіації та тривалості сонячного сяйва. Це узгоджується зі змінами у Центральній і Східній Європі. Посилення ступеню посушливості фіксується з початку 2000-х рр. із найбільшою тенденцією в 2010-2020 рр., коли ареал посух значно розширився у просторі та між сезонами, з виходом за межі вегетаційного періоду.

Поява посушливих явищ впродовж холодного періоду року підвищує ймовірність масштабних посух протягом вегетаційного періоду та створює несприятливі передумови для розвитку сільськогосподарського виробництва. Це пов'язане зі зростаючим впливом антициклогенезу, особливо явища синоптичного блокування, що визначає підвищену тривалість посушливих явищ.

Знайдено типові аномалії регіональних кліматичних індексів та їх комбінації. Вони можуть використовуватись для діагнозу та сезонного прогнозу посух і відбивають особливий стан атмосферної циркуляції меридіонального типу з впливом субтропічних антициклонів характерний для періоду глобального потепління. Значна стійкість синоптичних процесів зумовлює перебудову атмосфери задовго до явища та може використовуватись для прогнозу посух.

Порівняння з посухами попереднього кліматичного періоду (1970 років) показує особливий розподіл аномалій кліматичних індексів, що підкреслює відмінність розвитку посух, унікальність відповідних синоптичних умов сучасного кліматичного періоду з підвищеною стійкістю об'єктів атмосферної циркуляції. Якщо посухи в 1970-х роках, відзначались на початку вегетаційного періоду не кожного року, то з 2000 року спостерігаються практично кожного року з розширенням періоду реєстрації починаючи з кінця зимового до осіннього сезону.

Аналіз міжсезонної еволюції синоптичних процесів, сприятливих для виникнення та збереження масштабних посушливих явищ показав типове перетворення циркуляції між сезонами.

Ключові слова: посухи та посушливі явища, кліматичні індекси, антициклони, радіаційний режим.

Вступ. Актуальність теми дослідження. В останні роки зростає проблема діагнозу, прогнозу посух та інших супроводжуючих небезпечних метеорологічних явищ (НМЯ), оскільки спостережуване потепління клімату нашої планети, незалежно від його генезису, сприяє збільшенню частоти НМЯ. При цьому, при збільшенні кліматичної вразливості регіонів, із розширенням типового ареалу реєстрації окремих НМЯ, наслідки кліматичних змін є очевидними [19, 20, 23, 24, 28, 31, 45]. На тлі мінливості сонячної активності й інших геофізичних факторів сучасний стан кліматичної системи характеризується продовженням фази глобального потепління, зміни атмосферної циркуляції, підвищеної активності Ель-Ніньо [15, 26, 39, 41].

Аналогічне потепління спостерігається у багатьох районах помірних широт, включно з Україною [4-6, 8, 29, 37, 45]. У регіональному плані, важлива інтерпретація даних про зміну клімату, включаючи просторово-часові (сезонні) особливостями, а також такі наслідки НМЯ, як зміна оточуючого середовища, стан екосистем, вплив на здоров'я людей [2, 33, 45].

До періоду сучасного потепління клімат України в цілому вважався сприятливим для розвитку сільського господарства, завдяки задовільному рівню інсоляції, достатньому зволоженню більшості території [14]. Водночас, в окремі роки на півдні та сході України

спостерігались жорсткі посухи (у 1968, 1972, 1975 рр.), в той час як на півночі вони майже не спостерігались [29].

Дані останніх десятиліть показують тенденцію до почастишання виникнення посушливих явищ в Україні, що зумовлюється певним поєднанням агрокліматичних умов: підвищення приземної температури повітря (ПТП), дефіцитом атмосферних опадів на тлі зменшення хмарності через зміну режиму сонячної радіації [3,7, 24]. В умовах посухи збільшуються енергетичні можливості підстильної поверхні, що зумовлює перерозподіл балансу сонячної радіації [16, 18].

Посуха є наслідком складної фізичної взаємодії факторів, які можна поділити на зовнішні та внутрішні. До внутрішніх відносять ступінь зволоження території, зокрема зволоженості ґрунту в попередні зимовий і весняний періоди, особливості стану та підстильної поверхні тощо. До зовнішніх факторів відносять циркуляцію атмосфери, що зумовлює перенос повітряних мас, температурний фон. Україна відчуває вплив, як планетарних систем циркуляції за рахунок взаємодії системи океан-атмосфера; так і регіональних, що змінилися останнім часом [15, 26, 41].

При метеорологічному обслуговуванні споживачів найважливішою є прогностична інформація про можливість виникнення посух і супроводжуваних явищ із сезонною завчасністю, особливо впродовж вегетаційного періоду [16, 29].

Актуальність дослідження полягає у встановленні особливостей метеорологічних умов та режиму сонячної радіації під час розвитку посушливих явищ, їх зв'язків з циркуляцією атмосфери та оцінці прогностичного потенціалу щодо їх виникнення.

Аналіз виконаних досліджень за означеною темою. Результатам дослідження посух на території країни присвячено низку досліджень, з характеристикою просторово-часового розподілу, оцінкою впливу явища на розвиток сільською господарства та проблеми збереження врожайності, зокрема в умовах глобального потепління [3, 8, 29]. Як зазначено в [4], за поширенням розрізняють місцеву, зональну, міжзональну, континентальну атмосферну посуху з реєстрацією з весни до осені. До 2000 року місцева атмосферна посуха майже щороку виникала у Південному Степу, на узбережжях Чорного й Азовського морів; зональна – раз на 2-3 роки, переважно у Степу; міжзональна – в Лісостепу та Поліссі.

Одну з перших карт ймовірного розподілу посух Україною виконано [9], понад 50 % випадків посух вегетаційного періоду найчастіше спостерігались у вузькій прибережній смузі на півдні, і Тільки 3 % масштабних посух розповсюдилися на площі понад 50 % території, тобто носили континентальний характер.

Найбільш часто, з повторюваністю 80-90 %, майже щорічно спостерігаються літні посухи в степовій частині Кримського півострову [5]. Імовірність посух, що фіксувалися весь теплий період року, складає 30-50 %, а у перехідні місяці – загалом через рік. Згідно з дослідженнями кукурудзи, в степовій частині Криму посушливі ситуації повторюються в 80 %, у червні – 94 %, липні та серпні – 66-100 %.

Найменше вражені посухою Українські Карпати, де відзначають окремі посушливі роки з завищеною сумою температур. Найбільш забезпечене теплом Закарпаття [25]. Але інколи бувають посушливі роки зі зниженими сумами температур при пізньому настанні теплого періоду року.

Раніше в УкрГМІ була розроблена методика кількісної оцінки агробіологічної продуктивності кліматичних величин, яку можливо використати для оцінки атмосферних посух із отриманням їх критеріїв для зернових культур за окремі періоди вегетаційного циклу [3].

Для ідентифікації посух використовується низка показників, що враховують регіональні особливості [22]. Поряд із традиційними індексами посушливості, таких як гідротермічний коефіцієнт Селянинова (ГТК), індекс посухи Палмера, відзначається важливість розробки універсальних індексів посушливості та зволоженості, з мінімізацією впливу орографії. У зв'язку з цим, в останні роки більшої популярності набув стандартизований індекс опадів (SPI). Його перевагою є те, що підстильна поверхня не впливає на результати розрахунку, а в якості вхідної інформації використовуються дані атмосферних опадів [22, 45].

Сучасний стан і зміни просторово-часових характеристик метеорологічних посух в

Україні за 1946-2020 роки розглянуто в (47) із використанням SPI й індексу випаровування опадів (SPEI). Результати аналізу показали щонайменше 20 епізодів із посухою різної інтенсивності на понад 25 % території України. Причому збільшення її тривалості й інтенсивності спостерігалися у весняно-літній період переважно в південно-західних, центральних і північних областях України. Продемонстровано три варіанти розповсюдження посухи в Україні. Відзначено, що основною причиною утворення посух є прогрівання при значному випаровуванні з атмосфери.

Почастішання посух майже вдвічі з 1989 року відзначено в [20] і підкреслено роль випаровування більшої частини опадів за теплий період року. Це в поєднанні з різким підвищенням температури повітря посилює висихання ґрунту. Окрім цього, останніми роками відзначалася інша небезпечна особливість посух – їх поширення в райони, які завжди належали до зони достатнього зволоження – Полісся та північ Лісостепу.

Роль випаровування також підкреслена при формуванні іншого новітнього явища, спричиненого потеплінням і дефіцитом опадів – раптових посух (Flash Drought). Це явище, що характеризується швидким переходом від нормальних до сухих умов і вражає більшість позатропічних регіонів щонайменше один раз на п'ять років [34].

Основним кліматоутворюючим фактором, який впливає на клімат і життя на нашій планеті, є сонячне випромінювання, що надходить на поверхню Землі та значною мірою визначає умови середовища нашого існування [47]. Через нестійкість прозорості атмосфери, інтенсивність короткохвильової радіації (КХР) змінюється, що призводить до коливань температури [1]. Протягом останніх десятиліть відбувались системні зміни у надходженні КХР, що призвели до зростання прямої та сумарної радіації й, як наслідок, радіаційного балансу сонячної радіації в Україні [2, 16].

