

УДК 551.583.13:551.585.5

DOI <https://doi.org/10.32782/geochasvnu.2024.4.03>

Вадим Івченко

здобувач кафедри інженерної екології міст,
Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова
ivchenkovadim@outlook.com

Інна Рибалка

кандидат біологічних наук, доцент кафедри інженерної екології міст
та кафедри ландшафтного проєктування та садово-паркового мистецтва,
Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова
innarybalka@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8225-3041>

Юрій Вергелес

старший викладач кафедри інженерної екології міст,
Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова
yuri_vergeles@hotmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4915-1489>

ДІАГНОСТИКА ТЕНДЕНЦІЙ ЗМІНИ КЛІМАТУ ТРАВ'ЯНИСТИХ І ЛІСОВИХ БІОМІВ ПОМІРНОГО КЛІМАТИЧНОГО ПОЯСУ ПІВНІЧНОЇ ПІВКУЛІ ЗЕМЛІ НА ПІДСТАВІ ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ КЛІМАДІАГРАМ

Анотація. Очікується, що зміна клімату відобразиться на кількості опадів і температурному режимі в усьому світі. Для виявлення тенденцій зміни клімату в трав'янистих і лісових біомах помірного кліматичного поясу Північної півкулі ми зосередилися на українській частині Східноєвропейської рівнини в Євразії та територіях Великих Рівнин у Північній Америці (від Північного Техасу до Північної Дакоти у США та Саскачевану в Канаді). В якості модельних вибрані метеостанції Одеси, Харкова, Умані (Україна), Далласа, Лінкольна (США), Саскатуна (Канада). Діагностику тенденцій зміни температурного режиму й опадів здійснено з використанням методу клімадіаграм й аналізу часових рядів. Для отримання відомостей про клімат на початку ХХ ст. використано «Атлас клімадіаграм світу». Для порівняння розподілів температури й опадів «сучасного» й «історичного» кліматів застосовано критерій Колмогорова. Результати нашого дослідження показали, що загалом клімат Європи піддається більшим змінам клімату, ніж клімат Північної Америки. Висновки, зроблені на основі використання методу клімадіаграм та аналізу часових рядів, узгоджуються.

Ключові слова: аналіз часових рядів, зміна клімату, клімадіаграма, критерій Колмогорова, помірні широти, порівняння, трав'янисті і лісові біоми.

Ivchenko Vadym, Rybalka Inna, Vergeles Yuriy. DIAGNOSTICS OF CLIMATE CHANGE TRENDS IN GRASSLAND AND WOODLAND BIOMES OF THE TEMPERATE CLIMATE ZONE OF THE NORTHERN HEMISPHERE BASED ON THE APPLICATION OF THE CLIMADIAGRAM METHOD

Abstract. The aim of the study is to investigate the suitability of the climadiagram method for climate change research. To identify trends in climate change in the grassland and woodland biomes of the temperate climate zone of the Northern Hemisphere, we focused on the Ukrainian part of the East European Plain in Eurasia and the Great Plains in North America (from North Texas to North Dakota in the United States and Saskatchewan in Canada). Weather stations in Odesa, Kharkiv, Uman (Ukraine), Dallas, Lincoln (USA), and Saskatoon (Canada) were selected as model stations. The diagnostics of temperature and precipitation trends was carried out using the method of climate diagrams (climadiagrams) and time series analysis. To obtain information about the climate in the early twentieth century, the Atlas of World Climate Diagrams by H. Walter and H. Leith (1967) was used. The Kolmogorov criterion was applied to compare the temperature and precipitation distributions of contemporary and historical climates. For the first time, the Kolmogorov criterion was applied to compare the modern and historical distributions of

temperature and precipitation. A modifying of its calculation algorithm when working with temperature distributions is proposed. The results obtained using the proposed algorithm are compared with the traditional approach (time series analysis). The results of our study have shown that, in general, the climate of Europe is subject to a greater change than that of North America. The conclusions made upon application of both the climate diagram method and time series analysis are consistent.

Key words: climadiagram, climate, comparison, grassland and woodland biomes, Kolmogorov criterion, temperate latitudes, time series analysis.

Актуальність теми дослідження. Доказів того, що клімат змінюється, надзвичайно багато [6]. У звіті Міжурядової групи експертів зі зміни клімату за 2023 р. зазначено, що внаслідок антропогенної діяльності, головним чином через викиди парникових газів, глобальна температура зросла на 1,1 °C порівняно з доіндустріальним рівнем. Значні, а головне швидкі зміни фіксують в атмосфері, океані, кріосфері та біосфері. Прогнозують, що до 2030 р. потепління перевищить 1,5 °C [12]. Очікується, що зміна клімату, зокрема, відобразиться на кількості опадів і температурному режимі в усьому світі [19].

Стан вивчення питання з аналізом основних праць. Зміна клімату матиме серйозні наслідки для геосистем на всіх рівнях вище топічного – від хоричного до субглобального. У своєму дослідженні ми зосереджуємося саме на системах субглобального рівня, яким відповідають такі підрозділи біосфери, як біоми. Тривалі ефекти зміни клімату можуть проявлятися як у формі якісних змін біотичних угруповань [18], так і у змінах просторових меж біомів, пов'язаних, наприклад, із пришвидшенням процесів аридизації [14]. Серед науковців зростає консенсус щодо несприятливості підвищення температури та рівня мінливості опадів протягом наступних десятиліть для росту сільськогосподарських культур і врожайності в багатьох регіонах і країнах [19].

Оскільки кліматичні дані упорядковані за часом, їх часто піддають аналізу часовими рядами, завершальним етапом якого є пошук тренду. Через хаотичний характер кліматичної системи, відомий як «ефект метелика» [25], науковці не намагаються спрогнозувати детальні зміни клімату, а шукають один монотонний тренд [20]. Існує чимало методів прогнозування кліматичних змін, кожен із них кількісно визначає різні детальні аспекти якості прогнозу [25]. Водночас не припиняються пошуки нових методів дослідження зміни клімату, які б застосовувалися незалежно від того, чи має часовий ряд серійну кореляцію, є ненормально розподіленим або охоплює короткий період спостережень [20].

