

УДК 551.583:004.9

[https://doi.org/10.52058/2786-6025-2025-2\(43\)-1418-1430](https://doi.org/10.52058/2786-6025-2025-2(43)-1418-1430)

Пархоменко Олександр Юрійович кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри економічної кібернетики, комп'ютерних наук та інформаційних технологій, Миколаївський національний аграрний університет, м. Миколаїв, <https://orcid.org/0000-0002-7940-7414>

Тищенко Світлана Іванівна кандидат педагогічних наук, завідувач кафедри економічної кібернетики, комп'ютерних наук та інформаційних технологій, Миколаївський національний аграрний університет, м. Миколаїв, <https://orcid.org/0000-0001-7881-8740>

Дармосюк Валентина Миколаївна кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри вищої та прикладної математики, Миколаївський національний аграрний університет, м. Миколаїв, <https://orcid.org/0000-0003-3275-8249>

Хилько Іван Іванович старший викладач кафедри економічної кібернетики, комп'ютерних наук та інформаційних технологій, Миколаївський національний аграрний університет, м. Миколаїв, <https://orcid.org/0000-0001-7983-8276>

Крайній Володимир Олексійович кандидат економічних наук, старший викладач кафедри економічної кібернетики, комп'ютерних наук та інформаційних технологій, Миколаївський національний аграрний університет, м. Миколаїв, <https://orcid.org/0009-0008-0481-4083>

СТАТИСТИЧНИЙ АНАЛІЗ ТЕМПЕРАТУРНИХ ДАНИХ МИКОЛАЇВЩИНИ ЗАСОБАМИ PYTHON

Анотація. Зміни клімату є одним із найважливіших викликів сучасності, що впливає на природні та соціально-економічні процеси у світі. У цьому дослідженні проведено аналіз довгострокових змін середньорічної температури на Миколаївщині за період 1808-2025 років. Основним інструментом для обробки даних та моделювання трендів виступає мова програмування Python із використанням бібліотек Pandas, NumPy, Matplotlib, SciPy, Statsmodels, Sklearn та інших.

Методологія дослідження включає статистичний аналіз метеорологічних даних із застосуванням лінійної та поліноміальної регресії, LOESS-згладжу-

вання, автокореляційного аналізу, а також аналізу сезонних змін температури. Використання бібліотек машинного навчання та часових рядів дозволило ефективно виявити довготривалі тренди та оцінити варіативність температури.

Результати дослідження підтверджують існування чіткого тренду до потепління, особливо після 1980-х років. Використання Python дозволило автоматизувати обробку великого обсягу даних, візуалізувати кліматичні зміни та провести глибокий статистичний аналіз. Виявлено, що середня швидкість підвищення температури становить $0.014\text{--}0.016^{\circ}\text{C}$ на рік, що еквівалентно зростанню на $1.4\text{--}1.6^{\circ}\text{C}$ за століття. Поліноміальна регресія другого ступеня вказує на прискорення процесу потепління, а LOESS-згладжування підтверджує, що найбільше зростання температури відбувається у XXI столітті.

Аналіз сезонних змін показав, що зими теплішають швидше, ніж літа, що спричиняє зменшення сезонного контрасту. У XIX столітті середня зимова температура часто опускалася нижче -5°C , тоді як у XXI столітті вона рідко падає нижче 0°C . Літня температура також зростає, але більш поступово, перевищуючи 25°C у багатьох роках сучасного періоду. Крім того, оцінка середньої температури за десятиріччя виявила, що найінтенсивніше потепління спостерігається після 1990-х років.

Отримані результати свідчать про те, що зміни клімату є нелінійними, а їхня динаміка вказує на прискорене глобальне потепління. Це підтверджує важливість подальшого моніторингу кліматичних процесів та необхідність адаптаційних заходів для зменшення негативних наслідків змін клімату.

Ключові слова: зміна клімату, аналіз часових рядів, середньорічна температура, поліноміальна регресія, LOESS-згладжування, лінійна регресія, довгострокові тенденції температури, сезонні коливання температури, декадний аналіз температури, Python.

Parkhomenko Oleksandr Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of the Department of Economic Cybernetics, Computer Science and Information Technology, Mykolaiv National Agrarian University, Mykolaiv, <https://orcid.org/0000-0002-7940-7414>

Tyshchenko Svitlana Candidate of Pedagogical Sciences, Head of the Department of Economic Cybernetics, Computer Science and Information Technology, Mykolaiv National Agrarian University, Mykolaiv, <https://orcid.org/0000-0001-7881-8740>

Darmosiuk Valentyna Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of the Department of Higher and Applied Mathematics, Mykolaiv National Agrarian University, Mykolaiv, <https://orcid.org/0000-0003-3275-8249>

Khyliko Ivan Senior Lecturer at the Department of Economic Cybernetics, Computer Science and Information Technology, Mykolaiv National Agrarian University, Mykolaiv, <https://orcid.org/0000-0001-7983-8276>

Krainii Volodymyr Candidate of Economic Sciences, Senior Lecturer at the Department of Economic Cybernetics, Computer Science and Information Technology, Mykolaiv National Agrarian University, Mykolaiv, <https://orcid.org/0009-0008-0481-4083>

STATISTICAL ANALYSIS OF TEMPERATURE DATA OF MIKOLAIV REGION USING PYTHON

Abstract. Climate change is one of the most important challenges of our time, affecting natural and socio-economic processes in the world. This study analyses long-term changes in the average annual temperature in the Mykolaiv region over the period 1808-2025. The main tool used for data processing and trend modelling is the Python programming language with the use of Pandas, NumPy, Matplotlib, SciPy, Statsmodels, Sklearn, and other libraries.

