

УДК 551.582

СУЧАСНА ДИНАМІКА ПОКАЗНИКІВ ОСНОВНИХ КЛІМАТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК НА СТАНЦІЯХ ПІВНІЧНО-ЗАХІДНОГО ПРИЧОРНОМОР'Я

Е. М. Серга, В. М. Хохлов, Л. В. Недострелова

Одеський державний екологічний університет,
вул. Львівська, 15, 65016, Одеса, Україна,
Serga_ed@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0001-6470-8540>

Метою дослідження є визначення статистичних оцінок розподілів середньомісячних та річних температур і місячних та річних сум опадів, як основних кліматичних характеристик, для Північно-Західного Причорномор'я в епоху інтенсифікації кліматичних змін. Проаналізовані параметри нормального розподілу для температури та дво- і трипараметричного гамма-розподілу для опадів, а також трендові характеристики. Для визначення відхилення значень від попереднього кліматичного періоду використовувались дані Кліматичного кадастру України (1961–1990 роки).

Результати статистичного аналізу показують, що протягом періоду 2000–2018 років спостерігається стала тенденція до зростання річних температур повітря на усіх розглянутих станціях. У часовому ході цих характеристик простежується чіткий поділ на два періоди з точкою переходу у 2007 році. Середні за період місячні температури повітря у цілому перевищують аналогічні значення за 1961–1990 роки; особливо явно це простежується для літніх місяців.

Часові розподіли місячних сум опадів не мають однорідності у просторі. Визначено, що в Одесі, на відміну від інших станцій, де максимальна кількість опадів припадає на літні місяці, максимуми спостерігаються у січні, липні й вересні. Крім того, на станції Одеса суми опадів у більшості місяців перевищують аналогічні значення за 1961–1990 роки. Річні суми опадів протягом 2000–2018 років мають низку закономірностей і відмінностей, серед яких загальною рисою є наявність максимальних значень у 2010 р. Відповідно до загальноперіодних трендових характеристик визначено, що тільки на найпівденнішій станції (Ізмаїл) існує тенденція до збільшення річної кількості опадів, яка добре простежується, починаючи з 2009 р., але їхні середньостатистичні значення (так само, як і на станціях Любашівка та Миколаїв) менші за наведені у Кліматичному кадастрі України. Навпаки, на станціях, розташованих на узбережжі (Одеса, Очаків), спостерігається перевищення аналогічних значень.

Грунтуючись на зробленому аналізі, можна зробити висновок про те, що усі сталі тенденції до змін значень розглянутих кліматичних характеристик пов'язані з можливими змінами циркуляційних процесів в атмосфері над розглянутою територією.

Ключові слова: середньомісячна температура, річна температура, місячна сума опадів, річна сума опадів, гамма-розподіл, ексцес, асиметрія.

1. ВСТУП

В останні десятиріччя минулого століття проблема зміни глобального клімату у бік його потепління привернула увагу на необхідність розуміння клімату Землі як головної частини глобальної системи взаємодіючих процесів з включенням усіх основних компонентів системи Земля. Проте, треба відзначити, що перші ознаки зміни глобальної температури в ХХ-му сторіччі спостерігалися ще у 1910–1940 роках з найбільшим проявом у Арктиці [1]. Крім того, якщо період, починаючи з 1980-х років, головним чинником підвищення температури має додатковий парниковий ефект, створений антропогенними емісіями парникових газів, то жодна гіпотеза причин потепління на початку ХХ-го сторіччя

(сонячна радіація, довгоперіодні коливання у системі атмосфера-океан тощо) не є загальновищезаною.

Незважаючи на деякі відмінності у визначенні змін клімату у документах Міжурядової групи експертів з питань змін клімату та Рамочної конвенції ООН зі змін клімату, де у перших під цим поняттям розуміють будь які істотні варіації середнього стану (або його мінливості) природного або антропогенного походження, а у других тільки антропогенного, в обох випадках під мінливістю клімату розуміють варіації середнього стану й інших статистичних характеристик клімату, а саме середні значення, дисперсія, екстремальні значення, кількість екстремальних подій тощо.

В останні роки велика увага приділяється дослідженню локальних (регіональних) кліматів, в першу чергу тому, що за загальної зміни основних кліматичних характеристик (індикаторів) (наприклад, підвищенні температури повітря, зміни кількості опадів) тенденції цих змін є неоднозначними, особливо по різних регіонах [2]. Це є наслідком відмінностей у неоднорідностях проявів впливу кліматоутворюючих факторів, як внутрішніх так й зовнішніх, а також у просторових розподілах підстильної поверхні та концентрацій газових сумішей в атмосфері [3–6].

Зазначені неоднозначності регіональних кліматичних змін потребують постійного контролю, уточнення та аналізування для подальшого вивчення й прогнозування наслідків їхнього можливого впливу на життєдіяльність людей та навколишнє середовище. Як матеріал дослідження, у більшості випадків, використовуються стандартні статистичні показники мінливості клімату, які відрізняються від глобальних кліматичних меншими часовими масштабами.

Серед основних індикаторів кліматичних змін частіше розглядають статистичний опис коливань температури та опадів, які є найважливішими компонентами клімату [7]. Мінливість цих характеристик є унікальною для різних регіонів Земної кулі і пояснюється, головним чином, особливостями взаємодій в системі атмосфера-підстильна поверхня [8, 9], а у теперішній час перевищення нею історичного діапазону є все частішим [10, 11]. Крім того, не зважаючи на те, що зв'язок змін глобальної температури з іншими кліматичними величинами [12] і змінами кількості та інтенсивності екстремальних кліматичних явищ [13–15] є одночасним, поки ще не є зрозумілим, яка частина їх припадає на вимушену, а яка на внутрішню мінливість клімату [16, 17]. Також треба враховувати можливі варіації процесів внутрішньої кліматичної мінливості на менших просторових та часових масштабах під впливом змін глобальної температури [18, 19].

Вирішення таких завдань потребує вдосконалення статистичних оцінок розподілів регіональних кліматичних індикаторів з метою встановлення знаків трендових складових, визначення особливостей кількісних показників на часовому та просторовому масштабах. *Метою цього дослідження* є визначення статистичних оцінок розподілів середньомісячних та річних температур і місячних та річних сум опадів для деяких метеорологічних станцій півдня України.

2. ВИХІДНІ ДАНІ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ

Для визначення реакції регіональних кліматів України на фактори, які визначають глобальне потепління, були обрані 5 метеорологічних станцій у двох південних її областях: Одеській (Ізмаїл, Любашівка, Одеса) та Миколаївській (Миколаїв, Очаків), які відбивають основні особливості часових розподілів метеорологічних величин на узбережжі та певній відстані від моря. Як досліджувані кліматичні характеристики використовувалися дані середніх місячних значень температури повітря і місячних сум опадів за 19-річний період, з 2000 по 2018 роки. Порівняльний аналіз здійснювався з аналогічними даними Кліматичного кадастру України за 1961–1990 роки (далі – Кадастр).

При дослідженні розподілу середніх місячних температур повітря і кількості опадів у вибраному регіоні за період з 2000 по 2018 рр. використовувалися стандартні статистичні методи обробки гідрометеорологічної і кліматичної інформації [20–24]. Виходячи з досвіду застосування показників розподілу кліматичних характеристик (температури повітря, опадів), були взяті за основу параметри розподілів нормального (для температури) і гамма (для опадів) [25–30].

Для нормального розподілу:

$$- \text{середнє вибіркоче } \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i ;$$

- дисперсія і середньоквадратичне (стандартне) відхилення

$$D_x = S_x^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 ,$$

$$\sigma_x = S_x = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} ;$$

$$- \text{асиметрія } As = \frac{m_3}{\sigma_x^3}, m_3 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3 ;$$

$$- \text{ексцес } Ex = \frac{m_4}{\sigma_x^4} - 3, \text{ де } m_4 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^4 .$$

Гамма-розподіл є узагальненням експоненціального розподілу і являє собою сімейство розподілів, яке залежить від значень параметрів (експоненціальне, Ерланга, χ^2 тощо). Його застосовують, якщо змінна є додатною і необмеженою за величиною. Серед параметрів, які визначають вид гамма-розподілу, найчастіше використовують λ – параметр форми і α – параметр масштабу, але для найбільш точної оцінки розраховують ще й третій параметр c – зсув.

