

І.П. Шедеменко, С.В. Краковська, Н.В. Гнатюк

ВЕРИФІКАЦІЯ ДАНИХ ЄВРОПЕЙСЬКОЇ БАЗИ E-OBS ЩОДО ПРИЗЕМНОЇ ТЕМПЕРАТУРИ ПОВІТРЯ ТА КІЛЬКОСТІ ОПАДІВ У АДМІНІСТРАТИВНИХ ОБЛАСТЯХ УКРАЇНИ

Проведено верифікацію та аналіз щомісячних похибок даних Європейської бази E-Obs для основних кліматичних характеристик (багаторічних середніх, мінімальних і максимальних приземних температур повітря та кількості опадів) в адміністративних областях та для всієї території України за стандартний кліматичний період 1961-1990 рр. Дані бази E-Obs порівнювалися як з даними мережі метеостанцій, так і з даними світового кліматичного центру CRU. У цілому набір даних E-Obs відображає просторово-часові зміни полів температури та кількості опадів в Україні краще за CRU і придатний для використання в оцінках сучасних і майбутніх змін клімату країни та для вирішення інших прикладних задач.

Ключові слова: Європейська база даних E-Obs, Світовий кліматичний центр CRU, верифікація даних для території України.

Вступ

У дослідженнях сучасного клімату та його змін у майбутньому математичне моделювання залишається одним з найефективніших методів. Для проведення якісної верифікації результатів чисельного моделювання клімату необхідно мати фактичні дані спостережень. Враховуючи нерівномірність та недостатню щільність мережі метеорологічних станцій, зазвичай використовують інтерпольовані у вузли регулярної сітки дані вимірювань. Помилки й погрішності таких наборів даних неминучі, незважаючи на те, що їх створено на основі максимуму доступної метеорологічної інформації, а методи інтерполяції відібрано після ретельної оцінки безлічі альтернатив [6-9]. Тому перед використанням інтерпольованих або іншим чином отриманих наборів даних в певному регіоні необхідна їх верифікація. Тоді користувачі зможуть врахувати переваги та недоліки даних для використання у своїх дослідженнях, зокрема, кліматичних змін та інших. Відомо, що більшість

помилки в інтерпольованих даних пов'язано, насамперед, з даними спостережень [7-9]. Типові джерела помилок – неточні координати та висота станцій, помилки в даних вимірювань або неоднорідність часового ряду спостережень станцій. Інше джерело помилок – обмеження (погрішності) методу інтерполяції. Точність інтерполяції прямо залежить від щільності метеомережі. А для метеорологічних показників з великою мінливістю (наприклад, опади) і районів зі складним ландшафтом інтерполяція найскладніша і має найбільші помилки.

У дослідженнях зміни клімату нині акцент зміщено від масштабу глобального до масштабу регіонального та локального, тому все більше необхідно метеорологічної інформації високої просторової і часової роздільності. У 2004 р. для оцінки глобальних і регіональних моделей зміни клімату запропоновано дані Світового кліматичного центру CRU (Climate Research Unit, University of East Anglia, Norwich) [10]. З 2008 р. для Європи запропоновано новий набір щоденних даних про атмосферний тиск на рівні моря, приземну температуру повітря (середню, мінімальну і максимальну) та кількість опадів у вузлах координатної сітки, яка збігається з розрахунковими сітками регіональних кліматичних моделей, що значно спрощує процедуру їх верифікації. Цю базу даних високої роздільності, що отримала назву E-Obs, було розроблено в рамках Європейського проекту ENSEMBLES на основі максимального доступного набору даних метеорологічної мережі Європи [6-9]. Щоденні дані бази E-Obs у вузлах регулярної координатної сітки доступні з 1950 р. до теперішнього часу та оновлюються кожні півроку, однак період 1961-1990 рр. має найвищу забезпеченість даними спостережень.

Метою цього дослідження є оцінка даних E-Obs та порівняння з даними CRU щодо репрезентації основних кліматичних характеристик (приземної температури повітря та кількості опадів) на території України в стандартний кліматичний період 1961-1990 рр.

Дані та методика

У [2, 5] доведено можливість заміни даних вимірів метеомережі України на дані бази CRU, докладно описано методику верифікації CRU даними спостережень з Кліматичного Кадастру України (ККУ) [1]. Дані ККУ вважаються кліматичною стандартною нормою, це дослідження базується на метеорологічній інформації 187 станцій мережі Державної гідрометеорологічної служби за період 1961-1990 рр.

Вагомим недоліком бази даних CRU є те, що крок координатної сітки 10' (~ 12 км) відрізняється від застосованого в регіональних кліматичних моделях проекту ENSEMBLES, які запропоновано для оцінки можливих змін клімату на території України в XXI ст. [2, 3, 5, 12]. Проте координатні сітки даних E-Obs (рис. 1) і чисельних моделей (з кроком ~ 25 км) цілком збігаються, що істотно спрощує отримання статистичних параметрів оцінки якості моделей. Тому доцільно провести перевірку даних E-Obs щодо адекватності репрезентації клімату України для того, щоб надалі застосовувати їх як контрольні. Варто порівняти та з'ясувати переваги й недоліки розглянутих двох наборів даних.

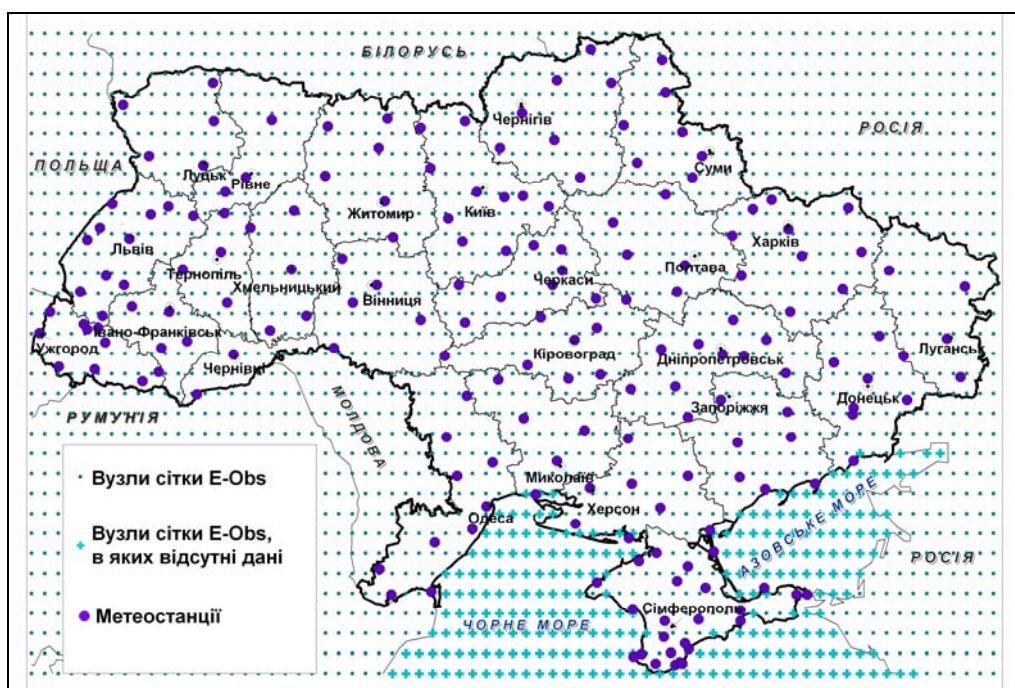


Рис. 1. Покриття даними E-Obs території України (крок координатної сітки ~ 25 км)

Очевидно, що величина похибок кліматичних характеристик під час верифікації наборів даних залежить від просторового і часового масштабів їх усереднення. У цій роботі за просторову одиницю усереднення кліматичних характеристик замість 11 районів, які було виділено за ознакою однорідності фізико-географічних умов у [2, 5], застосовано територіальні одиниці адміністративного поділу України (24 області та АР Крим). Такий підхід має практичний сенс, зокрема, для врахування можливих кліматичних змін у ході планування та прогнозування розвитку економіки окремих регіонів країни. Головна часова одиниця для аналізу – місяць. Для цього, аналогічно [2, 5],

використано середні місячні значення кліматичних характеристик із ККУ [1], які обчислено з рядів спостережень за період 1961-1990 рр.