У цій статті ми намагаємося віднайти простіший спосіб для виявлення зміни клімату, заснований на використанні кліматичних діаграм. Клімадіаграми представляють собою ефективний інструмент для візуального відображення особливостей багаторічного режиму температури й опадів для певної місцевості [13]. Так, використання кліматичних діаграм за Вальтером дало змогу виявити чергування вологих і сухих періодів із тенденцією до більш вологого стану, тобто збільшення тривалості сезону дощів і зменшення – сухого сезону в одному зі штатів Нігерії [19]. В Китаї кліматичну карту із чітко визначеними межами кліматичних зон було доповнено кліматичними діаграмами за даними довгострокових спостережень на метеостанціях, що відображають репрезентативні для кожної зони річний цикл коливання середньомісячних кількості опадів і температури [10]. Деяко модифіковані клімадіаграми використано під час оцінювання потенційного впливу очікуваної зміни клімату на водний баланс та окремі фенологічні фази рослинності Західних Карпат у Словаччині [21]. У Кореї кліматичні діаграми навіть успішно використовують для визначення кліматичних періодів для тепличного вирощування рослин, коли можна не застосовувати додаткове обладнання для опалення та охолодження [15].

Водночас ми помітили, що при порівнянні «сучасного» (тобто поточного) та «історичного» (тобто у минулі десятиліття чи століття) кліматів, використання кліматичних діаграм обмежується скоріше розвідковим поверхневим аналізом на основі графічних моделей без статистично обґрунтованих доказів подібності або відмінності.

Мета нашої роботи – дослідити придатність методу клімадіграм для дослідження змін клімату.

Методи та матеріали дослідження. У нашій роботі нами зосереджено увагу на трав'янистих і лісових біомах помірного кліматичного поясу Північної півкулі Землі. Трав'янисті біоми (степи, прерії, савани тощо) формуються при недостатньому зволоженні, але порівняно гарній забезпеченості теплом [1, с. 134]. Тут панують трави з підвищеною посухостійкістю [3, с. 13], натомість дерева та чагарники зустрічаються рідко або зовсім відсутні. Відношення «біомаса-продукція» близьке до одиниці, а швидкість сукцесійних змін висока. Такі біоми у Північній півкулі Землі представлені переважно євразійськими степами й північноамериканськими преріями [3, с. 13], та сільськогосподарськими угіддями на їх місці. Натомість лісові біоми сформувалися в умовах достатніх зволоження й теплозабезпеченості. Для них характерне панування дерев. Біомаса значно перебільшує річну продукцію, а темпи сукцесії можна оцінити як середні [1, с. 134]. Лісові біоми займають найбільшу площу на суходолі (представлені в просторі від одного полярного кола до іншого). Фізіономічно лісові біогеоценози суттєво різняться в межах різних географічних поясів [1, с. 136].

Для виявлення тенденцій зміни клімату в трав'янистих і лісових біомах помірного кліматичного поясу Північної півкулі ми обмежились українською частиною Східноєвропейської рівнини в Євразії та територіями Великих рівнин у Північній Америці (від Північного Техасу до Північної Дакоти у США та Саскачевану в Канаді).

В якості модельних метеостанцій були обрані ті, що фігурують у класичній роботі Г. Вальтера та Г. Літа «Атлас клімадіграм світу» [24], а саме:

– Одеса, Україна (код метеостанції: 33837; географічні координати: 46.4857, 30.7438; висота над рівнем моря: 34 м);

– Харків, Україна (код метеостанції: 34300; географічні координати: 49.9808, 36.2527; висота над рівнем моря: 113 м);

– Умань, Україна (код метеостанції: 33587; географічні координати: 48.7501, 30.2194; висота над рівнем моря: 219 м);

– Даллас, Техас, США (код метеостанції: 72258; географічні координати: 32.7831, -96.8067; висота над рівнем моря: 139 м);

– Лінкольн, Небраска, США (код метеостанції: 72551; географічні координати: 40.8, -96.667; висота над рівнем моря: 366 м);

– Саскатун, Саскачеван, Канада (код метеостанції: 71866; географічні координати: 52.1324, -106.6689; висота над рівнем моря: 484 м).

Місто Одеса розташоване у Степовій зоні України, місто Харків – на межі двох природних зон – Лісостепової та Степової, місто Умань – у Лісостеповій зоні України. Місто Даллас розташоване в екорегіоні південних прерій у штаті Техас, США (аналог південної підзони Степової зони Європи або навіть зони європейських напівпустель). Місто Лінкольн знаходиться в екорегіоні центральних прерій у штаті Небраска, США (аналог центральної підзони Степової зони Європи). Канадське місто Саскатун розташоване в екорегіоні північних прерій в Канаді (аналог підзони північного Степу або Лісостепу Європи) (рис. 1).



Рис. 1. Розміщення модельних метеостанцій (зеленим кольором показано ареал степів, прерій та пампасів; джерело зображення: [1, с. 164] (зі змінами))

На першому етапі роботи для аналізу змін клімату використано метод клімадіаграм. Автор цього методу, Генріх Вальтер, дає таке визначення клімадіаграми: «це метод графічного зображення клімату, що дозволяє з одного погляду виявити характерні особливості того або іншого клімату, його відмінність або подібність із кліматом іншої місцевості» [23, с. 60]. Під час побудови кліматичної діаграми використовують співвідношення між середньою місячною температурою і кількістю опадів, як 1:2. Тобто 10 °С відповідає 20 мм опадів. При такому масштабі (Т:О = 1:2) посушлива частина року характеризується кривою опадів, яка розміщена нижче температурної кривої [23, с. 60]. У вологому кліматі місячна сума опадів досягає в деяких місцевостях декількох сотень міліметрів. Зберігаючи при цьому звичайний масштаб, ми отримаємо надто громіздкі діаграми, тому доцільно зменшити масштаб для опадів, які перевищують 100 мм за місяць, у 10 разів і замальовувати відповідну площу чорним [23, с. 62] або синім кольором [4, с. 14]. Ця заливка характеризує так званий перезволожений період року з місячною сумою опадів понад 100 мм. На діаграмах, які характеризують вологі області, не виділяють ані напівзасушливі періоди, ані посушливі періоди: крива температури завжди розміщена нижче верхньої (при співвідношенні 1:2) і нижче нижньої (при співвідношенні 1:3) кривих опадів [23, с. 63]. На клімадіаграмі можна чітко побачити сезонні зміни кліматичних умов. Обидві криві дають уявлення про характер водного балансу території [23, с. 60].

