

ЗМІНИ ПОЛЯ ОПАДІВ В УКРАЇНІ У ХХІ ст. ЗА ДАНИМИ АНСАМБЛЮ РЕГІОНАЛЬНИХ КЛІМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ

С.В. Краковська¹, Л.В. Паламарчук², Н.В. Гнатюк^{1,3}, Т.М. Шпиталь¹, І.П. Шедеменко⁴

¹Український гідрометеорологічний інститут, проспект Науки, 37, м. Київ, 03028, Україна,
e-mail: krasvit@ua.fm, shpital@bigmir.net

²Київський національний університет імені Тараса Шевченка, вул. Володимирська, 64/13, м. Київ, 01601,
Україна, e-mail: palamarchuk.l@ukr.net

³Міжнародний центр з навколишнього середовища та дистанційного зондування імені Нансена, 14-а Лінія,
В.О., буд. 7, оф. 49, м. Санкт-Петербург, 199034, Російська Федерація, e-mail: gnatiuk.n@gmail.com

⁴Інститут проблем безпеки атомних електростанцій НАН України, вул. Лисогірська, 12, корп. 106, м. Київ,
03028, Україна, e-mail: shedemenko@i.ua

Проаналізовано особливості трансформації поля опадів в Україні від стандартного кліматичного періоду 1961–1990 рр. до кінця ХХІ ст. За визначеним оптимальним ансамблем регіональних кліматичних моделей розраховано проєкції сум опадів для трьох майбутніх 20-річних періодів та їх відносних змін щодо сучасного періоду 1991–2010 рр. Для усіх періодів у майбутньому отримано максимальне збільшення середньомісячних сум опадів взимку та навесні переважно у західному та північному регіонах, найімовірніше зменшення місячних сум опадів передбачається влітку та восени у центральному, східному та південному регіонах.

Ключові слова: атмосферні опади, регіональна кліматична модель, ансамбль моделей, кліматичні періоди.

Атмосферні опади є одним з головних показників, що визначає особливості регіонального клімату. Кількість і сезонний розподіл опадів — основні фактори формування режиму зволоження території, що зумовлюють гідрологічний режим, характер зволоження ґрунту та інші важливі параметри екологічного стану та кліматичних ресурсів регіону. Утворення опадів та їх просторовий розподіл визначаються складною взаємодією циркуляційних процесів як планетарного та синоптичного масштабів, так і мезомасштабних термодинамічних рухів у атмосфері та мікрофізичних перетворень у хмарах, що відповідають за фазові переходи води та укрупнення хмарних елементів. Зважаючи на складність такого комплексу різномасштабних процесів, прогнозування опадів будь-якої завчасності та оцінювання їх просторово-часових змін є неоднозначними та складними для вирішення завданнями. На сьогодні у науковій літературі на підставі аналізу даних наземних спостережень наведено закономірності як глобального, так і регіональних полів опадів і указано на фактори, що впливають на їх формування та прогнозування [15].

Більша частина опадів, що випадають на території України, пов'язані з циклонічною діяльністю, тому повторюваність і напрямок руху циклонів визначають площі випадіння опадів та їх сезонні зміни. Території України властивий континентальний тип річного розподілу опадів, коли за багаторічними даними сума опадів за літній період значно перевищує кількість опадів за холодний період [5, 6]. Для поля опадів характерна досить велика міжрегіональна відмінність: зменшення сум опадів із заходу, північного заходу на південь, південний

схід країни та існування впливу на кількість опадів гірського рельєфу та височин.

Дослідження кількісних показників і часових коливань сум опадів на території України за період інструментальних спостережень дають змогу виділити тільки окремі тенденції таких змін, зважаючи на неоднозначність отриманих за різними методиками результатів [1–3]. Основні підсумки цих досліджень такі: на значній частині території річні суми опадів на кінець ХХ — початок ХХІ ст. збільшилися на 7–10 % щодо кліматичної норми, за яку, за рекомендацією Всесвітньої метеорологічної організації, прийнято значення характеристики у так званий стандартний кліматичний період 1961–1990 рр., але є регіони, де кількість опадів залишалась у межах норми і навіть дещо зменшувалася. Відмічаються значне коливання річних і місячних сум опадів у часі та значна мінливість у просторі. У річному ході опадів, особливо наприкінці сторіччя, окреслилися тенденції до вирівнювання значень середніх місячних сум унаслідок їх збільшення у холодний період. У багатьох дослідженнях виявлено циклічність у річних сумах опадів. Виділено вікові цикли з періодичністю близько 90 років і внутрішньовікові циклічні зміни, серед яких найбільша статистична ймовірність припадає на 10–13-річні періоди [5, 6].

В умовах сучасної зміни клімату, очевидно, слід очікувати подальшої трансформації регіонального поля опадів в Україні та зміни його кількісних параметрів. За оцінками [6, 15], у помірних широтах в Європі до кінця ХХІ ст. прогнозується приріст річних сум опадів у межах 0,5–1,0 % на десятиріччя щодо кліматичної норми. Можна припустити, що основною причиною таких змін поля опадів,

їх сезонного розподілу та інтенсивності окремих процесів буде просторово-часове коливання вмісту вологи у тропосфері, яке буде зумовлено змінами термічного режиму земної поверхні та приземного шару повітря. Вважають, що у зв'язку зі значними площами водних поверхонь на планеті та підвищенням температури випаровування наближатиметься до максимально можливого значення — випаровуваності [15, 18]. Тоді надходження водяної пари до атмосфери буде постійним і тому процеси опадоутворення не будуть обмежені її вмістом у повітрі.

Крім очікуваного збільшення вологовмісту в тропосфері, важливу роль у зміні кількісних характеристик поля опадів, особливо у помірних широтах, відіграватимуть напрямок та інтенсивність циркуляційних процесів. Очевидно, що для території України, де атмосферна циркуляція є визначальною у формуванні поля опадів, урахування її можливої трансформації при оцінюванні просторово-часових змін та інтенсивності процесів опадоутворення є необхідним. Вплив мікрофізичних процесів на опадоутворення, зокрема через збільшення концентрації аерозольних частинок, інтенсивності фазових переходів води в атмосфері та ін., розглядають як другорядні фактори [4, 6].

Побудова кліматичних прогнозів кількості опадів є важливим науковим завданням, що має багато практичних застосувань, наприклад, для стратегічного планування розвитку сільського господарства, енергетики, транспорту, а також для подальшого використання в інших науках біолого-природничого напрямку. Роздільна здатність таких прогнозів має бути досить високою для того, щоб урахувати регіональні особливості різних територій. Отримати найточніші оцінки майбутніх показників опадів можна за допомогою регіональних кліматичних моделей (РКМ), які розраховують з початковими і граничними умовами за моделями загальної циркуляції атмосфери та океанів (МЗЦАО) і враховують детальну структуру підстильної поверхні. Оцінювання поля опадів в Україні у сучасний кліматичний період та прогноз тенденцій просторових та сезонних змін до кінця XXI ст. за даними РКМ є метою цього дослідження.

Дані та методичні підходи. Прогностичні поля опадів в Україні у XXI ст. було отримано на основі сформованого оптимального ансамблю з 4 РКМ [16], які було вибрано з 14 моделей, залучених до Європейського проекту FP-6 ENSEMBLES [19]. У рамках цієї міжнародної ініціативи модельні експериментальні розрахунки виконували всі учасники за допомогою різних РКМ та граничних і початкових умов з різних МЗЦАО, але для єдиної розрахункової області та для однакової розрахункової сітки кроком 25 км, зокрема і для сценарію викидів парникових газів та аерозолів SRES A1B [17], які використано у цьому дослідженні. Крім того,

використано дані Європейської електронної бази даних E-Obs [14] — інструментальні спостереження метеорологічної мережі та гідрологічних постів, інтерпольовані у вузли регулярної сітки, тотожної проекту FP-6 ENSEMBLES. Зауважимо, що доцільність використання для території України і точність даних E-Obs встановлені авторами у статті [12] за результатами верифікації даними спостережень з Кліматичного кадастру України. Застосовані дані РКМ та E-Obs мають вільний доступ в інтернеті.

Здатність РКМ достовірно відтворювати кількісні показники кліматичних характеристик на території України оцінено у попередніх роботах авторів, зокрема у публікації [11], у якій верифіковано модельні розрахунки РКМ REMO кліматичними даними баз CRU та E-Obs у стандартний кліматичний період 1961–1990 рр. У публікації [7] використано ту саму РКМ REMO для оцінювання зміни річкового стоку в Україні до 2050 р. У попередніх роботах авторів [8–10], як і в інших публікаціях, зокрема [15], також доведено, що використання ансамблю РКМ має переваги перед застосуванням окремих моделей, оскільки дає змогу зменшити похибки та довірчий інтервал у прогнозах.

