

УДК 504.064:711.4:551.583

DOI <https://doi.org/10.32782/3041-2080/2025-3-3>

ЗАСТОСУВАННЯ БАГАТОВИМІРНИХ СТАТИСТИЧНИХ МЕТОДІВ ДЛЯ АНАЛІЗУ КЛІМАТИЧНИХ ПРОЄКЦІЙ

Кірейцева Ганна Вікторівна,

кандидат економічних наук, доцент,
доцент кафедри екології та природоохоронних технологій
Державного університету «Житомирська політехніка»
ORCID ID: 0000-0002-1055-1784

Циганенко-Дзюбенко Ілля Юрійович,

аспірант кафедри екології та природоохоронних технологій,
асистент кафедри наук про Землю
Державного університету «Житомирська політехніка»
ORCID ID: 0000-0002-3240-8719

Хоменко Світлана Володимирівна,

аспірантка, асистентка кафедри
екології та природоохоронних технологій
Державного університету «Житомирська політехніка»
ORCID ID: 0009-0002-7463-7867

Легенчук Роман Васильович,

учень 10 класу
відокремленого підрозділу «Науковий ліцей»
Державного університету «Житомирська політехніка»

У статті представлено результати комплексного статистичного аналізу часових рядів температурних показників за сценаріями RCP4.5 і RCP8.5 для території Житомирської міської територіальної громади протягом 1981–2100 рр. Актуальність дослідження зумовлена впливом, що зростає, кліматичних змін на екологічну безпеку і сталий розвиток урбанізованих територій. В умовах глобального потепління особливо важливим є розуміння локальних температурних трендів для розробки ефективних стратегій адаптації та пом'якшення наслідків трансформаційних змін, у тому числі й кліматичних. Використовуючи методи параметричної та непараметричної статистики, виявили статистично значущі ($p < 0,05$) взаємозв'язки між температурними параметрами. Установлено сильні прямі кореляції між абсолютними значеннями температури й сценаріями RCP4.5 ($r = 0,92$) і RCP8.5 ($r = 0,87$), що свідчить про суттєве потепління в довгостроковій перспективі. Рангова кореляція Спірмана підтвердила наявність сильних монотонних залежностей ($|r| > 0,7$), указуючи на стійкість виявлених температурних трендів. Vox-plot аналіз показав значні коливання температури (від 5,0186 °C до 1,8157 °C), що підкреслює необхідність урахування температурних екстремумів при розробці стратегій екологічної безпеки міста. Отримані результати створюють наукове підґрунтя для вдосконалення регіональних кліматичних моделей і розробки комплексних програм адаптації до зміни клімату. Це особливо важливо для забезпечення сталого розвитку урбанізованих територій, збереження біорізноманіття й підвищення стійкості міських екосистем до кліматичних змін. Практичне значення результатів підтверджується їх упровадженням у діяльність природоохоронних організацій і використанням при розробці місцевих програм кліматичної адаптації.

Ключові слова: екологічна безпека, часові ряди температури, сценарії RCP, кліматичні зміни, трансформаційні зміни, сталий розвиток.

Kireitseva Hanna, Tsyhanenko-Dziubenko Illia, Khomenko Svitlana, Lehenchuk Roman. Application of multivariate statistical methods for analysis of climate projections

The article presents the results of a comprehensive statistical analysis of temperature time series under RCP4.5 and RCP8.5 scenarios for the Zhytomyr city territorial community during 1981–2100. The research relevance is determined by the growing impact of climate change on environmental security and sustainable development of urbanized territories. In the context of global warming, understanding local temperature trends is particularly important for developing effective strategies for adaptation and mitigation of transformational changes, including climatic ones. Using parametric and non-parametric statistical methods, statistically significant ($p < 0.05$) relationships

between temperature parameters were identified. Strong direct correlations were established between absolute temperature values and RCP4.5 ($r = 0.92$) and RCP8.5 ($r = 0.87$) scenarios, indicating significant warming in the long term. Spearman's rank correlation confirmed the presence of strong monotonic dependencies ($|r| > 0.7$), indicating the stability of the identified temperature trends. Box-plot analysis showed significant temperature fluctuations (from -5.0186 °C to 1.8157 °C), emphasizing the need to consider temperature extremes when developing urban environmental security strategies. The obtained results provide a scientific basis for improving regional climate models and developing comprehensive climate change adaptation programs. This is particularly important for ensuring sustainable development of urbanized territories, biodiversity conservation, and enhancing urban ecosystem resilience to climate change. The practical significance of the results is confirmed by their implementation in environmental organizations' activities and their use in developing local climate adaptation programs.