Нами побудовано клімадіаграми за даними модельних метеостанцій за методикою Г. Вальтера [23, с. 60] для характеристики сучасних кліматичних умов (2011–2021 рр.). «Історичні» (1900–1940-ві рр.) клімадіаграми для модельних метеостанцій отримано з «Атласу клімадіаграм світу» [24]. На основі знятих із них показників отримано історичні розподіли температури та опадів для кожної метеостанції. Для порівняння сучасного й «історичного» клімату, що відображається як розподіл середньомісячних температур та місячних сум опадів за 12 фіксованими класами (тобто місяцями календарного року), використано критерій А. М. Колмогорова. Цей критерій традиційно використовують для порівняння емпіричного та теоретичного розподілів під час оцінювання нормальності даних або для порівняння двох емпіричних розподілів. Для порівняння історичного та сучасного кліматів цей критерій використано вперше.

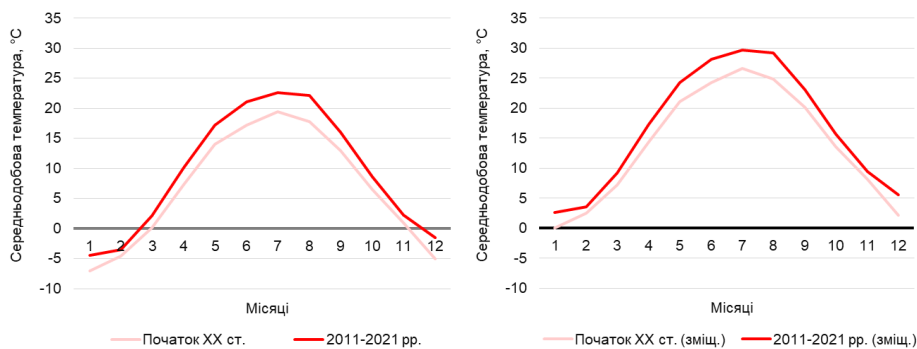


Рис. 2. Приклад зрушення фактичних розподілів температур (графік зліва) вздовж осі ординат на мінімальне значення із двох наборів даних (графік справа)

Під час порівняння сучасного й історичного розподілів опадів труднощів із використанням цього критерію у нас не виникло. Натомість під час роботи з сучасним та історичним розподілами температури використання цього критерію потребувало модифікації. Це пов'язано з тим, що частоти, на роботу з якими «заточений» критерій Колмогорова, завжди величини додатні. Для уникнення від'ємних значень при порівнянні розподілів температури обидва розподіли були зрушені вгору вздовж осі ординат на мінімальне значення з двох порівнювальних вибірок (рис. 2). Ця процедура не змінювала форму кривих, що дуже важливо при порівнянні розподілів. Подібні процедури широко використовують під час роботи у багатомірному просторі,

у якому вихідні дані утворюють «хмару». Наприклад, під час факторного аналізу ми можемо перемістити цю «хмару» на початок координат, можемо обертати її різним чином, що дає змогу дослідникові краще зрозуміти природу явища, яке він вивчає.

Оскільки обидва розглянуті нами розподіли є емпіричними, процедура їх порівняння проходила в два етапи. На першому етапі ми розглядали сучасний розподіл температури або опадів як «емпіричний», а історичний – як «теоретичний», а на наступному етапі, навпаки, розглядали теперішній розподіл показника як теоретичний, а історичний – як «емпіричний». З двох чисел, які ми розраховували, у подальшому ми розглядали мінімальне, тобто вдавалися до більш суворої оцінки.

Наступним кроком ми піддавали кліматичні дані аналізу часових рядів. Дуже часто, коли дані впорядковані за часом, вдаються саме до цього методу. Аналіз проводили за стандартною схемою: перевірка на невинуватість (для цього розраховували автокореляційний критерій), оцінка стаціонарності ряду відносно своєї центральної тенденції (здійснювали з використанням критерію Стюдента, адаптованого до роботи з рядами динаміки), оцінка нормальності (передбачало розрахунок спеціалізованого критерію Колмогорова K , а також визначення відношення розмаху мінливості до середнього квадратичного відхилення ряду (позначимо цю величину символом C)), визначення взаємозв'язку між рядами (передбачало розрахунок коефіцієнта кореляції Пірсона R та оцінку його достовірності з використанням критерію Стюдента), пошук тренду (у нашому дослідженні ми обмежилися лінійною регресією, для оцінки якості розроблених моделей використано критерій Фішера) [16].

Виклад основного матеріалу з обґрунтуванням отриманих наукових результатів. Спочатку для отримання вихідних даних ми обрали Державний портал Національного центру екологічної інформації США (НЦЕІ США) [8]. Побудовані за даними із цього джерела клімадіаграми виявилися вкрай нетиповими для досліджуваних природних зон, а скоріше схожими на клімадіаграми для гірських регіонів (рис. 3). Так, на усіх трьох кліматичних діаграмах крива опадів проходить вище асимптоти $P = 100$ мм (при цьому наступна поділка після 100 мм 200 мм (а не 120 мм)). Синя заливка на усіх трьох кліматичних діаграмах характеризує перезволожену пору року з місячною сумою опадів вище 100 мм. В Україні такі закономірності у розподілі опадів можна отримати хіба що для Карпат, але у жодному випадку не для Одеси, Харкова чи Умані. Показники температури в метеоархівах із сайту НЦЕІ США були представлені у градусах Фаренгейта ($^{\circ}F$), а кількість опадів – у дюймах. При переведенні цих показників у міжнародні одиниці вимірювання ($^{\circ}C$ та мм), було встановлено, що ми не можемо виявити температуру повітря нижче $0^{\circ}F$, а отже $-17,78^{\circ}C$, що так само не відповідає дійсності. Треба зауважити, що метеоархіви з сайту НЦЕІ США широко використовують у спеціалізованих додатках, таких як «i-Tree» (<https://www.itreetools.org/>), що ставить під сумнів результати, які отримують науковці з їх використанням.