Треба відзначити, що згідно з центральною

граничною теоремою теорії ймовірностей при великих значеннях λ (параметра форми) гамма-розподіл може бути наближений нормальним законом розподілу. Вирази для розрахунку основних параметрів та характеристик розподілу, які визначені методом моментів, мають такий вигляд.

1. Вибіркові:

$$- \text{середнє значення } \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i ;$$

- дисперсія і середньоквадратичне (стандартне) відхилення

$$D_x = S_x^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 ,$$

$$\sigma_x = S_x = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} .$$

2. У разі використання трьох параметрів:

$$- \text{параметр форми } \lambda = 4 \frac{S_x^6}{m_3^2}, m_3 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3 ;$$

$$- \text{параметр масштабу } \alpha = \frac{1}{2} \frac{m_3}{S_x^2} ;$$

$$- \text{зсув } c = \bar{x} - \lambda \alpha ;$$

- математичне сподівання (середнє значення) $M(x) = \lambda \alpha + c ;$

$$- \text{асиметрія } As_g = \frac{2}{\sqrt{\lambda}} ;$$

$$- \text{ексцес } Ex_g = \frac{6}{\lambda} .$$

3. У разі використання двох параметрів:

$$- \text{параметр форми } \lambda = \frac{(\bar{x})^2}{S_x^2} ;$$

$$- \text{параметр масштабу } \alpha = \frac{S_x^2}{\bar{x}} ;$$

$$- \text{середнє значення } \bar{x}_g = \lambda \alpha ;$$

$$- \text{дисперсія } D_g = S_g^2 = \lambda \alpha^2 ;$$

$$- \text{мода } Mo = (\lambda - 1) \alpha ,$$

а асиметрія і ексцес визначаються, так само, як і у разі використання трьох параметрів.

3. АНАЛІЗ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

Температура повітря. Як було зазначено вище, вхідні дані про температуру повітря представлені середніми місячними значеннями за період з 2000 по 2018 роки, тобто первинна вибірка складала 228 значень. З них додатково були отримані середня річна температура повітря в

період з 2000 по 2018 років і середня місячна багаторічна температура повітря за цей період. Ці ряди й були досліджені та проаналізовані.

Відомо [7], що річна і середня місячна температури повітря, які є одними з основних кліматичних характеристик, формуються під впливом певних зовнішніх і внутрішніх природних кліматоутворюючих чинників, наприклад, сонячної радіації, циркуляції атмосфери, характеру підстильної поверхні, потоків прихованого тепла тощо. Великий вплив має також й антропогенний фактор. Треба також пам'ятати, що середня місячна температура має чітко виражений сезонний хід.

Зміни річної температури повітря в період з 2000 по 2018 рр. для п'яти обраних станцій наведені на рис. 1. На цих рисунках для порівняння наведені також і дані Кадастру: річна температура повітря (\bar{t}_K) та середнє квадратичне відхилення (σ_K).

Як можна побачити, протягом досліджуваного періоду спостерігалася стала тенденція до зростання річних температур повітря на усіх станціях, що підтверджується видом поліноміального тренда другого степеня. Відзначимо, що використання лінії зазначеного тренда зумовлено тим, що вона найкращим чином описує тенденції змін величини, що аналізуються, але використовувати цю криву для апроксимації і згладжування ряду не можна через низьку достовірність коефіцієнта детермінації R^2 .

Також видно, що максимальна температура спостерігалася у 2007 році (Ізмаїл – 12,9 °С, Любашівка – 10,9 °С, Одеса – 12,5 °С, Миколаїв – 12,2 °С, Очаків – 12,1 °С), а мінімальна – у 2003 році (Ізмаїл – 10,7 °С, Любашівка – 8,6 °С, Одеса – 10,1 °С, Миколаїв – 9,7 °С, Очаків – 9,8 °С).

Візуально обраний період можна розділити на дві частини: з 2000 по 2006 рр. і з 2007 р по 2018 рр. У першій частині періоду максимальні температури перебували в межах середнього значення, а в другій частині значно перевищували його. Ще однією особливістю є те, що розташування пікових значень температури в другій частині практично не виходило за інтервал $\bar{t} + \sigma$ (за винятком максимуму у 2007 році). Що стосується мінімальних значень, то вони у першій частині не виходили за межі інтервалу 2σ (за винятком мінімуму у 2003 році). Порівнюючи з аналогічними даними Кадастру, можна зробити висновок про абсолютну неоднорідність двох вибірок як за середнім значенням, так і за інтервалами розташування варіацій значень, з переважанням у бік значного зростання температури в аналізованому періоді.

* Треба відзначити, що при від'ємному m_3 (третьому моменті) величина не підлягає гамма-розподілу.

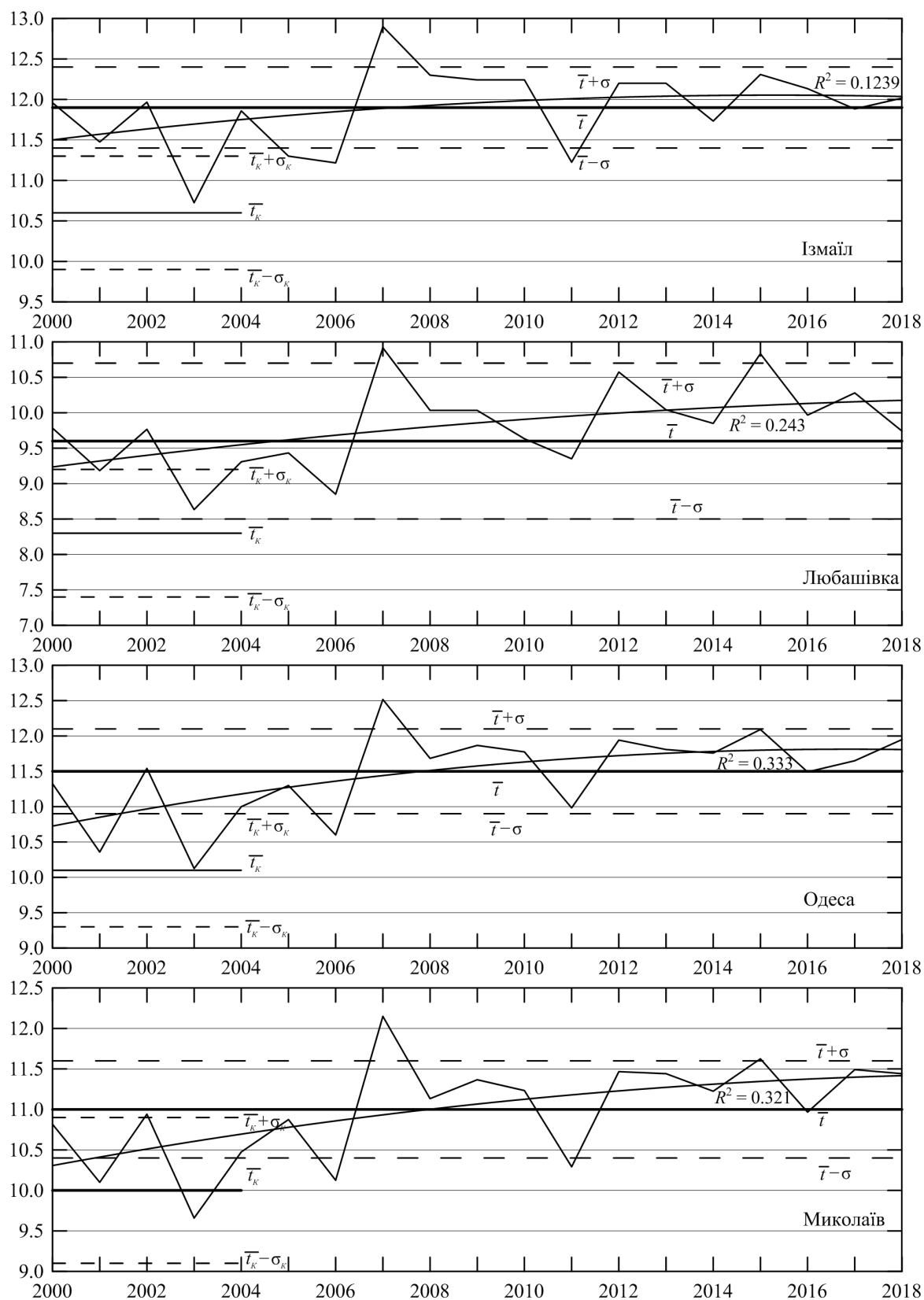


Рис. 1 – Середня річна температура повітря (°C) протягом 2000–2018 років на метеорологічних станціях Ізмаїл, Любашівка, Одеса, Миколаїв та Очаків порівняно з даними Кадастру. Також показані середні за зазначений період та середні квадратичні відхилення, а також лінія поліноміального тренда другого степеня
Fig. 1 – Annual air temperature (°C) for 2000–2018 at meteorological sites Izmail, Lyubashivka, Odessa, Mykolaiv, Ochakiv compared with Cadastre data. Long-term annual means, standard deviations, and second-degree polynomial trend line are also presented