Таблиця 1

Відомості про регіони України для верифікації даних E-Obs і CRU

Область або республіка	Висота *			Кількість в регіоні			
	\bar{H} , м	$H_{\min.}$, м	$H_{\max.}$, м	Метео- мережа (станції)	Метео- мережа (станції і пости)	CRU (вузли)	E-Obs (вузли)
Вінницька	240	77	313	6	15	118	50
Волинська	185	149	233	6	13	96	46
Дніпропетровська	100	10	173	10	27	142	62
Донецька	201	68	334	8	25	114	52
Житомирська	194	168	219	5	16	132	63
Закарпатська	436	113	1330	9	27	54	24
Запорізька	76	1	221	7	14	115	49
Івано-Франківська	604	275	1451	5	28	66	26
Київська	145	98	208	10	22	132	60
Кіровоградська	162	85	211	8	12	108	50
Луганська	130	59	300	4	12	118	54
Львівська	325	212	594	10	32	96	46
Миколаївська	60	26	105	5	16	105	46
Одеська	77	1	193	10	22	142	62
Полтавська	136	96	160	5	11	127	55
Рівненська	193	154	227	3	8	95	40
Сумська	163	131	190	7	11	100	49
Тернопільська	302	259	327	4	11	58	28
Харківська	151	77	213	10	27	139	63
Херсонська	27	4	57	9	14	107	44
Хмельницька	282	217	350	5	17	97	39
Черкаська	151	94	235	8	17	92	39
Чернівецька	502	242	762	2	4	33	14
Чернігівська	141	112	193	7	13	134	63
АР Крим	177	0	1180	24	46	111	45
Україна	189	0	1451	187	460	2631	1169

Примітка: * – Висоту місцевості над рівнем моря розраховано за даними висот станцій метеомережі

У табл. 1 надано по регіонах (областях) кількість метеостанцій та вузлів сітки, що застосовано для розрахунку щомісячних значень

приземної температури повітря та кількості опадів за даними E-Obs, CRU і метеомережі. Кількість вузлів сітки за даними E-Obs і CRU по регіонах відрізняється від сітки регіональних кліматичних моделей лише у вузлах прибережної зони (значення відсутні), здебільшого це характерно для території АР Крим (рис. 1). Слід зауважити, що відсутність даних E-Obs та CRU у вузлах акваторій морів може бути однією з причин похибок в ході тестування даними метеомережі.

Отже, верифікацію даних E-Obs та CRU проведено на основі середніх за місяць значень кліматичних характеристик за стандартний період з ККУ, розрахованих для 25 адміністративних областей України. За довжини ряду $n = 300$ (25 областей \times 12 місяців року) отримуємо уявлення щодо помилок даних E-Obs і CRU відносно даних метеомережі для території України в цілому (табл. 2-5). Похибки для кожного з регіонів (табл. 3-5) визначено по рядах значень за 12 місяців року; щомісячні похибки та їх річний хід для території України в цілому – по рядах значень кліматичних характеристик 25 областей (табл. 6).

Для порівняння пар даних «E-Obs – Метеомережа» і «CRU – Метеомережа» для полів приземної температури повітря та кількості опадів на території України за допомогою MS Excel розраховано середні систематичні, абсолютні, відносні (для опадів) помилки, стандартні відхилення, коефіцієнти кореляції між даними баз та фактичними значеннями. Крім середніх значень помилок визначено їх крайні (найбільші та найменші) значення, стандартні похибки. У таблицях і в тексті для статистичних характеристик використано наступні позначення:

n	–	кількість пар даних (число членів ряду);
$\bar{\delta}$	–	середня систематична (арифметична) похибка,
$\bar{\delta}_{\min}$	–	- " - мінімальна,
$\bar{\delta}_{\max}$	–	- " - максимальна;
δ	–	середня абсолютна похибка,
δ_{\min}	–	- " - мінімальна,
δ_{\max}	–	- " - максимальна;
σ	–	стандартне відхилення;
f	–	середня відносна похибка (%),
f_{\min}	–	- " - мінімальна (%),
f_{\max}	–	- " - максимальна (%);
r	–	коефіцієнт кореляції;
σ_r	–	похибка коефіцієнта кореляції.

Систематична похибка $\bar{\delta}$ характеризує фонову погрішність, тобто систематичний середній зсув значень поля даних у бік завищення або заниження. Порівняно з середньою абсолютною помилкою δ , у величину стандартного відхилення σ найбільший внесок дають надмірно великі відмінності інтерпольованих даних від фактичних. Якість набору даних вища, якщо значення σ менше.

Похибки даних E-Obs і CRU для території України в цілому

Значення кліматичних характеристик для всієї території України за трьома наборами даних майже однакові (табл. 2), що є показником високої якості даних E-Obs і CRU у відображенні сучасного клімату України в цілому.

Систематична похибка середньомісячної приземної температури повітря відносно даних метеомережі (табл. 3) за довжини ряду $n=300$ дорівнює для E-Obs $\bar{\delta} \pm \sigma = 0,1 \pm 0,3$ °C (діапазон змін від $\bar{\delta}_{\min} = -1,0$ °C до $\bar{\delta}_{\max} = 1,5$ °C); для CRU $\bar{\delta} \pm \sigma = 0,2 \pm 0,5$ °C (від $\bar{\delta}_{\min} = -1,0$ °C до $\bar{\delta}_{\max} = 1,9$ °C). Обидва набори даних завищують T під час розрахунку для всієї території України, за даними E-Obs величина помилки менша.

Для кількості опадів (табл. 5) аналогічні похибки для даних E-Obs дорівнюють $\bar{\delta} \pm \sigma = -2,7 \pm 4,5$ мм/міс ($f = -5,2$ %), діапазон від $\bar{\delta}_{\min} = -20,2$ мм/міс (-25,2 %) до $\bar{\delta}_{\max} = 7,3$ мм/міс (+18,9 %); для CRU $\bar{\delta} \pm \sigma = -1,4 \pm 6,0$ мм/міс ($f = -0,8$ %), діапазон від $\bar{\delta}_{\min} = -32,0$ мм/міс (-34,7 %) до $\bar{\delta}_{\max} = 8,5$ мм/міс (+20,5 %). За величиною систематичної помилки ($\bar{\delta}$) поле опадів краще репрезентують дані CRU; менші ж стандартні відхилення (σ) і амплітуди між крайніми значеннями помилок мають дані E-Obs. У цілому обидва набори даних занижують значення кількості опадів для території України.

Високі значення коефіцієнта кореляції між даними пар «E-Obs – Метеомережа» і «CRU – Метеомережа» вказують на те, що даними E-Obs и CRU також вірно представлено зміни кліматичних характеристик по території України та їх річний хід. За $n=300$ для температури повітря (T, T_{\min}, T_{\max}) обох наборів даних коефіцієнт кореляції $r = 0,999$, з помилкою $\sigma_r = 0,000$; для кількості опадів $r = 0,985$, $\sigma_r = 0,002$ (E-Obs) і $r = 0,969$, $\sigma_r = 0,004$ (CRU).

Якщо замість просторово-часового масштабу усереднення «територія України в цілому – рік» застосовувати «окремі області – місяці», то виявляються відмінності трьох наборів даних щодо репрезентації полів температури й опадів.