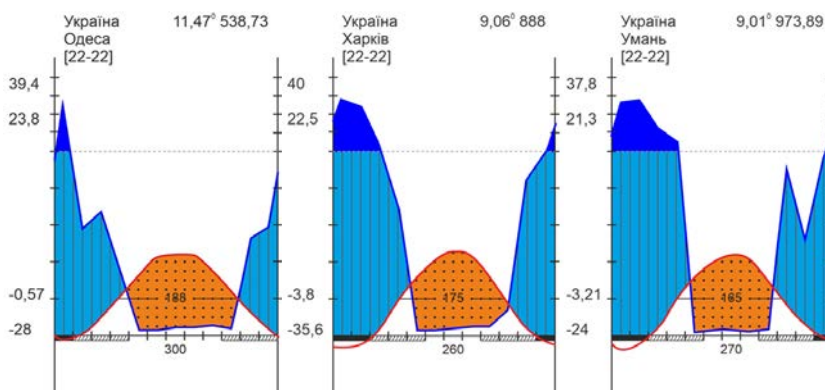


Рис. 3. Клімадіаграми модельних метеостанцій, побудовані за даними НЦЕІ США [8] за період із 1999 по 2021 роки (спочатку графіки були побудовані вручну, а далі перемальовані у середовищі графічного редактора векторної графіки CorelDRAW)

При проведенні пошуку альтернативного архіву метеоданих на заміну був обраний сайт «Метеопост» [5], який дав змогу отримати архівні дані погоди по Україні. Натомість для побудови клімадіаграм для міст Даллас, Лінкольн і Саскатун нами було обрано сайт «Meteostat» [17]. Період, яким ми обмежилися під час побудови клімадіаграм, із 2011 р. по 2021 р. обраний так, щоб бути співставним із тим, що використовував в минулому автор цього методу.

Побудовані нами «сучасні» клімадіаграми для модельних міст України відображені на рис. 4, а «історичні» клімадіаграми – на рис. 5.

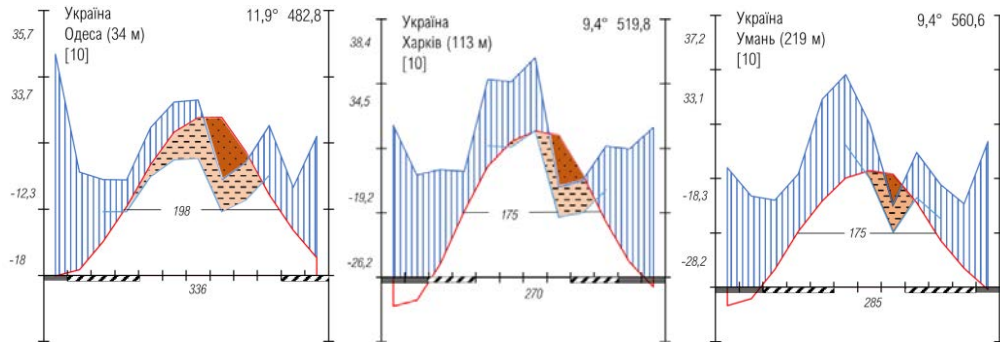


Рис. 4. Клімадіаграми міст Одеси, Харкова та Умані за період із 2011 по 2021 рік (побудовані з використання програмного забезпечення MS Excel® [2])

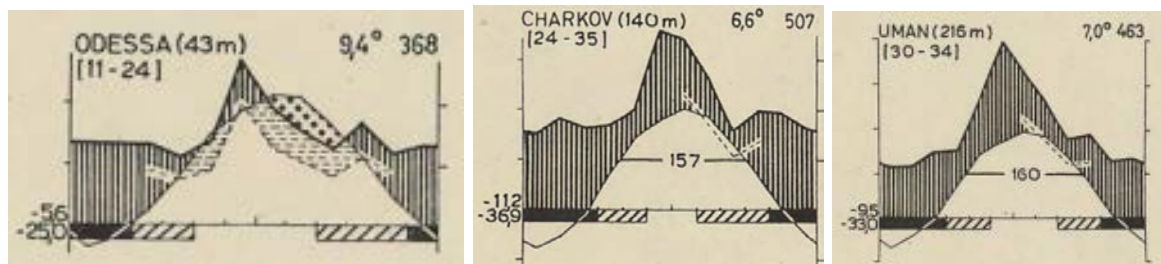


Рис. 5. Клімадіаграми міст Одеси, Харкова та Умані з «Атласу клімадіаграм світу» (відображають клімат доіндустріального періоду; джерело зображень: [24])

Отримані нами результати порівняння розподілів температури за критерієм Колмогорова виявилися такі: для модельної метеостанції Одеси $K = 2,31$ (більше $K_{st} = 1,95$, $P > 99,9\%$), Харкова $K = 2,10$ (більше $K_{st} = 1,95$, $P > 99,9\%$), Умані $K = 1,94$ (більше $K_{st} = 1,63$, $P > 99,0\%$). Тобто для усіх трьох метеостанцій, що знаходяться на території України, з високою надійністю можна стверджувати, що розподіли відрізняються. Середньорічна температура повітря для Одеси зросла на 2,5 °С, для Харкова – на 2,8 °С, для Умані – на 2,4 °С. Отже, доходимо висновку, що клімат став теплішим.

Отримані нами результати порівняння розподілів опадів за критерієм Колмогорова такі: для модельної метеостанції Одеси $K = 4,52$ (більше $K_{st} = 1,95$, $P > 99,9\%$), Харкова $K = 1,23$ (менше $K_{st} = 1,36$, $P > 95,0\%$), Умані $K = 3,51$ (більше $K_{st} = 1,95$, $P > 99,0\%$). Для двох метеостанцій – Одеси та Умані з високою надійністю можна стверджувати, що розподіли відрізняються. Для Харкова різниця між двома розподілами не є статистично значущою. Середньорічна кількість опадів для Одеси збільшилася на 114,8 мм, для Умані – на 97,6 мм, натомість для Харкова – лише на 12,8 мм. Тобто клімат Одеси й Умані став більш вологим, для Харкова режим надходження опадів не змінився.