The research methodology includes statistical analysis of meteorological data using linear and polynomial regression, LOESS smoothing, autocorrelation analysis, and analysis of seasonal temperature changes. The use of machine learning libraries and time series allowed us to effectively identify long-term trends and assess temperature variability.

The results of the study confirm the existence of a clear warming trend, especially after the 1980s. The use of Python made it possible to automate the processing of a large amount of data, visualise climate change and conduct in-depth statistical analysis. It was found that the average rate of temperature increase is 0.014-0.016°C per year, which is equivalent to an increase of 1.4-1.6°C per century. The second-degree polynomial regression indicates an acceleration of the warming process, and LOESS smoothing confirms that the greatest temperature increase is occurring in the 21st century.

The analysis of seasonal changes showed that winters are warming faster than summers, which leads to a decrease in the seasonal contrast. In the nineteenth century, the average winter temperature often dropped below -5°C, while in the twenty-first century it rarely falls below 0°C. Summer temperatures are also increasing, but more gradually, exceeding 25°C in many years of the modern period. In addition, an assessment of the average temperature per decade revealed that the most intense warming has occurred since the 1990s.

The results obtained indicate that climate change is non-linear, and its dynamics point to accelerated global warming. This confirms the importance of further monitoring of climate processes and the need for adaptation measures to reduce the negative effects of climate change.

Keywords: climate change, time series analysis, average annual temperature, polynomial regression, LOESS smoothing, linear regression, long-term temperature trends, seasonal temperature fluctuations, decadal temperature analysis, Python.

Постановка проблеми. Кліматичні зміни є однією з найбільших екологічних, економічних та соціальних проблем сучасності. Вони мають значний вплив на природні екосистеми, сільське господарство, водні ресурси, енергетику та здоров'я населення. Зміни клімату відбуваються на глобальному рівні, проте їхні наслідки проявляються на локальних територіях по-різному. Тому детальне дослідження довготривалих змін температури в конкретних регіонах є важливим для розуміння загальних тенденцій потепління та їхніх наслідків.

Аналіз історичних температурних даних дозволяє не лише оцінити загальні тенденції потепління, а й визначити його сезонні особливості та потенційні наслідки для регіональної екосистеми. Зокрема, дослідження середньорічних температур на Миколаївщині за період 1808–2025 років є важливим для розуміння динаміки локального клімату та прогнозування майбутніх змін.

Завдяки розвитку інформаційних технологій, сучасні методи аналізу великих даних відкривають нові можливості для дослідження кліматичних змін. У цьому дослідженні використано мову програмування Python як основний інструмент для обробки та аналізу великих обсягів метеорологічних даних. Застосування бібліотек Pandas, NumPy, SciPy, Matplotlib, Statsmodels та Scikit-learn дозволило ефективно виконати статистичний аналіз, будувати регресійні моделі, аналізувати часові ряди та візуалізувати результати.

Основними методами дослідження є лінійна регресія, поліноміальна регресія другого ступеня та LOESS-згладжування. Особлива увага приділена оцінці сезонних змін температури, що дозволяє визначити нерівномірність потепління у різні пори року. Використання Python дало можливість не лише автоматизувати процес аналізу, а й суттєво підвищити точність отриманих результатів, які можуть бути використані для прогнозування подальших змін клімату, розробки адаптаційних стратегій та прийняття управлінських рішень щодо мінімізації негативних наслідків глобального потепління.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У роботі [1] запропоновано мультиагентний підхід для уніфікації метеорологічних даних, що сприяє покращенню прогнозування кліматичних змін. Дослідження [2] демонструє ефективність машинного навчання для прогнозування врожайності пшениці в степовій зоні України за умов змінного клімату. У роботі [3] аналізується вплив локалізації та кліматичних змін на функціонування центрів обробки даних в Україні до 2050 року, що підкреслює необхідність адаптації інфраструктури до зростання температури. У статті [4] представлено моделювання кліматичних даних для Одеси на основі симуляцій EURO-CORDEX, що дозволяє оцінити майбутні зміни температури та опадів у регіоні. Робота [5]

демонструє використання Python для аналізу та візуалізації даних про пожежі в Амазонії, що підтверджує ефективність сучасних інструментів у геоінформаційних дослідженнях. У статті [6] розглядаються екологічні зміни в південній Україні, зокрема зростання частоти посух та їхній вплив на здоров'я населення. Дослідження [7] аналізує метеорологічні умови формування туманів у південних регіонах України, показуючи їхню залежність від температурного режиму та вологості повітря. У роботі [8] виявлено рекордні температурні аномалії жовтня 2023 року в Україні, включаючи Миколаївську область. У статті [9] досліджуються зміни основних кліматичних характеристик у північно-західному Причорномор'ї, що демонструють сталий ріст середньорічної температури з початку XXI століття. Нарешті, у роботі [10] аналізуються довготривалі тенденції підвищення середньорічної температури в Україні, яка за останнє століття зросла на $1,31^{\circ}\text{C}$, особливо у зимові місяці.