Key words: environmental security, temperature time series, RCP scenarios, climate change, transformational changes, sustainable development.

Вступ. Зміна клімату є однією з найгостріших глобальних проблем сучасності, що потребує комплексного наукового аналізу для розробки ефективних стратегій адаптації на регіональному рівні. Особливої актуальності набуває застосування багатовимірних статистичних методів для аналізу кліматичних проєкцій, що дає змогу виявити приховані закономірності та взаємозв'язки в складних масивах кліматичних даних.

Застосування методів параметричної статистики (кореляційний аналіз Пірсона) у поєднанні з непараметричними підходами (рангова кореляція Спірмана) і методами кластерного аналізу дає змогу всебічно дослідити структуру взаємозв'язків між кліматичними параметрами й виявити статистично однорідні групи показників. Візуалізація результатів аналізу за допомогою сучасних графічних методів сприяє кращому розумінню виявлених закономірностей і їх практичній інтерпретації.

У контексті дослідження кліматичних змін і їх прогнозування аналіз наявних наукових досліджень демонструє різноманітність підходів і методологій, що застосовують науковці по всьому світу. Зокрема, дослідження Е. Дай і співавторів показує значний вплив кліматичних змін на ліси південного Китаю, де прогнозується збільшення площі вічнозелених широколистяних лісів до 17,46–18,85 % і зростання надземної біомаси на 24,1–64,2 %, за різними сценаріями RCP, до 2100 року [1]. Це дослідження демонструє важливість регіонального підходу до оцінки кліматичних впливів. Глобальні аспекти кліматичних змін розкриваються в роботі Л. Назаренко й колег, які, використовуючи модель ModelE2 NASA, прогнозують глобальне потепління до 2100 року в межах від 1,0 до 4,5 °C порівняно з 1850–1860 роками, з найбільшим потеплінням за сценарієм RCP8.5 [2]. Методологічні аспекти кліматичного моделювання розглядаються в роботі Б. О'Нілла та співавторів, які, аналізуючи десятирічний досвід використання кліматичних сценаріїв, підкреслюють необхідність їх адаптації до сучасних політичних реалій [3]. Важливий внесок у розуміння

достовірності кліматичних сценаріїв зробили К. Швальм і співавтори, підтвердивши, що сценарій RCP8.5 є найбільш реалістичним для прогнозування до середини століття через високу відповідність історичним викидам CO₂ [4].

Сценарії RCP (Representative Concentration Pathways) є стандартизованими траєкторіями концентрацій парникових газів, що використовуються для моделювання майбутніх кліматичних змін. Зокрема, сценарій RCP4.5 передбачає стабілізацію радіаційного впливу на рівні 4.5 Вт/м² до 2100 року, тоді як RCP8.5 розглядає траєкторію з високими викидами парникових газів.

Метою дослідження є комплексний статистичний аналіз взаємозв'язків і закономірностей у часових рядах кліматичних параметрів за сценаріями RCP4.5 і RCP8.5 з використанням методів багатовимірної статистики для вдосконалення регіональних кліматичних моделей і підтримки прийняття управлінських рішень щодо адаптації до зміни клімату.

Методи та методики дослідження. Дослідження базується на комплексному аналізі температурних даних і прогнозуванні на майбутні періоди для території Житомирської міської територіальної громади за період 1981–2100 рр. Вихідні дані отримано з бази даних Українського гідрометеорологічного інституту ДСНС і НАН України через веб-ресурс Climate Change Viewer [5], який містить кліматичні проєкції, розроблені із застосуванням сучасних кліматичних моделей. Аналізована вибірка включає абсолютні значення температури, дані для сценаріїв RCP4.5 (середні викиди) та RCP8.5 (високі викиди), відхилення температури й 5-річні ковзні середні для обох сценаріїв.

Сценарії RCP (Representative Concentration Pathways), розроблені Міжурядовою групою експертів зі зміни клімату [6], представляють різні траєкторії концентрацій парникових газів. Сценарій RCP4.5 передбачає стабілізацію радіаційного впливу на рівні 4.5 Вт/м² до 2100 року за середнього рівня викидів, тоді як RCP8.5 моделює сценарій із високими викидами парникових газів [7]. Вибір цих сценаріїв обґрунтований їх

широким використанням у міжнародних дослідженнях і підтвердженою релевантністю для прогнозування кліматичних змін.