Г. Вальтер зауважує: «температурна крива ... може слугувати показником річного ходу випаровування. Вона відображає витрати вологи, а крива опадів – її надходження» [23, с. 60],

як зазначено вище, «обидві криві дають уявлення про характер водного балансу території» [23, с. 60]. Для міст Одеси та Умані обидва показники зросли синхронно: температура для Одеси збільшилася в 1,3 раза, так само як і кількість опадів, температура для Умані збільшилася так само в 1,3 раза, а кількість опадів – у 1,2 раза, натомість температура для Харкова збільшилася в 1,4 раза (найвищий показник із трьох), а співвідношення опадів лишилося фактично таке саме: $519,8/507,0 = 1,0$ (найнижчий показник). Тобто насправді найбільше змінився клімат саме в Харкові, він став значно сухіший, тому що змінилося співвідношення між температурою й опадами. Ми припускаємо, що таким чином у Харкові, розташованому далі на північний схід вглиб материка, проявляється більша континентальність клімату порівняно з іншими двома точками – Одесою, що розташована на морському узбережжі на південному заході, та Уманню, що розташована у центральній частині країни.

Побудовані нами «сучасні» климадіаграми для модельних міст на території США та Канади відображені на рис. 6, «історичні» климадіаграми – на рис. 7.

Отримані нами результати порівняння розподілів температури за критерієм Колмогорова виявилися такі: для модельної метеостанції Далласа $K = 1,86$ (більше $K_{st} = 1,63$, $P > 99,0\%$), Лінкольна $K = 0,44$ (менше $K_{st} = 1,36$, $P > 95,0\%$), Саскатуна $K = 0,56$ (менше $K_{st} = 1,36$, $P > 95,0\%$). Для однієї з метеостанцій, у місті Далласі, з високою надійністю можна стверджувати, що розподіли відрізняються. Для решти двох метеостанцій відмінності між розподілами несуттєві. Середньорічна температура повітря для Далласа збільшилася на $1,6\text{ }^\circ\text{C}$ (клімат став теплішим), для Лінкольна – на $0,7\text{ }^\circ\text{C}$, для Саскатуна – на $0,5\text{ }^\circ\text{C}$ (майже без змін).

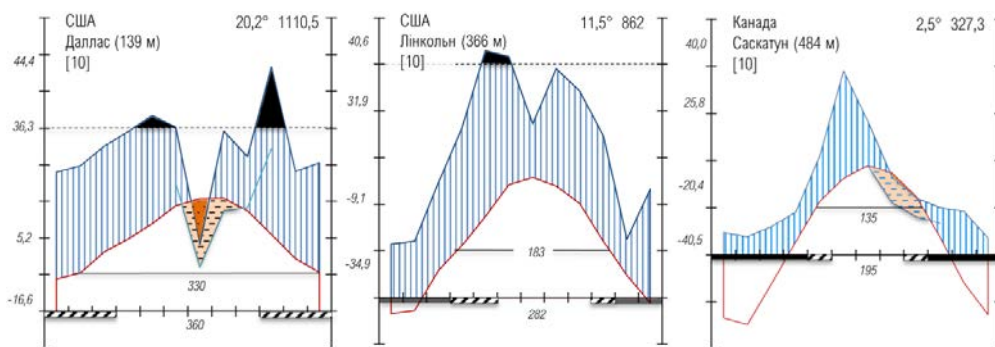


Рис. 6. Клімадіаграми для міст Даллас, Лінкольн та Саскатун за період із 2011 по 2021 рік (побудовані з використанням програмного забезпечення MS Excel®)

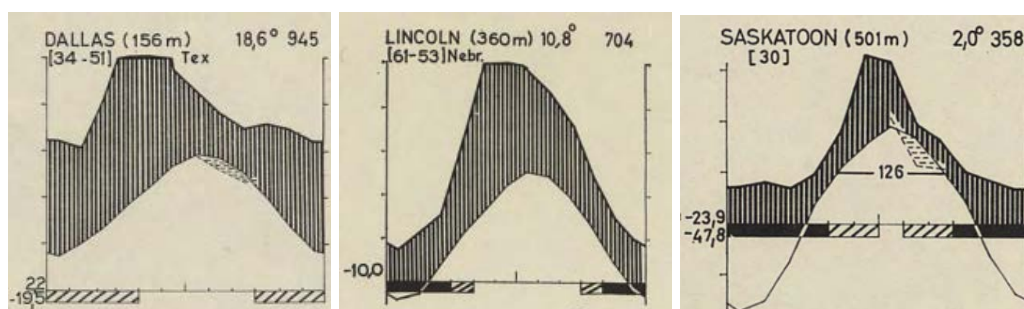


Рис. 7. Клімадіаграми міст Даллас, Лінкольн та Саскатун з «Атласу клімадіаграм світу» (відображають клімат доіндустріального періоду; джерело зображень: [23])

Отримані нами результати порівняння розподілів *опадів* за критерієм Колмогорова такі: для модельної метеостанції Далласа $K = 5,54$ (більше $K_{st} = 1,95$, $P > 99,9\%$), Лінкольна $K = 5,89$ (більше $K_{st} = 1,36$, $P > 95,0\%$), Саскатуна $K = 0,80$ (менше $K_{st} = 1,36$, $P > 95,5\%$). Для двох метео-

станцій – Далласа та Лінкольна з високою надійністю можна стверджувати, що розподіли відрізняються. Для Саскатуна різниця між двома розподілами не є статистично значущою. Середньорічна кількість опадів для Далласа збільшилася на 165,5 мм, для Лінкольна – на 158,0 мм. Тобто клімат Далласа та Лінкольна став більш вологим. Натомість для Саскатуна кількість опадів зменшилася на 30,7 мм, тобто клімат став дещо сухіший.