Методичні підходи до формування оптимального ансамблю РКМ для оцінювання і прогнозу полів температури та опадів на території України до кінця XXI ст. уперше наведено авторами у публікації [16]. Зауважимо, що прогнозовані значення кліматичних характеристик, отримані із застосуванням певних сценаріїв, наприклад [17], за глосарієм Міжурядової групи експертів зі зміни клімату називають “проекцією”, щоб відрізнити від звичайного прогнозу [15]. Застосовані методичні підходи подібні до підходів [13], оскільки для корекції похибок проєкцій РКМ використано адитивний метод для температури, описаний у статті [8], та мультиплікативний — для опадів, наведений нижче.

По суті кліматичні характеристики у майбутні періоди розраховано з використанням значень E-Obs у базовий період ($E-Obs_{base}$) і значень ансамблів РКМ у базовий (RCM_{base}) і майбутні (RCM_{future}) періоди за наступними рівняннями:

для адитивного ($Proj_add_{future}$) методу

$$Proj_add_{future} = E-Obs_{base} + (RCM_{future} - RCM_{base}), \quad (1)$$

для мультиплікативного ($Proj_mult_{future}$) методу

$$Proj_mult_{future} = E-Obs_{base} (RCM_{future} / RCM_{base}). \quad (2)$$

Очевидно, що вирази в дужках — це абсолютні (1) та відносні (2) зміни характеристик.

РКМ до ансамблю відбирали за розрахованими статистичними параметрами, зокрема коефіцієнт кореляції і середньоквадратичну похибку використовували як критерії відбору РКМ до ансамблю для подальшого прогнозування полів опадів в Україні у XXI ст. Очевидно, що коефіцієнти кореляції

показують, як дані РКМ відтворюють річний хід кількості опадів в Україні, а середньоквадратичні похибки на відмінності у кількості опадів за даними РКМ і E-Obs. Тому, чим вищий коефіцієнт кореляції і чим нижча середньоквадратична похибка, тим вища якість моделі чи ансамблю РКМ у відтворенні змодельованих полів опадів. Таким чином, за вказаними критеріями отримано оптимальний ансамбль з чотирьох РКМ: REMO, RCA3-E, RRCM та RCA3-B [16].

Очікувані просторові та сезонні трансформації поля опадів. Поля опадів для території України розраховано та проаналізовано для трьох 20-річних періодів: на найближчу (2011–2030), середню (2031–2050) та віддалену (2081–2100) перспективу. Визначено місячні, сезонні та річні суми опадів із застосуванням мультиплікативної процедури корекції прогнозованих значень для кожної РКМ. Розрахунки виконано для всіх вузлів модельної сітки на території країни (близько 1200 вузлів у межах території України). Усереднення проводили для всієї території країни та 5 регіонів, виділених за подібністю фізико-географічних умов, однотипністю прояву кліматоутворювальних чинників, відносною однорідністю полів кліматичних характеристик та адміністративно-територіальним поділом держави аналогічно до районування в публікаціях [8–10, 18].

Для усереднених за регіонами значень сум опадів за ансамблем з 4 РКМ розраховано довірчі інтервали ($\bar{Q} \pm$) для рівня довіри 0,95.

Зміни поля опадів на території України у період найближчого майбутнього 2011–2030 рр. представлено даними табл. 1 і рис. 1. Аналіз даних табл. 1 засвідчує, що в цей період у більшості місяців року для всіх регіонів прогнозовані зміни місячних сум опадів (Δ) не перевищують меж довірчих інтервалів середніх значень ансамблю з 4 РКМ ($\bar{Q} \pm$). Тому такі зміни можна розглядати як коливання кількості опадів у межах варіативності ансамблю за заданого рівня довіри 0,95, а також як тенденції змін. Якщо отримані значення змін перевищують або дорівнюють межі розрахованих довірчих інтервалів (виділено жирним шрифтом в табл. 1–3), то їх можна розглядати як достовірні або як певну тенденцію зміни кліматичної характеристики.

У період найближчого майбутнього 2011–2030 рр. (табл. 1, рис. 1) очікуються зміни місячних сум опадів різних знаків як у сезонному ході, так і у просторовому вимірі. При цьому найбільші значення приросту сум опадів отримано у грудні, січні, березні та квітні, а зменшення кількості опадів прогнозуємо у серпні та жовтні для усіх регіонів.

Для оцінки змін кількості опадів також традиційно застосовують відносні одиниці (%), які необхідні для розрахунків у деяких кліматозалеж-

Таблиця 1. Проекція за ансамблем з 4 РКМ по регіонах України середніх місячних і річних сум опадів з довірчими інтервалами у 2011–2030 рр. та їх змін (мм) відносно 1991–2010 рр.

Table 1. Projection by the ensemble of 4 RCM of monthly and annual precipitation with confidence intervals and changes (mm) for Ukraine and regions in 2011–2030 relatively to 1991–2010

Місяць	Північ		Захід		Центр		Схід		Південь		Україна	
	$\bar{Q} \pm$, мм	Δ , мм	$\bar{Q} \pm$, мм	Δ , мм	$\bar{Q} \pm$, мм	Δ , мм	$\bar{Q} \pm$, мм	Δ , мм	$\bar{Q} \pm$, мм	Δ , мм	$\bar{Q} \pm$, мм	Δ , мм
I	43 ± 8	7	40 ± 9	8	38 ± 8	5	47 ± 9	8	31 ± 9	1	39 ± 9	6
II	38 ± 6	2	40 ± 9	4	31 ± 6	0	43 ± 9	4	29 ± 5	–1	36 ± 7	2
III	45 ± 9	7	44 ± 8	6	45 ± 11	8	47 ± 17	7	35 ± 9	3	43 ± 10	6
IV	48 ± 7	7	46 ± 7	4	44 ± 6	9	41 ± 8	7	38 ± 5	9	43 ± 6	7
V	59 ± 16	3	74 ± 15	7	46 ± 14	1	45 ± 10	0	36 ± 8	0	52 ± 13	3
VI	67 ± 17	0	82 ± 22	8	64 ± 15	0	60 ± 11	8	45 ± 9	1	64 ± 15	3
VII	69 ± 26	–3	100 ± 27	6	59 ± 15	–2	52 ± 11	4	34 ± 11	–3	64 ± 18	0
VIII	50 ± 11	–3	65 ± 14	–3	40 ± 9	–7	28 ± 12	–4	28 ± 7	–7	43 ± 10	–5
IX	55 ± 9	–2	65 ± 10	1	53 ± 11	–1	69 ± 15	20	41 ± 6	1	56 ± 10	3
X	44 ± 11	–2	43 ± 11	–3	34 ± 7	–4	40 ± 4	0	27 ± 4	–4	37 ± 8	–3
XI	54 ± 11	7	47 ± 12	6	43 ± 10	2	44 ± 10	3	42 ± 15	2	46 ± 12	4
XII	44 ± 11	7	46 ± 11	6	40 ± 13	4	51 ± 14	5	39 ± 12	3	43 ± 12	5
Рік	616 ± 131	29	690 ± 140	51	538 ± 115	17	566 ± 116	62	424 ± 90	6	568 ± 119	31