Таблиця 2

Багаторічна (1961-1990 рр.) температура повітря та кількість опадів в Україні за даними метеомережі, CRU та E-Obs

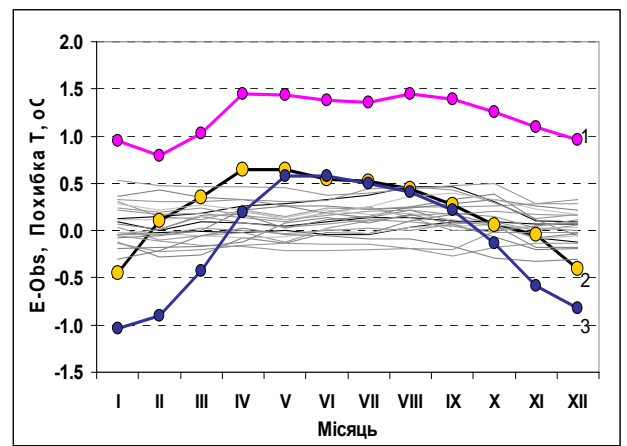
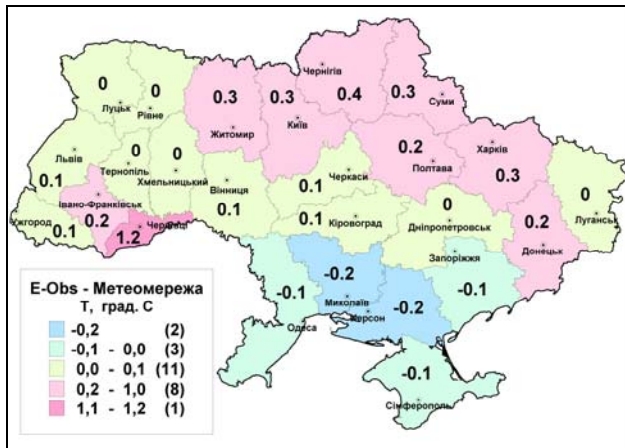
Характеристика	Метео-мережа	CRU	E-Obs
$n = 300$ (25 областей \times 12 місяців)			
Середня температура повітря T , °C			
Середня	7,8	8,0	7,9
Стандартне відхилення, σ	8,9	8,9	8,9
Найменша	-7,7	-7,7	-7,4
Найбільша	22,4	22,0	22,3
Довір. інтервал середнього, $P = 95\%$	$7,8 \pm 1,0$	$8,0 \pm 1,0$	$7,9 \pm 1,0$
Сер. квадрат. похибка середнього	0,5	0,5	0,5
Похибка стандарт. відхилення	0,4	0,4	0,4
Мінімум температури повітря T_{\min} , °C			
Середній	3,6	–	3,9
Стандартне відхилення, σ	7,9	–	7,9
Найменше	-11,0	–	-10,3
Найбільше	16,9	–	16,9
Довір. інтервал середнього, $P=95\%$	$3,6 \pm 0,9$	–	$3,9 \pm 0,9$
Сер. квадрат. похибка середнього	0,5	–	0,5
Похибка стандарт. відхилення	0,3	–	0,3
Максимум температури повітря T_{\max} , °C			
Середній	12,5	–	12,4
Стандартне відхилення, σ	9,9	–	10,0
Найменше	-4,5	–	-4,4
Найбільше	28,0	–	28,4
Довір. інтервал середнього, $P=95\%$	$12,5 \pm 1,1$	–	$12,4 \pm 1,1$
Сер. квадрат. похибка середнього	0,6	–	0,6
Похибка стандарт. відхилення	0,4	–	0,4
Кількість опадів, мм/міс			
Середня	49	48	47
Стандартне відхилення, σ	20,3	16,7	19,1
Коефіцієнт варіації	0,41	0,35	0,41
Найменша	24	24	23
Найбільша	129	106	126
Довір. інтервал середнього, $P=95\%$	$49 \pm 2,3$	$48 \pm 1,9$	$47 \pm 2,2$
Сер. квадрат. похибка середнього	1,2	1,0	1,1
Похибка стандарт. відхилення	0,8	0,7	0,8

Похибки для пар даних «E-Obs – Метеомережа» і «CRU – Метеомережа», по областях та щомісячні значення представлено на рис. 2-5; для даних E-Obs похибки подано розширено в табл. 3-6.

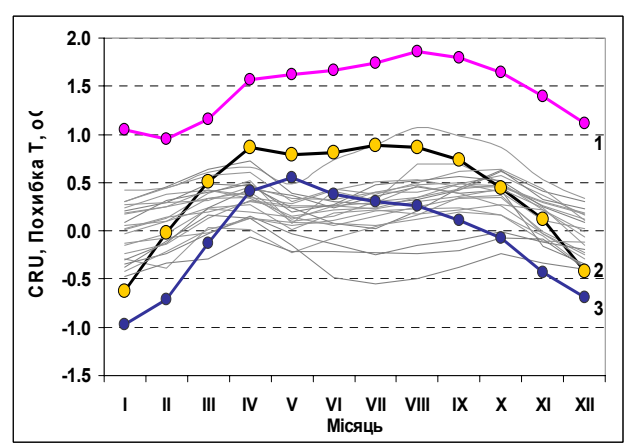
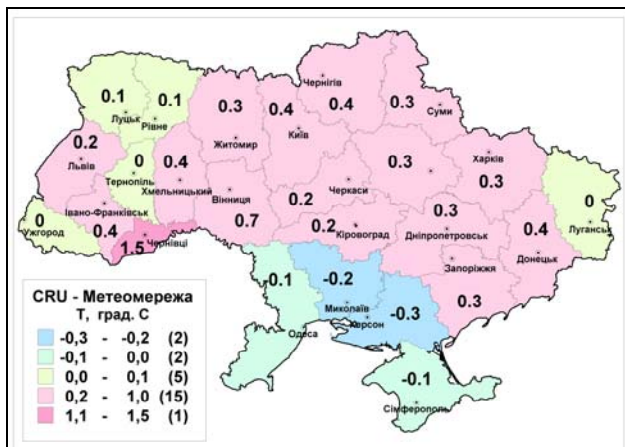
Похибки температури повітря по областях

Систематична похибка середньої температури повітря $\bar{\delta}T$ в ході порівняння даних «E-Obs – Метеомережа» по областях (рис. 2 а) в більшості випадків міститься в інтервалі від $-0,1$ до $0,1$ °С, тобто близька до значення 0 °С в 14 областях; у 2 областях півдня України $\bar{\delta}T = -0,2$ °С; в 9 областях, переважно північних, $\bar{\delta}T \geq 0,2$ °С.

$\bar{\delta} T$ (°C), E-Obs – Метеомережа



$\bar{\delta} T$ (°C), CRU – Метеомережа



а)

б)

Рис. 2. Систематичні похибки середньої температури повітря, $\bar{\delta} T$ °С за даними E-Obs та CRU відносно даних метеомережі: а) по областях України (цифрами в дужках подана кількість областей в градації); б) щомісячні значення; окремо виділено: 1 – Чернівецьку обл., 2 – Івано-Франківську обл. та 3 – АР Крим

Таблиця 3

Похибки даних E-Obs і CRU порівняно з даними метеомережі для середньої приземної температури повітря (T , °C/міс.) по областях України за період 1961-1990 рр.