Методологічний апарат дослідження включає комплекс статистичних методів, реалізованих у програмному середовищі Orange. Для оцінювання лінійних взаємозв'язків між температурними показниками застосовано кореляційний аналіз за методом Пірсона, який дає змогу визначити силу й напрямок лінійної залежності між змінними в діапазоні від -1 до 1 . Статистична значущість кореляційних коефіцієнтів верифікована на рівні $p < 0,05$. Монотонні залежності досліджено за допомогою рангового коефіцієнта кореляції Спірмана, який, на відміну від коефіцієнта Пірсона, не потребує нормального розподілу даних і демонструє більшу стійкість до викидів.

Візуалізація результатів здійснена через побудову системи графічних представлень: кореляційних матриць, прямокутних і радіальних проєкцій розподілу кореляцій, діаграм розсіювання й корелограм. Для аналізу розподілу температурних показників використано box-plot діаграми, що дало змогу оцінити центральні тенденції, варіабельність, форму розподілів і виявити потенційні аномальні значення.

Обраний методологічний підхід забезпечує комплексну оцінку взаємозв'язків між

температурними параметрами за різними сценаріями кліматичних змін і дає змогу виявити як лінійні, так і нелінійні залежності в досліджуваних даних. Застосування взаємодоповнюючих методів статистичного аналізу підвищує достовірність отриманих результатів і їх інтерпретації.

Результати. Для оцінювання лінійних взаємозв'язків між досліджуваними температурними параметрами за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 у роботі застосовано метод кореляційного аналізу Пірсона. Матриця парних кореляційних коефіцієнтів дає змогу оцінити статистичну значущість виявлених кореляційних зв'язків на рівні $p < 0,05$ (рис. 1).

Кореляційний аналіз за методом Пірсона виявив систему статистично значущих лінійних взаємозв'язків між досліджуваними температурними параметрами. Найвищий коефіцієнт кореляції ($0,927$) зафіксовано між 5-річним ковзним середнім і даними сценарію RCP8.5 із високими викидами, що підтверджує надзвичайно тісний лінійний зв'язок між згладженими й первинними даними в умовах інтенсивного антропогенного впливу на кліматичну систему.

Другий за величиною коефіцієнт кореляції ($0,871$) установлено між 5-річним ковзним середнім для RCP8.5 і відповідними відхиленнями, що свідчить про сильний прямий зв'язок

1	+0.927	5-річне ковзне середнє для RCP8.5	Дані для сценарію RCP8.5 (високі викиди)
2	+0.871	5-річне ковзне середнє для RCP8.5	Відхилення для RCP8.5
3	+0.843	5-річне ковзне середнє для RCP4.5	Дані для сценарію RCP4.5 (середні викиди)
4	+0.814	5-річне ковзне середнє для RCP4.5	5-річне ковзне середнє для RCP8.5
5	+0.772	5-річне ковзне середнє для RCP4.5	Дані для сценарію RCP8.5 (високі викиди)
6	+0.755	Відхилення для RCP8.5	Дані для сценарію RCP8.5 (високі викиди)
7	+0.732	Дані для сценарію RCP4.5 (середні викиди)	Дані для сценарію RCP8.5 (високі викиди)
8	+0.713	5-річне ковзне середнє для RCP8.5	Дані для сценарію RCP4.5 (середні викиди)
9	+0.694	5-річне ковзне середнє для RCP4.5	Відхилення для RCP8.5
10	+0.684	5-річне ковзне середнє для RCP4.5	Відхилення для RCP4.5
11	+0.577	Відхилення для RCP8.5	Дані для сценарію RCP4.5 (середні викиди)
12	+0.566	Відхилення для RCP4.5	Відхилення для RCP8.5
13	+0.562	5-річне ковзне середнє для RCP8.5	Відхилення для RCP4.5
14	+0.491	Відхилення для RCP4.5	Дані для сценарію RCP8.5 (високі викиди)
15	+0.400	Відхилення для RCP4.5	Дані для сценарію RCP4.5 (середні викиди)
16	+0.087	5-річне ковзне середнє для RCP8.5	Абсолютні значення температури
17	+0.074	Абсолютні значення температури	Дані для сценарію RCP8.5 (високі викиди)
18	+0.052	Абсолютні значення температури	Відхилення для RCP8.5
19	+0.042	Абсолютні значення температури	Відхилення для RCP4.5
20	+0.041	5-річне ковзне середнє для RCP4.5	Абсолютні значення температури
21	+0.017	Абсолютні значення температури	Дані для сценарію RCP4.5 (середні викиди)

Рис. 1. Матриця парних кореляційних коефіцієнтів Пірсона для часових рядів температурних показників за сценаріями RCP4.5 і RCP8.5 з оцінкою статистичної значущості взаємозв'язків ($p < 0,05$)

між довгостроковими трендами й короткостроковими температурними флуктуаціями в сценарії з високими викидами. Для сценарію RCP4.5 з помірними викидами також характерна сильна кореляція (0,843) між ковзним середнім і сценарними даними, хоча дещо нижча порівняно зі сценарієм RCP8.5, що може відображати більш складну динаміку температурних змін при помірному антропогенному впливі.