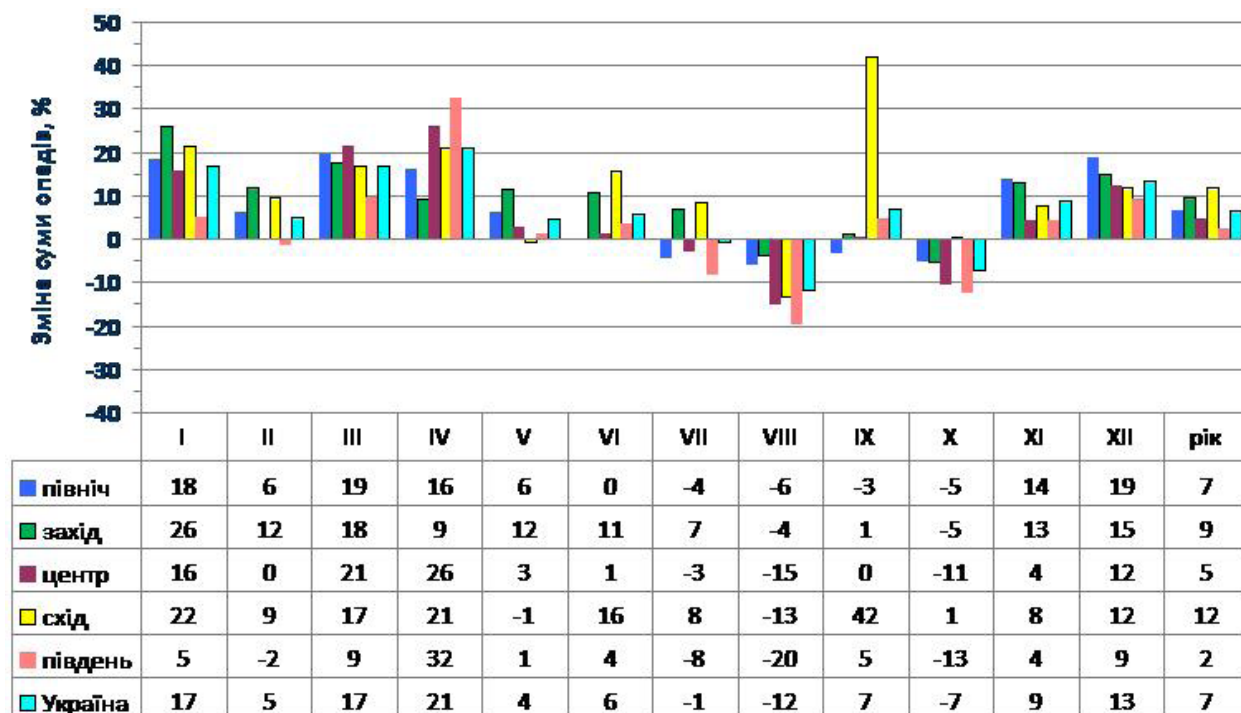


Рис. 1. Проекція змін середніх місячних і річних сум опадів (%) по регіонах відносно 1991–2010 рр. за ансамблем з 4 РКМ у 2011–2030 рр.

Fig. 1. Projection by the ensemble of 4 RCM of monthly and annual precipitation changes (%) for region in 2011–2030 relatively to 1991–2010

них галузях науки та економіки (рис. 1). Відносні збільшення місячних сум опадів можуть бути максимальними у січні – до 26 % на заході, у березні – до 21 % у центрі, у квітні – до 32 % на півдні, у вересні – до 42 % на сході і в грудні – до 19 % на півночі. Зменшення місячних сум опадів прогнозується на всій території країни у серпні (до –20 % на півдні). В інші місяці літа та в жовтні зменшення опадів близьке до –10 %. Прогнозований можливий діапазон змін сум місячних опадів в цей період в Україні – від –20 до +42 %. Серед регіонів найбільші зміни у бік як збільшення, так і зменшення місячних сум опадів очікуємо на півдні.

Річні суми опадів (рис. 1) у найближче майбутнє ймовірно зростуть в усіх регіонах (до +12 % на сході та +7 % у середньому для країни), але отримані зміни вкладаються у межі довірчих інтервалів застосованого ансамблю (табл. 1).

У табл. 2 наведено проекцію значень сум опадів, їх довірчі інтервали та зміни для періоду 2031–2050 рр. Як і в попередній період, зміни майже в усі місяці та для всіх регіонів не перевищуватимуть відповідних довірчих інтервалів, тобто вкладаються у межі варіативності застосованого ансамблю РКМ. Єдиний виняток – збільшення опадів у квітні у південному регіоні, де значення приросту перевищує довірчий інтервал, тобто його достовірність вища за 95 %. Зміни на межі довірчих інтервалів припадають на грудень, січень і березень на заході і на січень на сході країни. Ці зміни також можна вважати достовірними. Отже, для цього періоду отримані зміни

вкладаються у межі варіативності застосованого ансамблю, але також прослідковуються тенденції до збільшення опадів у холодне півріччя подібно до попереднього періоду.

На рис. 2 показано проекції відносних змін середніх місячних сум опадів по регіонах для періоду 2031–2050 рр. щодо 1991–2010 рр. за тим самим ансамблем з 4 РКМ. Отримані результати показують, що очікується збільшення річних сум опадів для всієї території країни, а також збільшення опадів навесні, взимку та на початку осені, за винятком несуттєвого їх зменшення у центрі та на півдні у лютому. Влітку на більшості території країни очікується зменшення кількості опадів з максимальними значеннями у серпні на сході (до –18 %). На півночі та заході влітку кількість опадів збільшуватиметься. Однозначне збільшення кількості опадів прогнозуємо у вересні (до +21 % на сході) та у грудні (максимально на заході до +37 %). Річні значення максимально збільшуватимуться на заході (+13 %), а усереднене для України збільшення опадів становитиме +8 %. У зв'язку з цим можна зробити припущення, що холодний період року ставатиме зволоженішим, а теплий – посушливішим. Амплітуда значень прогнозованих змін варіює від –18 до +37 %, її значення зменшується порівняно з попереднім періодом.

Розподіл кількості опадів у наступному періоді віддаленого майбутнього (2081–2100) та його зміни представлено у табл. 3 і на рис. 3. Зауважимо, що для цього найвіддаленішого періоду немає розра-

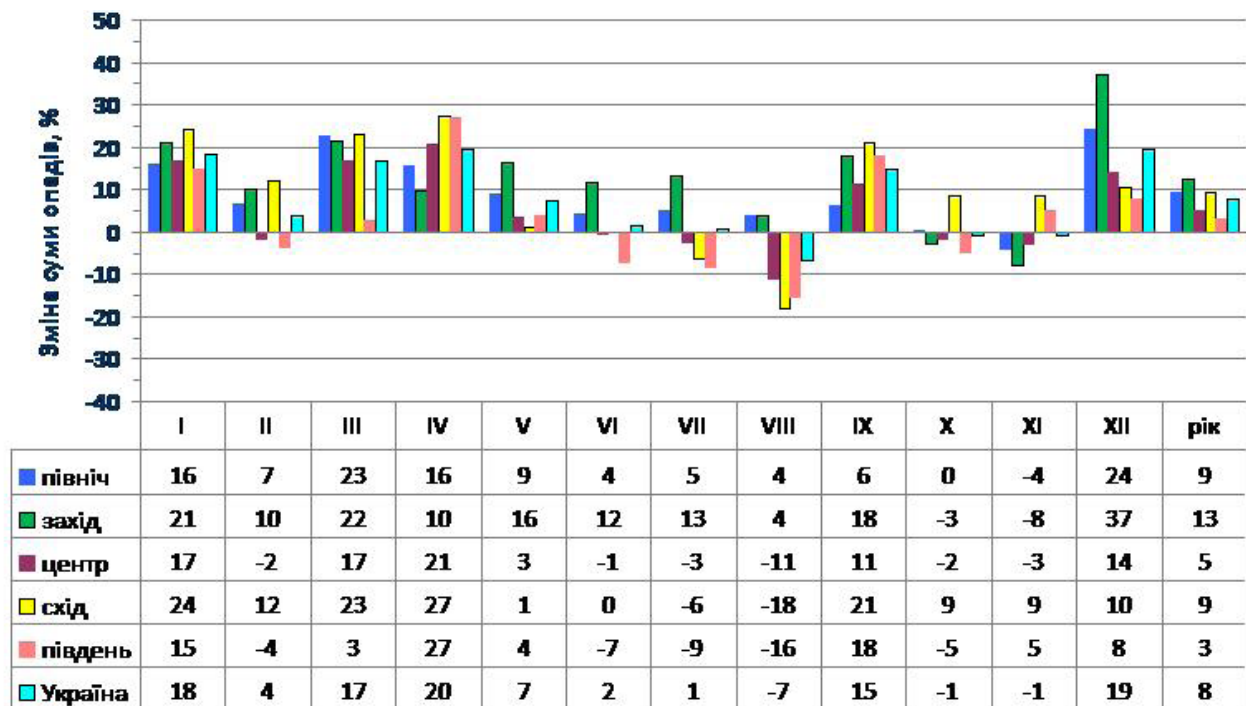


Рис. 2. Проекція змін середніх місячних та річних сум опадів (%) по регіонах відносно 1991–2010 рр. за ансамблем з 4 РКМ у 2031–2050 рр.

Fig. 2. Projection by the ensemble of 4 RCM of monthly and annual precipitation changes (%) for region in 2031–2050 relatively to 1991–2010

хунку однієї з РКМ з ансамблю, тому застосовували ансамбль з 3 РКМ. Найочевиднішою закономірністю отриманого розподілу (рис. 3), як і у попередні періоди, є збільшення місячних сум опадів у хо-

лодне півріччя, зокрема взимку, та їх зменшення у теплий період року, зокрема влітку. Зазначені тенденції не тільки зберігаються, а й посилюються. Так, амплітуда прогнозованих змін стає більшою і

Таблиця 2. Проекція за ансамблем з 4 РКМ по регіонах України середніх місячних і річних сум опадів з довірчими інтервалами у 2031–2050 рр. та їх змін (мм) відносно 1991–2010 рр.