Для міст Даллас і Лінкольн синхронно зросли обидва показники, які ми вивчаємо – й температура, й опади. Для Далласа температура збільшилася в 1,1 раза, а кількість опадів – у 1,2 раза, для Лінкольна температура збільшилася так само, в 1,1 раза, та кількість опадів – у 1,2 раза. Натомість для Саскатуна температура Саскатуна температура збільшилася в 1,3 раза (найвищий показник із трьох), а співвідношення опадів на $327,3/358,0 = 0,9$ (найнижчий показник). Тобто насправді найбільше змінився клімат саме в місті Саскатун: він став значно сухіший (як і в Харкові), позаяк змінилося співвідношення між температурою й опадами. Отже, як і для Харкова, ми припускаємо, що для регіону Саскатуна таким чином проявляється більша континентальність клімату, яка в Північній Америці має скоріше прояв за широтою, а не за довготою, як у Євразії.

Робимо висновок, що загалом у помірному поясі клімат Європи піддається більшим змінам, ніж клімат Північної Америки.

Значний інтерес для науковців представляє не тільки зіставлення результатів, отриманих із використанням кліматичних даних із різних джерел, а також зіставлення результатів обробки цих тих самих даних із використанням різних методів. Тому наступним кроком ми дослідили зміни клімату за даними тих самих шести модельних метеостанцій за допомогою аналізу часових рядів. Ми зосередилися на показнику температури – провідному екологічному факторі для всього живого на планеті.

Для модельних зон України в аналізі часових рядів використано матеріали, опубліковані на офіційному порталі Національного космічного агентства США, NASA [9]. Ці архівні дані охоплюють середні температури з кінця XIX ст. Натомість для канадського та двох американських міст ми скористалися даними, які викладено на сайті «TuTiempo.net» [22]. В останньому випадку ряди спостережень були значно меншими.

Пошук автокореляції (або невинуватковості у розподілі даних спостережень) дав нам такі результати:

– метеостанція «Одеса» – невинуваткові стохастичні коливання (на першому лагу $r_a = -1,698$, що не перевищує $r_{st} = -0,339$ (обидва числа за модулем; надалі так само, якщо коефіцієнт кореляції є від'ємним), $P > 95,0$); метеостанція «Харків» – невинуваткові стохастичні коливання (на першому лагу $r_a = 0,438$, що не перевищує $r_{st} = 0,301$, $P > 95,0$); метеостанція «Умань» – невинуваткові стохастичні коливання (на першому лагу $r_a = -1,414$, що не перевищує $r_{st} = -0,339$, $P > 95,0$);

– метеостанція «Даллас» – невинуваткові стохастичні коливання (на першому лагу $r_a = 0,637$, що не перевищує $r_{st} = 0,218$, $P > 95,0$); метеостанція «Лінкольн» – невинуваткові стохастичні коливання (на першому лазі $r_a = 0,285$, що перевищує $r_{st} = 0,218$, $P > 95,5$); метеостанція «Саскатун» – випадкові стохастичні коливання (аж на 17-му лагу $r_a = 0,298$, що перевищує $r_{st} = 0,218$, $P > 95,5$, тоді як максимально допустимий лаг 10, отже для даного ряду аналіз завершено).

Існують різні методи оцінювання стаціонарності рядів відносно свої центральній тенденції. В нашому дослідженні ми скористалися методом послідовного групування, тобто розбили ряд на три вибірки, для кожної з яких спочатку визначили середнє арифметичне, а далі попарно порівняли ці середні арифметичні між собою за допомогою t-критерію. Періоди, на які ми розбили часові ряди, та їх номер відображені у таблиці 1, а результати розрахунку t-критерію – у таблиці 2.

Для метеостанції «Одеса» відмінності між усіма трьома відрізками часового ряду (ЧР) є статистично значущими (критерій Стьюдента змінюється від 3,48 до 63,99, що перевищує $t_{st} = 3,40$, $>$). Отже, досліджуваний часовий ряд є нестационарним. Аналогічний результат отри-

мано для метеостанцій «Харків» і «Даллас» (обидва ряди нестационарні). Для метеостанції «Умань» відмінність між першим і другим відрізками часового ряду є несуттєвою, відмінності між першим і третім відрізками, а також другим і третім – істотні. Тобто ряд так само є нестационарним, як і у попередніх трьох випадках. Натомість для метеостанції міста Лінкольн різниці між середніми для окремих відрізків не виявлено, ряд стаціонарний.

Таблиця 1

Досліджувані періоди стаціонарності

Назва метеостанції	Вибірка, №	Період, роки	Назва метеостанції	Вибірка, №	Період, роки
1	2	3	1	2	3
Одеса	1	1881–1928	Даллас	1	1981–1994
	2	1929–1975		2	1995–2008
	3	1976–2021		3	2009–2021
Харків	1	1892–1935	Лінкольн	1	1981–1994
	2	1936–1978		2	1995–2008
	3	1979–2021		3	2009–2021
Умань	1	1886–1931	Саскатун	–*	–
	2	1932–1976		–	–
	3	1977–2021		–	–

Примітка: * Ряд не підлягав даному аналізу.

Таблиця 2

Результати розрахунку t-критерію під час оцінювання стаціонарності досліджуваних часових рядів

Метеостанція	Вибірки, №	Число ступенів вільностей df	Фактичні значення t-критерію	Критичні значення t-критерію (рівень значущості)
Одеса	1–2	93	63,99	> 3,40*
	1–3	92	50,93	
	2–3	91	3,48	
Харків	1–2	85	2,73	> 2,63*
	1–3	85	7,11	> 3,40*
	2–3	84	4,23	
Умань	1–2	87	1,09	< 1,66*
	1–3	87	5,33	> 3,40*
	2–3	88	3,93	
Даллас	1–2	24	3,79	> 3,75*
	1–3	23	6,84	> 3,77*
	2–3	23	1,92	> 1,71*
Лінкольн	1–2	24	1,05	< 1,71**
	1–3	23	1,53	
	2–3	23	0,63	

Примітки: * – рівень значущості $P < 99,9\%$, ** – рівень значущості $P < 90,0\%$.