Мета статті – здійснити аналіз змін середньорічної температури на Миколаївщині за період 1808–2025 років, використовуючи сучасні методи обробки даних засобами Python та виявити довготривалі тренди температури.

Виклад основного матеріалу. У дослідженні було проведено аналіз довгострокових змін середньорічної температури на Миколаївщині на основі метеорологічних даних, що охоплюють період з 1808 по 2025 рік.

Дані для дослідження взято на порталі [weatherandclimate.eu](https://www.weatherandclimate.eu) за посиланням <https://www.weatherandclimate.eu/history/33846>. Дані за деякі місяці, а іноді і роки, відсутні. Наприклад, немає даних за період 1815-1824 роки, 1876-1890 роки, а також за деякі місяці 2022-2023 років, тому вони не враховувались при обчисленнях, а на графіках періоди з відсутніми даними мають розриви або прямі лінії, які сполучають відомі дані.

Основним завданням було оцінити загальні кліматичні тенденції, зокрема виявити наявність та інтенсивність глобального потепління на регіональному рівні. Для визначення загальних тенденцій температури було використано метод лінійної регресії, який дозволяє оцінити швидкість потепління в градусах за рік. Окрім того, для врахування можливих нелінійних змін було застосовано поліноміальну регресію другого ступеня, що відображає можливе прискорення потепління упродовж досліджуваного періоду. Для зменшення впливу короткострокових коливань температури використовувалося LOESS-згладжування, яке забезпечує адаптивне усереднення даних без припущень щодо форми тренду.

Обчислення та візуалізація даних здійснювалися за допомогою мови програмування Python з використанням відповідних бібліотек: pandas для обробки даних, numpy для математичних операцій, matplotlib і seaborn для побудови графіків, scipy для виконання регресійного аналізу, а також statsmodels для оцінки часових рядів. Первинна обробка включала завантаження даних із файлу формату .docx, видалення відсутніх значень (позначених як 999.9), а також агрегування температури за окремими місяцями, сезонами та десятиріччями.

Для наочності результатів дослідження було побудовано ряд графіків, що ілюструють динаміку температури у різні часові періоди. У подальшому представлено аналіз отриманих графічних залежностей та їх інтерпретацію у контексті глобальних кліматичних змін.

Графік на рисунку 1 побудований за допомогою бібліотек Matplotlib та Pandas і відображає середньорічну температуру на Миколаївщині за період 1808-2025 років. Використано метод plot() для побудови лінійного графіка, що дає змогу чітко прослідкувати зміни температури у часовому розрізі.

При аналізі графіка середньорічної температури за період 1808-2025 років можна виділити кілька важливих тенденцій та часових інтервалів, що характеризуються різними типами коливань.

1. 1808-1900 роки – відносна стабільність із помірними коливаннями. У цей період середньорічна температура коливалася у відносно стабільних межах, з невеликими відхиленнями в межах $\pm 1^{\circ}\text{C}$ від середнього значення. Можна помітити окремі холодні десятиліття, наприклад, 1810-1830 роки, що можуть бути пов'язані з наслідками вулканічних вивержень (наприклад, виверження Тамбора в 1815 році).

2. 1900-1950 роки – підвищена мінливість із різкими змінами. У першій половині XX століття температурні коливання стають більш вираженими. 1910-1930 рр. відзначаються періодами потепління, а 1940-1950 рр. – короткочасним похолоданням. Така мінливість може бути зумовлена змінами в атмосферній циркуляції, а також впливом Світових воєн та економічних криз, що призвели до зниження промислових викидів.



Рис. 1 Середньорічна температура на Миколаївщині (1808-2025)

3. 1950-1980 роки – відносно похолодання. У цей період середня температура знижується або залишається стабільною, без яскраво вираженого тренду до зростання. Деякі дослідження пов'язують це з індустріалізацією та викидами аерозолів у атмосферу, що могли сприяти зменшенню кількості сонячної радіації, яка досягала поверхні Землі (ефект глобального затемнення).

4. 1980-2025 роки – стрімке потепління. Починаючи з 1980-х років, температура починає зростати швидкими темпами. Найбільше потепління спостерігається після 2000 року, що співпадає із загальним глобальним потеплінням. Серед ймовірних причин можна назвати зменшення викидів аерозолів, зростання концентрації парникових газів, зміни у циркуляції повітряних мас.