Table 2. Projection by the ensemble of 4 RCM of monthly and annual precipitation with confidence intervals and changes (mm) for Ukraine and regions in 2031–2050 relatively to 1991–2010

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

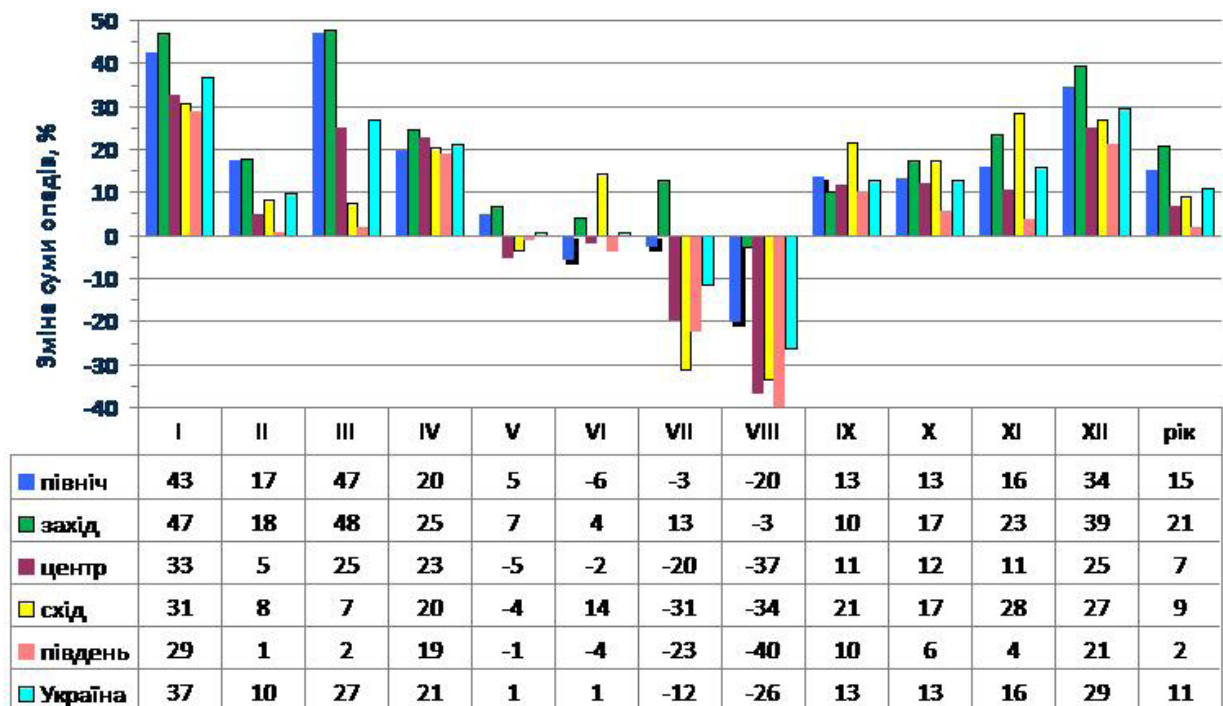


Рис. 3. Проекція змін середніх місячних і річних сум опадів (%) по регіонах відносно 1991–2010 рр. за ансамблем з 3 РКМ у 2081–2100 рр.

Fig. 3. Projection by the ensemble of 3 RCM of monthly and annual precipitation changes (%) for region in 2081–2100 relatively to 1991–2010

змінюється від –40 % до +48 %. Ще однією характеристикою змін, що спостерігали і у попередні періоди, є максимальні прирости сум опадів на заході:

до +21 % – річні значення, до +48 % – у березні, до +47 % – у січні і +39 % – у грудні. При цьому, на відміну від інших регіонів, збільшення опадів на

Таблиця 3. Проекція за ансамблем з 3 РКМ по регіонах України середніх місячних і річних сум опадів з довірчими інтервалами у 2081–2100 рр. та їх змін (мм) відносно 1991–2010 рр.

Table 3. Projection by the ensemble of 3 RCM of monthly and annual precipitation with confidence intervals and changes (mm) for Ukraine and regions in 2081–2100 relatively to 1991–2010

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

заході прогнозується навіть влітку, в липні до +13 %, а зменшення у серпні – мінімальне (–3 %). Тенденція до загального збільшення зволоження також зберігається і на півночі: до +15 % – річне значення приросту сум опадів, до +47 % – у березні, до +43 % у січні і +34 % у грудні.

У літні місяці на півночі, на відміну від попереднього періоду, прогнозується зменшення опадів, з максимумом у серпні (–20 %). У цей період зміни середніх місячних сум опадів перевищують довірчі інтервали, тобто такі зміни достовірні. Зокрема, очікується збільшення опадів на півночі та заході з грудня до березня та на сході у січні та листопаді, зменшення у центрі та на сході в серпні. Найменші за абсолютними величинами зміни очікуються у травні та червні, але знак змін різний.

На рис. 4 показано річний хід кількості опадів у два минулі та три прогнозні періоди. Основним наслідком трансформації сезонного ходу є зменшення літніх максимумів і кількості опадів у теплий період, а також збільшення та перерозподіл кількості опадів у холодний період унаслідок зростання сум у грудні–січні і зменшення у жовтні та листопаді, що вже спостерігали і в період 1991–2010 рр. Згідно з оцінюванням трансформації річного ходу кількості опадів у XXI ст., майже в усіх регіонах залишатиметься континентальний тип річного розподілу опадів. Винятком є східний регіон у 2031–2050 рр., коли значення сум опадів за теплий та холодний періоди вирівнюватимуться, а до кінця сторіччя суми опадів за теплий період продовжуватимуть зменшуватися. Такі самі тенденції прогнозуємо і на півдні до кін-

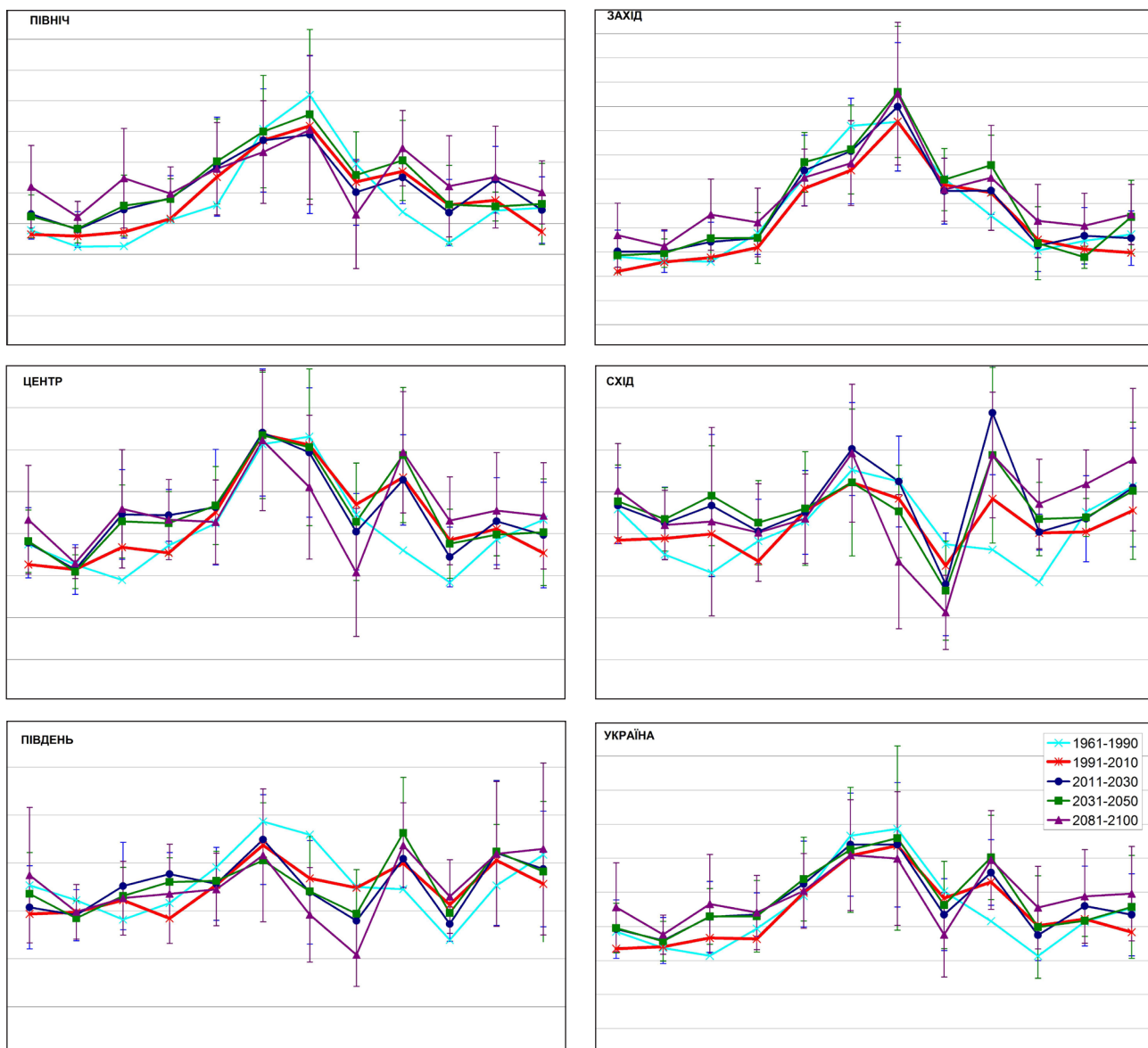


Рис. 4. Річний хід кількості опадів (мм) з довірчими інтервалами по регіонах і для всієї України за даними E-Obs у стандартний кліматичний період 1961–1990 рр., період 1991–2010 рр. сучасного клімату та за ансамблями РКМ у три прогнозні періоди до кінця XXI ст.