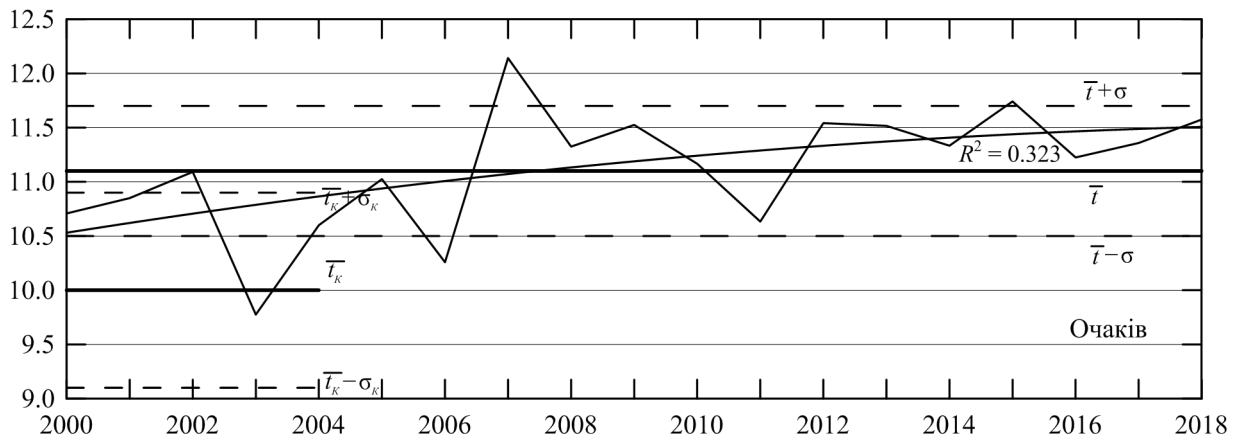


Рис. 1 – Продовження
Fig. 1 – Continued

Таблиця 1 – Статистичні характеристики (параметри нормального закону розподілу) температури повітря за період 2000–2018 років у порівнянні з даними Кадастру

Table 1 – Statistical characteristics (normal distribution parameters) of air temperature for 2000–2018 compared with Cadastre data

№ п/п	Найменування станції	Період 2000–2018 років				Дані Кадастру	
		\bar{t} , °C	σ , °C	Ex	As	\bar{t}_K , °C	σ_K , °C
1	Ізмаїл	11,9	0,51	-0,4	-0,25	10,6	0,7
2	Любашівка	9,8	0,6	0	-0,6	8,3	0,9
3	Одеса	11,5	0,61	-0,6	-0,4	10,1	0,8
4	Миколаїв	11,0	0,6	-0,4	-0,6	10,0	0,9
5	Очаків	11,1	0,6	-0,6	-0,1	10,0	0,9

Параметри розподілу річної температури повітря (ексцес і асиметрія), наведені у табл. 1, мають від'ємні значення, що свідчить про переважання низьких температур у досліджуваному періоді (As) і відносному вирівнюванні ймовірностей (Ex).

На рис. 2 надано річний хід середніх за період 2000–2018 років місячних температур повітря, а також аналогічних величин з Кадастру разом з інтервалом в 1σ .

Взагалі, річний хід температури повітря відповідає річному ходу надходження сонячної радіації. Мінімальна температура відзначається у січні ($-0,7^\circ\text{C}$ в Ізмаїлі, $-5,8^\circ\text{C}$ у Любашівці, $-0,5^\circ\text{C}$ в Одесі, $-2,1^\circ\text{C}$ у Миколаєві та $-1,4^\circ\text{C}$ в Очакові), а максимальна – в липні-серпні ($23,9$ – $23,8^\circ\text{C}$ в Ізмаїлі, $22,7$ – $21,8^\circ\text{C}$ у Любашівці, $23,6$ – $23,6^\circ\text{C}$ в Одесі, $23,9$ – $23,8^\circ\text{C}$ у Миколаєві та $23,7$ – $23,6^\circ\text{C}$ в Очакові, відповідно). На всіх п'яти станціях мають місце місяці зі значеннями температури, які перевищують межі інтервалу $\bar{t}_K + \sigma_K$ у бік зростання. Так, на станції Ізмаїл така ситуація спостерігається в літні місяці (червень, липень, серпень) і у вересні, на станціях Любашівка, Миколаїв і Очаків – тільки в червні, липні, в Одесі – травні, червні та липні. Проте

усі вони (значення) перебувають в межах двох ймовірних відхилень (2σ). Також потрібно відзначити, що крива річного ходу середніх температур у всіх випадках розташовується вище кривої подібних температур зазначених в Кадастрі, що може бути підтвердженням кліматичних змін в бік потепління.

Опади. Атмосферні опади, так само як і температура, є однією з основних характеристик клімату, і багато в чому залежать від синоптичної ситуації та місцевих умов. Останні, багато в чому визначають кількість опадів у теплу пору року.

Розподіл річних сум опадів показаний на рис. 3. Порівняння графіків дозволяє виявити деякі загальні закономірності й відмінності. Так, загальним була наявність максимального піку у 2010 р. зі значеннями на станції Ізмаїл $676,2$ мм, Любашівка $660,1$ мм, Одеса $708,8$ мм, Миколаїв $653,4$ мм. Аналогічні максимум, але дещо з меншими значеннями, мали місце у 2014 р. і 2016 р. На станції Очаків максимум $653,3$ мм спостерігався у 2004 р., а другий екстремум $585,8$ мм – у 2010 р. Відмінностями у розподілі сум опадів є:

1. Мінімум річної суми опадів у 2011 року на станції Ізмаїл ($291,9$ мм) збігається з відносно

малими значеннями (істотно меншими за середнє значення, але не мінімальними) на станціях Одеса (392,7 мм) і Миколаїв (307,8 мм). Але у Любашівці в цей рік спостерігалася кількість опадів, близька до середнього за аналізований період. Екстремальні мінімальні значення на цих трьох станціях реєструвалися у 2007 році (388,1 мм у Любашівці), 2013 року (351,4 мм в Одесі), 2017 року (257,1 мм у Миколаєві).

2. Мали місце ситуації, коли в одні й ті ж роки великим річним сумах на певних станціях

відповідали малі суми опадів на інших; такими прикладами можуть бути 2005, 2008 і 2013 роки.

3. Відповідно до вигляду формального поліноміального тренда другого степеню тільки в Ізмаїлі спостерігається тенденція до зростання кількості опадів, яка добре виражена з 2009 року. У той же час на станціях Любашівка і Одеса падіння, яке намітилося в першій половині періоду, частково компенсується незначним зростанням в наступні роки.