Середнє значення середньорічних температур за весь досліджуваний період складає $9,96^{\circ}\text{C}$. Медіанна температура, яка розділяє набір даних на дві рівні частини, дорівнює $10,10^{\circ}\text{C}$. Тобто, 50% спостережень мають температуру нижче $10,10^{\circ}\text{C}$, а 50% – вище. При цьому стандартне відхилення складає $0,97^{\circ}\text{C}$ і показує, наскільки температура в середньому відхиляється від її середнього значення ($9,96^{\circ}\text{C}$). Менше значення означає меншу варіативність температури.

Одним із важливих аспектів дослідження є аналіз сезонних змін температури, що дозволяє оцінити, чи відбувається потепління рівномірно у різні пори року. Для цього було обчислено середню зимову та літню температуру за весь період спостережень (1808–2025 роки) та побудовано графік, що ілюструє довгострокові тенденції змін середніх температур у зимовий (грудень–лютий) та літній (червень–серпень) сезони (рис. 2).

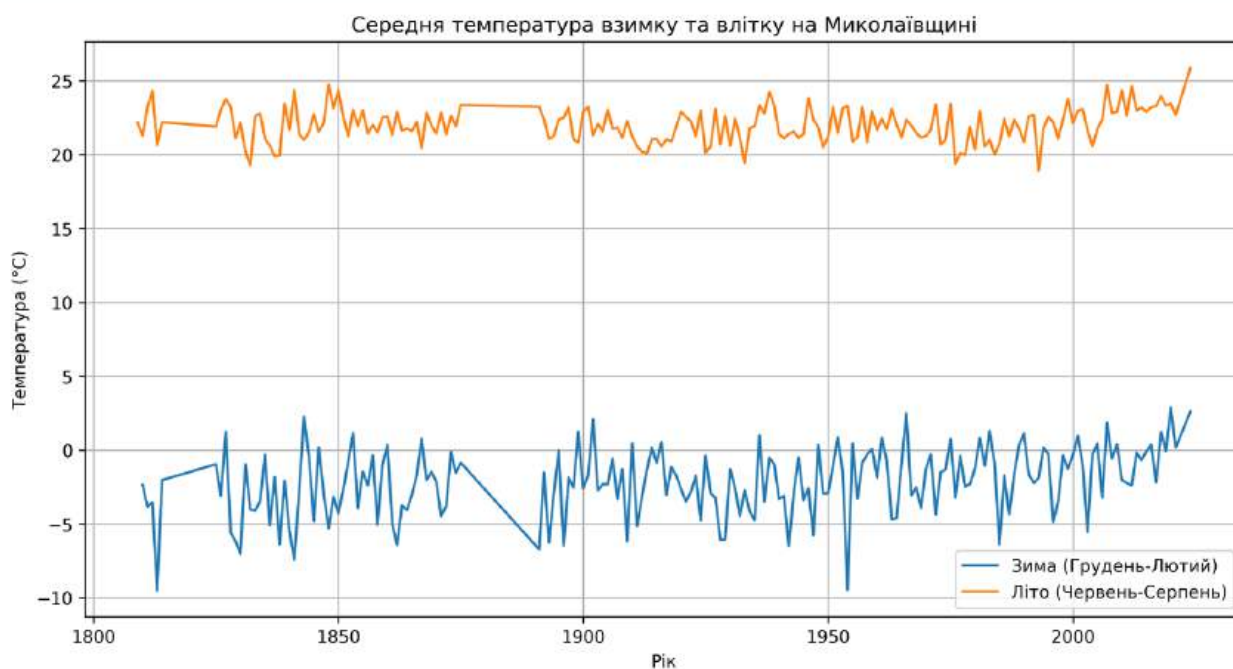


Рис. 2 Середня температура взимку та влітку на Миколаївщині

Обчислення виконувалися з використанням бібліотеки *pandas*, що дозволило врахувати відсутні значення та автоматично обробити великі обсяги даних. Графік дозволяє простежити динаміку сезонних змін температури протягом понад 200 років. Однією з найважливіших тенденцій є загальне підвищення температури в обох сезонах, однак характер цього підвищення має певні особливості.

У XIX столітті зимова температура зазнавала значних коливань, із частими періодами сильних морозів. Деякі десятиліття демонструють аномально низькі значення, що може бути пов'язано з природними кліматичними циклами, такими як Малий льодовиковий період (XVII–XIX ст.). У XX столітті спостерігається поступове потепління зимових температур. Зокрема, після 1950-х років середня зимова температура вже рідше опускається нижче -5°C . Після 1980-х років зимові температури значно підвищилися, і у XXI столітті середня температура зими вже часто перевищує 0°C , що свідчить про загальну тенденцію до зменшення морозних зим.

Літні температури також зростають, однак їх підвищення менш виражене у першій половині досліджуваного періоду. У XIX столітті середня літня температура знаходилася в межах $21\text{--}22^{\circ}\text{C}$, із відносно незначними коливаннями. Починаючи з XX століття, особливо після 1950-х років, літня температура починає зростати. У XXI столітті середня температура літа вже часто перевищує 25°C , що свідчить про значне потепління літніх періодів, особливо після 1990-х років.