Fig. 4. Month precipitation sums (mm) with confidence intervals for regions and for the whole Ukraine based on the E-Obs data in the standard climate period 1961–1990, the modern climate period 1991–2010 and based on the projections of RCM ensembles for three future periods till the end of the 21st century

ця сторіччя. У період 2081–2100 рр. криві річних розподілів дещо згладжуються, не так чітко виділяються екстремуми річного ходу для всіх регіонів, крім західного та північного. Найбільша просторова неоднорідність розподілу опадів на кінець сторіччя очікується влітку, максимальні значення у річному ході отримано на заході і півночі (105 і 71 мм у липні відповідно), а на сході і півдні у той самий час (у серпні) відповідні значення є мінімальними – 21 мм. Слід зауважити, що отримані значення мають досить вузький довірчий інтервал, що свідчить про високу узгодженість прогнозу моделей.

Крім того, у прогнозні періоди, особливо до кінця сторіччя, в усіх регіонах криві річного ходу опадів набувають хвилеподібного вигляду, тобто зникають чітко виражені мінімуми та максимуми (рис. 4). При цьому класичний для помірних широт річний розподіл, коли суми опадів за теплий період перевищують суми опадів за холодний період, все ж зберігатиметься для більшості регіонів. Причиною утворення хвилеподібного розподілу може бути зміна характеру циркуляційних процесів, що визначають опадоутворення та його інтенсивність. Можна припустити, що зростатиме нестійкість циркуляції та зменшуватиметься тривалість домінування окремих її типів (зонального, меридіонального та ін.), що зумовить формування вторинних мінімумів і максимумів у річному ході опадів. Утім, це припущення потребує додаткових досліджень.

У працях [4, 6] указано, що трансформація поля опадів в Україні в умовах глобального потепління відбуватиметься через вирівнювання річного ходу опадів і зміну просторового розподілу, тобто збільшення їх на сході та півдні і зменшення на заході та півночі. Отримані у представленому дослідженні результати тільки частково підтверджують цей висновок, а саме трансформацію річного ходу середніх місячних сум опадів на сході та півдні (часовий розподіл), але збільшення суми річних опадів прогнозується різним для всієї території (просторовий розподіл).

На основі осереднених за сезонами змін місячних сум опадів побудовано їх просторові розподіли для усієї території країни. Поля змін кількості опадів для кожного з досліджуваних періодів показано на рис. 5–7. Основні закономірності, отримані у просторових розподілах, у цілому узгоджуються з висновками, що наведені вище і отримані на підставі аналізу трансформацій річного ходу опадів, установленого за змінами проекцій місячних та річних сум опадів.

Так, в усі прогнозні періоди опади збільшуватимуться взимку та навесні, максимально на заході, півночі та сході. Восени до середини сторіччя в цих районах опади також збільшуватимуться переважно на сході, на відміну від центральної та південної частини країни, де прогнозується невелике зменшення їх кількості. До середини сторіччя навесні структура

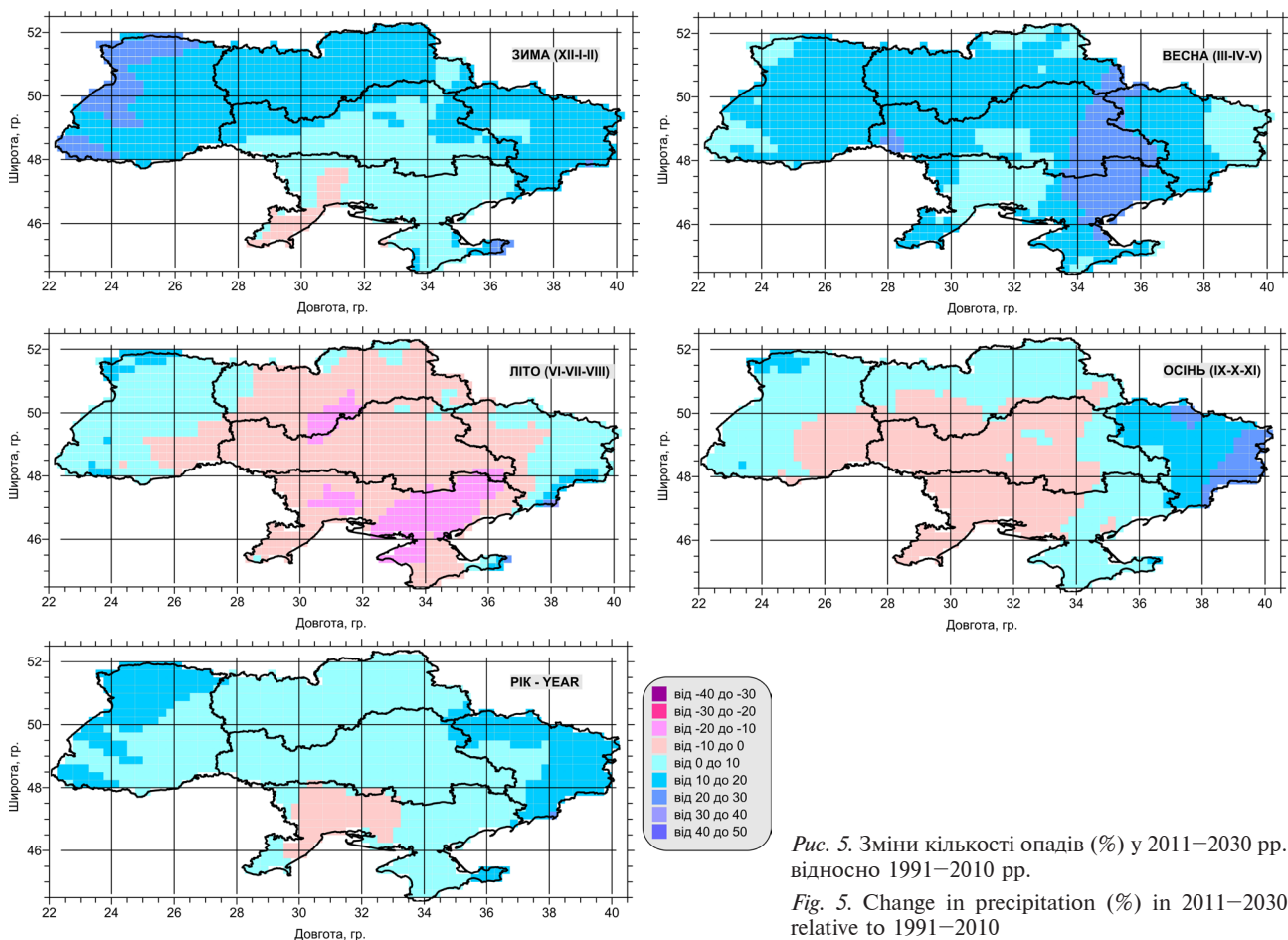


Рис. 5. Зміни кількості опадів (%) у 2011–2030 рр. відносно 1991–2010 рр.