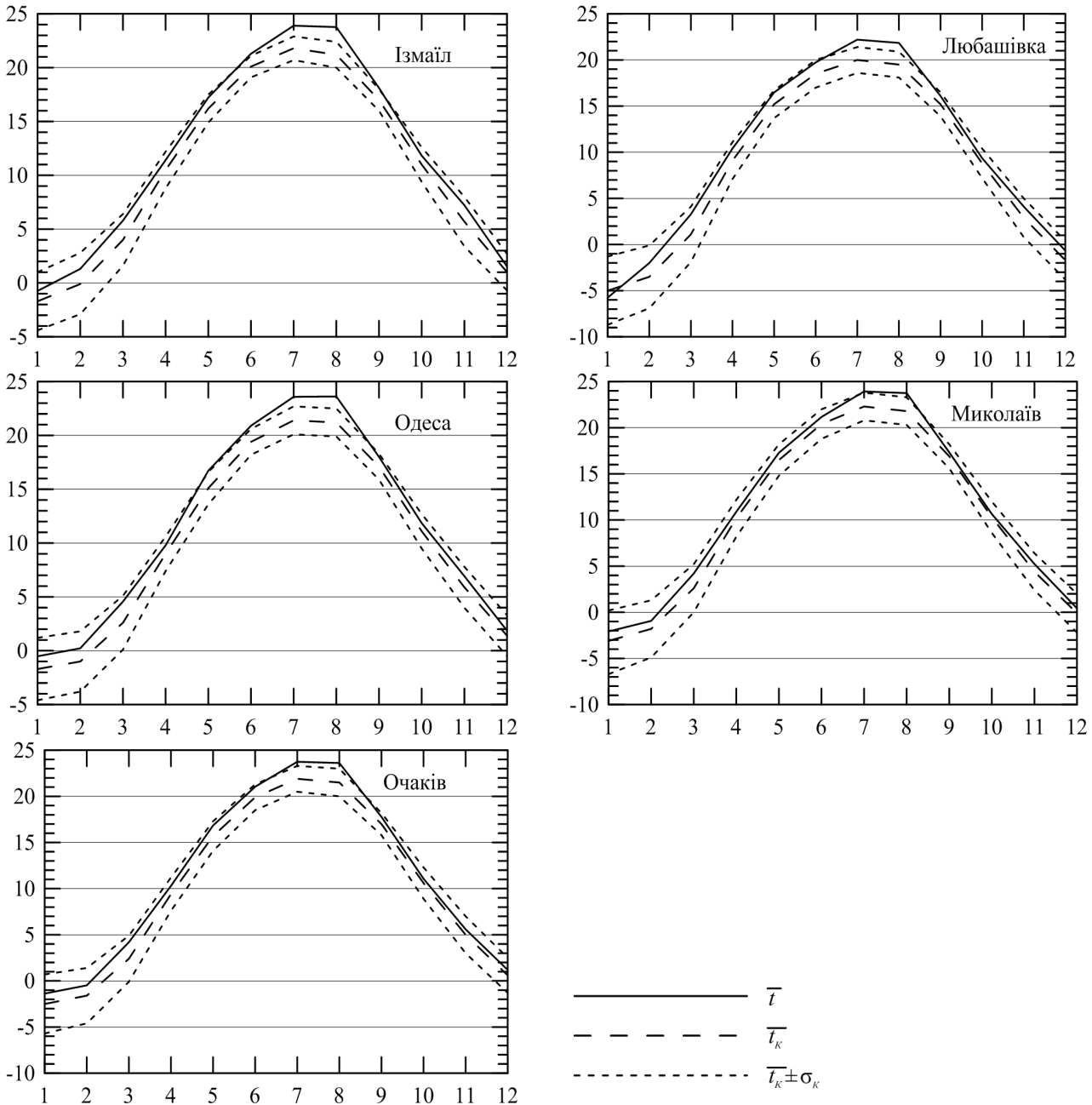


Рис. 2 – Річний хід середньої за період 2000-2018 років місячної температури повітря на метеорологічних станціях Ізмаїл, Любашівка, Одеса, Миколаїв та Очаків порівняно з даними Кадастру. Також показані середні квадратичні відхилення за даними Кадастру

Fig. 2 – Long-term monthly air temperature for 2000–2018 at meteorological sites Izmail, Lyubashivka, Odesa, Mykolaiv, Ochakiv compared with Cadastre data. Standard deviations for Cadastre data are also presented

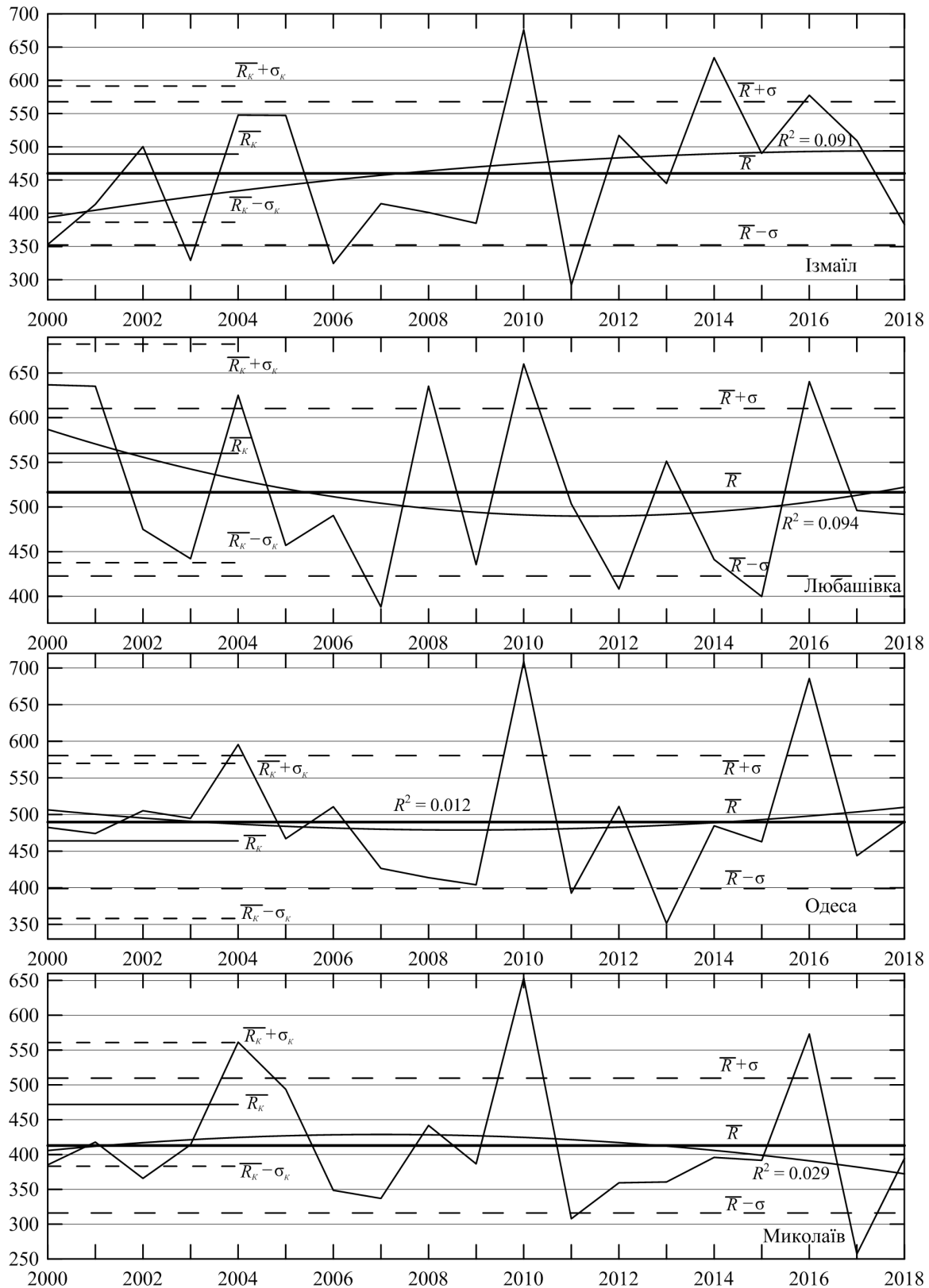


Рис. 3 – Річна сума опадів (мм) протягом 2000–2018 років на метеорологічних станціях Ізмаїл, Любашівка, Одеса, Миколаїв та Очаків порівняно з даними Кадастру. Також показані середні за зазначений період та середні квадратичні відхилення, а також лінія поліноміального тренда другого степеня

Fig. 3 – Annual precipitation (mm) for 2000–2018 at meteorological sites Izmail, Lyubashivka, Odesa, Mykolaiv, Ochakiv compared with Cadastre data. Long-term annual means, standard deviations, and second-degree polynomial trend line are also presented