Хоча обидва сезони демонструють тенденцію до потепління, зимові температури зростають швидше, ніж літні. Це можна пояснити ефектом зменшення кількості холодних зимових днів, що суттєво впливає на середнє значення. Водночас літнє потепління більш стабільне і рівномірне, що узгоджується з глобальними тенденціями зміни клімату.

Одним із ключових аспектів дослідження змін клімату є аналіз довгострокових тенденцій середньорічної температури. У цьому дослідженні було застосовано три методи аналізу: лінійну регресію (*linregress* з бібліотеки *scipy.stats*), поліноміальну регресію другого ступеня (*np.polyfit* з бібліотеки *numpy*) та LOESS-згладжування (*lowess* з бібліотеки *statsmodels*). Використання різних підходів дозволяє не лише оцінити загальний тренд, але й визначити можливі нелінійні зміни, періоди стабілізації чи прискорення потепління. Графічне представлення цих методів дає змогу порівняти їхню ефективність та виявити найкращий підхід для інтерпретації реальних змін клімату (рис. 3).

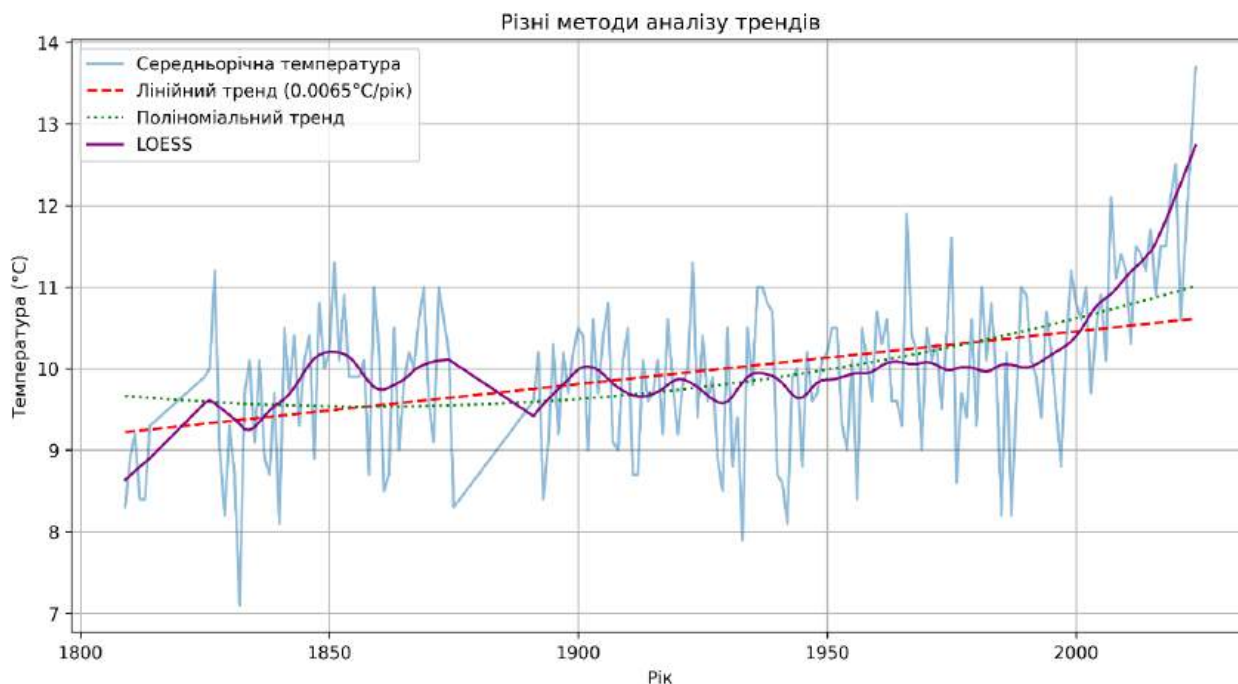


Рис. 3 Різні методи аналізу трендів зміни температури на Миколаївщині

Лінійна регресія є одним із найпростіших та найпоширеніших методів аналізу часових рядів. Вона дозволяє оцінити середню швидкість зміни температури в градусах на рік, припускаючи, що зміни відбуваються із постійною швидкістю. Модель лінійної регресії має вигляд:

$$T_{\text{рік}} = \beta_0 + \beta_1 \cdot t + \varepsilon,$$

де $T_{\text{рік}}$ – середньорічна температура, β_0 – вільний член (перетин з віссю Y), β_1 – кутовий коефіцієнт (швидкість зміни температури, $^{\circ}\text{C}/\text{рік}$), t – рік, ε – залишковий член (похибка моделі).