Подібні тенденції характерні для більшості території Європи, де також зростає сумарна, пряма радіація та реєструються рекордні суми тривалості сонячного сьйва (ТСС). Результати досліджень, проведених у Польщі на основі наземних і супутникових даних у 1983-2018 роках, свідчать про значне збільшення ТСС навесні та влітку [32]. Співставлення тенденції ТСС і температури повітря на 25 синоптичних станціях Польщі показало, що ТСС статистично добре пояснює підвищення денної ПТП в теплий період року. Це підтверджує відомі в літературі періоди «глобального затемнення» та «глобального освітлення» [32],

Важливо, що періоду сучасного потепління відповідає віковий максимум сонячної активності, а починаючи з 24-го циклу до середини XXI сторіччя очікується поступове зменшення її активності [10, 30]. У деяких роботах із цим пов'язують початок планетарного похолодання до середини XXI сторіччя [30].

При ідентифікації посухи, важливими є супутні явища, що пов'язані з екстремальними значеннями ПТП: періоди спекотливої погоди ("хвилі тепла"), суховії, пилові бурі, лісові пожежі [16, 23, 40]. Підвищення ПТП не тільки збільшує ймовірність виникнення явища, а й наближує час сприятливий для його початку [28, 31]. Хвилі тепла (ХТ) відіграють Особливу роль у формуванні посушливих явищ. В Європі спостерігається значне частішання епізодів ХТ після смертоносною спеки літа 2003 року, якщо спричинила понад 70000 жертв. Ця тенденція продовжилась низкою нещодавніх послідовних, виключно жарких і сухих, літніх сезонів 2018-2020 рр. і в 2022 р. За даними модельних прогнозів, частота хвиль спеки в Європі непропорційно зростає порівняно до глобальної температури, хоча основні причини цього не зовсім зрозумілі [45].

Кількість ХТ та їх тривалість зросли в усі пори року, що відповідає загальній тенденції потепління. Вказується, що крім впливу на оточуюче середовище, періоди ХТ значно впливають на діяльність і здоров'я людини [6, 21, 28]. У цих дослідженнях визнано, що ХТ влітку 2010 року була найтривалішою та найінтенсивнішою за історію спостережень для більшості території України. За результатами аналізу ХТ літнього сезону в Україні, найменшу кількість епізодів з ними було зафіксовано за 1961-1980 роки, а за 1991-2020 роки вони реєструвались кожного місяця [28]. Слід зауважити, що в цьому дослідженні застосована норма 1961-1990 рр., тому вказані аномалії температури та тривалість ХТ дещо завищені, як для 2010 р., так і для всього сучасного кліматичного періоду, через загальний додатний тренд.

Аналогічно, використовуючи стандартний кліматологічний період (1961-1990 років), автори [21] за фактичними даними окремих метеорологічних станцій (МС) за період

останніх 60 років, підтвердили тенденцію до зростання кількості ХТ та їх тривалості на півночі та заході України. Найменша за рік кількість ХТ зафіксована на півдні країни.

Дослідження [6] базується на індексі хвиль тепла та холоду (HCWI), який реалізується в Європейській обсерваторії Коперника, причому використано сучасний кліматологічний період (1981-2010 рр.). При цьому, чітко простежується нерівномірність прояву цього явища, з виділенням двох напівперіодів тривалістю в 21 рік. За перший період (1980-2000 рр.) зафіксовано 29 подій ХТ, а за другий (2001-2021 роки) – уже 54 події. Якщо до 2001 р. в Україні зазвичай реєстрували 1-2 події ХТ на рік, але впродовж другого періоду їх частота зросла до 2-3 подій, а в окремі роки – досягала 4-5 подій на рік.

Антропогенне глобальне потепління збільшує інтенсивність і частоту ХТ безпосередньо через підвищення температури, проте на них також можуть впливати чинники природної мінливості, перш за все, великомасштабна атмосферна циркуляція [26, 27, 46]. Тенденція сучасного температурно-вологісного режиму України до аномально сухих і спекотних атмосферних процесів влітку вказана також у [11, 12].

Аналіз регіональної циркуляції за період сучасного потепління дозволив виділити важливі особливості баричного поля в Атлантико-Європейському секторі (АЕС): посилення антициклогенезу, через розширення зони дії субтропічних максимумів, зокрема гребеня Азорського антициклону, з безпосереднім впливом на Україну [5, 36, 38, 46]. Це зумовлює більшу стійкість атмосферних процесів у часі, що сприяє збільшенню тривалості посушливих явищ.

Згідно з [27], посушливі явища розвиваються в антициклонах, чому відповідає східний (Е) тип циркуляції в класифікації Вангенгейма-Гірса, частота якого зростала в 1961-1990 роки. При цьому, типовою формою є розвиток висотного гребеня блокуючого типу над Східною Європою, що підтримується відрогами субтропічних максимумів. За таких умов ймовірність виникнення атмосферної посухи над східною Європою складає до 70 %). Крім того, синоптичний аналіз умов екстремальної посушливості, проведений шляхом зіставлення з каталогом типізації за А. Кацу, дозволив виявити тип циркуляції й особливості еволюції планетарних висотних фронтальних зон (ПВФЗ), які можуть бути показниками виникнення посушливих умов для розроблення їх прогнозу на середні та більш тривалі терміни [27].

Класифікація та гідродинамічна інтерпретація типів блокування з каталогом наддовготривалих блокуючих утворень для Північної півкулі надається в [13]. Сучасні дослідження підтвердили, що почастишання хвиль спеки в Західній Європі пов'язане зі збільшенням стійкості подвійних струминних тесій (СТ) у верхній тропосфері через ефект блокування антициклонів, які пов'язані з ефектом розщеплення СТ, що сприяє до формування зон слабких вітрів між двома максимумами зонального вітру. Ці синоптичні об'єкти виявилися особливо важливими для діагнозу та прогнозу спеки в Західній Європі [46].

На сучасному етапі досліджень використовується низка регіональних атмосферних індексів, таких як Північноатлантичне (NAO) та Східноатлантичне (ЕАО) коливання – основних компонентів мінливості атмосферного тиску в АЕС, із пошуком певних комбінацій індексів. Це забезпечує більш надійне пояснення причин формування аномальної погоди у окремі сезони в Європі [15, 26, 35, 38].

Нарешті, у кількох дослідженнях розглянуто потенційну роль уповільнення атлантичної меридіональної циркуляції (АМОС) і пов'язаний з цим Північноатлантичний осередок потепління над Західною Європою впродовж літнього сезону, зумовлений зворотнім викликом у системі океан-атмосфера [45].

Метою проведених досліджень є характеристика посух сучасного кліматичного періоду в Україні в світі змін складових радіаційного та метеорологічного режиму, а також стану атмосферної циркуляції та вивчення прогностичного потенціалу.

Використані дані. Для проведення дослідження використано архів результатів вимірювань станцій метеорологічної (МС) й актинометричної мережі спостережень ЦГО імені Бориса Срезневського ДСНС України. Створено каталог посух і базу даних спостережень за окремими складовими радіаційного режиму. Слід зазначити зменшення кількості станцій мережі спостережень країни, тому для порівняння Використано дані

сусідніх довгорядних станцій, наприклад Київ - Бориспіль, Полтава -Харків, а також дані найбільш репрезентативних рядів актинометричних станцій (АКС): Одеса, Полтава.

За головний період дослідження прийнято 1951-2021 роки, а аналіз посух проводиться за 1991-2020 рр., Посухи визначались за даними щомісячників ЦГО, які базуються на розрахунку індекса ГТК. За масштабну та тривалу посуху приймалось її поширення на території не менше 60 %, від місяця та більше. Індекс аридності розраховувався, як відношення накопиченої сезонної кількості атмосферних опадів до накопиченої приземної температури повітря на окремих МС. Аномалії складових режиму сонячної радіації розраховувались відносно стандартного кліматологічного періоду 1961-1990 років, оскільки вони мають незначний тренд. Використання норми температури повітря в тексті дискутується.

Для просторового аналізу циркуляції атмосфері, використано дані реаналізу NCEP/NCAR із просторовим розділенням 1,5° за 1951-2020 рр. Джерело кліматичних індексів – Центр передбачення клімату, США (<https://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/>). Індекси представлені у вигляді величин, нормованих на середнє квадратичне відхилення в кожному місяці.

Результати досліджень. Розповсюдження посух територією України впродовж місяців року за 1991-2020 роки наведено на рис. 1. Частота посух збільшується у липні-вересні, причому часто з перекриттям сезонів. Особливо це помітно в 2011-2020 роках, коли весняно-літні й осінні посухи, зокрема масштабні, спостерігались кілька років, зокрема поспіль (2012-2013, 2015, 2017, 2020рр.). В окремі вегетаційні сезони (2015, 2017 рр.) посухи фіксувались безперервно до 6 місяців. Розподіл посух за географічними районами України характеризується підвищеною частотою в південних і східних областях, причому на півночі та заході на початку літнього сезону їх частка становить близько 30 %, а у серпні – вони відсутні в цих регіонах.