Суттєвим є виявлений сильний кореляційний зв'язок (0,814) між 5-річними ковзними середніми обох сценаріїв, що вказує на узгодженість довгострокових температурних трендів незалежно від інтенсивності викидів. Помірно сильна кореляція (0,772) між ковзним середнім RCP4.5 і даними сценарію RCP8.5 підтверджує наявність спільних тенденцій у температурній динаміці різних сценаріїв.

Відхилення демонструють помірно до сильних кореляції з основними показниками (0,4–0,755), причому найвищий коефіцієнт (0,755) спостерігається між відхиленнями та даними сценарію RCP8.5, що свідчить про більшу узгодженість короткострокових флуктуацій із загальною динамікою температури при високих викидах.

Особливу увагу привертають дуже слабкі кореляційні зв'язки абсолютних значень температури з іншими параметрами (0,017–0,087). Мінімальна кореляція (0,017) зафіксована між абсолютними значеннями температури й даними сценарію RCP4.5, що може вказувати на значну автономність фактичних температурних показників від сценарних прогнозів при

помірних викидах. Така слабка інтегрованість абсолютних температур у загальну кореляційну структуру може бути пояснена їх більшою залежністю від локальних кліматичних факторів і природної варіабельності.

Загалом кореляційний аналіз за методом Пірсона виявив чітку ієрархічну структуру лінійних взаємозв'язків, де найсильніші кореляції характерні для ковзних середніх і сценарних даних, особливо в умовах високих викидів (RCP8.5). Система кореляційних зв'язків демонструє більшу узгодженість і силу взаємозв'язків для сценарію RCP8.5 порівняно з RCP4.5, що може відображати більш виражені й односпрямовані зміни температури при інтенсивному антропогенному впливі. Виявлена структура кореляцій підтверджує внутрішню узгодженість даних та обґрунтовує ефективність використання ковзних середніх для аналізу температурних трендів у контексті різних сценаріїв кліматичних змін.

Для візуалізації структури кореляційних зв'язків застосовано прямокутну проєкцію (рис. 2), яка демонструє чітку диференціацію прямих та обернених зв'язків. Аналіз показав, що для сценаріїв RCP4.5/RCP8.5 і їх ковзних середніх характерні найбільші додатні відхилення, тоді як абсолютні значення температури за обома сценаріями тяжіють до від'ємного полюсу.

Поглиблений аналіз кореляційних залежностей здійснено за допомогою діаграми розсіювання (рис. 3). Установлено сильну пряму кореляційну залежність між ковзним середнім

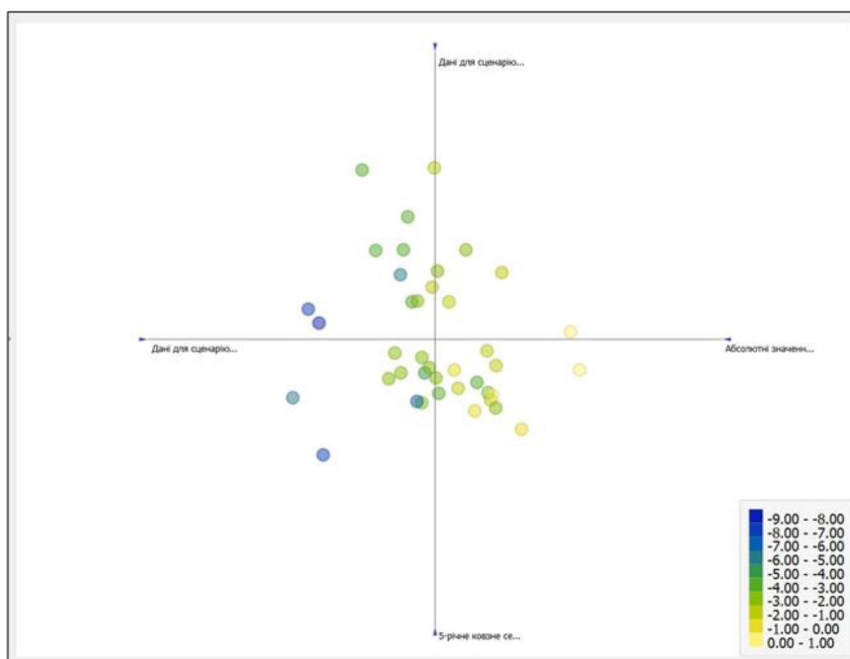


Рис. 2. Прямокутна проєкція розподілу кореляційних зв'язків між температурними параметрами за методом Пірсона