З аналізу рисунка 3, лінійна регресія (червона пунктирна лінія) показує чітку тенденцію до зростання середньорічної температури. Коефіцієнт нахилу β_1 дорівнює $0,0065^{\circ}\text{C}/\text{рік}$ і показує, що середньорічна температура зростає приблизно на $0,0065^{\circ}\text{C}$ щороку. Це означає, що за 100 років середня температура підвищується на $0,65^{\circ}\text{C}$. Коефіцієнт кореляції між роками та середньорічною температурою має значення $0,4063$, що свідчить про помірний позитивний зв'язок між змінними (чим більше значення коефіцієнта кореляції, тим сильніше зростає температура з роками). Стандартна помилка складає $0,0011$ і визначає, наскільки варіативним є оцінений коефіцієнт нахилу, а її мале значення означає високу точність оцінки тренду потепління.

На відміну від лінійної регресії, поліноміальна регресія дозволяє виявити нелінійні зміни у тренді температури, що є особливо важливим для аналізу кліматичних даних. Поліноміальна модель другого ступеня описується рівнянням:

$$T_{\text{рік}} = \alpha_0 + \alpha_1 \cdot t + \alpha_2 \cdot t^2 + \varepsilon$$

де α_0 , α_1 , α_2 – параметри моделі, t – рік, α_2 – коефіцієнт квадратичного члена, що відображає прискорення або уповільнення змін температури. Цей метод є корисним для виявлення можливих переломних моментів у динаміці температури, коли тренд змінюється з лінійного на експоненційний.

Результати апроксимації поліномом другого ступеня показали значення $\alpha_2 = 5,40 \cdot 10^{-5} > 0$, що свідчить про прискорення темпів потепління на Миколаївщині. Поліноміальна регресія другого ступеня демонструє, що після середини XX століття темпи потепління значно зросли (зелена точкова лінія). Це підтверджує, що зміни температури не є лінійними, а з часом темпи зростання температури стають вищими, тобто в останні десятиліття температура піднімається швидше, ніж раніше.

LOESS (Locally Weighted Scatterplot Smoothing) – це метод локального регресійного згладжування, який дозволяє отримати гнучку оцінку тренду без припущень про його форму. Основна ідея LOESS-згладжування полягає у використанні локальних поліноміальних апроксимацій для кожної точки ряду, де сусідні значення отримують вагові коефіцієнти залежно від їхньої відстані до точки оцінки. Формально, LOESS апроксимує тренд за допомогою локального регресійного рівняння:

$$T_{\text{рік}} = \sum_{i=1}^n \omega_i (a + bX_i)$$

де ω_i – вагові коефіцієнти, що визначаються за допомогою ядра Трікуба:

$$\omega_i = \left(1 - \left(\frac{|X_i - X_0|}{D} \right)^3 \right)^3$$

де D – ширина вікна, що визначає, скільки сусідніх точок використовується для апроксимації. Цей метод дозволяє отримати найбільш реалістичний вигляд тренду, оскільки він адаптується до даних та не накладає обмежень на форму зміни температури. LOESS-згладжування (фіолетова суцільна лінія) підтверджує результати поліноміальної регресії, демонструючи стабільні значення температури у XIX столітті, повільне зростання у першій половині XX століття та різке потепління після 1980-х років.

Зрозуміти динаміку кліматичних змін та визначити періоди найбільш інтенсивного потепління або тимчасового зниження температури дозволяє також оцінка змін середньої температури в межах десятиріч. Для оцінки цих змін було обчислено середню температуру для кожного десятиріччя та визначено її відхилення від попереднього десятиріччя. Побудований графік (рис. 4) відображає різницю між середніми температурами сусідніх десятиріч, що дозволяє виявити періоди інтенсивного потепління або охолодження.