Місяць	Рік																				A	
	1992	1994	1995	1996	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2015		2017
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	-	4	-	-	-	4	-	-	4	4	-	-	-	-	-	4	-	4	4	-	4	4
5	-	-	5	5	-	5	-	5	5	-	5	-	5	-	5	5	5	5	5	-	5	-
6	-	-	6	6	6	-	-	-	6	-	6	6	6	-	6	6	6	6	6	6	6	6
7	7	7	-	7	7	-	7	7	-	-	-	7	7	-	7	7	-	7	7	7	7	7
8	8	8	-	8	8	-	8	8	-	-	8	-	8	8	-	8	-	-	-	8	8	8
9	9	9	-	9	9	-	9	-	-	-	9	-	-	-	-	-	-	-	-	9	9	9
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	-	-	-	-	-	-	-	-	10	-	-
11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11	-	-
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Σ(i-Xi1)	3	4	2	5	4	2	3	3	3	2	5	2	4	1	2	5	8	4	4	6	6	6
Частота за рік	1	2	1	1	1	1	1	2	1	1	2	1	1	1	1	1	3	1	1	1	1	2

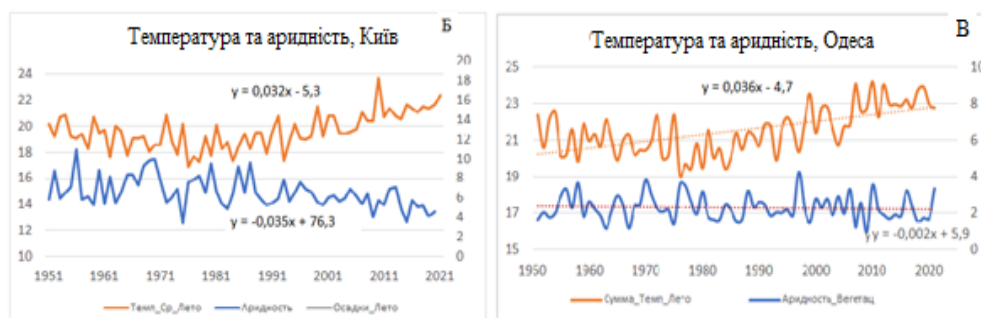


Рис. 1. Розповсюдження посух за територією України впродовж 1991-2020 років (а), багаторічна зміна середньої приземної температури повітря (ПТП) і коефіцієнту аридності у Києві (б) та Одесі (в) влітку за 1951-2021 роки

Новітнім виявилось те, що з другого 10-річчя сучасного 30-річчя у окремі роки спостерігається зимово-весняна посуха, при цьому, в місяці холодного періоду року (листопад-березень) вони зазвичай є передумовою подальшого їх розвитку в теплому (квітень-жовтень), часто до масштабних і тривалих. До найжорсткіших розвинулись посухи

в останні 10 років, що розпочались за холодного періоду: в 2011 р. (кінець лютого-березень), і тривала з перервами 8 місяців до листопада; в 2020 р. (березень-квітень), що спостерігалась до першої половини вересня. Крім того, за холодного періоду посуха відмічалась: на більшості території країни у березні-квітні 2004 р., на частині території в листопаді 2015 р.; на значній території – в березні 2020 року (рис. 1 а).

Почастішання посух є наслідком прискореної тенденції до потепління та зменшення кількості атмосферних опадів, що відображає індекс аридності, розрахований за даними МС України півночі та півдня (рис. 1 б-в). найбільше підвищення ПТП і зростання ступеню аридності відбувається на півночі (МС Київ) при посиленні тенденції з середини 1980х (ПТП: $+0.032^{\circ}\text{C}$ за рік; аридність: 0.035°C за рік). На півдні, за даними МС Одеса, зростання ПТП весь період складає $0,036\text{C}$ за рік, ступінь аридності 0.002°C за рік, а з 1981 р потепління прискорилось, до $0,08\text{C}^{\circ}$, аридність до $0,0034\text{C}$ за рік.

Сучасний просторово-часовий розподіл за територією України аномалій окремих складових радіаційного режиму сонячної радіації (ТСС, прямої та сумарної сонячної радіації, радіаційного балансу) при посухах впродовж теплого періоду року за 1991-2020 роки, показано на рис. 2. Відзначається посилення їх додатних аномалій на більшості території, а найбільше зростання ТСС, сумарної радіації та радіаційного балансу охоплює північні та центральні області, а прямої сонячної радіації (ПСР) - ще й південні. Від'ємні аномалії сумарної сонячної радіації відзначені на крайньому заході, а радіаційного балансу – на крайньому півдні держави.

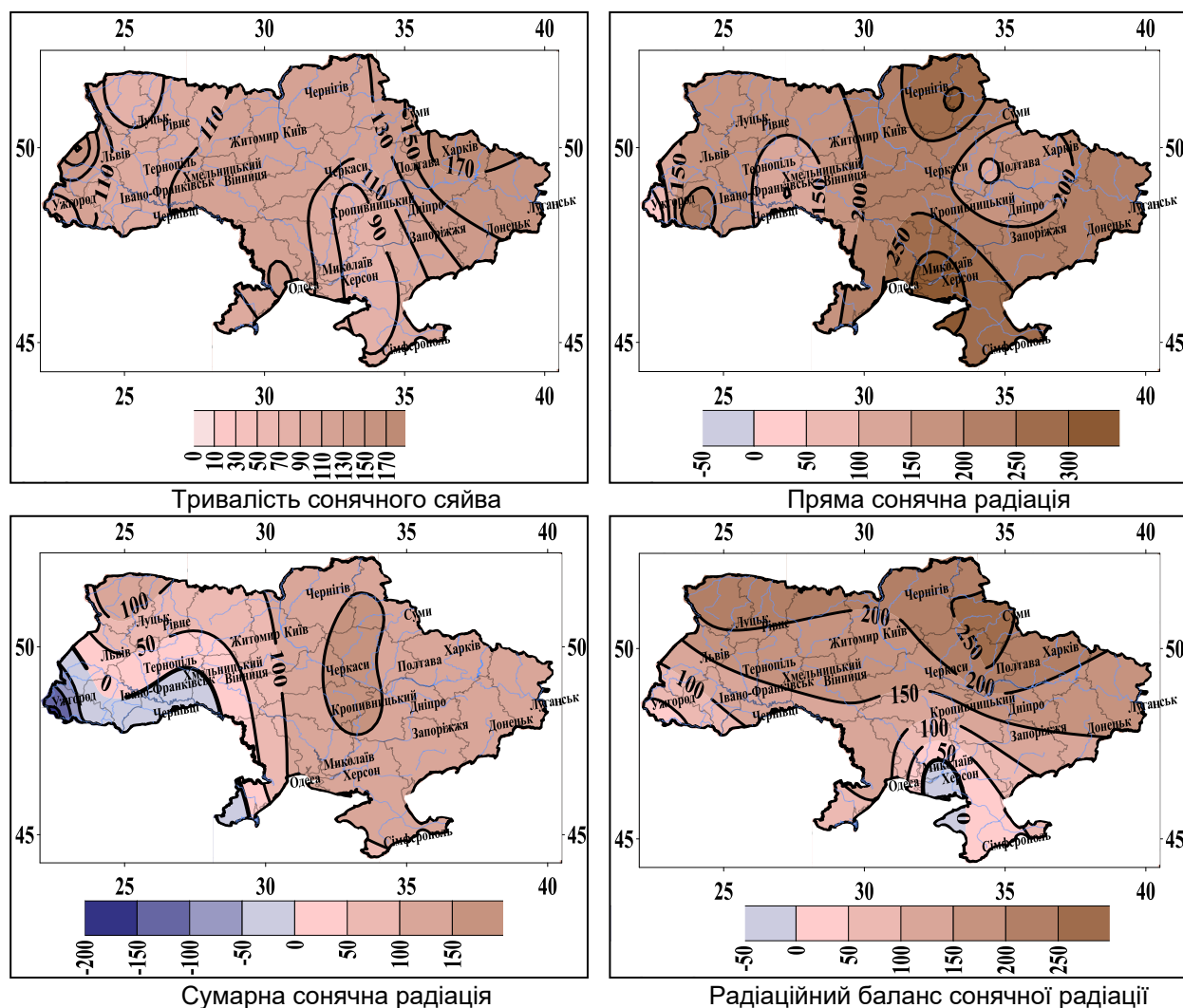


Рис. 2. Відхилення тривалості сонячного саява (год), прямої та сумарної сонячної радіації ($\text{МДж} / \text{м}^2$), радіаційного балансу ($\text{МДж} / \text{м}^2$) при посухах теплого періоду року в Україні за 1991-2020 рр. відносно періоду стандартної кліматичної норми (1961-1990 рр.)

Виявлено істотні відхилення окремих складових режиму сонячної радіації, зокрема ТСС за 1991-2020 рр., в окремі місяці при посухах протягом теплого та навіть холодного періоду року повсюдно по Україні, що раніше не відзначалось. Особливістю інтенсивних тривалих масштабних посух останнього 30-річчя є найбільші додатні відхилення ТСС і прямої радіації не тільки на півночі, північному сході та сході країни, але й на заході та Закарпатті [16].