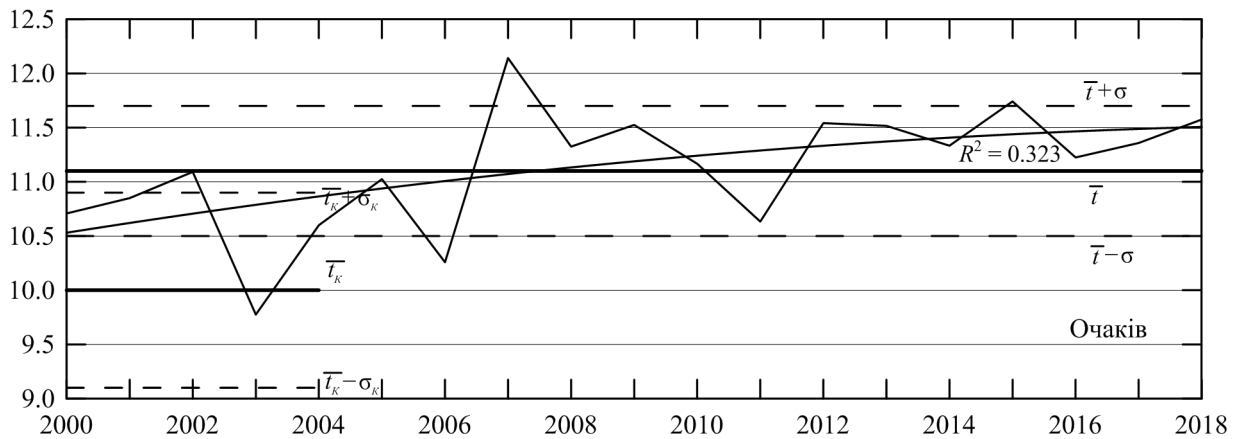


Рис. 3 – Продовження
Fig. 3 – Continued

Таблиця 2 – Статистичні характеристики кількості опадів (мм) за період 2000–2018 років у порівнянні з даними Кадастру
Table 2 – Statistical characteristics of precipitation (mm) for 2000–2018 compared with Cadastre data

№ п/п	Найменування станції	Період 2000–2018 років		Дані Кадастру		
		\bar{R}	σ	\bar{R}_K	σ_K	$K_{вар, K}$
1	Ізмаїл	460	107,8	489	102,4	0,21
2	Любашівка	516	93,8	560	122,4	0,22
3	Одеса	490	90,7	464	105,9	0,23
4	Миколаїв	413	96,8	472	88,8	0,19
5	Очаків	425	84,0	417	84,0	0,20

Таблиця 3 – Характеристики трипараметричного гамма-розподілу річної суми опадів за період 2000–2018 років
Table 3 – Characteristics of three-parameter gamma distribution for annual precipitation for 2000–2018

№ п/п	Найменування станції	\bar{R} , мм	λ	α , мм	c , мм	Ex	As	$K_{вар}$
1	Ізмаїл	460	49,6	15,3	-298,9	0,12	0,28	0,23
2	Любашівка	516	46,2	13,8	-120,8	0,13	0,29	0,18
3	Одеса	490	4	45,5	309	1,51	1,0	0,19
4	Миколаїв	413	4,8	44,2	201,2	1,25	0,9	0,23
5	Очаків	425	2,1	57,6	302,4	2,8	1,4	0,2

Примітка до табл. 2 і 3. $K_{вар}$ – коефіцієнт варіації.

Одночасно на станції Миколаїв простежується тенденція до зниження річної суми опадів.

4. Середні значення багаторічних кількостей опадів за аналізований період на станціях Ізмаїл, Любашівка, Миколаїв менші, ніж за період 1961–1990 років, у середньому на 33 мм. В Одесі, навпаки, має місце перевищення значення зазначеного в Кадастрі на 26 мм (табл. 2).

5. Також присутні відмінності й в стандартних відхиленнях багаторічних річних сум опадів (див. табл. 2), найбільша з яких, у порівнянні з Кадастром, має місце на станції Любашівка (93,8 мм і 122,4 мм, відповідно), а найменше – в Ізмаїлі (107,8 мм і 102,4 мм, відповідно). Причому, на станціях Ізмаїл та Миколаїв значення стандартних відхилень дещо більші, ніж аналогічні у Кадастрі, а на станціях Одеса і Любашівка –

менші. Проте, беручи до уваги значення коефіцієнта варіації, можна зробити висновок про відсутність суттєвих змін коливальності в розподілі опадів (пор. табл. 2 і 3).

6. Дані зазначені в табл. 3 і 4 свідчать про таке:

а) відповідно до високих значень параметра форми λ , розподіл річних сум опадів наближається до нормального закону. Крім того, при гамма-розподілі з урахуванням третього параметра (зсуву), якій сприяє більш точному розрахунку характеристик, найбільш близькими до нормального закону є розподіли на станціях Ізмаїл та Любашівка. При двохпараметричному гамма-розподілі показники параметра форми дещо вирівнюються;

Таблиця 4 – Характеристики двохпараметричного гамма-розподілу річної суми опадів за період 2000–2018 років
Table 4 – Characteristics of two-parameter gamma distribution for annual precipitation for 2000–2018

№ п/п	Найменування станції	\bar{R} , мм	λ	α , мм	$E\alpha$	$A\alpha$	σ , мм	D_g , мм ²	M_0 , мм
1	Ізмаїл	460	18,2	25,2	0,32	0,47	107,8	11614	434,8
2	Любашівка	516	30,3	17,0	0,2	0,36	93,8	8799	499,4
3	Одеса	490	29,2	16,8	0,21	0,37	90,7	8226	472,9
4	Миколаїв	413	18,2	22,7	0,33	0,47	96,8	9362	390,2
5	Очаків	425	25,6	16,6	0,23	0,4	84	7058	408,4