Fig. 5. Change in precipitation (%) in 2011–2030 relative to 1991–2010

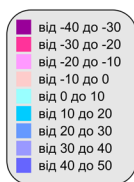
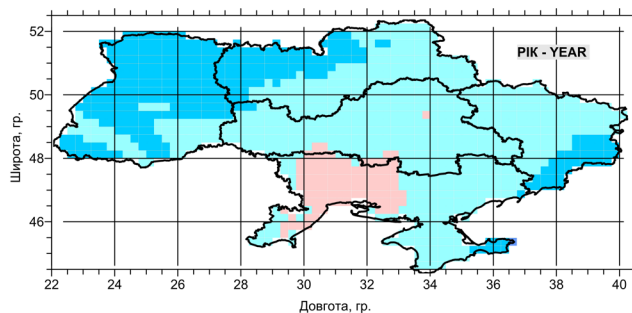
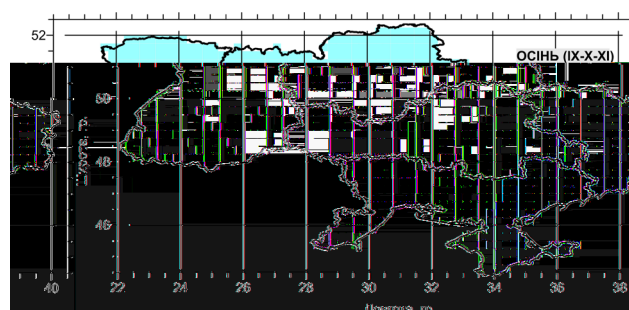
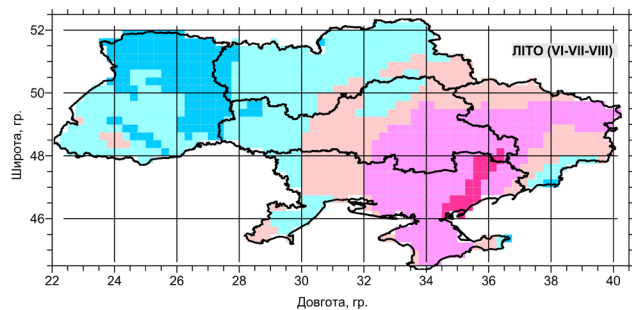
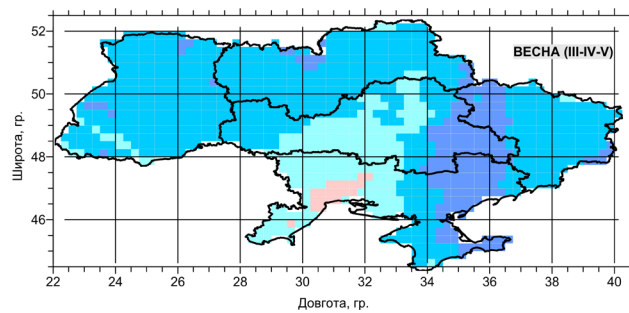
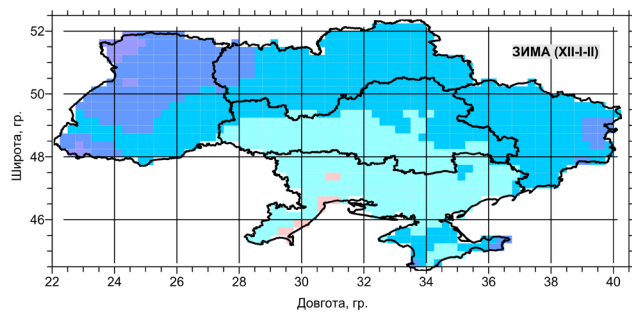


Рис. 6. Зміни кількості опадів (%) у 2031–2050 рр. відносно 1991–2010 рр.

Fig. 6. Change in precipitation (%) in 2031–2050 relative to 1991–2010.

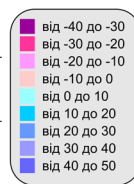
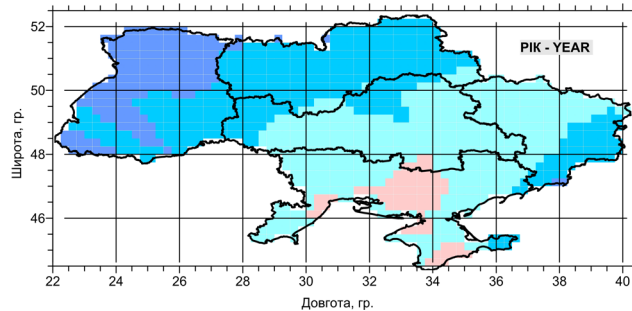
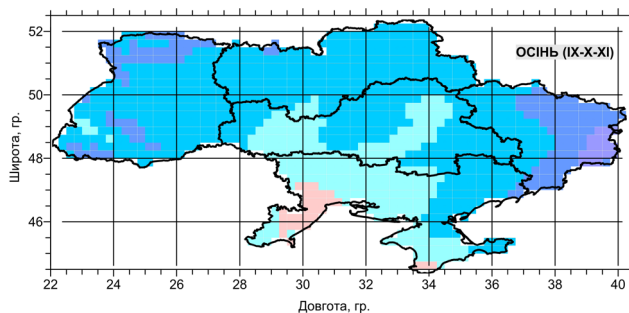
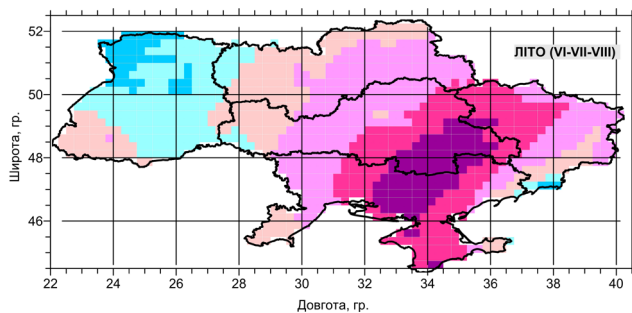
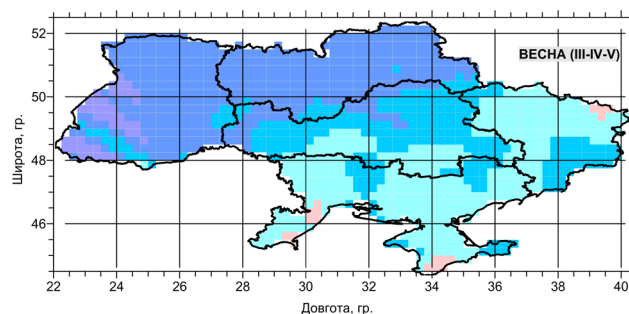
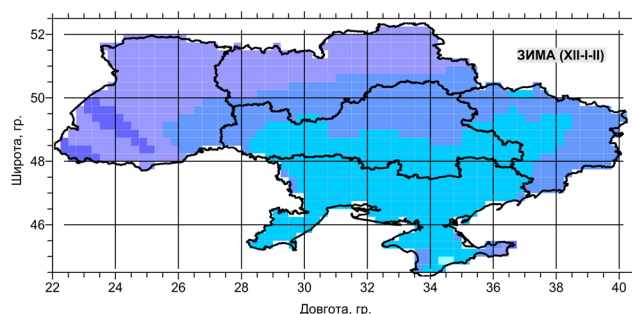


Рис. 7. Зміни кількості опадів (%) у 2081–2100 рр. відносно 1991–2010 рр.

Fig. 7. Change in precipitation (%) in 2081–2100 relative to 1991–2010

змін поля опадів та їх тренд подібні до зимових, тоді як поле змін опадів в осінні місяці за структурою та тенденціями ближче до літнього. Якщо припустити, що поле опадів формуватиметься переважно під впливом циркуляційних чинників, то до середини сторіччя проявлятимуться два циркуляційні періоди: холодний (зимові й весняні місяці) і теплий (літні й осінні місяці), а особливості, властиві перехідним сезонам, згладжуватимуться.

Влітку майже на всій території України (крім західних областей в усі періоди та на сході у найближче майбутнє) опади зменшуватимуться з посиленням цієї тенденції впродовж сторіччя. Так, у найближчий період найсуттєвіше зменшення в межах від -10 до -20 % влітку очікується у південних областях України та на півдні Київської обл. До середини XXI ст. ця тенденція посилюватиметься, і зона зменшення на -10 % уже поширюється з південного на центральний і східний регіони, а також з'явилася зона, де зменшення опадів становить -20 %. Наприкінці сторіччя влітку зменшення опадів уже охоплює майже всю країну (близько 80 % її території), за винятком заходу. Осередок максимальних знижень сум опадів на -30 % територіально не змінюється і займає близько 10 % території країни. Ще на 20 % території прогноуються зменшення опадів від -20 до -30 % і на 30 % території – від -10 до -20 %. Співвідношення між величинами змін і значеннями їх довірчих інтервалів підтверджує, що прогнозовані зменшення кількості опадів улітку достовірні.

Поля проєкцій змін опадів для всіх прогностичних періодів вказують на однозначність і посилення трендів для літніх місяців: переважно від'ємні за знаком зміни, крім заходу, та для зимових – переважно додатні за знаком, тоді як у перехідні сезони величини приростів, або їх знак, змінюються з часом. Наприкінці сторіччя поля проєкцій змін опадів навесні та восени за структурою та знаком змін набувають однакового характеру внаслідок зменшення приростів місячних сум навесні та зміною знака і збільшенням приростів восени.

Просторовий розподіл змін річних сум опадів дає змогу виділити регіони, де слід очікувати збільшення опадів (північ, захід і схід), при цьому суттєве зменшення опадів улітку на півдні та південному сході, що чітко проявляється у розрахунках сезонних проєкцій, за річного усереднення дещо згладжується внаслідок зміни знака приростів у інші сезони. Проте навіть усереднені річні розподіли змін у майбутніх кліматичних періодах демонструють, що, очевидно, відбуватиметься перерозподіл кількості опадів упродовж року через вирівнювання середніх місячних сум між холодним (збільшення) і теплим (зменшення) періодами року.