Отримані вище тенденції складових радіаційного режиму сонячної радіації підтверджуються даними окремих актинометричних станцій України, з переважними додатними трендами (рис. 3). А саме, зростання ПСР розпочалось із 80-х років. ХХ сторіччя та продовжується в ХХІ сторіччі, зі збільшенням із півночі на південь. При цьому, за період 1991-2020 років, виділяються 22 роки збільшених значень ПСР і ТСС (1992, 1994-1996, 1999-2013, 2015, 2017, 2020 рр.), причому більшості з них відповідають масштабні посухи.

Зростання ТСС також відзначено практично у всі сезони, а найбільший додатній тренд зафіксований у Києві та Полтаві, причому виділяються окремі роки з максимумом, як 2015 рік, коли спостерігалась масштабна тривала посуха з початку літа до листопада.

За спостереженнями на окремих актинометричних станціях України річні суми ПСР і ТСС упродовж 1961-2020 років переважно зростали з півночі на південь (рис. 3), підтверджуючи висновки [16-18] Разом з тим, у 1980-90-ті роки, на тлі збільшення річних значень, розпочалось зростання ПСР і ТСС за сезонами року.

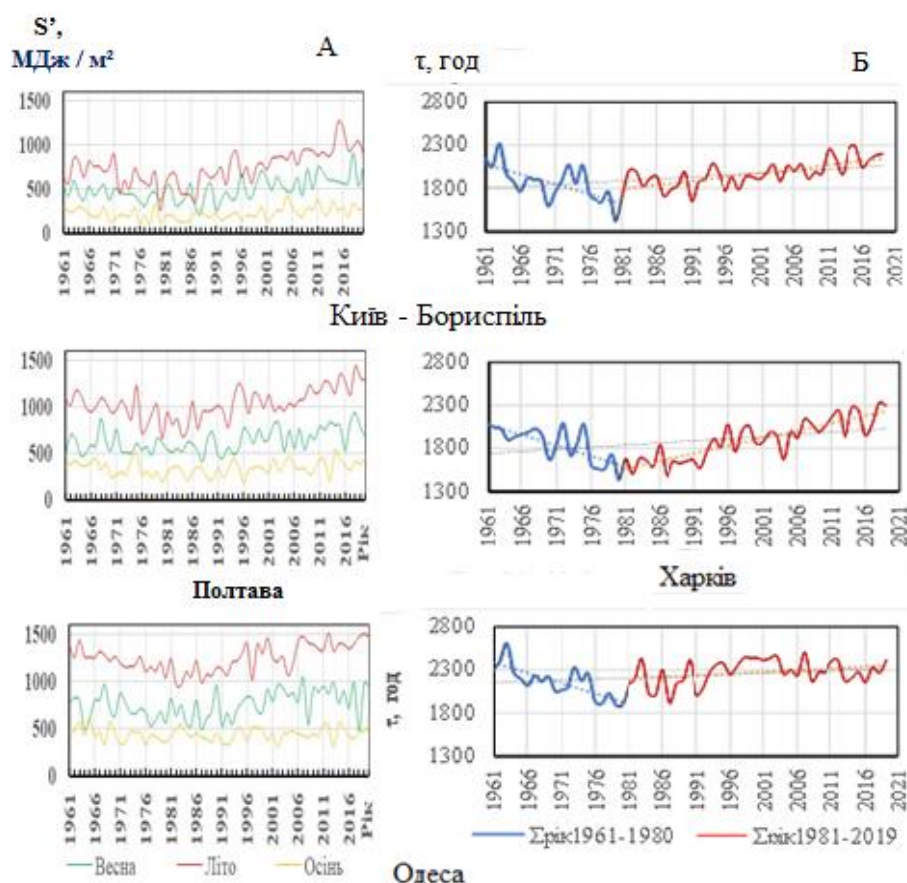


Рис. 3. Багаторічна зміна суми прямої сонячної радіації (S' , МДж/м²) за сезонами року (а) і річних сум тривалості сонячного сяйва (τ , год) (б) впродовж 1961-2020 років на окремих актинометричних і метеорологічних станціях України

Зв'язок між приземною температурою повітря та тривалістю сонячного сяйва. Деталізуючи взаємозв'язок між метеорологічними та геофізичними величинами, покажемо значущі статистичні зв'язки між місячними даними ТСС і ПТП, з одного боку, та між ТСС і кількістю атмосферних опадів (КАО), з іншого. Коефіцієнт кореляції між парами цих величин показує різні знаки, за період 1951-2020 років для Одеси (рис. 4). Аналогічний результат отриманий для інших регіонів. Якщо знак кореляції між ТСС і КАО від'ємний у всі

відзначено для тривалої посухи літнього сезону 2010 р. на тлі особливої регіональної циркуляції в Східній Європі.

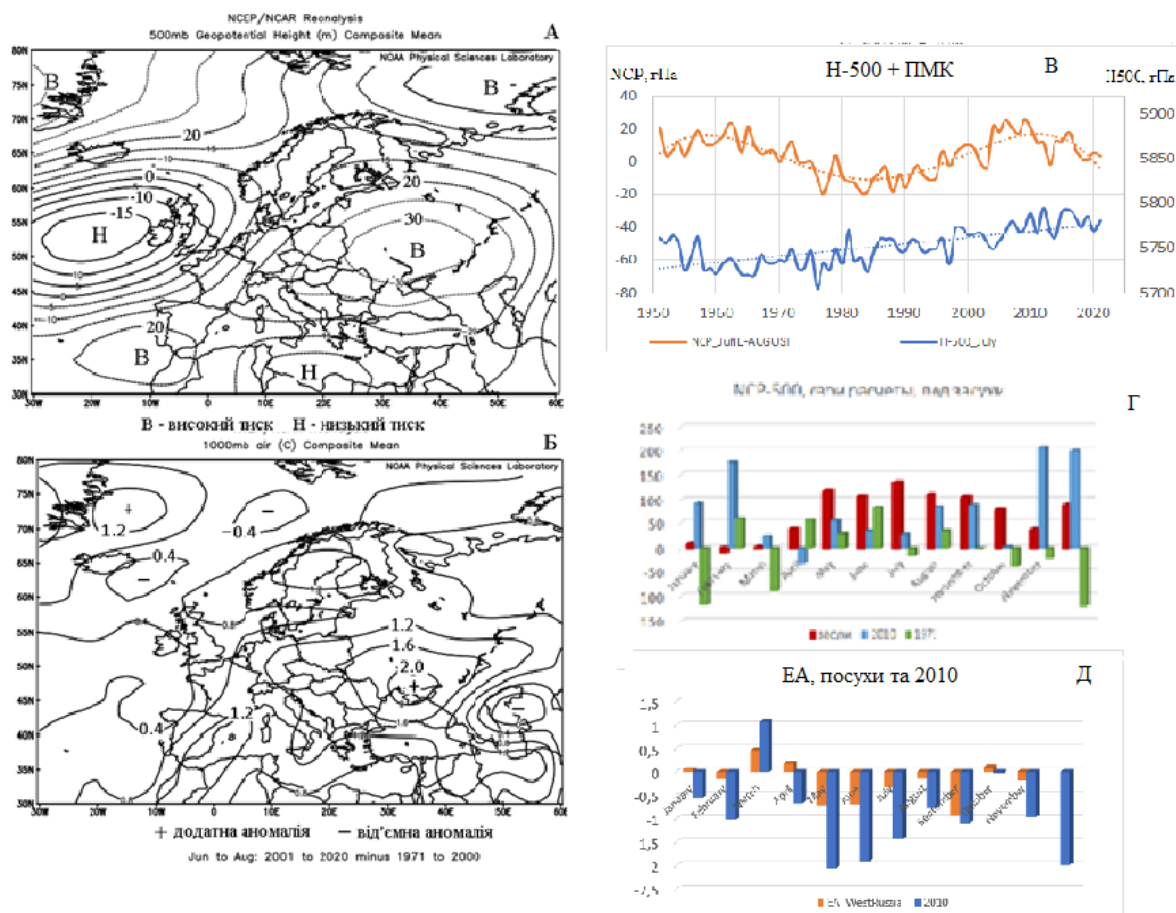


Рис. 5. Аномалія поля геопотенціалу АТ-500 гПа й аномалія поля температури повітря АТ-1000 гПа над АЕС в 2001-2021 відносно 1971-2000 рр.: липень-серпень (А, Б) Реаналіз NCEP-NCAR), Багаторічна зміна рівня АТ-500 гПа над Україною та індексу ПМК, червень-серпень 1951-2020 р. (В), аномалія індексів ПМК та EA-wR при посухах 1986-2020 рр. та окремо 2010 р. (Г, Д)

Індекси NAO і Арктичного коливання (АО) також показують характерні зміни показують посилення нетипової від’ємної аномалії впродовж місяців при посухах і при сезонному переході до літа. Так, для індексу АО характерний перехід від додатної аномалії навесні до негативної влітку, а в 2010 р. Подібний перехід відзначено з початку року, тобто значно раніше початку посушливого періоду. ідентифікація таких аномалій може бути прогностичною ознакою, разом із сезонними аномаліями, притаманними індексам EA- WR, ПМК.