Область або республіка	$\bar{\delta}$	$\bar{\delta}_{\min}$	$\bar{\delta}_{\max}$	δ	δ_{\min}	δ_{\max}	σ
Е-Obs – Метеомережа							
Кількість пар даних $n = 12$ місяців							
Вінницька	0,1	0,0	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1
Волинська	0,0	-0,1	0,1	0,0	0,0	0,1	0,1
Дніпропетровська	0,0	-0,1	0,2	0,1	0,0	0,2	0,1
Донецька	0,2	0,1	0,3	0,2	0,1	0,3	0,2
Житомирська	0,3	0,1	0,5	0,3	0,1	0,5	0,3
Закарпатська	0,1	-0,1	0,4	0,2	0,0	0,4	0,2
Запорізька	-0,1	-0,3	0,2	0,1	0,0	0,3	0,1
Івано-Франківська	0,2	-0,5	0,6	0,4	0,0	0,6	0,4
Київська	0,3	0,2	0,4	0,3	0,2	0,4	0,3
Кіровоградська	0,1	0,0	0,2	0,1	0,0	0,2	0,1
Луганська	0,0	-0,1	0,1	0,0	0,0	0,1	0,1
Львівська	0,1	-0,2	0,3	0,1	0,0	0,3	0,2
Миколаївська	-0,2	-0,3	-0,1	0,2	0,1	0,3	0,2
Одеська	-0,1	-0,2	0,1	0,1	0,0	0,2	0,2
Полтавська	0,2	0,1	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2
Рівненська	0,0	-0,2	0,2	0,1	0,1	0,2	0,1
Сумська	0,3	0,1	0,5	0,3	0,1	0,5	0,3
Тернопільська	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1
Харківська	0,3	0,1	0,4	0,3	0,1	0,4	0,3
Херсонська	-0,2	-0,3	0,0	0,2	0,0	0,3	0,2
Хмельницька	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0
Черкаська	0,1	0,0	0,2	0,1	0,0	0,2	0,1
Чернівецька	1,2	0,8	1,5	1,2	0,8	1,5	1,2
Чернігівська	0,4	0,3	0,5	0,4	0,3	0,5	0,4
АР Крим	-0,1	-1,0	0,6	0,5	0,1	1,0	0,6
Україна, $n = 300$ (25 областей \times 12 місяців)							
$n = 300$ (25 областей)	0,1	-1,0	1,5	0,2	0,0	1,5	0,3
$n = 264$ (22 області)*	0,1	-0,3	0,5	0,2	0,0	0,5	0,2
CRU – Метеомережа							
$n = 300$ (25 областей)	0,2	-1,0	1,9	0,4	0,0	1,9	0,5
$n = 264$ (22 області)*	0,2	-0,6	1,1	0,3	0,0	1,1	0,3

Примітка:* – Виключені Чернівецька, Івано-Франківська області та АР Крим

Таблиця 4

Похибки даних E-Obs порівняно з даними метеомережі для мінімальної (T_{\min} , °C/міс.) і максимальної (T_{\max} , °C/міс.) температури повітря по областях України за період 1961-1990 рр.

Область або республіка	T_{\min} , °C/міс.					T_{\max} , °C/міс.				
	$\bar{\delta}$	$\bar{\delta}_{\min}$	$\bar{\delta}_{\max}$	δ	σ	$\bar{\delta}$	$\bar{\delta}_{\min}$	$\bar{\delta}_{\max}$	δ	σ
E-Obs – Метеомережа										
Кількість пар даних $n = 12$ місяців										
Вінницька	0,2	0,0	0,3	0,2	0,2	0,0	-0,2	0,1	0,0	0,1
Волинська	0,0	-0,1	0,2	0,1	0,1	-0,1	-0,2	-0,1	0,1	0,1
Дніпропетровська	0,2	-0,1	0,6	0,3	0,3	-0,3	-0,5	-0,2	0,3	0,3
Донецька	0,3	0,1	0,4	0,3	0,4	0,0	-0,3	0,3	0,1	0,1
Житомирська	0,5	0,2	0,8	0,5	0,5	0,1	-0,1	0,3	0,2	0,2
Закарпатська	0,0	-0,2	0,2	0,1	0,1	-0,1	-0,2	0,1	0,1	0,1
Запорізька	0,2	-0,2	0,6	0,3	0,4	-0,6	-0,8	-0,2	0,6	0,6
Ів.- Франківська	0,1	-0,1	0,4	0,2	0,2	0,3	-0,8	0,9	0,6	0,7
Київська	0,6	0,4	0,7	0,6	0,6	0,1	0,0	0,3	0,2	0,2
Кіровоградська	0,3	0,1	0,4	0,3	0,3	0,1	0,0	0,3	0,1	0,2
Луганська	0,3	-0,1	0,6	0,3	0,4	-0,3	-0,4	-0,1	0,3	0,3
Львівська	0,2	0,0	0,4	0,2	0,2	-0,2	-0,4	0,0	0,2	0,2
Миколаївська	0,0	-0,2	0,1	0,1	0,1	-0,3	-0,4	-0,2	0,3	0,3
Одеська	0,2	0,0	0,3	0,2	0,2	-0,3	-0,5	-0,1	0,3	0,4
Полтавська	0,3	0,1	0,3	0,3	0,3	0,1	0,0	0,2	0,1	0,1
Рівненська	0,1	-0,2	0,4	0,2	0,2	-0,3	-0,5	-0,1	0,3	0,3
Сумська	0,6	0,3	0,7	0,6	0,6	0,1	-0,1	0,1	0,1	0,1
Тернопільська	0,0	-0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,0	0,2	0,1	0,1
Харківська	0,5	0,3	0,7	0,5	0,5	-0,1	-0,4	0,1	0,2	0,2
Херсонська	-0,4	-0,6	-0,2	0,4	0,4	0,2	-0,2	0,4	0,3	0,3
Хмельницька	0,1	0,0	0,3	0,1	0,2	-0,1	-0,2	0,0	0,1	0,1
Черкаська	0,3	0,1	0,5	0,3	0,3	0,1	0,0	0,2	0,1	0,1
Чернівецька	1,8	1,7	2,2	1,8	1,8	0,1	-0,9	0,9	0,6	0,7
Чернігівська	0,7	0,4	0,9	0,7	0,7	0,2	0,1	0,3	0,2	0,2
АР Крим	-0,1	-0,8	0,5	0,4	0,4	0,3	-0,8	1,2	0,7	0,8
Україна, $n = 300$ (25 областей \times 12 місяців)										
$n = 300$ (25 областей)	0,3	-0,8	2,2	0,3	0,5	0,0	-0,9	1,2	0,2	0,3
$n = 264$ (22 області)*	0,2	-0,6	0,9	0,3	0,4	-0,1	-0,8	0,4	0,2	0,2

Примітка:* – Виключені Чернівецька, Івано-Франківська області та АР Крим

Таблиця 5

Похибки даних E-Obs і CRU порівняно з даними метеомережі для середньої кількості опадів (мм/міс.) по областях України за 1961-1990 рр.