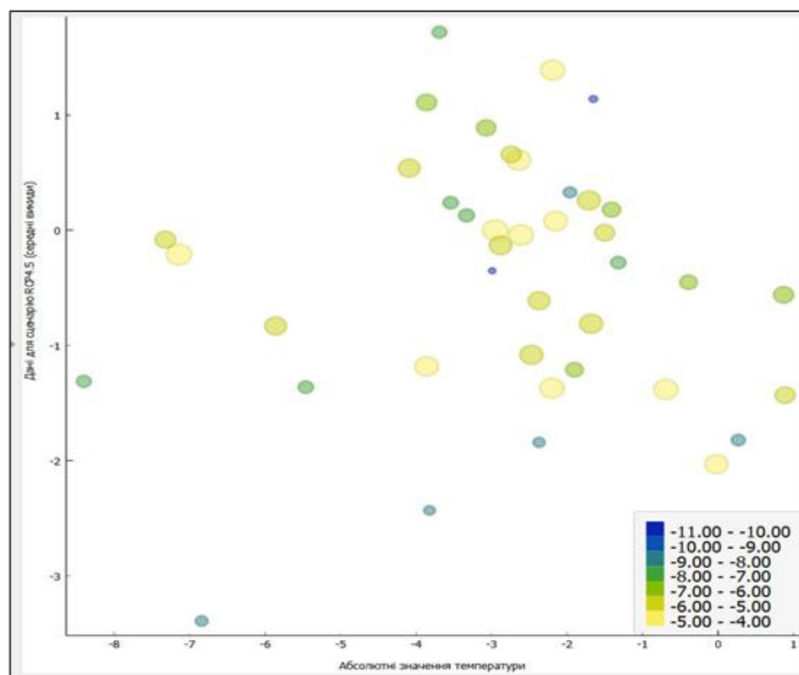


Рис. 3. Діаграма розсіювання кореляційних зв'язків між ковзним середнім і даними сценарію RCP8.5

і даними сценарію RCP8.5 ($R^2 = 0,859$), що свідчить про значний вплив сценарію на варіабельність ковзного середнього.

Комплексний кореляційний аналіз за методом Пірсона виявив складну систему взаємозв'язків між температурними параметрами за кліматичними сценаріями RCP4.5 та RCP8.5. Установлено наявність статистично значущих кореляцій різної спрямованості й сили ($p < 0,05$). Зокрема, виявлено дуже сильну пряму кореляцію між сценаріями ($r = 0,98$), що свідчить про їх узгоджену динаміку, незважаючи на різні припущення щодо траєкторій викидів парникових газів. П'ятирічні ковзні середні демонструють сильні прямі зв'язки з відповідними сценаріями ($r = 0,84\text{--}0,92$), що підтверджує їх репрезентативність для відображення довготермінових температурних трендів. Водночас наявність помірних обернених зв'язків між ковзними середніми й відхиленнями ($r = -0,58\text{--}-0,63$) указує на певну компенсаторну динаміку короткострокових температурних флуктуацій.

Однак, ураховуючи можливу нелінійність взаємозв'язків між кліматичними параметрами й потенційну наявність викидів у даних, доцільним є застосування непараметричних методів аналізу. Для оцінки монотонних залежностей між температурними показниками та їх класифікації в роботі застосовано методи рангової кореляції Спірмана та кластерного аналізу за алгоритмом k-середніх. Матриця рангових кореляцій Спірмана представлена на рис. 4.

Кореляційний аналіз взаємозв'язків між температурними параметрами за ранговим методом Спірмана виявив складну ієрархічну структуру взаємозалежностей. Найвищі значення коефіцієнтів кореляції зафіксовано між 5-річними ковзними середніми й відповідними сценарними даними, зокрема максимальний коефіцієнт (0,916) спостерігається між ковзним середнім і даними сценарію RCP8.5 із високими викидами. Це свідчить про високу репрезентативність ковзних середніх для відображення довгострокових температурних тенденцій у сценарії з найбільш інтенсивним антропогенним впливом на кліматичну систему.