Таким чином, тенденції більшості індексів показують збереження чи посилення аномалії одного знаку впродовж тривалого часу (сезону) під час /або перед розвитком масштабних посух, або характерні міжсезонні переходи.

Порівняння з посухами 1972 року показує суттєво різний розподіл аномалій, що підкреслює відмінність розвитку посух попереднього кліматологічного періоду та унікальність атмосферних процесів 2010 року. Якщо посухи 1972 рр. відзначені на початку вегетаційного періоду, то в 2010 році – переважно протягом літнього сезону та на початку осіннього.

Зміна індексів відбиває міжсезонну трансформацію атмосферних процесів біля поверхні та АТ-500 гПа, сприятливих для виникнення та збереження масштабних посух. Передумовою є посилення навесні Азорського гребеня разом з антициклоном над Північною Європи, у липні-серпні відбувається перехід у квазі-стаціонарний стан і

поширення на Південно-Східну Європу з південною адвекцією на Україну, що формує значні максимуми температури повітря та ХТ. Виділено окремі роки в якості прикладів такої ситуації (2010, 2015, 2017 рр.).

Дискусія. Кліматичні прогнози демонструють глобальне потепління та збільшення площі областей із посухою, які вже сьогодні займають до 1/5 от всієї поверхні Землі [31, 45]. Тривалість, частота та інтенсивність періодів спекотливої погоди, а з ними й посух, найбільш ймовірно, зростатиме в найближчі десятиріччя в більшості районів Землі (IPCC, 2022). Давно відзначено, що масштабні посухи відбиваються не лише на врожаях, але й на світових запасах продовольства, зокрема зерна [3, 13].

Почастішання посух майже вдвічі за 1991-2020 роки відзначено в низці робіт і підтверджено нашими дослідженнями. Останніми роками відзначалася небезпечна особливість посух – їхнє поширення в райони, які завжди належали до зони достатнього зволоження – Полісся і північні райони Лісостепу. Порівняно з висновками (9, Логвинов, 1972), осінні посухи стали більш частими, як продовження літніх. Останні реєструються з ймовірністю більше 50 % у південних областях, а в центральних і західних областях – близько 30 %. При цьому місцевих посух стає менше, а зональних, міжзональних – більше, з розповсюдженням на Лісостеп, Полісся та подовженням до сезонів.

Почастішання посух протягом сучасного періоду потепління супроводжується стійкими змінами комплексу метеорологічних величин і явищ, а також радіаційного режиму сонячної радіації. Найбільше підвищення ПТП і зростання ступеню аридності влітку відбувається на півночі з прискоренням із 1986 року на тлі інтенсифікації КХР та ТСС при посиленні антициклогенезу. Найбільший додатний тренд ТСС і ПТП зафіксований у північних областях, а його максимуми у окремі роки (2015, 2017) відповідають розвиткові масштабної посухи. Наші висновки щодо мінливості ТСС співпали з результатами досліджень, проведених польськими колегами Польщі [32], а також узгоджується зі змінами на більшості території Європи.

За нашими даними, більшість масштабних посух сучасного кліматологічного періоду спостерігалась на низхідній ділянці гілки та мінімумі 11-річного циклу сонячної активності, коли зафіксовано 7 посух, зокрема масштабних 2015 та 2017рр.; а на висхідній – 4 посухи. На висхідній ділянці гілки сонячної активності спостерігається зростання амплітуди коливань зволоження і приземної температури повітря.

Впродовж деяких холодних періодів року *та на початку весни* відзначались посухи або передумови для них, що істотно впливає на перезимівлю та подальший розвиток сільськогосподарських рослин. Внаслідок глобального потепління скорочується тривалість снігового покриву, що разом із дефіцитом опадів призводить до масового обміління рік, озер і водосховищ в Україні, які вкрай важливі для меліорації [3, 24, 29].

Деякі питання перенесення вологи в атмосфері в сухі і вологі роки в Україні вивчені Кошеленко І.В. [7]. Ще М.І. Будико показав, що для непрямої оцінки випаровування можна використовувати суму температур вище 10°C, яка добре корелює з радіаційним балансом. При нижчих температурах зв'язок між випаровуваністю та їх сумою змінюється та ГТК сильно завищуються [4].

Крім чинників великомасштабної циркуляції, взаємодії системи океан-атмосфера, значну роль відіграють місцеві чинники, дефіцит вологи в ґрунті та пов'язані з цим зворотні зв'язки між сушею й атмосферою. Аналіз посух попереднього періоду (1955-1982 років) для Східної Європи показав, що якщо явище блокування є необхідною умовою для їх виникнення, то достатньою є дефіцит вологи атмосфери та ґрунту, що формується впродовж всього року. Так, масштабним посухам у 1963, 1972, 1975, 1981 передували аномально теплі зими, зокрема грудень і лютий, що призвело до різкого зменшення висоти снігового покриву та зростання дефіциту вологи у весняно-літній період. Наслідки посухи 1968 року були послабленні попередньою багатосніжною зимою [13].

Зворотний зв'язок атмосфери з висушеними ґрунтами є важливим чинником ХТ. Так, у регіонах Середземномор'я та Східної Європи, взаємодія місцевої системи суша-атмосфера може бути важливішою, ніж динаміка СТ, через їх значний зв'язок і вплив попередньої обробки ґрунту. У цьому контексті деякі дослідники [44,46] на підставі моделі регіонального клімату знайшли, що на початку літа вологість ґрунту пояснює більше

половини величини потепління над Францією та Південно-західною Німеччиною, а великомасштабні чинники домінують над рештою Європи.

В умовах висихання поверхні та значного випаровування запропоновано напрями розв'язання проблеми охорони земель із заходами оптимізації структури ерозійно небезпечних агроландшафтів. Проаналізовано прогностичні оцінки наслідків їх впливу на структуру посівних площ [24].

Зміни регіональної циркуляції атмосфери включає посилення антициклогенезу над Східною Європою та безпосередньо над Україною, що сприяє підвищенню ПТП, збільшенню КХР і ТСС. Підтверджено важливу роль блокуючих процесів до почастішання посух і супроводжуваних явищ, що є також основним синоптичним чинником зміни регіонального клімату. Найтриваліший посушливий період із значним ступенем пожежонебезпечності в Східній Європі відзначений влітку 2010 р, на тлі особливо стійкого антициклонічного процесу. Водночас, існує мало доказів змін частоти й інтенсивності блокування внаслідок глобального потепління, що є розбіжністю з тенденцією до зростання хвиль спеки в Європі [46].

Посилення дії субтропічних максимумів і антициклогенезу в Європі підтверджується зростання геопотенціалу середньої тропосфери та певним сполученням аномалії регіональних атмосферних індексів. Більшість індексів показує збереження чи посилення аномалії одного знаку впродовж тривалого часу перед розвитком масштабних посух. Індекси ПМК, NAO, AO відзначаються посиленням від'ємної аномалії впродовж більшості місяців із посухою та при сезонному переході до літа. Особливо ці аномалії виражено при масштабних тривалих посухах окремих років, зокрема в 2010 році. Водночас, Відзначається відмінність динаміки цих індексів для посух 1970-х рр, коли вони починались навесні, тривали до середини літа, але спостерігались не кожного року.

Таким чином, отримано певний прогностичний потенціал для сезонного прогнозу посух за 3-6 місяці, при умові ідентифікацією аномальну антициклонічну циркуляцію над Північною Атлантикою та Європою, з відповідним зрушенням Північної гілки СТ, що притаманне від'ємній фазі NAO, AO, EA- WR, і додатній ПМК. Зміна фаз індексів відображає зміни регіональної циркуляції атмосфери, причому зональна (меридіональна) циркуляція переважає на додатній (від'ємній) фазі NAO, EA- WR з чітко визначеним диполем на рівні АТ-500 гПа з центрами над Північною Атлантикою та Центральною Європою. Це спричиняє просторовий зсув траєкторії циклонів, перерозподіл вологи та тепла, що, в свою чергу, призводить до формування аномальної ПТП та опадів на півдні Європи.

Висновки. У роботі режим посух розглянуто у світі особливостей стану регіонального клімату, мінливості окремих метеорологічних величин і складових сонячної радіації з оцінкою стану атмосферної циркуляції та прогностичного потенціалу.

Посилення ступеню посушливості в Україні фіксується з початку 2000-х років із найбільшою тенденцією у 2011-2020 роках, коли ареал посух значно розширився у просторі та між сезонами з виходом за межі вегетаційного періоду та поширенням у північні та західні області. Почастішання посух у більшості областей країни супроводжується стійкими змінами метеорологічних і геофізичних величин, крім потепління, дефіцитом кількості атмосферних опадів; зростанням інтенсивності сонячної радіації та ТСС; особливим станом атмосферної циркуляції із підвищеною стійкістю синоптичних процесів.

Враховуючи подібні зміни окремих складових режиму сонячної радіації та збільшення ТСС у Центральній і Східній Європі, отримано загальні риси сучасного регіонального клімату, з яким пов'язано посилення екстремальності на більшій частині континенту. антропогенної та економічної вразливості

Фіксація посух холодного періоду року створює несприятливі передумови для розвитку РОСЛИН протягом вегетаційного періоду ТА сільськогосподарського виробництва В ЦІЛОМУ, зокрема через підвищення ймовірності масштабності посух.