За результатами оцінювання нормальності розподілу спостережень нульова гіпотеза була прийнята для усіх п'яти досліджуваних часових рядів (результати, отримані з використанням двох тестів, узгоджуються):

– результати розрахунку спеціалізованого критерію Колмогорова для метеостанції «Одеса» $K = 0,73$, для метеостанції «Харків» $K = 0,26$, для метеостанції «Умань» $K = 0,42$, для метеостанції «Даллас» $K = 0,12$, для метеостанції «Лінкольн» $K = 0,10$ (у всіх п'яти випадках менше, ніж $1,36$, $P > 95,5$);

– величина C для метеостанції «Одеса» становить 4,83 (в межах 4,43 – 6,20), для метеостанції «Харків» – 5,13 (в межах 4,12–5,75), для метеостанції «Умань» – 5,40 (в межах 4,24–5,93), для метеостанції «Даллас» – 4,02 (в межах 3,79–4,96), для метеостанції «Лінкольн» – 4,10 (в межах 3,79–4,96).

Для побудови лінії тренду ми скористалися програмою MS Excel®. Для цього часовий ряд було зображено у вигляді лінійного графіка в системі прямокутних координат; при цьому по осі абсцис було відкладено часові точки, а по осі ординат – значення залежної змінної [26]. Результати регресійного аналізу представлені у табл. 3.

Таблиця 3

Результати регресійного аналізу

Метеостанція	Рівняння лінійної регресії (показники значущості)
Одеса	$y = 0,0095x + 10,016$ ($n = 139$; $R^2 = 0,1881$; $R = 0,43$, $t = 5,70 > t_{st} = 3,36$, $P > 99,9$); $F = 33,20 > F_{st} = 11,30$ ($P < 99,9$)
Харків	$y = 0,0188x + 6,1154$ ($n = 128$; $R^2 = 0,3426$; $R = 0,59$, $t = 8,20 > t_{st} = 3,37$, $P > 99,9$); $F = 66,71 > F_{st} = 11,34$ ($P < 99,9$)
Умань	$y = 0,0124x + 7,1477$ ($n = 132$; $R^2 = 0,2392$; $R = 0,49$, $t = 6,47 > t_{st} = 3,37$, $P > 99,9$); $F = 41,50 > F_{st} = 11,32$ ($P < 99,9$)
Даллас	$y = 0,0584x + 18,094$ ($n = 41$; $R^2 = 0,5748$; $R = 0,76$, $t = 7,35 > t_{st} = 7,24$, $P > 99,9$); $F = 52,72 > F_{st} = 12,56$ ($P < 99,9$)
Лінкольн	$y = 0,025x + 10,592$ ($n = 41$; $R^2 = 0,1064$; $R = 0,33$, $t = 2,18 > t_{st} = 2,02$, $P > 95,0$); $F = 4,64 > F_{st} = 4,08$ ($P < 95,0$)

Емпіричні значення критерію Фішера у всіх п'яти випадках перевищують стандартні, що свідчить про наявність статистично значущих регресій. Для модельних метеостанцій в Україні найбільш виражений тренд до зростання температури отримано для Харкова, менш вираженою ця тенденція є для метеостанції у місті Умань. Для модельних метеостанцій в США найбільш виражений тренд до зростання температури отримано для Далласа, менш вираженою ця тенденція є для метеостанції у місті Лінкольн (рис. 8).

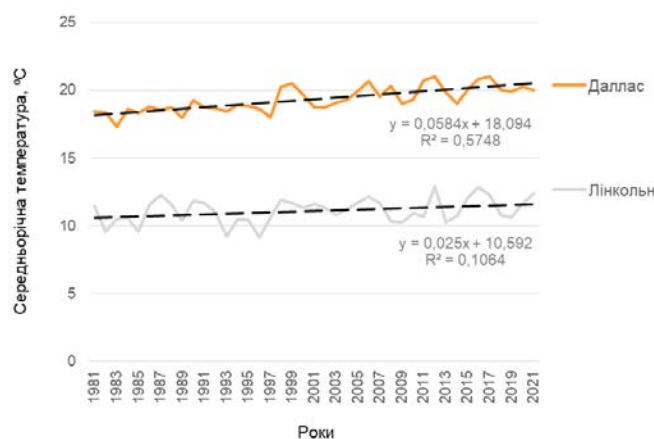


Рис. 8. Результати пошуку тренду для двох модельних метеостанцій в США

Результати, які ми отримали з використанням методу клімадіаграм (порівняння розподілів температури), повністю узгоджуються з результатами, які ми отримали з використанням метода аналізу часових рядів. Водночас алгоритм розрахунку критерію Колмогорова є значно простішим, ніж аналіз часових рядів, і, – якщо задача дослідника полягає не у розробці низки прогностичних сценаріїв, а у виявленні загальних тенденцій щодо змін клімату, – цілком прийнятною альтернативою є побудувати клімадіаграму та використати запропонований нами підхід.

З використанням критерію Колмогорова ми також спробували відстежити зсув меж природних зон. Для цього ми порівняли історичний клімат міста Одеси з сучасним кліматом міста Харкова. Одеса знаходиться на березі Чорного моря, Харків знаходиться на північному сході, в умовах низької водозабезпеченості, як і Одеса, але більшої континентальності. Ми припускаємо, що історичні ознаки клімату Одеси будуть певною мірою проєціювати сучасні ознаки клімату міста Харкова (рис. 9).

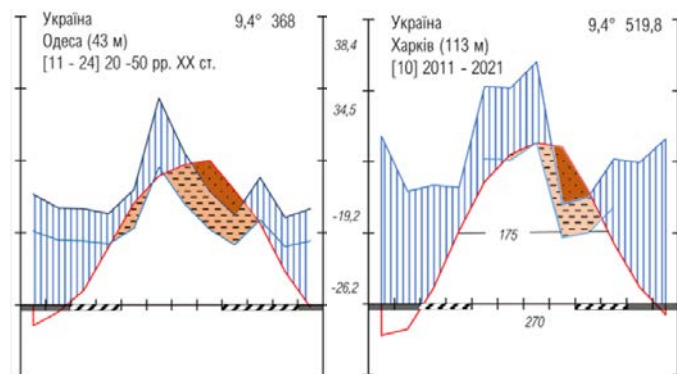


Рис. 9. Клімадіаграми для визначення «зсуву» меж природних зон (побудовані з використання програмного забезпечення MS Excel®)

Під час порівняння розподілів температури й опадів ми визначили, що «історичний» розподіл середньомісячних температур у місті Одеса не відрізняється від сучасного для Харкова: $K = 0,77$ (менше, ніж 1,36, $P > 95,0\%$). Водночас різниця між рівнем зволоження (кількість опадів) була суттєвою: $K = 5,95$ (значно перевищує 1,95, $P > 99,9\%$). Тобто можна припустити, що за одним із кліматичних параметрів клімат Харкова стає більш близьким до клімату Одеси початку ХХ ст., що може свідчити про певний «зсув» меж природної зони.