Для більшості практичних застосувань результатів моделювання (в агрометеорології, енергетиці, інших галузях науки та економіки) та з метою формулювання подальших оцінювань та прогнозів,

щоб уникнути нівелювання значень приростів за осереднення, необхідно використовувати принаймні сезонні, а ліпше місячні дані проєкцій майбутніх змін кількості опадів.

Висновки. Встановлено проєкції змін поля опадів для трьох 20-річних періодів: на найближчу (2011–2030), середню (2031–2050) та віддалену (2081–2100) перспективу, що показують загальну тенденцію до збільшення річних сум опадів відносно сучасного клімату (1991–2010) в усі майбутні періоди. Проєкції визначено за оптимальним ансамблем РКМ сценарію A1B для місячних, сезонних і річних сум опадів із застосуванням мультиплікативної процедури корекції прогнозованих значень.

У просторово-часовому вимірі зміни місячної кількості опадів будуть не однозначними: у діапазоні від -20 до $+42$ у найближчий період, від -18 до $+37$ – на середину сторіччя і від -40 до $+48$ % на віддалену перспективу. Максимальне збільшення середньомісячних сум опадів очікується в усі періоди взимку та навесні переважно у західному та північному регіонах. Найімовірніше зменшення місячних сум опадів буде влітку та восени у центральному, східному та південному регіонах в усі періоди.

Очікується, що річний розподіл опадів у більшості регіонах залишатиметься континентальним, за винятком східного та південного регіонів. Для усієї території прогноуються трансформація континентального типу розподілу, що пов'язана зі збільшенням сум опадів у холодний період та їх зменшенням у теплий період. Зафіксовано виникнення у сучасний кліматичний період та подальше посилення у майбутні періоди хвилеподібності кривих річного розподілу опадів для усіх регіонів. Формування і часова локалізація таких хвиль визначатимуться інтенсивністю й типом циркуляційних процесів.

Список бібліографічних посилань

1. Балабух В.О. Мінливість дуже сильних дощів і сильних злив в Україні. *Наук. праці УкрНДГМІ*. К., 2008. Вип. 257. С. 61–72.
2. Балабух В.О. Траєкторії циклонів, що зумовлюють небезпечну і стихійну кількість опадів в Україні у теплий період року. *Наук. праці УкрНДГМІ*. К., 2004. Вип. 253. С. 37–49.
3. Барабаш М.Б., Корж Т.В., Татарчук О.Г. Дослідження змін та коливань опадів на рубежі XX і XXI ст. в умовах потепління глобального клімату. *Наук. праці УкрНДГМІ*. К., 2004. Вип. 253. С. 92–102.
4. Волошук В.М. Основні закономірності сучасного потепління клімату на території України та його екологічні наслідки. *Україна та глобальні процеси: географічний вимір*. К.; Луцьк: Вежа. 2000. Т. 3. С. 202–208.
5. Врублевська О.О., Катеруша Г.П., Гончарова Л.Д. Кліматологія. Одеса: Екологія. 2013. 343 с.
6. Клімат України [За ред. В.М. Ліпінського, В.А. Дячука, В.М. Бабіченко]. К.: Вид-во Раєвського, 2003. 343 с.

7. Краковська С.В., Гнатюк Н.В. Зміни поверхневого річкового стоку в Україні до 2050 р. за проєкцією регіональної кліматичної моделі РЕМО. *Геоінформатика*. 2013. № 3. С. 76–81.
8. Краковська С.В., Гнатюк Н.В., Шпиталь Т.М., Паламарчук Л.В. Проекції змін приземної температури повітря за даними ансамблю регіональних кліматичних моделей у регіонах України в ХХІ столітті. *Наук. праці УкрНДГМІ*. К., 2016. Вип. 268. С. 33–44.
9. Краковська С.В., Паламарчук Л.В., Білозерова А.В., Шпиталь Т.М. Загальна хмарність в Україні до середини ХХІ ст. за даними ансамблю регіональних кліматичних моделей. *Геоінформатика*. 2017. № 3(63). С. 56–66.
10. Краковська С.В., Паламарчук Л.В., Шпиталь Т.М. Електронні бази метеорологічних даних та результати чисельних кліматичних моделей у визначенні спеціалізованих кліматичних показників. *Гідрологія, гідрохімія та гідроекологія: період. наук. зб. КНУ ім. Тараса Шевченка*. К., 2016. Т. 3 (42). С. 95–105.
11. Паламарчук Л.В., Краковська С.В., Шедеменко І.П., Дюкель Г.О., Гнатюк Н.В. Верифікація даних світового кліматичного центру (CRU) та регіональної моделі клімату (РЕМО) щодо прогнозу поля опадів в Україні за контрольний період 1961–1990 рр. *Наук. праці УкрНДГМІ*. К., 2009. Вип. 258. С. 69–84.
12. Шедеменко І.П., Краковська С.В., Гнатюк Н.В. Верифікація даних Європейської бази E-OBS щодо приземної температури повітря та кількості опадів у адміністративних областях України. *Наук. праці УкрНДГМІ*. К., 2012. Вип. 262. С. 36–48.
13. Berg P., Feldmann H., Panitz H.-J. Bias correction of high resolution regional climate model data. *Journal of Hydrology*. 2012. Vol. 448, pp. 80–92. URL: DOI: 10.1016/j.jhydrol.2012.04.026 2008JD10201 (Accessed 10 October 2017).
14. Haylock, M.R., Hofstra N., Klein Tank A.M.G., Klok E.J., Jones P.D. and New M. A European daily high-resolution gridded dataset of surface temperature and precipitation for 1950–2006. *Geophysical Res. (Atmospheres)*. 2008, Vol.113. URL: D20119, doi:10.1029/2008JD10201 (Accessed 10 October 2017).
15. IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 p.
16. Krakovska S., Gnatiuk N., Shpytal T., Shedemenko I. Methodology of the best RCMs ensemble selection applied for Ukraine. Proc. of the International Conference on Regional Climate CORDEX. Belgium, Brussels, 2013. 152 p.
17. Nakićenović, N., and R. Swart (eds.) 2000: Special Report on Emissions Scenarios. A Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, USA, 2000. 599 p.
18. Shvidenko A., Buksha I., Krakovska S., Lakyda P. Vulnerability of Ukrainian Forests to Climate Change. Sustainability. 2017. Vol. 9, iss.7 1152. URL: doi:10.3390/su9071152 (Accessed 10 October 2017)
19. van der Linden P., and J.F.B. Mitchell (eds.). *ENSEMBLES: Climate Change and its Impacts: Summary of research and results from the ENSEMBLES project*. Met Office Hadley Centre, 2009. FitzRoy Road, Exeter EX1 3PB, UK. 160 p.

Надійшла до редакції 20.10.2017 р.

ИЗМЕНЕНИЯ ПОЛЯ ОСАДКОВ В УКРАИНЕ В ХХІ ст. ПО ДАННЫМ АНСАМБЛЯ РЕГИОНАЛЬНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

С.В. Краковская¹, Л.В. Паламарчук², Н.В.Гнатюк^{1,3}, Т.Н. Шпиталь¹, И.П. Шедеменко⁴

¹Украинский гидрометеорологический институт, проспект Науки, 37, г. Киев, 03028, Украина, e-mail: krasvit@ua.fm, shpital@bigmir.net

²Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, ул. Владимирская, 64/13, г. Киев, 01601, Украина, e-mail: palamarchuk.l@ukr.net

³Международный центр окружающей среды и дистанционного зондирования имени Нансена, 14-я Линия, В.О., д. 7, оф. 49, г. Санкт-Петербург, 199034, Российская Федерация, e-mail: gnatiuk.n@gmail.com

⁴Институт проблем безопасности атомных электростанций НАН Украины, ул. Лысогорская, 12, корп. 106, г. Киев, 03028, Украина, e-mail: shedemenko@i.ua

Проанализированы особенности трансформации поля осадков в Украине, начиная со стандартного климатического периода 1961–1990 гг. до конца ХХІ ст. По определенному оптимальному ансамблю региональных климатических моделей рассчитаны проекции сумм осадков для будущих климатических периодов и их изменения относительно современного периода 1991–2010 гг. Для всех периодов в будущем получено максимальное увеличение средних месячных сумм осадков зимой и весной преимущественно в западном и северном регионах, а наиболее вероятное уменьшение месячных сумм осадков ожидается летом и осенью в центральном, восточном и южном регионах.

Ключевые слова: атмосферные осадки, региональная климатическая модель, ансамбль моделей, климатические периоды.