Підтверджено важливість явища синоптичного блокування, що визначає підвищену тривалість посух протягом теплого періоду року та їх подовження між сезонами. Якщо процес блокування є необхідною (великомасштабною) умовою, то достатньою (місцевою) для виникнення посухи є дефіцит вологи атмосфери та ґрунту.

Знайдено типові аномалії регіональних індексів, а також їх комбінації, що можуть використовуватись для діагнозу та прогнозу посух. Вони відбивають особливий стан

атмосферної циркуляції меридіонального типу, свідчать про посилення антициклону над Північною Атлантикою та Європою, характерного для періоду глобального потепління. Рання ідентифікація аномалій індексів може бути прогностичною ознакою для складання довгострокових прогнозів погоди завчасністю 3-6 місяців. Аналіз еволюції синоптичних процесів сприятливих для виникнення та збереження масштабних посух показав типове перетворення баричних полів між сезонами.

Вивчення динаміки посушливих зон дозволить у подальшому приймати вірні стратегічні й управлінські рішення, бо опустелювання земель і тривалі посухи безпосередньо впливають на економіко-соціальну сферу. Проте задля розвитку та впровадження в експлуатацію таких систем необхідно чітко розуміти причини появи небезпечних явищ.

Список літератури

1. Буди́ко М.И. Климатические условия увлажнения на материках. Изв. АН СССР, сер. Геогр. 1955. 2: с. 14-28.
2. Дмитренко Л.В., Барандіч С.Л. Оцінка кліматичних ресурсів сонячної енергії в Україні. Наук. праці УкрНДГМІ, 2007. 256: с. 72-83
3. Дмитренко Л.В., Свирина В.В. Об оценке атмосферных засух для зерновых культур по температуре воздуха и осадкам. Тр. УкрНИГМИ, 1978. 173: 75-82.
4. Клімат України / за ред. В. М. Ліпінського, В. А. Дячука, В. М. Бабіченко. Київ: Вид-во Раєвського. 2003. 343 с.
5. Клімат и опасные гидрометеорологические явления Крыма. 1985. 232 с.
6. Корнус А.О., Клок С.В., Бучний О.О. Характеристика хвиль тепла над Україною протягом 2000-2021 років. Актуальні проблеми дослідження довкілля: Матеріали X Міжнародної наукової конференції. Ред. А.О. Корнус, Сумський держ. педагогічний університет ім. А.С. Макаренка: 2023. с. 92-97.
7. Кошеленко І.В. Деякі питання перенесення вологи в атмосфері в сухі і вологі роки в Україні. Тр. УкрНІГМІ. 1968. 75, с. 88-100.
8. Липинский В., Мартазинова В.Ф. Глобальні та регіональні зміни клімату. Атлас «Клімат та водні ресурси України», Київ: 2011. с. 69-76.
9. Логвинов К.Т., Бабіченко В.Н., Кулаковская М.Ю. Опасные явления погоды на Украине: монография. Л.: Гидрометеоздат: 1972. 236 с.
10. Лозицький В., Єфіменко В. Прогноз сонячної активності у 24-му циклі з врахуванням немонотонності його фази росту. Вісник КГУ. Сер. Астрономія. 2013. 1 (50): с. 30-32.
11. Мартазинова В.Ф., Иванова Е.К., Щеглов А.А. Тенденция современного температурно-влажностного режима Украины к аномально сухим и знойным атмосферным процессам в летний сезон. Наук. пр. УкрГМІ, 2016. 268: с. 15-24.
12. Мартазинова В.Ф., Сологуб Т.Н. Атмосферная циркуляция, формирующая засушливые условия на территории Украины в конце XX ст. Тр. УкрНИГМИ, 2000. 245: с. 36-47.
13. Обухов А.М, Курганский М.В., Татарская М.С. Динамические условия Возникновения засух и других крупномасштабных погодных аномалий. Метеорология гидрология. 1984. 10: с. 5-14.
14. Особенности засухи 1972 г. на Украине: монография. Под ред. К.Т. Логвинова. Л.: Гидрометиздат: 1973. 30 с.
15. Полонский А.Б, Торбинский А.В., Башарин Д.В. Влияние Северо-Атлантического колебания, Эль-Ниньо-Южного колебания и Индоокеанского диполя на пространственно-временную изменчивость приземной температуры воздуха и атмосферного давления Средиземноморско-Черноморского региона. Вісник Одеського державного університету-2008. №6. С. 181-197.
16. Рибченко Л.С., Савчук С.В. Особливості радіаційного режиму найбільш інтенсивних засух за 1991-2010 рр. в Україні. Часопис картографії, 12: 185-193. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ktvsh_2015_12_18.
17. Рибченко Л.С., Савчук С.В. Потенціал геліоенергетичних кліматичних ресурсів сонячної радіації в Україні. Укр. географічний журнал. 2022. 1: с. 16-23.
18. Рибченко Л., Савчук С. Сонячна радіація при посухах у холодний період року протягом 1991-2020 рр. в Україні. Метеорологія. Гідрологія. Моніторинг довкілля, 2023. 1 (3): с. 4-13. URL: <http://doi.org/10.15407/Meteorology2023.03.004>.
19. Савчук С.В. Тимофеев В.Є., Ювченко Н.М. Районування України по впливу екстремальних значень максимальної температури повітря у теплий та холодний періоди року. Укр. гідрометеорологічний журнал, 2018. 22. с. 46-56.

20. Савчук Т.В.; Рокочинський А.М., Волощук В.А. Глобальне потепління та його можливий вплив на природно-ресурсний потенціал західного регіону України. Науковий вісник НЛТУ України. 2009. 19: 15.
21. Сафранов Т.А., Катеруша Г.П. Катеруша О.В., Яраї К. Особливості динаміки хвиль тепла в окремих містах України. Серія «Геологія. Географія. Екологія». 2021. URL: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2021-55-17>
22. Справочник по показателям и индексам засушливости. ВМО. 2016. 1173 с.
23. Стихійні метеорологічні явища на території України за останнє десятиріччя. Під ред. М.В. Ліпінський, В.Н. Бабіченко. К.: 2006. Ніка центр: 311 с.
24. Тараріко О.Г., Ільєнко Т.В., Кучма Т.Л. Формування екологічно стійких агроландшафтів. Український географічний журнал, 2016. 3: 56-60. <https://doi.org/10.15407/ugz2016.03.056>
25. Тепловой и водный режим Украинских Карпат: Под ред. Л.И. Сакали. Л.: Гидрометеиздат: 1985. 368 с.
26. Тимофеев В.С., Клок С.В., Корнус А.О., Корнус О.Г. Оцінка сучасного стану регіональної кліматичної системи України та східної Європи з можливостями сезонного прогнозування. Восьмі Сумські наукові географічні читання: збірник матеріалів Всеукраїнської наукової конференції. СумДПУ імені А.С. Макаренка, [упорядник Корнус А.О. 2023. 163-176 с.
27. Уткузова Д.Н., Вильфанд Р.М., Хан В.М., Ганиева Е.С. Синоптический анализ экстремальной засушливости и увлажненности на территории Российской Федерации. Междисциплинарный научный и прикладной журнал «Биосфера». 2015. т. 7. № 1.
28. Шевченко О.Г. Характеристика хвилі тепла літнього сезону 2010 р. на території України. ст. Тр. УкрНИГМИ. 2012. 262. 259-270.
29. Щербань М.І. Клімат і врожаї на Україні: монографія. К. Знання. 1991. 32 с.
30. Aguirre L.A., Letellier C., Maguet J. Forecasting the timeseries of sunspot Numbers. Solar Phys, 2008. 247 (1): P. 103-120.
31. Batista dos Santos S.M., Bento-Gonçalves A., Vieira A. Research on Wildfires and Remote Sensing in the Last Three Decades: A Bibliometric Analysis. Forests. 2021. 12 (5): P. 604-623.
31. Bartoszek K., Matuszko D., Soroka J. Relationships between sunshine duration and air temperature in Poland. Geographia Polonica. 2022. 95 (3): P. 275-290.
32. Bindoff N.L., Stott P.A., Achutarao K.M., Allen M.R., Gillett N., Gutzler D., Hegerl G., Hu Y., Jain S., Mokhov I. Detection and Attribution of Climate Change: from Global to Regional. Climate Change: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the 5th Assessment Report of the IPCC. Cambridge University Press, United Kingdom and New York, 2013. P. 1535.
33. Black E. Global Change in Agricultural Flash Drought over the 21st Century. ADV. In atmospheric sciences, 2024. 41. P. 209-220.
34. Comas-Bru L., Hernández A. Reconciling North Atlantic climate modes: revised monthly indices for the East Atlantic and the Scandinavian patterns beyond the 20th century. Earth Syst. Sci. Data, 2018. 10: 2329-2344. URL: <https://doi.org/10.5194/essd-10-2329-2018>
35. Hurrell J.W., Kushnir Y., Visbeck M., Ottersen G. (eds.). An Overview of the North Atlantic Oscillation. The North Atlantic Oscillation. Geophysical Monograph Series, 134, Washington, DC: AGU: 2003. P. 279.
36. IPCC: Summary for Policymakers [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, M. Tignor, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem (eds.)]. In: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York: 2022. 3-33.
37. Jung T., Hilmer, E. Ruprecht, S. Kleppek, S.K. Gulev, Zolina O. Characteristics of the Recent Eastward Shift of Interannual NAO Variability. Journal of Climate, 2003. 16 (20): P. 3371-3382. URL: [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2003\)016<3371:COTRES>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2003)016<3371:COTRES>2.0.CO;2)
38. Luo B. W. X, Young-Min Y., and Jian Liu. Historical change of El Niño properties sheds light on future changes of extreme El Niño. Earth, atmospheric, and planetary sciences, 2019. 116 (45). P. 22512-22517.
39. Meehl, G.A. & C. Tebaldi. More intense, more frequent, and longer lasting heatwaves in the 21st century. Science, 2004. 305 (5686). P. 994-997.
41. Mojib Latif, Jing Sun, Martin Visbeck, M. Hadi Bordbar. Natural variability has dominated Atlantic Meridional Overturning Circulation since 1900. Nature Climate Change. VOL.12. May 2022. 455-460. URL: <https://doi.org/10.1038/s41558-022-01342-4>
42. Newman, M.; Compo, G.P.; Alexander, Michael A. "ENSO-Forced Variability of the Pacific Decadal Oscillation". Journal of Climate. 2003. 16 (23): P. 3853-3857.