Друга за силою кореляція (0,860) виявлена між 5-річним ковзним середнім для RCP8.5 і відповідними відхиленнями, що вказує на істотний взаємозв'язок між згладженими трендами й короткостроковими флуктуаціями температури в умовах високих викидів парникових газів. Сценарій RCP4.5 з помірними викидами також демонструє сильну кореляцію (0,830) між ковзним середнім і сценарними даними, хоча дещо меншу порівняно з RCP8.5, що може свідчити про більшу стабільність температурних трендів при нижчих рівнях антропогенного впливу.

Аналіз виявив стійку закономірність: ковзні середні обох сценаріїв демонструють сильні кореляції (понад 0,7) із відповідними сценарними даними, що підтверджує їх ефективність як інструменту згладжування часових рядів температури. Відхилення показують помірні до



Рис. 4. Матриця рангових кореляцій Спірмана для температурних показників за сценаріями RCP4.5/RCP8.5

сильних кореляцій (0,5–0,7) з основними показниками, відображаючи складну динаміку короткострокових температурних варіацій і їх зв'язок з довгостроковими трендами.

Особливу увагу привертають абсолютні значення температури, які характеризуються найслабшими кореляційними зв'язками (менше ніж 0,2) з іншими параметрами. Зокрема, мінімальні кореляції (–0.012 до –0.129) зафіксовано між абсолютними значеннями температури та відхиленнями, що може вказувати на відносну незалежність фактичних температурних показників від короткострокових флуктуацій. Така слабка інтегрованість абсолютних значень температури в загальну структуру кореляційних зв'язків може бути обумовлена їх більшою чутливістю до локальних кліматичних факторів і природної варіабельності.

Загальна структура рангових кореляцій демонструє більшу узгодженість і сильніші взаємозв'язки для сценарію RCP8.5 порівняно з RCP4.5, що може бути пояснено більш вираженими й односпрямованими змінами температури в умовах високих викидів парникових газів. Виявлена ієрархія кореляційних зв'язків підтверджує внутрішню узгодженість аналізованих даних та обґрунтовує доцільність використання ковзних середніх для аналізу довгострокових температурних трендів у різних сценаріях кліматичних змін.

Корелограма на рис. 5 узагальнює розподіл рангових кореляцій між температурними параметрами, демонструючи чітку диференціацію показників на групи з переважанням сильних прямих зв'язків та індикаторів з оберненими монотонними залежностями. Графічне представлення часових рядів демонструє динаміку температурних показників за різними сценаріями та їх похідними характеристиками. На осі ординат відображено значення температурних показників у діапазоні від –1 до 1, а на осі абсцис – часові періоди від 1 до 110. На графіку представлено шість різних параметрів, позначених різними кольорами: дані для сценарію RCP4.5 (середні викиди), дані для сценарію RCP8.5 (високі викиди), 5-річне ковзне середнє для обох сценаріїв і їх відповідні відхилення.

Аналіз графіка показує наявність двох горизонтальних пунктирних ліній на рівнях приблизно $\pm 0,25$, які можуть представляти межі статистичної значущості або довірчі інтервали.

Більшість значень коливається в межах цих ліній, демонструючи відносну стабільність показників. Спостерігаються як позитивні, так і негативні відхилення від нульового рівня, причому максимальні відхилення не перевищують 0,4–0,5 за абсолютною величиною.