CHANGES IN PRECIPITATION DISTRIBUTION IN UKRAINE FOR THE 21ST CENTURY BASED ON DATA OF REGIONAL CLIMATE MODEL ENSEMBLE

S.V. Krakovska¹, L.V. Palamarchuk², N.V. Gnatiuk^{1,3}, T.M. Shpytal¹, I.P. Shedemenko⁴

¹Ukrainian Hydrometeorological Institute, 37 Prospekt Nauki, Kyiv, 03028, Ukraine, e-mail: svitlanakravovska@gmail.com, shpytal@bigmir.net

²Taras Shevchenko National University of Kyiv, 64/13, Volodymyrska Street, Kyiv, 01601, Ukraine, e-mail: palamarchuk.l@ukr.net

³Nansen International Environmental and Remote Sensing Centre, 14th Line 7, Office 49, Vasilievsky Island, St. Petersburg, 199034, Russian Federation, e-mail: natalia.gnatiuk@niersc.spb.ru

⁴Institute for Safety Problems of Nuclear Power Plants, NAS of Ukraine, 12, Lysohirska Street, building, 106, Kyiv, 03028, Ukraine, e-mail: shedemenko@i.ua

Purpose The study aims at examining the main features of precipitation distribution in Ukraine for three future periods in the 21st century and its changes relatively to the period of current climate 1991–2010 and standard WMO climatic period 1961–1990, based on a selected best regional climate model ensemble.

Methodology In order to obtain long-term precipitation projections for the territory of Ukraine with high resolution, we used regional climate models (RCMs) from the EU FP-6 project ENSEMBLES (ensembles-eu.metoffice.com) initiated with boundary conditions from the IPCC scenario SRES A1B. Previous statistical analysis of all RCMs' outputs, compared with the gridded observational data E-Obs (ecad.eu), showed that an ensemble of four regional climate models (REMO, RCA3-E, RRCM and RCA3-B) proves much better than other reproduced regional features and the annual distribution of precipitation over the territory of Ukraine. Therefore, this ensemble was used to calculate future precipitation fields. Further, we calculated precipitation values in each grid point (approximately 1200, with 25km step) on the basis of observation for the base period 1991–2010 and projected changes between each future and the base period by additive and multiplicative methods. Annual, seasonal and monthly changes of precipitation distributions were analysed for five different regions and on average for the whole territory of Ukraine in three future periods 2011–2030, 2031–2050, and 2081–2100. Maps of seasonal and annual changes in precipitation distribution in Ukraine are presented and analysed in the study.

Findings According to the obtained projections of precipitation changes for three 20-year future periods, ranges of changes for monthly precipitation sums are expected to be from –20% to +42% in 2011–2030, from –18% to +37% in 2031–2050, and from –40% to +48% in 2081–2100. In general, we project precipitation increase in the cold period of year and its decrease in the warm period of year. The annual precipitation numbers will slightly rise and their inter-annual distribution in most regions will remain continental, except for the east and south regions, where clear minimums and maximums of the annual precipitation distribution in the future will be smoothed out.

Practical value Long-term climatic forecast of precipitation change is an important scientific task. It may be used for example in strategic planning of the development of different economic sectors, such as agriculture, energy, transport; it may also be helpful in other biological and natural scientific studies.

Keywords: precipitation, regional climate model, ensemble of models, climatic period.

References:

1. Balabukh V.O. Minlyvist duzhe sylnykh doshchiv i sylnykh zlyv v Ukraini. *Nauk. praci UkrNDHMI*. Kyiv, 2008, iss. 257, pp. 61–72 [in Ukrainian].
2. Balabukh V.O. Traiektorii tsykloniv, shcho zumovliuiut nebezpechnu i stykhiinu kilkist opadiv v Ukraini u teplyi period roku. *Nauk. praci UkrNDHMI*. Kyiv, 2004, iss. 253, pp. 37–49 [in Ukrainian].
3. Barabash M.B., Korzh T.V., Tatarchuk O.H. Doslidzhennia zmin ta kolyvan opadiv na rubezhi XX i XXI st. v umovakh poteplinnia hlobalnoho klimatu. *Nauk. praci UkrNDHMI*. Kyiv, 2004, iss. 253, pp. 92–102 [in Ukrainian].
4. Voloshchuk V.M. Osnovni zakonomirnosti suchasnoho poteplinnia klimatu na terytorii Ukrainy ta yoho ekolohichni naslidky. Ukraina ta hlobalni protsesy: heohrafichni vymir. Kyiv; Luts'k: Vezha, 2000. Vol. 3, pp. 202–208 [in Ukrainian].
5. Vrublevska O.O., Katerusha H.P., Honcharova L.D. Klimatolohiia. Odessa: Ekolohiia, 2013, 343 p.
6. Klimat Ukrainy (eds. V.M. Lipinskyi, V.A. Diachuk, V.M. Babichenko). Kyiv: Vydavnytstvo Raievskoho, 2003, 343 p. [in Ukrainian].
7. Krakovska S.V., Gnatiuk N.V. Zminy poverkhnevoho richkovoho stoku v Ukraini do 2050 r. za proektsiieiu rehionalnoi klimatichnoi modeli REMO. *Geoinformatyka*, 2013, no. 3, pp. 76–81 [in Ukrainian].
8. Krakovska S.V., Gnatiuk N.V., Shpytal T.M., Palamarchuk L.V. Proektsii zmin pryzemnoi temperatury povitria za danymy ansamblu rehionalnykh klimatichnykh modelei u rehionakh Ukrainy v XXI stolitti. *Nauk. praci UkrNDHMI*. Kyiv, 2016, iss. 268, pp. 33–44 [in Ukrainian].
9. Krakovska S.V., Palamarchuk L.V., Bilozero A.V., Shpytal T.M. Zahalna khmarnist v Ukraini do seredyny XXI st. za danymy ansamblu rehionalnykh klimatichnykh modelei. *Geoinformatyka*, 2017, no. 3(63), pp. 56–66 [in Ukrainian].
10. Krakovska S.V., Palamarchuk L.V., Shpytal T.M. Elektronni bazy meteorolohichnykh danykh ta rezultaty chyselnykh klimatichnykh modelei u vyznachenni spetsializovanykh klimatichnykh pokaznykiv. *Hidrolohiia, hidrokhimiia ta hidroekolo-*

hiia: period. nauk. zb. Kyivskiy Natsionalnyi Universytet im. Tarasa Shevchenka. Kyiv, 2016, vol. 3 (42), pp. 95-105 [in Ukrainian].

11. Palamarchuk L.V., Krakovska S.V., Shedemenko I.P., Diukel H.O., Hnatiuk N.V. Veryfikatsiia danykh svitovoho klimatychnoho tsentru (CRU) ta rehionalnoi modeli klimatu (REMO) shchodo prohnozu polia opadiv v Ukraini za kontrolnyi period 1961-1990 rr. *Nauk. praci UkrNDHMI*. Kyiv, 2009, iss. 258, pp. 69-84 [in Ukrainian].
12. Shedemenko I.P., Krakovska S.V., Hnatiuk N.V. Veryfikatsiia danykh Yevropeiskoi bazy E-OBS shchodo pryzemnoi temperatury povitria ta kilkosti opadiv u administratyvnykh oblastiakh Ukrainy. *Nauk. praci UkrNDHMI*. Kyiv, 2012, iss. 262, pp. 36-48 [in Ukrainian].
13. Berg P., Feldmann H., Panitz H.-J. Bias correction of high resolution regional climate model data. *Journal of Hydrology*, 2012, vol. 448, pp. 80-92. Available at DOI: 10.1016/j.jhydrol.2012.04.026 (Accessed 10 October 2017).
14. Haylock M.R., Hofstra N., Klein Tank A.M.G., Klok E.J., Jones P.D. New M. A European daily high-resolution gridded dataset of surface temperature and precipitation. *Journal of Geophysical Research (Atmospheres)*. 2008, vol.113. Available at D20119, doi:10.1029/2008JD10201 (Accessed 10 October 2017).
15. IPCC, 2013: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 p.
16. Krakovska S., Gnatiuk N., Shpytal T., Shedemenko I. *Methodology of the best RCMs ensemble selection applied for Ukraine. Proc. of the International Conference on Regional Climate CORDEX*. Belgium, Brussels, 2013, 152 p.
17. Nakićenović N., R. Swart (eds) 2000: *Special Report on Emissions Scenarios. A Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2000, 599 p.
18. Shvidenko A., Buksha I., Krakovska S., Lakyda P. Vulnerability of Ukrainian Forests to Climate Change. *Sustainability*. 2017, vol. 9, iss. 7, 1152. Available at doi: 0.3390/su9071152_(Accessed 10 October 2017).
19. van der Linden P., and J.F.B. Mitchell (eds.). *ENSEMBLES: Climate Change and its Impacts: Summary of research and results from the ENSEMBLES project*. Met Office Hadley Centre: 2009. FitzRoy Road, Exeter EX1 3PB, UK. 160 p.

Received 20/10/2017