43. Pinto J. G. , Raible C. Past and recent changes in the North Atlantic oscillation. *WIREs Climate Change*. 2012. 3 (1). P. 79-90.
44. Rousi E., Kornhuber K., Beobide-Arsuaga G., Fei Luo. Accelerated western European heatwave trends linked to more-persistent double jets over Eurasia
45. Semenova I. G. , Vicente-Serrano S. M. Long-term variability and trends of meteorological droughts in Ukraine. *Int. Journal of Climatology*, 2024. 24 (6): P. 1-18.
46. Trenberth, K.E., Dai A., G. van der Schrier, Jones P. D., Barichivich J., Briffa K.R., and Sheffield J. 2014. Global warming and changes in drought. *Nature Climate Change*, 4: 17-22.
47. Wild, M. Solar Radiation Versus Climate Change. In: Meyers, R.A. (eds) *Encyclopedia of Sustainability, Science and Technology*. 2012.

References

1. Budiko M.I. Klimaticheskie usloviya uvlazhneniya na materikakh [Climatic conditions of humidification on the continents]. *Izv. AN SSSR, ser. Geogr.* 1955. 2: c. 14-28.
2. Dmytrenko L.V., Barandich S.L. Otsinka klimatychnykh resursiv soniachnoi enerhii v Ukraini [Assessment of climate resources of solar energy in Ukraine]. *Nauk. pratsi UkrNDHMI*, 2007. 256: c. 72-83.
3. Dmytrenko L.V., Svyryna V.V. Ob otsenke atmosfernykh zasukh dlia zernovykh kultur po temperaturnykh y osadkam [On the assessment of atmospheric droughts for grain crops based on air temperature and precipitation]. *Tr. UkrNYHMY*, 1978. 173: 75-82.
4. Klimat Ukrainy [Climate of Ukraine] / za red. V. M. Lipinskoho, V. A. Diachuka, V. M. Babichenko. Kyiv: Vyd-vo Raievskoho. 2003. 343 s.
5. Klimat y opasnie hydrometeoroleskye yavleniia Krima [Climate and dangerous hydrometeorological phenomena of Crimea]. 1985. 232 s.
6. Kornus A.O., Klok S.V., Buchnyi O.O. Kharakterystyka khvyl tepla nad Ukrainoiu protiahom 2000-2021 rokiv [Characteristics of heat waves over Ukraine during 2000-2021]. *Aktualni problemy doslidzhennia dovkillia: Materialy Kh Mizhnarodnoi naukovoii konferentsii*. Red. A.O. Kornus, Sumskyi derzh. pedahohichnyi universytet im. A.S. Makarenka: 2023. c. 92-97.
7. Koshelenko I.V. Deiaki pytannia perenesennia volohy v atmosferi v sukhi i volohi roky v Ukraini [Some issues of moisture transport in the atmosphere in dry and wet years in Ukraine]. *Tr. UkrNIHMI*. 1968. 75, c. 88-100.
8. Lypynskiy V., Martazynova V.F. Hlobalni ta rehionalni zminy klimatu [Global and regional climate change]. *Atlas «Klimat ta vodni resursy Ukrainy»*, Kyiv: 2011. c. 69-76.
9. Lohvynov K.T., Babychenko V.N., Kulakovskaia M.Iu. Opasnye yavleniia pohody na Ukrainy [Dangerous weather phenomena in Ukraine]: monohrafiia. L.: Hydrometeoyzdat: 1972. 236 c.
10. Lozytskyi V., Yefimenko V. Prohnoz soniachnoi aktyvnosti u 24-mu tsykli z vrakhuvanniam nemonotonnosti yoho fazy rostu [Forecast of solar activity in the 24th cycle taking into account the non-monotonicity of its growth phase]. *Visnyk KHU. Ser. Astronomiia*. 2013. 1 (50): c. 30-32.
11. Martazynova V.F., Yvanova E.K., Shcheglov A.A. Tendentsiia sovremennoho temperaturno-vlazhnostnoho rezhyma Ukrainy k anomalno suchym y znoinim atmosfernym protsessam v letnyi sezon [The tendency of the modern temperature-humidity regime of Ukraine towards anomalously dry and hot atmospheric processes in the summer season]. *Nauk. pr. UkrHMI*, 2016. 268: c. 15-24.
12. Martazynova V.F., Solohub T.N. Atmosfernaia tsyrkuliatsiia, formyruushchaia zasushlyvye usloviia na terrytorii Ukrainy v kontse XX st. [Atmospheric circulation, forming arid conditions in the territory of Ukraine at the end of the 20th century] *Tr. UkrNYHMY*, 2000. 245: c. 36-47.
13. Obukhov A.M., Kurhanskyi M.V., Tatarskaia M.S. Dynamicheskye usloviia Voznyknoveniia zasukh y druhykh krupnomasshtabnykh pohodnykh anomalii [Dynamic conditions of the occurrence of droughts and other large-scale weather anomalies]. *Meteorolohiia y hydrolohiia*. 1984. 10: c. 5-14.
14. Osobennosti zasukhy 1972 h. na Ukrainy [Features of the 1972 drought in Ukraine]: monohrafiia. Pod red. K.T. Lohvynova. L.: Hydrometyzdats: 1973. 30 c.
15. Polonskyi A.B., Torbyskyi A.V., Basharyn D.V. Vliyanye Severo-Atlantycheskoho kolebaniia, El-Nino-Yuzhnoho kolebaniia y Yndookeanskoho dypolia na prostranstvenno-vremennuiu yzmenchyvost pryzemnoi temperaturi vozdukha y atmosfernoho davleniia Sredyzemnomorsko-Chernomorskoho rehyona [Influence of the North-Atlantic Oscillation, El Niño-Southern Oscillation and the Indo-Oceanic Dipole on the spatial-temporal variability of surface air temperature and atmospheric pressure in the Mediterranean-Black Sea region]. *Visnyk Odeskoho derzhavnogo universytetu*-2008. №6. S. 181-197.
16. Rybchenko L.S., Savchuk S.V. Osoblyvosti radiatsiinoho rezhymu naibilsh intensyvykh zasukh za 1991-2010 rr. v Ukraini [Features of the radiation regime of the most intense droughts in 1991-2010 in Ukraine]. *Chasopys kartohrafii*, 12: 185-193. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ktvsh_2015_12_18 .