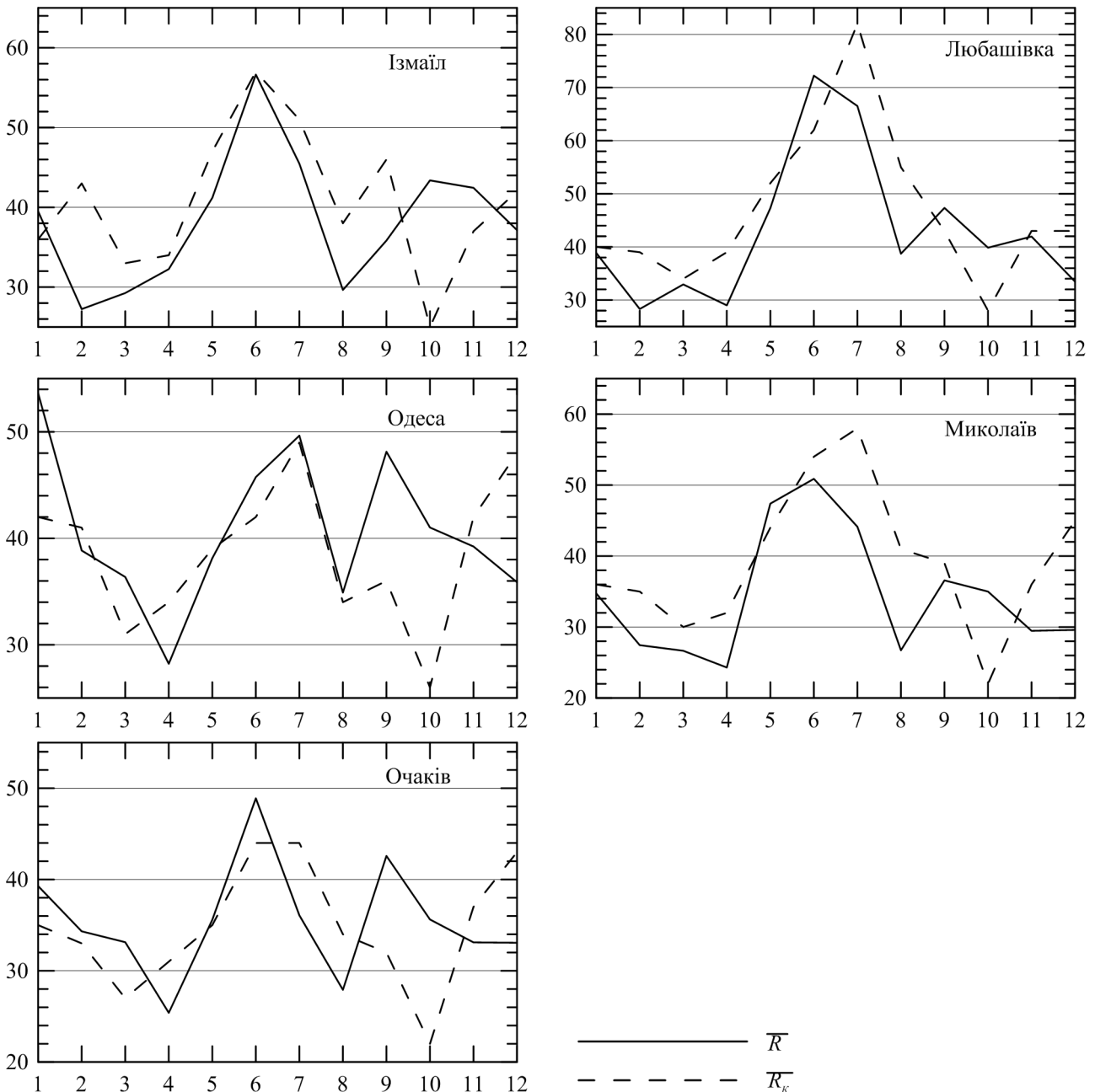


Рис. 4 – Річний хід середньої за період 2000–2018 років місячної кількості опадів на метеорологічних станціях Ізмаїл, Любашівка, Одеса, Миколаїв та Очаків порівняно з даними Кадастру
Fig. 4 – Long-term monthly precipitation for 2000–2018 at meteorological sites Izmail, Lyubashivka, Odesa, Mykolaiv, Ochakiv compared with Cadastre data

б) зміна параметра масштабу α повністю відповідає зміні параметрам форми. Якщо значення λ є великими, α набуває менших значень, що означає зменшення розкиду розглянутої метеорологічної величини. Теж саме спостерігається при варіаціях знака при параметрі зсуву (табл. 3): при додатному зсуві c , λ – більше, α – менше, і навпаки;

в) ексцес Ex і асиметрія As є додатними, тобто «хвіст» стає більш важким з правого боку, що показує зсув середньої величини праворуч від значення медіани, а значить збільшення найбільш великих значень.

Криві на рис. 4 описують річний хід місячних сум опадів осереднених за період 2000–2018 і 1961–1990 років (Кадастр).

На графіках можна побачити, що за винятком Одеси у річному ході основні максимуми спостерігаються в літній період, що є природнім (Ізмаїл – 56,6 мм у червні, Любашівка – 72,2 мм у червні, Одеса – 49,6 мм у липні, Миколаїв – 50,9 мм у червні, Очаків – 48,9 мм у червні). В Одесі найбільша кількість опадів випала в січні 53,6 мм. Мінімальна кількість опадів для усіх станцій відзначається трьома-чотирма екстремумами з приблизно рівними значеннями (мінімуми в Ізмаїлі – у лютому 27,2 мм, у Любашівці – у лютому 28,3 мм, в Одесі – у квітні 28,2 мм, у Миколаїв – у квітні 24,3 мм, в Очакові – у квітні 25,4 мм).

Порівняльний аналіз даних за період 2000–2018 років з даними Кадастру дозволяє зробити висновок про те, що на станціях Ізмаїл, Любашівка, Миколаїв, у цілому, спостерігається зменшення кількості місячних опадів (за винятком опадів в жовтні). В Одесі, навпаки, для більшості місяців середні за період суми опадів перевищують аналогічні значення за період 1961–1990 рр., що зазначені в Кадастрі.

4. ВИСНОВКИ

В розподілі середньої річної температури повітря в осатні майже двадцять років простежується загальний тренд зростання, не зважаючи на те, що у часовому розподілі чітко виокремлюються два періоди: 2000–2006 та 2007–2018 років. Причому, у першому випадку спостерігається незначне зниження, а у другому – збільшення значень цієї характеристики. Крім того, є відмінності, спричинені як результат різного географічного розташування станцій, наприклад, близькістю до моря (Одеса, Миколаїв, Очаків) або віддаленістю від нього (Любашівка, Ізмаїл). У середніх за період місячних температур більш одноманітний хід з перевищенням даних Кадас-

тру, особливо влітку (на інтервал в 1σ). Загальною рисою також є зменшення відносно періоду 1961–1990 років середньоквадратичного відхилення, як показника коливальності значень.

На відміну від розподілів середньомісячної температури у розподілах сум опадів спостерігається більше відмінностей. Так, неоднорідності у сезонному багаторічному ході присутні як по відношенню до значень Кадастру (яскравий приклад Любашівка і Одеса), так і в залежності від географічного розташування, що є природнім (наприклад, Миколаїв і Одеса). Загальною рисою є збільшення опадів в осінній період та зменшення у зимовий (за виключенням станції Очаків). Що стосується розподіла річних сум опадів, то чітка тенденція зростання є тільки на станції Ізмаїл, а падіння – на станції Миколаїв. Інші дані не мають переважних знаків спрямованості часового ходу кількості опадів. Проте, пікові значення цієї кліматичної характеристики на кожній станції підпорядковуються коливальному процесу, тобто мають квазіперіодичності, дослідження яких можливе тільки за умов більшої довжини відповідних рядів.

На останнє, враховуючи, що підстильна поверхня за обраний час не може істотно зміниться, основним фактором представлених змін можна вважати зміну циркуляції атмосфери, яка у свою чергу може бути результатом кліматичних змін. Тому у подальшому доцільно досліджувати й характеристики клімату й у найближчому майбутньому, як це, наприклад, зроблено в роботах [31, 32].

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Parker D. E. et al. Interdecadal changes of surface temperature since the late nineteenth century. *Journal of Geophysical Research: Atmosphere*. 1994. Vol. 99, Pp. 14373-14399.
2. NASA Analysis Finds Warmest September on Record by Narrow Margin. URL: <https://data.giss.nasa.gov/gistemp/news/20161017/> (дата звернення 04.11.2020)
3. Клімат України / за ред. В. М. Ліпінського, В. А. Дячука, В. М. Бабіченко. Київ: Ніка-центр. 2003. 343 с.
4. Клімат России в XXI веке. Часть I. Новые свидетельства антропогенного изменения климата и современные возможности его расчета / Мелешко В. П. и др. *Метеорология и гидрология*. 2008. №6. С. 5-19.
5. Regional Climate Projections / Christensen J. H. et al. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of WG I to the Fourth Assessment Report of the IPCC* / Edited by Solomon S. D. et al. Cambridge (UK) and New York (USA): Cambridge University Press, 2007. 94 p.
6. Air temperature trends and extremes in Chisinau (Moldova) as evidence of climate change / Corobov R. et al. *Climatic Research*. 2010. Vol. 42. Pp. 247-256.
7. IPCC. Climate change 2013: The physical science basis. Contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change / Edited by Stocker T. F., et al. Cambridge (UK) and New York (USA):

Cambridge University Press, 2013.