Область або республіка	$\bar{\delta}$	$\bar{\delta}_{\min}$	$\bar{\delta}_{\max}$	δ	σ	$f, \%$	$f_{\min}, \%$	$f_{\max}, \%$
E-Obs – Метеомережа								
Кількість пар даних $n = 12$ місяців								
Вінницька	-3,1	-7,8	-0,5	3,1	3,8	-5,5	-8,8	-1,5
Волинська	-3,2	-8,0	-0,9	3,2	3,7	-6,0	-10,4	-2,9
Дніпропетровська	-2,1	-5,8	0,6	2,3	3,0	-4,9	-12,3	2,1
Донецька	-1,8	-5,1	0,0	1,8	2,7	-4,0	-12,1	0,1
Житомирська	-3,2	-8,0	-0,4	3,2	3,9	-5,5	-9,9	-1,4
Закарпатська	2,4	-0,4	6,0	2,5	3,1	2,7	-0,6	5,3
Запорізька	-1,7	-6,7	0,4	1,8	2,7	-4,1	-12,8	1,3
Івано-Франківська	0,9	-6,9	7,3	4,4	4,9	4,8	-5,4	18,9
Київська	-1,2	-6,2	1,1	1,7	2,4	-1,5	-8,1	3,4
Кіровоградська	-2,7	-8,5	-0,5	2,7	3,7	-5,5	-12,1	-1,1
Луганська	-0,1	-3,9	3,4	1,7	2,2	-0,2	-9,1	7,3
Львівська	-3,2	-9,7	0,6	3,3	4,3	-4,2	-9,1	1,7
Миколаївська	-2,8	-9,8	-0,4	2,8	3,9	-6,3	-15,6	-1,2
Одеська	-2,0	-3,0	-0,8	2,0	2,1	-5,2	-7,8	-1,9
Полтавська	-6,4	-15,2	-2,2	6,4	7,5	-13,2	-20,6	-5,5
Рівненська	-3,1	-6,2	-0,6	3,1	3,7	-5,7	-10,5	-1,5
Сумська	-3,2	-7,8	-1,0	3,2	3,8	-5,8	-10,9	-3,0
Тернопільська	-1,7	-3,4	-0,3	1,7	2,0	-3,5	-6,7	-0,7
Харківська	-3,3	-8,5	0,9	3,5	4,4	-6,8	-16,7	1,9
Херсонська	-2,2	-4,5	-0,8	2,2	2,6	-6,1	-11,9	-2,5
Хмельницька	-3,1	-10,1	0,7	3,2	4,4	-4,7	-10,6	1,9
Черкаська	-4,4	-9,8	-1,5	4,4	5,1	-8,8	-12,9	-4,2
Чернівецька	-5,5	-20,2	3,4	6,8	9,3	-5,0	-16,8	10,5
Чернігівська	-3,3	-6,1	-1,7	3,3	3,7	-6,3	-9,3	-4,1
АР Крим	-8,4	-14,4	-4,6	8,4	8,9	-18,9	-25,2	-13,1
Україна, $n = 300$ (25 областей \times 12 місяців)								
$n = 300$ (25 областей)	-2,7	-20,2	7,3	3,3	4,5	-5,2	-25,2	18,9
$n = 264$ (22 області)*	-2,6	-10,1	3,4	2,7	3,5	-5,0	-16,7	7,3
CRU – Метеомережа								
$n = 300$ (25 областей)	-1,4	-32,0	8,5	3,3	6,0	-0,8	-34,7	20,5
$n = 264$ (22 області)*	0,1	-13,4	8,5	2,0	2,8	1,1	-14,0	20,5

Примітка: * – Виключені Чернівецька, Івано-Франківська, Закарпатська, Полтавська області та АР Крим

Таблиця 6

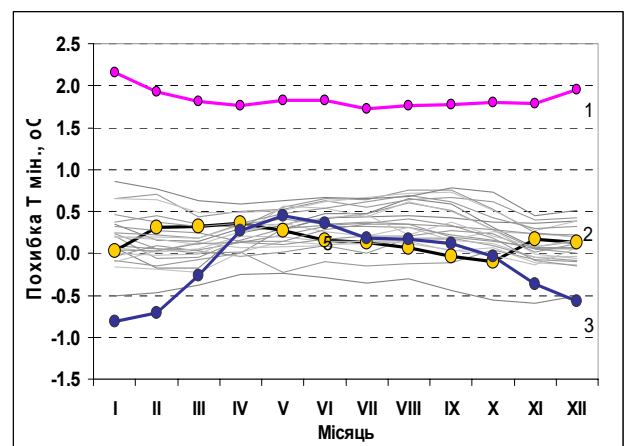
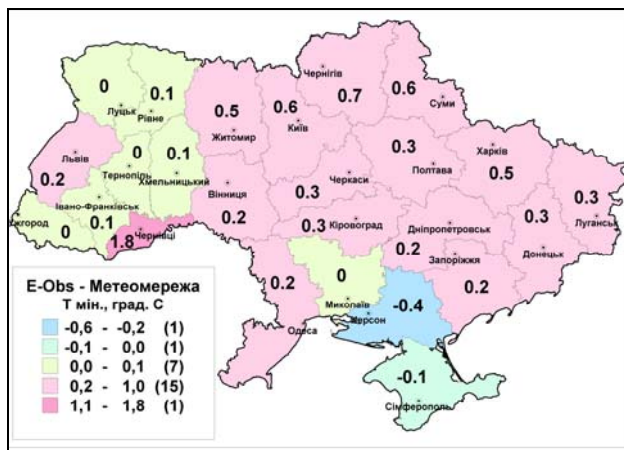
Щомісячні похибки E-Obs порівняно з даними метеомережі для температури повітря та кількості опадів по областях України за період 1961-1990 рр.

Характеристика	Місяць												
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Кількість пар даних $n = 25$ областей													
Середня температура повітря, T , °C/міс.													
$\bar{\delta}$	0,0	0,0	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,0	0,0	
$\bar{\delta}_{\min}$	-1,0	-0,9	-0,4	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,3	-0,3	-0,6	-0,8
$\bar{\delta}_{\max}$	0,9	0,8	1,0	1,4	1,4	1,4	1,4	1,5	1,4	1,3	1,1	1,0	
δ	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	
σ	0,4	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	
Мінімум температури повітря T_{\min} , °C/міс.													
$\bar{\delta}$	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,1	0,1	
$\bar{\delta}_{\min}$	-0,8	-0,7	-0,4	-0,2	-0,2	-0,3	-0,3	-0,3	-0,4	-0,6	-0,6	-0,6	
$\bar{\delta}_{\max}$	2,2	1,9	1,8	1,8	1,8	1,8	1,7	1,8	1,8	1,8	1,8	1,9	
δ	0,4	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	
σ	0,6	0,5	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,6	0,5	0,5	0,4	0,5	
Максимум температури повітря T_{\max} , °C/міс.													
$\bar{\delta}$	-0,1	-0,1	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	-0,1	-0,1	-0,1	
$\bar{\delta}_{\min}$	-0,8	-0,9	-0,8	-0,7	-0,8	-0,6	-0,7	-0,6	-0,6	-0,6	-0,4	-0,8	
$\bar{\delta}_{\max}$	0,3	0,3	0,5	0,9	1,1	1,2	1,2	1,1	0,7	0,2	0,2	0,3	
δ	0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	
σ	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,2	0,2	0,3	
Кількість опадів, мм/міс													
$\bar{\delta}$	-0,6	-0,7	-1,3	-2,1	-3,9	-6,3	-6,3	-5,2	-2,7	-1,6	-1,2	-0,9	
$\bar{\delta}_{\min}$	-12,1	-7,7	-5,2	-5,0	-11,8	-15,3	-20,2	-13,5	-7,2	-5,0	-9,3	-14,4	
$\bar{\delta}_{\max}$	6,5	3,8	3,4	3,4	2,9	5,6	6,0	3,9	0,9	3,7	7,2	7,3	
δ	1,7	1,5	1,7	2,4	4,1	6,8	6,8	5,5	2,8	2,0	2,2	2,2	
δ_{\min}	0,3	0,2	0,1	0,5	1,2	0,2	0,7	2,1	0,3	0,2	0,0	0,0	
δ_{\max}	12,1	7,7	5,2	5,0	11,8	15,3	20,2	13,5	7,2	5,0	9,3	14,4	
σ	3,0	2,1	2,1	2,8	4,7	7,5	7,9	6,1	3,3	2,3	3,0	3,7	
f	-1,2	-1,9	-4,3	-5,1	-7,4	-8,7	-8,6	-9,7	-6,2	-5,0	-2,9	-1,6	
f_{\min}	-25,2	-19,3	-14,6	-13,2	-17,3	-20,4	-21,2	-23,2	-17,7	-15,8	-20,2	-23,7	
f_{\max}	18,9	10,1	7,9	5,1	3,0	4,7	5,3	4,0	1,2	8,2	16,2	16,2	