17. *Rybchenko L.S., Savchuk S.V.* Potentsial helioenerhetychnykh klimatychnykh resursiv soniachnoi radiatsii v Ukraini [Potential of solar energy climatic resources of solar radiation in Ukraine]. Ukr. heohrafichnyi zhurnal. 2022. 1: c. 16-23.
18. *Rybchenko L., Savchuk S.* Soniachna radiatsiia pry posukhakh u kholodnyi period roku protiahom 1991-2020 rr. v Ukraini [Solar radiation during droughts in the cold period of the year during 1991-2020 in Ukraine]. Meteorolohiia. Hidrolohiia. Monitorynh dovkillia, 2023. 1 (3): c. 4-13. URL: <http://doi.org/10.15407/Meteorology2023.03.004>.
19. *Savchuk S.V., Tymofieiev V.Ie., Yuvchenko N.M.* Raionuvannia Ukrainy po vplyvu ekstremalnykh znachen maksimalnoi temperatury povitria u teplyi ta kholodnyi periody roku [Zoning of Ukraine by the influence of extreme values of maximum air temperature in warm and cold periods of the year]. Ukr. hidrometeorolohichniy zhurnal, 2018. 22. c. 46-56.
20. *Savchuk T.V.; Rokochynskyi A.M., Voloshchuk V.A.* Hlobalne poteplinnia ta yoho mozhlyvyi vplyv na pryrodno-resursnyi potentsial zakhidnoho rehionu Ukrainy [Global warming and its possible impact on the natural resource potential of the western region of Ukraine]. Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy. 2009. 19:15.
21. *Safranov T.A., Katerusha H.P., Katerusha O.V., Yarai K.* Osoblyvosti dynamiky khvyl tepla v okremykh mistakh Ukrainy [Features of the dynamics of heat waves in individual cities of Ukraine]. Seriia «Heolohiia. Heohrafiia. Ekolohiia». 2021. URL: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2021-55-17>
22. Spravochnyk po pokazateliam y yndeksam zasushlyvosty [Directory of indicators and indices of aridity]. VMO. 2016. 1173 c.
23. Stykhiini meteorolohichni yavyscha na terytorii Ukrainy za ostannie desiatyrichchia [Natural meteorological phenomena on the territory of Ukraine over the last decade]. Pid red. M.V. Lipynskiy, V.N. Babichenko. K.: 2006. Nika tsentr: 311 c.
24. *Tarariko O.H., Iliencko T.V., Kuchma T.L.* Formuvannia ekolohichno stiikykh ahroland-shaftiv [Formation of ecologically sustainable agricultural landscapes]. Ukrainyskyi heohrafichnyi zhurnal, 2016. 3: 56-60. URL: <https://doi.org/10.15407/ugz2016.03.056>.
25. Teplovoi y vodnii rezhym Ukraynskykh Karpat [Thermal and water regime of the Ukrainian Carpathians]: Pod red. L.Y. Sakaly. L.: Hydrometeoizdat: 1985. 368 c.
26. *Tymofeev V.Ie., Klok S.V., Kornus A.O., Kornus O.H.* Otsinka suchasnoho stanu rehionalnoi klimatychnoi systemy Ukrainy ta skhidnoi Yevropy z mozhlyvostiamy sezonnoho prohnozuvannia [Assessment of the current state of regional climatic system of Ukraine and Eastern Europe with the possibilities of seasonal forecasting]. Vosmi Sumski naukovy heohrafichni chytannia: zbirnyk materialiv Vseukrainskoi naukovo konferentsii. SumDPU imeni A.S. Makarenka, uporiadnyk Kornus A.O.2023. 163-176 c.
27. *Utkuzova D.N., Vylfand R.M., Khan V.M., Hanyeva E.S.* Synoptycheskyi analiz ekstremalnoi zasushlyvosty y uvlazhnennosty na terrytorii Rossyiskoi Federatsyy [Synoptic analysis of extreme dryness and wetness in the territory of the Russian Federation]. Mezhdystryupynarnyyi nauchnyy y prykladnoi zhurnal «Byosfera». 2015. t. 7. № 1.
28. *Shevchenko O.H.* Kharakterystyka khvyli tepla litnoho sezonu 2010 r. na terytorii Ukrainy [Characteristics of the heat wave of the summer season of 2010 in the territory of Ukraine]. st. Tr. UkrNYHMY. 2012. 262. 259-270.
29. *Shcherban M.I.* Klimat i vrozhai na Ukraini [Climate and crops in Ukraine]: monohrafiia. K. Znannia. 1991. 32 c.
30. *Aguirre L.A., Letellier C., Maguet J.* Forecasting the timeseries of sunspot Numbers. Solar Phys, 2008. 247 (1): P. 103-120.
31. *Batista dos Santos S.M., Bento-Gonçalves A., Vieira A.* Research on Wildfires and Remote Sensing in the Last Three Decades: A Bibliometric Analysis. Forests. 2021. 12 (5): P. 604-623.
31. *Bartoszek K., Matuszko D., Soroka J.* Relationships between sunshine duration and air temperature in Poland. Geographia Polonica. 2022. 95 (3): P. 275-290.
32. *Bindoff N.L., Stott P.A., Achutarao K.M., Allen M.R., Gillett N., Gutzler D., Hegerl G., Hu Y., Jain S., Mokhov I.* Detection and Attribution of Climate Change: from Global to Regional. Climate Change: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the 5th Assessment Report of the IPCC. Cambridge University Press, United Kingdom and New York, 2013. P. 1535.
33. *Black E.* Global Change in Agricultural Flash Drought over the 21st Century. ADV. In atmospheric sciences, 2024. 41. P. 209-220.
34. *Comas-Bru L., Hernández A.* Reconciling North Atlantic climate modes: revised monthly indices for the East Atlantic and the Scandinavian patterns beyond the 20th century. Earth Syst. Sci. Data, 2018. 10: 2329-2344. URL: <https://doi.org/10.5194/essd-10-2329-2018>
35. *Hurrell J.W., Kushnir Y., Visbeck M., Ottersen G.* (eds.). An Overview of the North Atlantic Oscillation. The North Atlantic Oscillation. Geophysical Monograph Series, 134, Washington, DC: AGU: 2003. P. 279.

36. IPCC: Summary for Policymakers [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, M. Tignor, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Lössche, V. Möller, A. Okem (eds.)]. In: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York: 2022. 3-33.
37. Jung T., M. Hilmer, E. Ruprecht, S. Kleppek, S.K. Gulev, Zolina O. Characteristics of the Recent Eastward Shift of Interannual NAO Variability. *Journal of Climate*, 2003. 16 (20): P. 3371-3382. URL: [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2003\)016<3371:COTRES>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2003)016<3371:COTRES>2.0.CO;2)
38. Luo B. W. X., Young-Min Y., and Jian Liu. Historical change of El Niño properties sheds light on future changes of extreme El Niño. *Earth, atmospheric, and planetary sciences*, 2019. 116 (45). P. 22512-22517.
39. Meehl, G.A. & C. Tebaldi. More intense, more frequent, and longer lasting heatwaves in the 21st century. *Science*, 2004. 305 (5686). P. 994-997.
41. Mojib Latif, Jing Sun, Martin Visbeck, M. Hadi Bordbar. Natural variability has dominated Atlantic Meridional Overturning Circulation since 1900. *Nature Climate Change*. VOL.12. May 2022. 455–460. URL: <https://doi.org/10.1038/s41558-022-01342-4>
42. Newman, M.; Compo, G.P.; Alexander, Michael A. "ENSO-Forced Variability of the Pacific Decadal Oscillation". *Journal of Climate*. 2003. 16 (23): P. 3853-3857.
43. Pinto J. G. , Raible C. Past and recent changes in the North Atlantic oscillation. *WIREs Climate Change*. 2012. 3 (1). P. 79-90.
44. Rousi E., Kornhuber K., Beobide-Arsuaga G., Fei Luo. Accelerated western European heatwave trends linked to more-persistent double jets over Eurasia
45. Semenova I. G. , Vicente-Serrano S. M. Long - term variability and trends of meteorological droughts in Ukraine. *Int. Journal of Climatology*, 2024. 24 (6): P. 1-18.
46. Trenberth, K.E., Dai A., G. van der Schrier, Jones P. D., Barichivich J., Briffa K.R., and Sheffield J. 2014. Global warming and changes in drought. *Nature Climate Change*, 4: 17-22.
47. Wild, M. Solar Radiation Versus Climate Change. In: Meyers, R.A. (eds) *Encyclopedia of Sustainability, Science and Technology*. 2012.

Characteristics of the droughty phenomena of the current climatic period, meteorological conditions and atmospheric circulation background

Tymofeyv V., Rybchenko L., Savchuk S.

The paper provides a description of the arid phenomena of the modern climatic period in the world of regional climate change, including an analysis of individual meteorological variables and components of the solar radiation regime, with an assessment of the state of atmospheric circulation and prognostic potential.

The frequency of arid phenomena with an increase in the degree of aridity in most of Ukraine is noted, which is influenced by an increase in air temperature and a deficit of precipitation, due to an increase in direct solar radiation and the duration of sunlight. This is consistent with changes in Central and Eastern Europe. The increase in the degree of aridity has been recorded since the early 2000s, with the greatest trend in 2010-2020, when the area of ??droughts significantly expanded in space and between seasons, extending beyond the growing season.

The occurrence of aridity events during the cold period of the year increases the likelihood of large-scale droughts during the growing season and creates unfavorable conditions for the development of agricultural production. This is associated with the growing influence of anticyclonogenesis, especially the phenomenon of synoptic blocking, which determines the increased duration of aridity events.

Typical anomalies of regional climate indices and their combinations have been found. They can be used for the diagnosis and seasonal forecast of droughts and reflect the special state of atmospheric circulation of the meridional type with the influence of subtropical anticyclones characteristic of the period of global warming. The significant stability of synoptic processes determines the restructuring of the atmosphere long before the phenomenon and can be used to forecast droughts.

Comparison with droughts of the previous climatic period (1970s) shows a special distribution of anomalies of climate indices, which emphasizes the difference in the origin of droughts, the uniqueness of the corresponding synoptic conditions of the modern climatic period with greater temporal residence time of synoptic patterns. If droughts in the 1970s were noted at the beginning of the growing season, then since 2010 they register almost every year covering seasons from winter till autumn season.

Analysis of the interseasonal evolution of synoptic processes favorable for the emergence and preservation of large-scale drought phenomena showed a typical transformation of the circulation between seasons.

Keywords: droughts and arid phenomena, climate indices, anticyclones, radiation regime.

Надійшла до редколегії 05.05.2025