У першій третині часового ряду (періоди 1–40) переважають позитивні значення

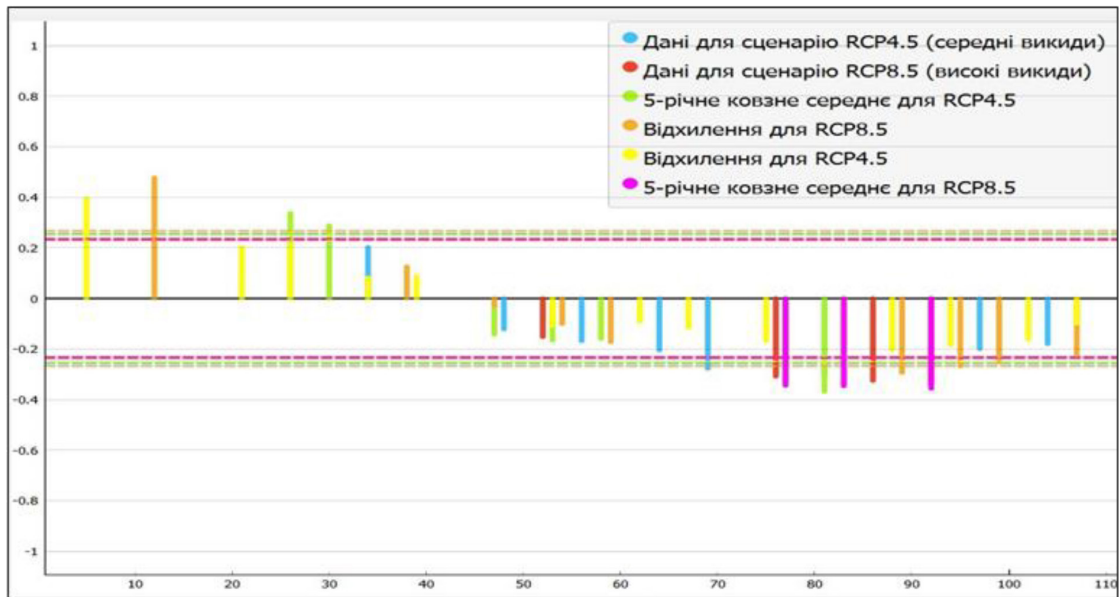


Рис. 5. Корелограма температурних часових рядів і їх 5-річних ковзних середніх за сценаріями RCP4.5/RCP8.5

показників, тоді як у другій половині (періоди 50–110) спостерігається тенденція до негативних відхилень. Це може свідчити про наявність довгострокового тренду в зміні температурних показників. 5-річні ковзні середні демонструють більш згладжену динаміку порівняно з первинними даними, що відображає довгострокові тенденції змін температури за обома сценаріями.

Для характеристики розподілу досліджуваних показників проведено box-plot аналіз (рис. 6), який виявив відносну симетричність розподілів без значних викидів та аномальних значень. Середнє значення абсолютних температур становить $1,8157 \pm 2,052$ °C, тоді як за сценарієм RCP8.5 спостерігається середнє значення $-0,8740 \pm 2,106$ °C для 5-річного ковзного середнього.

Практична значущість виявлених взаємозв'язків полягає в можливості їх використання для вдосконалення регіональних кліматичних

моделей через урахування виявлених залежностей між температурними параметрами; оптимізації методів згладжування часових рядів температури, ураховуючи високу ефективність 5-річних ковзних середніх; розробки рекомендацій щодо адаптаційних заходів, базуючись на різній інтенсивності температурних змін за сценаріями RCP4.5 та RCP8.5.

Проведений аналіз дав змогу виявити статистично значущі лінійні й монотонні взаємозв'язки між температурними параметрами, здійснити їх кластеризацію та оцінити розподіл ключових характеристик за сценаріями RCP4.5/RCP8.5.

Висновки. На основі кореляційного аналізу Пірсона виявлено статистично значущі ($p < 0,05$) лінійні взаємозв'язки між температурними параметрами. Установлено сильні прямі кореляції між абсолютними значеннями температури та сценаріями RCP4.5 ($r = 0,92$)

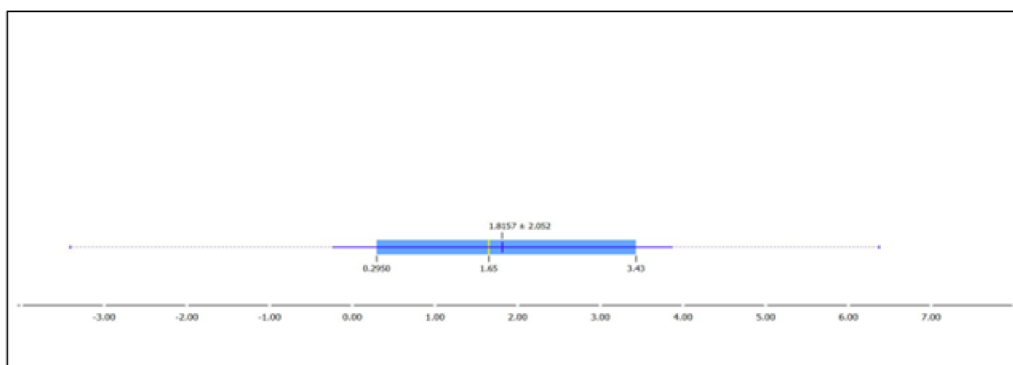


Рис. 6. Box-plot розподілу абсолютних значень температури з оцінкою міжквартильного розмаху й екстремальних значень ($1,8157 \pm 2,052$ °C)

і RCP8.5 ($r = 0,87$), а також між самими сценаріями ($r = 0,98$). Відхилення температури демонструють помірні обернені зв'язки з абсолютними значеннями ($r = -0,58 \dots -0,63$). Коефіцієнти детермінації засвідчили, що варіабельність температурних показників на 33,4–84,6 % визначається взаємним впливом досліджуваних параметрів.