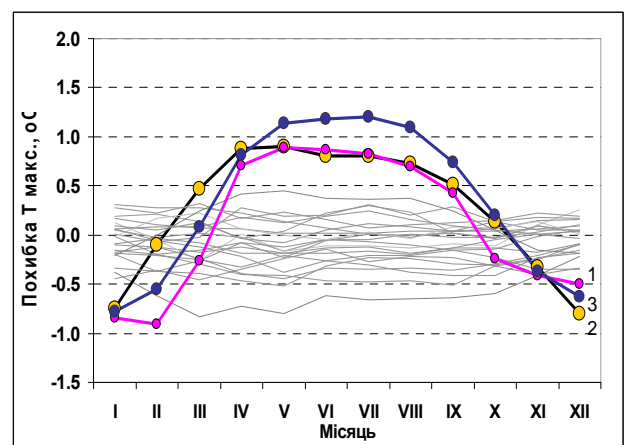
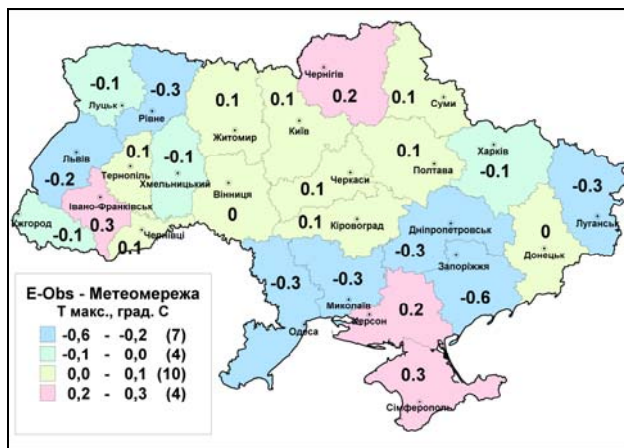
Відмінності в даних «CRU – Метеомережа» більші, ніж для рядів «E-Obs – Метеомережа». За аналогічних градацій систематичної помилки, $\bar{\delta}T$ знаходиться в інтервалі від $-0,1$ до $0,1$ °C тільки в 7 областях; для таких самих двох областей півдня України (Миколаївської та Херсонської) $\bar{\delta}T \leq -0,2$ °C; у 16 областях $\bar{\delta}T \geq 0,2$ °C.

Імовірна причина великих помилок для Чернівецької обл., ($\bar{\delta}T = 1,2$ °C за даними E-Obs і $\bar{\delta}T = 1,5$ °C за даними CRU) в тім, що тут рідка метеомережа в гірському рельєфі, і кліматичні умови в області визначаються за даними лише двох станцій, які до того ж розташовані на значно різних висотах – 242 м і 762 м (табл. 1).

$\bar{\delta} T_{\min}$ (°C), E-Obs – Метеомережа



$\bar{\delta} T_{\max}$ (°C), E-Obs – Метеомережа



a)

б)

Рис. 3. Систематичні похибки мінімуму $\bar{\delta} T_{\min}$ °C і максимуму $\bar{\delta} T_{\max}$ °C температури повітря за даними E-Obs відносно даних метеомережі. Умовні позначення див. рис. 2

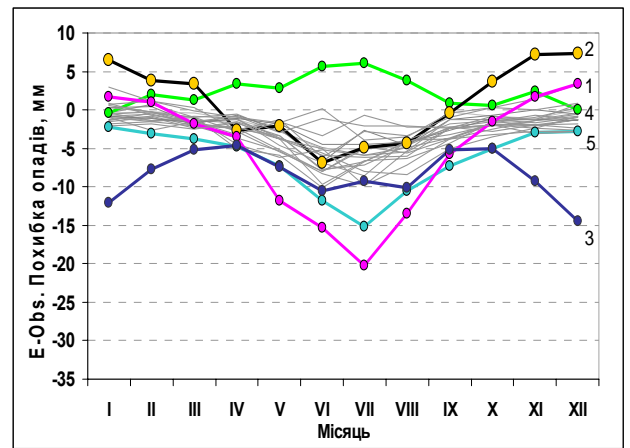
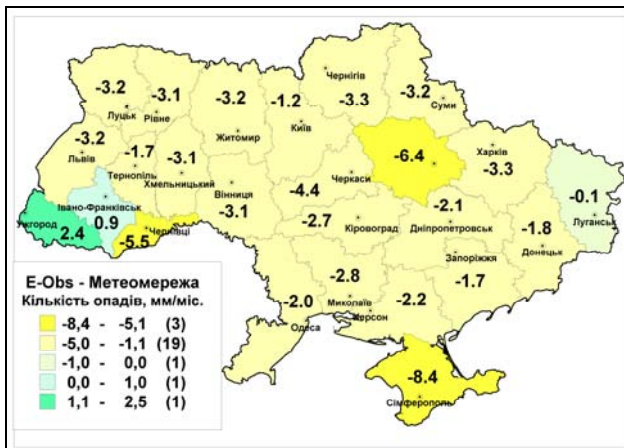
Отже, можна відзначити подібність у тенденціях даних E-Obs і CRU щодо завищення значень температури повітря північних областей України, і, навпаки, заниження значень T в південних областях. Як наслідок інтерполяції, дані баз згладжують контрасти по території для значень середньої місячної температури. Аналогічну тенденцію можна помітити щодо екстремальних температур повітря, порівнюючи дані «E-Obs – Метеомережа» (рис. 3 а). У розрахунках мінімуму температури повітря в 23 областях систематичні похибки $\bar{\delta}T_{\min.} \geq 0$, тобто переважає завищення температури. У розрахунках максимуму температури повітря в 11 областях систематична похибка $\bar{\delta}T_{\max.} < 0^\circ\text{C}$ (навпаки, заниження), і в 10 областях величина $\bar{\delta}T_{\max.}$ близька до 0 значення, знаходиться в інтервалі від 0 до $0,1^\circ\text{C}$.

Щомісячні систематичні похибки середньої температури повітря (рис. 2 б) для пари даних «E-Obs – Метеомережа» в більшості областей змінюються від $-0,3$ до $0,5^\circ\text{C}$; для екстремальних $\bar{\delta}T_{\min}$ і $\bar{\delta}T_{\max}$ (рис. 3 б) діапазон ширший, від $-0,3$ до $0,8^\circ\text{C}$ і від $-0,5$ до $0,5^\circ\text{C}$ відповідно. Для даних CRU величина таких помилок ще більша, в окремі місяці відмінність с даними метеомережі може досягати $1,0^\circ\text{C}$. Проте річний хід систематичної помилки температур в більшості областей чітко встановити неможливо. Різко відрізняються в цьому значення для трьох регіонів з гірською місцевістю – Чернівецька, Івано-Франківська області та АР Крим, – для яких або похибка однієї з температур має річний хід, або за величиною значно більша, ніж в інших областях.