8. The Community Earth System Model (CESM) Large Ensemble Project: A community resource for studying climate change in the presence of internal climate variability / Kay J. E. et al. *Bulletin of the American Meteorological Society*. 2015. Vol. 96. Pp. 1333-1349.
9. A census of atmospheric variability from seconds to decades / Williams P. D. et al. *Physical Research Letters*. 2017. Vol. 44. Pp. 11201-11211.
10. Hansen J., Sato M., Ruedy R. Perception of climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2012. Vol. 109. Pp. E2415-E2423.
11. The projected timing of climate departure from recent variability / Mora C. et al. *Nature*. 2013. Vol. 502. Pp. 183-187.
12. Observations: Atmosphere and Surface / Hartmann D.L. et al. *Climate change 2013: The physical science basis. Contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change* / Edited by Stocker T. F. et al. Cambridge (UK) and New York (USA): Cambridge University Press, 2013. Pp. 159-254.
13. Changes in climate extremes, fresh water availability and vulnerability to food insecurity projected at 1.5 °C and 2 °C global warming with a higher-resolution global climate model / Betts R. A. et al. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*. 2018. Vol. 376. 20160452.
14. Emergence of heat extremes attributable to anthropogenic influences / King A. D. et al. *Geophysical Research Letters*. 2016. Vol. 43. Pp. 3438-3443.
15. Understanding, modeling and predicting weather and climate extremes: Challenges and opportunities / Sillmann J. et al. *Weather and Climate Extremes*. 2017. Vol. 18. Pp. 65-74.
16. Alexander L., Perkins S. Debate heating up over changes in climate variability. *Environmental Research Letters*. 2013. Vol. 8. 041001.
17. Disentangling global warming, multidecadal variability, and El Niño in Pacific temperatures / Wills R. C. et al. *Geophysical Research Letters*. 2018. Vol. 45. Pp.2487-2496.
18. Uncertainty partition challenges the predictability of vital details of climate change / Fatichi S. et al. *Earth's Future*. 2016. Vol. 4. Pp. 240-251.
19. Giorgi F. Dependence of the surface climate interannual variability on spatial scale. *Geophysical Research Letters*. 2002. Vol. 29. Pp. 1611-1614.
20. Малинин В. Н. Статистические методы анализа гидрометеорологической информации. Санкт-Петербург: Изд-во РГГМУ, 2008. 408 с.
21. Афанасьев В. Н. Анализ временных рядов и прогнозирование. Москва: Финансы и статистика, 2001. 228 с.
22. Дубровская Л. И., Князев Г. Б. Компьютерная обработка естественно-научных данных методами многомерной прикладной статистики: учеб. пособие. Томск: ТМЛ-Пресс, 2011. 120 с.
23. Исаев А. А. Статистика в метеорологии и климатологии: монография. Москва: Изд-во МГУ, 1988. 248 с.
24. Пановский Г. А. Статистические методы в метеорологии: монография. Ленинград: Гидромет. изд-во, 1967. 241 с.
25. Науменко Л. Ю. Статистична структура полів літніх опадів на території Українського степу при західних циркуляційних процесах. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка*. 1991. № 1. С. 73-79.
26. Золина О. Г., Булыгина О. Н. Современная климатическая изменчивость характеристик экстремальных осадков в России. *Фундаментальная и прикладная климатология*. 2016. Вып. 1. С. 84-103.
27. Многолетние изменения температуры воздуха и атмосферных осадков в Казани / Верещагин М. А. и др. *Ученые*

- записки Казанского государственного университета*. 2005. Т. 147. С. 151-166.
28. Trends in daily temperature and precipitation extremes over Georgia, 1971-2010, Keegenhoff I. et al. *Weather and Climate Extremes*. 2014. Vol. 4. Pp. 75-85.
29. Kusunoki S., Mizuta R., Hosaka M. Future changes in precipitation intensity over the Arctic projected by a global atmospheric model with a 60-km grid size. *Polar Science*. 2015. №9. Pp. 277-292.
30. Milanovic M., Gocic M., Trajkovic S. Analysis of extreme climatic indices in the area of Nis and Belgrade for the period between 1974 and 2003. *Agriculture and agricultural science procedia*. 2015. №4. Pp. 408-415.
31. Хохлов В. М., Латиш Л. Г., Цимбалюк К. С. Можливі зміни температурного режиму в Україні у 2011-2025 роках. *Вісник Одеського державного екологічного університету*. 2009. Вип. 8. С. 70-78.
32. Хохлов В. М., Бондаренко В. М., Латиш Л. Г. Просторовий розподіл аномалій опадів в Україні у 2011-2025 роках. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2009. № 5. С. 54-62.

REFERENCES

1. Parker, D.E. et al. (1994). Interdecadal changes of surface temperature since the late nineteenth century. *Journal of Geophysical Research: Atmosphere*, 99, pp. 14373-14399.
2. *NASA Analysis Finds Warmest September on Record by Narrow Margin*. Available at: <https://data.giss.nasa.gov/gistemp/news/20161017/> (Accessed: 04.11.2020).
3. Lipinsky, V.M., Diachuk, V.A. & Babichenko, V.M. (eds). (2003). *Klimat Ukrainy [Climate of Ukraine]*. Kyiv: Nika-Tsentr. (in Ukr.)
4. Meleshko, V.P., Katsov, V.M., Mirvis, V.M. et al. (2008). *Klimat Rossii v XXI veke. Chast' I. Novye svidetel'stva antropogennogo izmeneniya klimata i sovremennye vozmozhnosti ego rascheta*. [Climate of Russia in the 21th century. Part I. New evidence of anthropogenic climate change and modern possibilities of its calculation] *Meteorologiya i gidrologiya [Meteorology and Hydrology]*. 6, pp. 5-19. (in Russ.)
5. Christensen, J.H., Hewitson B., Busuioc A. et al. (2007). *Regional Climate Projections*. In: Solomon S. D. Qin M. Manning, Z. Chen et al. (eds). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of WG I to the Fourth Assessment Report of the IPCC*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
6. Corobov, R., Sheridan, S., Overcenko, A. et al. (2010). Air temperature trends and extremes in Chisinau (Moldova) as evidence of climate change. *J. Clim. Res.*, 42, pp. 247-256.
7. IPCC (2013). In: Stocker T.F., Qin D., Plattner G.-K. et al. (eds). *Climate change 2013: The physical science basis. Contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change*. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press.
8. Kay, J.E., Deser, C., Phillips, A. et al. (2015). The Community Earth System Model (CESM) Large Ensemble Project: A community resource for studying climate change in the presence of internal climate variability. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 96(8), pp. 1333-1349.
9. Williams, P.D., Alexander, M.J., Barnes, E. A. et al. (2017). A census of atmospheric variability from seconds to decades. *Geophysical Research Letters*, 44(21), pp. 11201-11211.
10. Hansen, J., Sato, M., & Ruedy, R. (2012). Perception of climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(37), pp. E2415-E2423.
11. Mora, C., Frazier, A.G., Longman, R.J. et al. (2013). The projected timing of climate departure from recent variability.

Nature, 502, pp. 183-187.