Аналіз рангових кореляцій Спірмана підтвердив наявність сильних монотонних залежностей ($|r| > 0,7$) між температурними параметрами. Структура монотонних зв'язків виявилася подібною до лінійних кореляцій, що свідчить про стійкість виявлених закономірностей. Найсильніші рангові кореляції зафіксовано між 5-річним ковзним середнім за RCP8.5 і даними сценарію RCP8.5 ($r_s = 0,916$), найслабші – між абсолютними значеннями температури та відхиленнями для RCP4.5 ($r_s = -0,012$).

За допомогою box-plot аналізу встановлено статистичні характеристики розподілу температурних показників. Виявлено відносну симетричність розподілів без аномальних викидів, із середніми значеннями від $-5,0186$ °C до $1,8157$ °C і міжквартильними розмахами $\pm 1,350 \dots \pm 2,693$ °C. Найбільшу варіабельність продемонстрували відхилення температури за сценарієм RCP8.5, найменшу – значення за сценарієм RCP4.5.

Комплексне застосування методів параметричної та непараметричної статистики дало змогу всебічно охарактеризувати структуру взаємозв'язків і закономірностей у системі температурних часових рядів, що створює наукове підґрунтя для вдосконалення регіональних кліматичних моделей і планування адаптаційних заходів до зміни клімату на території Житомирської міської територіальної громади.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Dai E., Wu Z., Ge Q., Xi W., Wang X. Predicting the responses of forest distribution and aboveground biomass to climate change under RCP scenarios in southern China. *Global Change Biology*. 2016. DOI: 10.1111/gcb.13307
2. Future climate change under RCP emissions scenarios with GISS ModelE2/L. Nazarenko, G. Schmidt, R. L. Miller et al. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*. 2015. DOI: 10.1002/2014MS000403
3. Achievements and needs for the climate change scenario framework / B. O'Neill, T. Carter, K. Ebi et al. *Nature Climate Change*. 2020. DOI: 10.1038/s41558-020-00952-0
4. Schwalm C., Glendon S., Duffy P. RCP8.5 tracks cumulative CO₂ emissions. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2020. DOI: 10.1073/pnas.2007117117
5. Climate Change Viewer / УкрГМІ. URL: <https://climate.uhmi.org.ua/> (дата звернення: 11.12.2024).
6. IPCC. Climate Change 2014: Synthesis Report / Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.). Geneva : IPCC, 2014. 151 p. URL: <https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/> (дата звернення: 11.12.2024).
7. Vuuren D.P., Edmonds J., Kainuma M., Riahi K., Weyant J. A special issue on the RCPs. *Climatic Change*. 2011. DOI: 10.1007/S10584-011-0157-Y

REFERENCES:

1. Dai, E., Wu, Z., Ge, Q., Xi, W., & Wang, X. (2016). Predicting the responses of forest distribution and aboveground biomass to climate change under RCP scenarios in southern China. *Global Change Biology*. <https://doi.org/10.1111/gcb.13307>
2. Nazarenko, L., Schmidt, G., Miller, R.L., Tausnev, N., Kelley, M., Ruedy, R., Russell, G., Aleinov, I., Bauer, M., Bauer, S., Bleck, R., Canuto, V., Cheng, Y., Clune, T., Genio, A., & Faluvegi, G. (2015). Future climate change under RCP emission scenarios with GISS ModelE2. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*. <https://doi.org/10.1002/2014MS000403>
3. O'Neill, B., Carter, T., Ebi, K., Harrison, P., Kemp-Benedict, E., Kok, K., Kriegler, E., Preston, B., Riahi, K., Sillmann, J., van Ruijven, B.J., van Vuuren, D.V., Carlisle, D., Conde, C., Fuglestad, J., Green, C., & Hasegawa, T. (2020). Achievements and needs for the climate change scenario framework. *Nature Climate Change*. <https://doi.org/10.1038/s41558-020-00952-0>
4. Schwalm, C., Glendon, S., & Duffy, P. (2020). RCP8.5 tracks cumulative CO₂ emissions. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. <https://doi.org/10.1073/pnas.2007117117>
5. Ukrainian Hydrometeorological Institute. (2024). Climate Change Viewer. Retrieved December 11, 2024, from <https://climate.uhmi.org.ua/>
6. Intergovernmental Panel on Climate Change. (2014). Climate change 2014: Synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC. Retrieved from <https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/>
7. Vuuren, D.P., Edmonds, J., Kainuma, M., Riahi, K., & Weyant, J. (2011). A special issue on the RCPs. *Climatic Change*. <https://doi.org/10.1007/S10584-011-0157-Y>