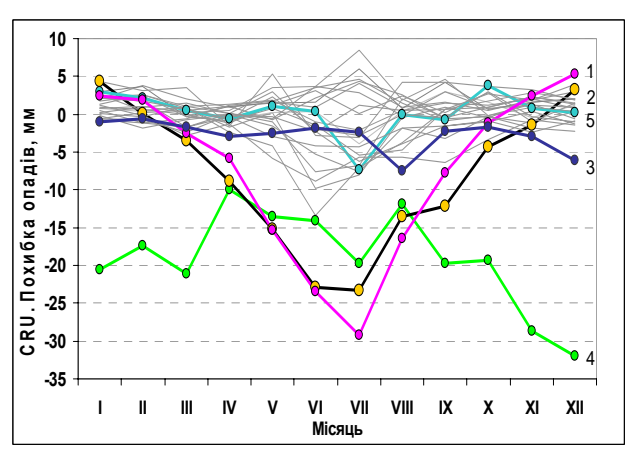
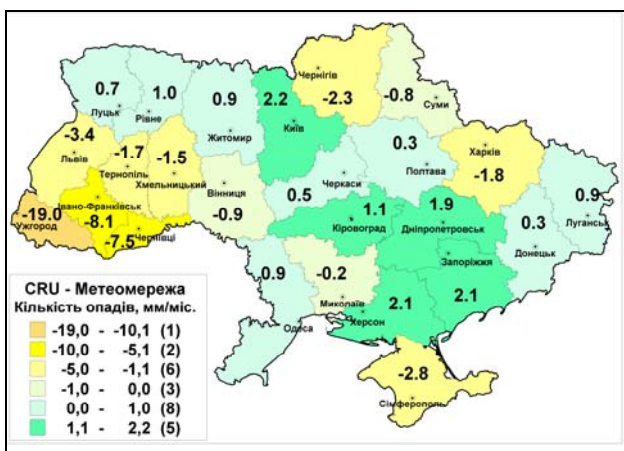
Похибки кількості опадів по областях

Для території України в цілому E-Obs занижує значення для кількості опадів, в 23 регіонах систематичні (відносні) похибки кількості опадів від'ємні (рис. 4-5). Винятково велике розходження між даними E-Obs і фактичною кількістю опадів у бік їх зменшення в двох регіонах: у АР Крим, де $\bar{\delta} = -8,4$ мм/міс, $f = -19\%$, і в Полтавській області ($-6,4$ мм/міс, -13%). У цих двох регіонах протягом всього року за даними E-Obs щомісяця кількість опадів менша від тієї, що реально спостерігалася. Навпаки, у Закарпатській ($2,4$ мм/міс, 3%) та Івано-Франківській ($0,9$ мм/міс, 5%) областях щомісяця кількість опадів E-Obs більша за дані метеомережі. Мінімальна відмінність даних E-Obs з усередненим полем кількості опадів Луганської обл.: $\bar{\delta} = -0,1$ мм/міс, $f = 0\%$, що також підтверджено в [3, 4].

$\bar{\delta}$ (мм/міс.), E-Obs – Метеомережа



$\bar{\delta}$ (мм/міс.), CRU – Метеомережа



а)

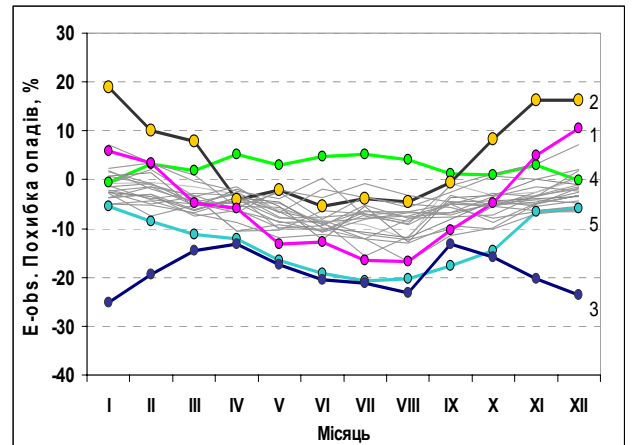
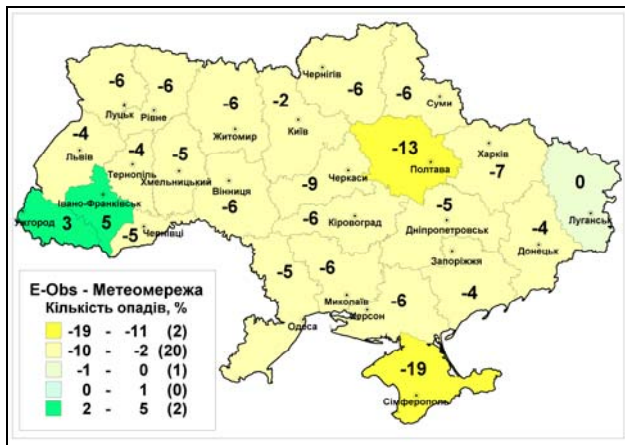
б)

Рис. 4. Систематичні похибки кількості опадів $\bar{\delta}$ (мм/міс.) за даними E-Obs та CRU відносно даних метеомережі: а) по областях України (цифрами в дужках подана кількість областей у градації); б) щомісячні значення; окремо виділено: 1 – Чернівецьку обл., 2 – Івано-Франківську обл., 3 – АР Крим, 4 – Закарпатську обл., 5 – Полтавську обл.

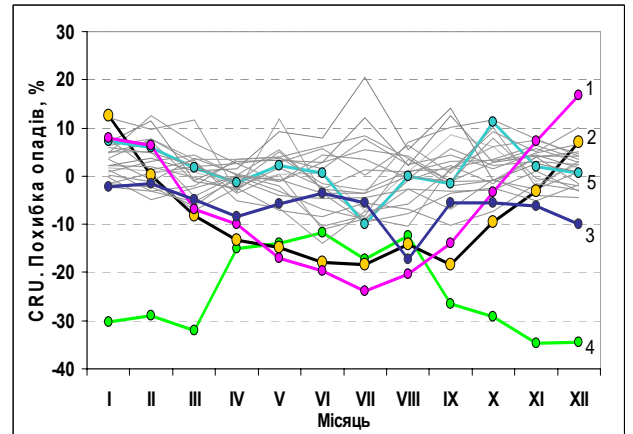
Річний хід похибки кількості опадів $\bar{\delta}$ для даних «E-Obs – Метеомережа» (рис. 4 б) подібний до температури повітря, у більшості областей майже не виражено. Діапазон змін $\bar{\delta}$ від 0 до -10 мм/міс, відносної похибки f – від 0 до -10 %. Краще репрезентовано опади холодного періоду року (табл. 6). Опади теплого періоду занижуються. Ця особливість річного ходу середньої систематичної помилки кількості опадів найбільш виражена для Чернівецької та Полтавської області, для яких у липні $\bar{\delta}$ дорівнює -20,2 мм/міс (17 %) і -15,2 мм/міс (21 %) відповідно.

Дані CRU для поля опадів істотно відрізняються від E-Obs, що видно з рис. 4-5, для зображення яких використано однакові градації помилок. На відміну від E-Obs, CRU завищує кількість опадів у 14 областях; менша однорідність спостерігається у величині помилок по областях і в річному ході.

f (%), E-Obs – Метеомережа



f (%), CRU – Метеомережа



а)

б)

Рис. 5. Відносні похибки кількості опадів f (%) за даними E-Obs та CRU порівняно с даними метеомережі. Умовні позначення див. рис. 4

Обидва набори даних не відображають фактичний річний хід кількості опадів у межах Карпатського гірського масиву (Чернівецька, Івано-Франківська, Закарпатська області).

У табл. 3-5 подано похибки кожної кліматичної характеристики для території України в цілому, які обчислено в двох варіантах: з рядів, створених із даних усіх 25 регіонів, та з вилученням даних областей із найбільшими помилками. Тому дані з рядом меншої довжини точніше

характеризують похибки E-Obs і CRU в більшій частині території України.

Висновки

Проведено тестування даних E-Obs і CRU для території України в цілому та по окремих адміністративних областях за даними спостережень з Кліматичного кадастру України для періоду 1961-1990 рр. Проаналізовано щомісячні похибки середніх багаторічних даних приземної температури повітря (середньої, мінімальної, максимальної) та кількості опадів.

Загалом дані E-Obs мають переваги порівняно з даними CRU через те, що мають менші помилки та однаковий з чисельними моделями крок розрахункової сітки.