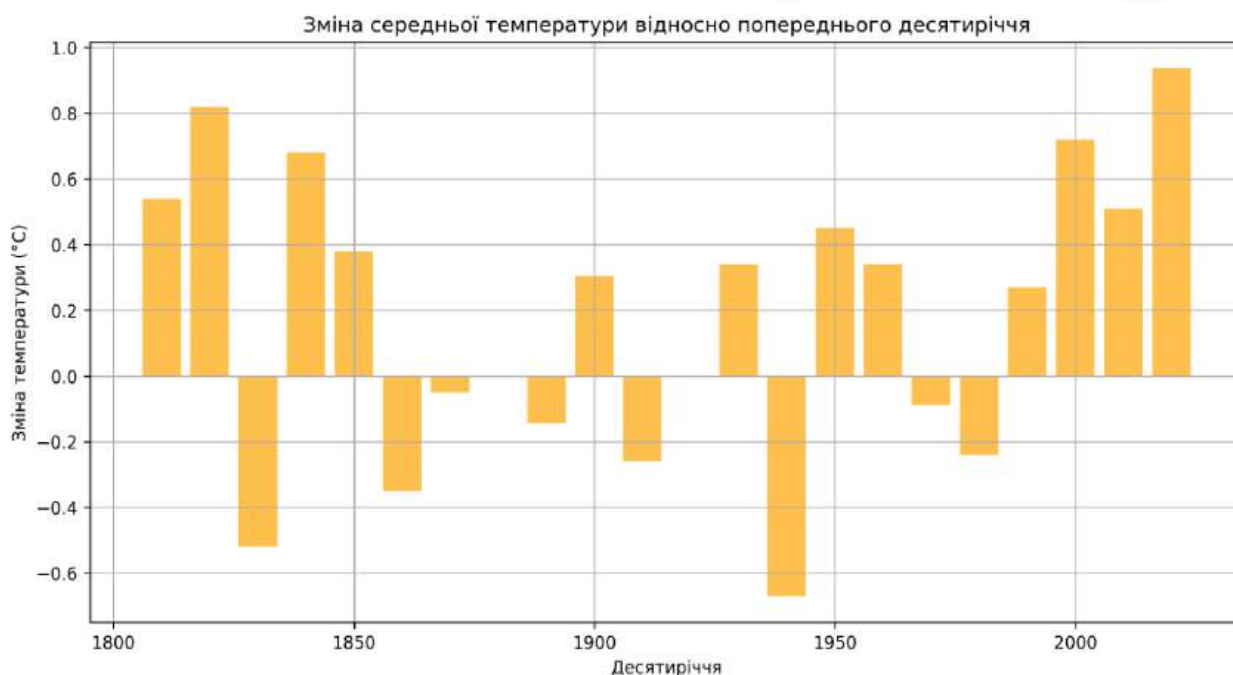


Рис. 4 Зміна середньої температури відносно попереднього десятиріччя

Упродовж XIX століття гістограма демонструє коливання змін середньої температури без вираженої тенденції до стабільного потепління. Деякі десятиріччя показують незначне підвищення, тоді як інші демонструють зниження температури. Це свідчить про природні кліматичні флуктуації, які не були пов'язані з антропогенним впливом. Однією з причин таких змін можуть бути природні кліматичні цикли, наприклад, наслідки Малого льодовикового періоду (XVII–XIX ст.), що характеризувався періодичним похолоданням.

На початку XX століття зміни температури все ще залишаються коливальними, однак у період з 1920-х до 1950-х років спостерігається поступове підвищення середніх температур у порівнянні з попередніми десятиріччями. Цікаво, що у 1940-х роках спостерігається тимчасове незначне похолодання. Ймовірно, це результат глобальних змін, пов'язаних із Другою світовою війною та її наслідками для економіки, зменшенням виробництва та викидів парникових газів.

Після 1980-х років графік чітко демонструє різке зростання температури у кожному наступному десятиріччі. Найбільші зміни відбуваються після 1990-х років, коли десятирічні темпи потепління стають максимальними за весь період спостережень. Зокрема, у 1990-х, 2000-х і 2010-х роках спостерігається безперервне істотне підвищення середньої температури. Поточні тенденції підтверджують, що 2020-ті роки можуть стати найтеплішим десятиріччям в історії спостережень, а процес потепління не лише продовжиться, а й може прискоритися.

Висновки. Проведений аналіз середньорічних температур на Миколаївщині за період 1808–2025 років підтверджує існування чіткого тренду до потепління. Використання мови програмування Python та її бібліотек дозволило автоматизувати процес обробки великих обсягів даних, підвищити точність статистичних оцінок та отримати наочні графічні представлення змін температури. Результати дослідження свідчать про поступове підвищення середньорічної температури, особливо після 1980-х років. Виявлено, що зими теплішають швидше, ніж літа, що спричиняє зменшення сезонного контрасту. Методи лінійної та поліноміальної регресії підтвердили прискорене потепління, а LOESS-згладжування надало додаткову гнучкість у виявленні локальних тенденцій.

В подальшому доцільно використати кліматичні моделі для довгострокового прогнозування температури у регіоні, зробити аналіз опадів, вологості та інших кліматичних показників, що можуть впливати на зміну клімату та здійснити оцінку можливих економічних та екологічних наслідків потепління. Також було б доречним зробити порівняння отриманих результатів з іншими регіонами для глобального аналізу тенденцій змін клімату.

Таким чином, отримані результати можуть бути використані для подальших досліджень у сфері кліматології, прогнозування змін клімату та розробки адаптаційних стратегій.

Література:

1. Melnyk K., Kravets Y., Liutenko I., Yershova S. Multi-agent approach for the unification of meteorological data // *CEUR Workshop Proceedings*. 2023. №3403. P.476-486. URL: <https://ceur-ws.org/Vol-3403/paper37.pdf>.
2. Hrytsiuk P., Babych T., Hladka O., Nehrey M. Modeling of wheat yield in the steppe region of Ukraine using machine learning techniques // *CEUR Workshop Proceedings*. 2024. №3790. P.409-421. URL: <https://ceur-ws.org/Vol-3790/paper36.pdf>.
3. Petrović S. N., Larsen M. A. D., Colangelo A. Effect of localisation and climate change on operation of data centres in Ukraine towards 2050 // *Energy Strategy Reviews*. 2023. T.45. №101053. DOI: 10.1016/j.esr.2022.101049.
4. Borovska H., Khokhlov V. Climate data for Odesa, Ukraine in 2021–2050 based on EURO-CORDEX simulations // *Geoscience Data Journal*. 2024. T.11. P.148-159. DOI: 10.1002/gdj3.197.
5. da Silveira J. V. M. Leveraging Python for data modeling, visualization and remote sensing of fire hotspots in the Amazon: A case study of Santana do Araguaia, Brazil // *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 2024. T. XLVIII-3-W3-2024. P.27-35. URL: <https://isprs-archives.copernicus.org/articles/XLVIII-3-W3-2024/27/2024/isprs-archives-XLVIII-3-W3-2024-27-2024.pdf>.
6. Karamushka V., Boychenko S., Kuchma T., Zabarna O. Trends in the Environmental Conditions, Climate Change and Human Health in the Southern Region of Ukraine // *Sustainability*. 2022. T.14. №9. P.5664. DOI: 10.3390/su14095664.
7. Недострелова Л. В. Метеорологічні умови утворення туманів на півдні України // *Фізична географія та геоморфологія*. 2024. Т. 47. №1-3 (123-125). С.23-31. DOI: 10.17721/phgg.2024.1-2.03.

8. Нажмудінова О. М. Температурні аномалії жовтня 2023 р. в Україні // *Фізична географія та геоморфологія*. 2024. Т. 47. №1-3 (123-125). С.7-13. DOI: 10.17721/phgg.2024.1-2.01.

9. Серга Е. М., Хохлов В. М., Недострелова Л. В. Сучасна динаміка показників основних кліматичних характеристик на станціях Північно-Західного Причорномор'я // *Український гідрометеорологічний журнал*. 2020. №26. С.37-49. DOI: 10.31481/uhmj.26.2020.03.

10. Boychenko S., Maidanovych N. A century-long tendency of change in surface air temperature on the territory of Ukraine // *Geofizicheskiy Zhurnal*. 2024. Т.46. №2. DOI: 10.24028/gj.v46i2.297227.

References:

1. Melnyk, K., Kravets, Y., Liutenko, I., & Yershova, S. (2023). Multi-agent approach for the unification of meteorological data. *CEUR Workshop Proceedings*. 476-486. Retrieved from <https://ceur-ws.org/Vol-3403/paper37.pdf>.

2. Hrytsiuk, P., Babych, T., Hladka, O., & Nehrey, M. (2024). Modeling of wheat yield in the steppe region of Ukraine using machine learning techniques. *CEUR Workshop Proceedings*. 409-421. Retrieved from <https://ceur-ws.org/Vol-3790/paper36.pdf>.

3. Petrović, S. N., Larsen, M. A. D., & Colangelo, A. (2023). Effect of localisation and climate change on operation of data centres in Ukraine towards 2050. *Energy Strategy Reviews*, 45, 101053. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2022.101049>.

4. Borovska, H. & Khokhlov, V. (2024) Climate data for Odesa, Ukraine in 2021–2050 based on EURO-CORDEX simulations. *Geoscience Data Journal*, 11, 148–159. Available from: <https://doi.org/10.1002/gdj3.197>.

5. da Silveira, J. V. M. (2024). Leveraging Python for data modeling, visualization and remote sensing of fire hotspots in the Amazon: A case study of Santana do Araguaia, Brazil. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLVIII-3-W3-2024, 27–35. Retrieved from <https://isprs-archives.copernicus.org/articles/XLVIII-3-W3-2024/27/2024/isprs-archives-XLVIII-3-W3-2024-27-2024.pdf>.

6. Karamushka, V., Boychenko, S., Kuchma, T., & Zabarna, O. (2022). Trends in the Environmental Conditions, Climate Change and Human Health in the Southern Region of Ukraine. *Sustainability*, 14(9), 5664. <https://doi.org/10.3390/su14095664>.

7. Nedostrelova, L. (2024). Meteorological conditions for the formation of fog in the South part of Ukraine. *Physical Geography and Geomorphology*. 47, 1-3 (123-125), 23-31. <https://doi.org/10.17721/phgg.2024.1-2.03> [in Ukrainian].

8. Nazhmudinova, H. N. (2024). Temperature anomalies in October 2023 in Ukraine. *Physical Geography and Geomorphology*. 47, 1-3 (123-125), 7-13. <https://doi.org/10.17721/phgg.2024.1-2.01> [in Ukrainian].

9. Serga, E. N., Khokhlov, V. M., & Nedostrelova, L. V. (2020). Modern dynamics in main climate characteristics at sites of North-Western Black Sea coast. *Ukrainian Hydrometeorological Journal*, (26), 37-49. <https://doi.org/10.31481/uhmj.26.2020.03> [in Ukrainian].

10. Boychenko, S., & Maidanovych, N. (2024). A century-long tendency of change in surface air temperature on the territory of Ukraine. *Geofizicheskiy Zhurnal*, 46(2). <https://doi.org/10.24028/gj.v46i2.297227>.