12. Hartmann, D.L., Klein Tank, A.M.G., Rusticucci, M. et al. (2013). Observations: Atmosphere and Surface. In: Stocker, T.F., Qin, D., Plattner, G.-K. et al (eds.). *Climate change 2013: The physical science basis. Contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change*, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press, pp. 159–254.
13. Betts, R.A., Alfieri, L., Bradshaw, C. et al. (2018). Changes in climate extremes, fresh water availability and vulnerability to food insecurity projected at 1.5 °C and 2 °C global warming with a higher - resolution global climate model. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 376(2119), 20160452.
14. King, A.D., Black, M.T., Min, S.K. et al. (2016). Emergence of heat extremes attributable to anthropogenic influences. *Geophysical Research Letters*, 43(7), pp. 3438-3443.
15. Sillmann, J., Thorarindottir, T., Keenlyside, N. et al. (2017). Understanding, modeling and predicting weather and climate extremes: Challenges and opportunities. *Weather and Climate Extremes*, 18, pp. 65-74.
16. Alexander, L., & Perkins, S. (2013). Debate heating up over changes in climate variability. *Environmental Research Letters*, 8(4), 041001.
17. Wills, R.C., Schneider, T., Wallace, J.M. et al. (2018). Distinguishing global warming, multidecadal variability, and El Niño in Pacific temperatures. *Geophysical Research Letters*, 45(5), pp. 2487-2496.
18. Fatichi, S., Ivanov, V.Y., Paschalis, A., et al. (2016). Uncertainty partition challenges the predictability of vital details of climate change. *Earth's Future*, 4(5), pp.240-251.
19. Giorgi, F. (2002). Dependence of the surface climate inter-annual variability on spatial scale. *Geophysical Research Letters*, 29(23), pp. 1611-1614.
20. Malinin, V.N. (2008). *Statisticheskie metody analiza gidrometeorologicheskoy informacii [Statistical methods of analysis of hydrometeorological information]*. Saint-Petersburg: Publ RGGMU. (in Russ.)
21. Afanas'ev, V.N. (2001). *Analiz vremennykh ryadov i prognozirovanie [Time series analysis and forecasting]*. Moscow: Finansy i statistika. (in Russ.)
22. Dubrovskaya, L.I. & Knyazev, G.B. (2011). *Komp'yuternaya obrabotka estestvenno-nauchnykh dannykh metodami mnogomernoy prikladnoy statistiki [Computer processing of natural science data by methods of multivariate applied statistics]*: Tomsk: TML-Press. (in Russ.)
23. Isaev, A.A. (1988). *Statistika v meteorologii i klimatologii [Statistics in meteorology and climatology]*. Moscow: Publ MGU. (in Russ.)
24. Panovskiy, G.A. (1967). *Statisticheskie metody v meteorologii [Statistical Methods in Meteorology]*. Leningrad: Gidromet. Publ. (in Russ.)
25. Naumenko, L.Ju. (1991). Statystychna struktura poliv litynkh opadiv na terytorii Ukrainskoho stepu pry zakhidnykh tsirkulatsiynnykh protsesakh [Statistical structure of summer precipitation fields on the territory of the Ukrainian steppe during western circulation processes]. *Visn. Kiiv. nac. un-tu im. Tarasa Shevchenka [Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv]*, 1, pp. 73-79. (in Ukr.)
26. Zolina, O.G. & Bulygina O.N. (2016). Sovremennaya klimaticheskaya izmenchivost kharakteristik ekstremalnykh osadkov v Rossii [Current climatic variability of extreme precipitation in Russia]. *Fundamentalnaya i prikladnaya klimatologiya [Fundamental and applied climatology]*, 1, pp. 84-103 (in Russ.)
27. Vereshchagin, M.A., Perevedentsev, Ju.P., Naumov, Je.P. et al. (2005). Mnogoletnie izmeneniya temperatury vozdukh i atmosferynykh osadkov v Kazani [Long-term changes in air temperature and precipitation in Kazan]. *Uchenye zapiski Kazanskogo gosudarstvennogo universiteta [Proceedings of Kazan University]*, 147, book 3, pp. 151-166. (in Russ.)
28. Keggenhoff, I., Elizabarashvili, M. et al. (2014). Trends in daily temperature and precipitation extremes over Georgia, 1971-2010. *Weather and climate extremes*, 3, pp. 75-85.
29. Kusunoki, S., Mizuta, R. & Hosaka, M. (2015). Future changes in precipitation intensity over the Arctic projected by a global atmospheric model with a 60-km grid size. *Polar Science*, 9, pp. 277-292.
30. Milanovic, M., Gocic, M. & Trajkovic, S. (2015) Analysis of extreme climatic indices in the area of Nis and Belgrade for the period between 1974 and 2003. *Agriculture and agricultural science procedia*, 4, pp. 408-415.
31. Khokhlov, V.M., Latysh, L.H. & Tymbaliuk, K.S. (2009). [Possible thermal condition changes in Ukraine in 2011-2025]. *Visnik Odes'kogo derzavnogo ekologichnogo universitetu [Bulletin of Odessa State Environmental University]*, 8, pp. 70-78. (in Ukr.)
32. Khokhlov, V.M., Bondarenko, V.M. & Latysh, L.H. (2009). [Spatial distribution of precipitation anomalies in Ukraine in 2011-2025]. *Ukr. gidrometeorol. zh. [Ukrainian hydrometeorological journal]*, 5, pp. 54-62. (in Ukr.)

MODERN DYNAMICS IN MAIN CLIMATE CHARACTERISTICS AT SITES OF NORTH-WESTERN BLACK SEA COAST

E. N. Serga, V M. Khokhlov, L. V. Nedostrelova

Odessa State Environmental University, 15, Lvivska St., 65016, Odesa, Ukraine
Serga_ed@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0001-6470-8540>

The aim of the study is to determine statistical estimates for the distributions of average monthly and annual temperatures, as well as monthly and annual precipitation for the North-Western Black Sea coast during the climatic change intensification epoch. Parameters of the normal distribution for temperature, two- and three-parametric gamma distribution for precipitation, as well as trend characteristics, are analyzed. To determine the deviation of the values from the previous climatic period, the data of the Climate Cadastre of Ukraine (1961–1990) were used.

The results of the statistical analysis show that steady trend towards an increase in annual air temperatures exists at all stations during the period (2000-2018). In the time course of these characteristics, there is a clearly pronounced separation into two periods with the transition point in 2007. The average monthly air temperatures for the period generally exceed the same values for 1961-1990, and this is especially evident for the summer months.

Time distributions of monthly precipitation are spatially heterogeneous. It was found for Odesa that the maxima are observed in January, July and September, in contrast to other stations, at which the maximum amount of precipitation is registered in the summer months. Also, at the Odesa, the monthly precipitation in most months exceeds the same values for 1961-1990. Annual precipitation during 2000-2018 has a lot of regularities and differences, among which, for example, a common feature is the presence of maxima in 2010. In accordance with the general period trend characteristics, a tendency to an increase in the annual precipitation was found in the very south (Izmail station) only, and it has been especially pronounced since 2009. However, their mean values are lesser than in the Climate Cadastre of Ukraine; this is also observed for the stations Lyubashivka and Mykolaiv. On the contrary, at stations located on the coast (Odesa, Ochakiv), the annual precipitation exceeds of values from the Cadastre.

Based on the analysis carried out, it can be concluded that all persistent tendencies to changes in the values of the considered climatic characteristics are associated with a possible change in the atmospheric circulation over the considered territory.

Keywords: average monthly temperature, annual temperature, monthly precipitation, annual precipitation, gamma distribution, excess, asymmetry.

СОВРЕМЕННАЯ ДИНАМИКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ОСНОВНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК НА СТАНЦИЯХ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО ПРИЧЕРНОМОРЬЯ

Э. Н. Серга, В. Н. Хохлов, Л. В. Недострелова

*Одесский государственный экологический университет, ул. Львовская, 15, 65016, Одесса, Украина
Serga_ed@ukr.net, <https://orcid.org/0000-0001-6470-8540>*

Целью исследования является определение статистических оценок распределений среднемесячных и годовых температур, а также месячных и годовых сумм осадков, как основных климатических характеристик, для Северо-Западного Причерноморья в эпоху интенсификации климатических изменений. Проанализированы параметры нормального распределения для температуры, двух- и трехпараметрического гамма-распределения для осадков, а также трендовые характеристики. Для определения отклонения значений от предыдущего климатического периода использовались данные Климатического кадастра Украины (1961–1990 гг.).

Результаты статистического анализа показывают, что в течение периода (2000-2018 гг.) наблюдается устойчивая тенденция к росту годовых температур воздуха на всех рассмотренных станциях. Во временном ходе этих характеристик имеются чётко выраженное разделение на два периода с точкой перехода в 2007 г. Средние за период месячные температуры воздуха в целом превышают такие же значения за 1961-1990 гг., особенно явно это прослеживается для летних месяцев.

Временные распределения месячных сумм осадков неоднородны в пространстве. Установлено, что в Одессе, в отличие от других станций, на которых максимальное количество осадков приходится на летние месяцы, максимумы наблюдаются в январе, июле и сентябре. Кроме того, на станции Одесса суммы осадков в большинстве месяцев превышают аналогичные за 1961–1990 годы. Годовые суммы осадков в течение 2000-2018 гг. имеют ряд закономерностей и различий, среди которых, например, общей чертой является наличие максимальных значений в 2010 году. В соответствии с общепериодными трендовыми характеристиками установлено, что только на самом юге (станция Измаил) присутствует тенденция к увеличению годового количества осадков, особенно хорошо выраженная с 2009 года. Однако, их среднестатистические значения, как и на станциях Любашевка, Николаев, меньше, чем в Климатическом кадастре Украины. Напротив, на станциях, расположенных на побережье (Одесса, Очаков), наблюдается превышение аналогичных значений.

Основываясь на проведенном анализе, можно сделать вывод о том, что все устойчивые тенденции к изменениям значений рассмотренных климатических характеристик связаны с возможным изменением циркуляции атмосферных процессов над рассмотренной территорией.

Ключевые слова: среднемесячная температура, годовая температура, месячные суммы осадков, годовые суммы осадков, гамма-распределение, эксцесс, асимметрия.

*Подання до редакції : 10. 11. 2020
Надходження остаточної версії : 09. 12. 2020
Публікація статті : 17. 12. 2020*