У базі E-Obs щодо даних спостережень ККУ є завищеною температура повітря та менша кількість опадів. Для території України в цілому, з урахуванням 25 регіонів ($n = 300$), середня систематична помилка для приземної температури повітря становить $\bar{\delta} T \pm \sigma = 0,1 \pm 0,3$ °C (від -1,0 до 1,5 °C); помилки екстремальних температур дорівнюють $\bar{\delta} T_{\min} \pm \sigma = 0,3 \pm 0,5$ °C (від -0,8 до 2,2 °C) і $\bar{\delta} T_{\max} \pm \sigma = 0,0 \pm 0,3$ °C (від -0,9 до 1,2 °C). Для кількості опадів систематична помилка становить $\bar{\delta} = -2,7 \pm 4,5$ мм/міс (5 %), тобто від -20,2 мм/міс (-25 %) до 7,3 мм/міс (19 %).

Щомісячні систематичні похибки даних E-Obs у розрахунках температури повітря та кількості опадів не мають вираженого річного ходу для більшості областей. Величини $\bar{\delta} T$ знаходяться в межах інтервалу від -0,3 до 0,5 °C; для $\bar{\delta} T_{\min}$ і $\bar{\delta} T_{\max}$ діапазон змін від -0,3 до 0,8 °C і від -0,5 до 0,5 °C відповідно. Для кількості опадів значення $\bar{\delta}$ змінюються від 0 до -10 мм/міс., відносної похибки f – від 0 до -10 %.

Визначено регіони, однакові для E-Obs і CRU, з найбільшими розходженнями з даними метеомережі за величиною кліматичних характеристик або щомісячними їх значеннями в річному ході. Для температури повітря та кількості опадів – Чернівецька, Івано-Франківська області та АР Крим. За кількістю опадів також помітно відрізняються Закарпатська й Полтавська області.

За вилучення з розрахунків вказаних областей з найбільшими помилками (3 області для температури повітря (тоді $n = 264$) і 5 областей для кількості опадів (тоді $n = 240$)) за даними E-Obs для України в цілому

середня систематична помилка приземної температури повітря становить $\bar{\delta} T \pm \sigma = 0,1 \pm 0,2$ °C (від -0,3 до 0,5 °C); помилки середньої мінімальної та максимальної температури дорівнюють $\bar{\delta} T_{\min} \pm \sigma = 0,2 \pm 0,4$ °C (від -0,6 до 0,9 °C) і $\bar{\delta} T_{\max} \pm \sigma = -0,1 \pm 0,2$ °C (від -0,8 до 0,4 °C). Для кількості опадів – $\bar{\delta} = -2,6 \pm 3,5$ мм/міс (5 %) (від -10,1 мм/міс (-17 %) до 3,4 мм/міс (7 %)).

Високі значення коефіцієнтів кореляції для температури повітря (0,999) і для кількості опадів (0,985), розрахованих для території України в цілому ($n = 300$) за рядами «E-Obs – Метеомережа» є показником того, що даними E-Obs вірно відображено зміни середніх місячних кліматичних характеристик по областях і в річному ході. Проте величина помилок E-Obs різна в межах території України.

Підтверджено можливість використання даних E-Obs як стандартну кліматичну норму в оцінках сучасних і майбутніх змін клімату в Україні та для інших прикладних цілей з урахуванням систематичних похибок в окремих регіонах.

Автори висловлюють подяку за використання даних розробникам Європейської бази E-Obs проекту ESA&D [6-9, 11].

* *

1. Кліматичний Кадастр України (електронна версія). Державна гідрометеорологічна служба, УкрНДГМІ, Центральна Геофізична Обсерваторія – К., 2006.
2. Краковська С.В., Паламарчук Л.В., Шедєменко І.П., Дюкель Г.О., Гнатюк Н.В. Верифікація даних світового кліматичного центру (CRU) та регіональної моделі клімату (REMO) щодо прогнозу приземної температури повітря за контрольний період 1961-90 рр. // Наук. пр. УкрНДГМІ. – № 257, 2008. – С. 42-60.
3. Краковська С.В. Чисельні проєкції кліматичних змін в Луганській області до 2050 р. // Наук. пр. УкрНДГМІ. . – № 261, 2011. – С. 37-55.
4. Краковська С.В. Сучасні зміни клімату Луганської області // Геоінформатика. – № 3 (43), 2012. – С. 57-68.
5. Паламарчук Л.В., Краковська С.В., Шедєменко І.П., Дюкель Г.О., Гнатюк Н.В. Верифікація даних світового кліматичного центру (CRU) та регіональної моделі клімату (REMO) щодо прогнозу поля опадів в Україні за контрольний період 1961-1990 рр. // Наук. пр. УкрНДГМІ. – №258, 2009. – С. 69-83.
6. Haylock M.R., Hofstra N., Klein Tank A.M.G., Klok E.J., Jones P.D., New M. A European daily high-resolution gridded data set of surface temperature and

- precipitation for 1950–2006 // J. Geophys. Res (Atmospheres), 113, D20119, doi:10.1029/2008JD10201. – 2008. – 12 p.
7. Hofstra N., Haylock M.R., New M., Jones P.D.. Testing E-OBS European high-resolution gridded data set of daily precipitation and surface temperature // J. Geophys. Res (Atmospheres), 114, D21101, doi:10.1029/2009JD011799. – 2009. – 16 p.
 8. Hofstra N., Haylock M., New M., Jones P and Frei C. Comparison of six methods for the interpolation of daily, European climate data // J. Geophys. Res (Atmospheres), 113, D21110, doi:10.1029/2008JD010100. – 2008. – 19 p.
 9. Klok E.J., Klein Tank A.M.G. Updated and extended European dataset of daily climate observations // Int. J. Climatol., 29, 1182, [10.1002/joc.1779](https://doi.org/10.1002/joc.1779). – 2009. – 10 p.
 10. Mitchell T.D., Carter T.R., Jones P.D. et al. A comprehensive set of high-resolution grids of monthly climate for Europe and the globe: The observed record (1901–2000) and 16 scenarios (2001-2100) // Tyndall Centre Working Paper No.55, Tyndall Centre for Climate Change Research, University of East Anglia, Norwich, UK, 2004.
 11. <http://eca.knmi.nl>
 12. <http://ensembles-eu.metoffice.com>

*Український науково-дослідний
гідрометеорологічний інститут, Київ
Інститут проблем безпеки атомних електростанцій НАН України*

И.П. Шедеменко, С.В. Краковская, Н.В. Гнатюк

Верификация данных приземной температуры и количества осадков Европейской базы E-OBS в административных областях Украины

Проведена верифікація і аналіз ежесемесячних помилок даних Європейської бази E-Obs для основних кліматических характеристик (многочетних середніх, мінімальних і максимальних приземних температур воздуха и количества осадков) в административних областях и для всей территории Украины за стандартный климатический период 1961-1990 гг. Данные базы E-Obs сравнивались как с данными сети метеостанций, так и с данными Всемирного климатического центра CRU. В целом набор данных E-Obs отображает пространственно-временные изменения полей температуры и

количества осадков в Украине лучше, чем CRU, и пригоден для использования в оценках современных и будущих изменений климата страны и для решения других прикладных задач.

Ключевые слова: Европейская база данных E-Obs, Всемирный климатический центр CRU, верификация данных для территории Украины.

I.P. Shedemenko, S.V. Krakovska, N.V. Gnatiuk

Verification of surface temperature and precipitation from European gridded data set E-OBS for administrative regions in Ukraine

The verification and analysis of the European gridded data set E-Obs monthly errors have been carried out for the main climatic characteristics (multi-year mean, minimum and maximum surface temperature and precipitation) for all administrative regions and the whole territory of Ukraine in the standard climatic period 1961 – 1990. Data of the E-Obs data set were compared with data of weather station network and with data of the Climate Research Unit CRU. In general, the E-Obs data set represents the spatial and temporal peculiarities of the surface temperature and precipitation fields in Ukraine better than CRU and suitable for assessments of current and future climate changes in the country and for other applications.

Keywords: European gridded data set E-Obs, Climate Research Unit CRU, data verification for the territory of Ukraine.