Але попарне порівняння двох кривих (температура, опади) нічого не говорить про баланс тепла та вологи, про що ми зазначали вище. Тому наступним кроком ми розрахували індекс посушливості де Мартонна [11, с. 32] для кожного місяця річного циклу теперішнього клімату Харкова та індекс посушливості де Мартонна так само для кожного місяця річного циклу історичного клімату Одеси за формулою: $i = 12 p / (t + 10)$, де p – кількість опадів за місяць, а t – середня температура того ж місяця. На думку сербських дослідників, це один із чотирьох кліматичних індексів, які можуть допомогти у розумінні сучасних змін клімату [7]: чим вищий індекс посушливості, тим вологіший клімат. Порівняння розподілів індексу посушливості де Мартонна для «сучасного» клімату Харкова та «історичного» клімату Одеси дало дещо інший результат, ніж при порівнянні окремо розподілів місячних сум опадів та середньомісячних температур: $K = 7,44$ (7,51), $P > 99,9\%$, тобто відмінність все ж таки є, й вона у вищій мірі достовірна. Найсухішим місяцем Харкова на сьогодні є липень ($i = 10$), натомість для Одеси початку ХХ ст. це був вересень ($i = 12$).

Так само ми порівняли розподіл індексів посушливості де Мартонна для сучасного та історичного клімату Харкова: $K = 3,54$ (4,55), $P > 99,9\%$, тобто різниця між поточним та історичним кліматом так само наявна. Найсухішим місяцем Харкова на сьогодні є липень ($i = 10$), натомість на початку ХХ ст. це був вересень ($i = 17$).

Висновки. 1. Архівні дані НЦЕІ США для модельних метеостанцій України не придатні для використання, оскільки відображають клімат гірської місцевості, що не притаманний рівнинній частині України.

2. Сучасний клімат Харкова, Одеси й Умані виявляє ознаки наростаючої посушливості. При порівнянні сучасного та історичного розподілів температур для Харкова з використанням кри-

терію Колмогорова встановлено, що розподіли відрізняються, а для опадів – ні; натомість для Одеси та Умані сучасний та історичний розподіли температур та опадів відрізняються.

3. Сучасний клімат Далласа виявляє ознаки наростаючої посушливості, що цілком компенсується наростаючою перезволоженістю перед посухою. При порівнянні сучасного та історичного розподілів температур та опадів із використанням критерію Колмогорова встановлено, що розподіли відрізняються; натомість сучасний клімат Лінкольна та Саскатуна не виявляє ознак змін. Тобто загалом зміна клімату в Європі є більш вираженою, ніж у Північній Америці.

4. Результати, отримані з використанням методу клімадіаграм та аналізу часових рядів, повністю узгоджуються для всіх модельних метеостанцій, крім метеостанції «Саскатун», яку було виключено з аналізу часових рядів на першому етапі. Водночас алгоритм побудови клімадіаграми та розрахунку критерію Колмогорова є значно простішим, ніж аналіз часових рядів. Запропонований нами підхід не потребує перевірки даних на автокореляцію, що робить його більш універсальним (перший критичний етап аналізу часових рядів).

5. На території України проявляються ознаки зсуву меж природних підзон степової зони від південного до центрального степу. Так, сучасний клімат Харкова виявляє схожі ознаки із кліматом Одеси початку ХХ ст. Водночас порівняння розподілів індексу посушливості де Мартонна для сучасного клімату Харкова та історичного клімату Одеси за допомогою критерію Колмогорова показало, що відмінність є, й вона у вищій мірі достовірна ($P > 99,9$).

Новизна дослідження. Вперше для порівняння сучасного та історичного розподілів температури й опадів застосовано критерій Колмогорова. Запропоновано модифікації алгоритму його розрахунку під час аналізу розподілів температури. Результати, які отримано з використанням запропонованого алгоритму, вперше порівняно із результатами, отриманими на тих же самих наборах даних традиційним підходом (аналіз часових рядів). Результати, отримані з використанням методу клімадіаграм та аналізу часових рядів, узгоджуються.

Список використаних джерел:

1. Білоус Л.Ф. Біогеографія : навч. посібник. Київ : КНУ ім. Т.Г. Шевченка, 2021. 260 с. URL: https://geo.knu.ua/wp-content/uploads/2021/06/bilous_biogeography_posibn.pdf (дата звернення: 27.05.2024).
2. Івченко В.Ю., Рибалка І.О. Методика побудови клімадіаграм у MS Excel. *Introduction of new technologies to improve education* : матеріали ХІХ Міжнар. науково-практ. конф., м. Рим, 13 трав. 2024 р. С. 251–254. URL: https://www.researchgate.net/publication/380530400_Metodika_pobudovi_klimadiagram_v_MS_Excel (дата звернення: 27.05.2024).
3. Коваленко І.М. Лісова екологія з основами лісовідновлення та лісорозведення : підручник. Суми : ПФ «Вид-во «Університ. книга», 2018. 240 с. URL: <https://repo.snau.edu.ua/bitstream/123456789/6518/1/Коваленко%20І.М.%20Лісова%20Екологія.pdf> (дата звернення: 27.05.2024).
4. Метод клімадіаграм за Госсеном-Вальтером : практичний poradnik (для студентів ІІ, ІІІ та V курсів денного й І та VI курсів заочного відділень за напрямом 6.040106 «Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування» спеціальності 8.040106 Екологія і охорона навколишнього середовища) з дисциплін «Загальна екологія», «Загальна екологія і основи заповідної справи» та «Заповідна справа» / Харк. нац. акад. міськ. госп-ва; уклад.: О.І.Спірін. Харків : ХНАМГ, 2012. 38 с. URL: <https://eprints.kname.edu.ua/25895/1/2010%20печ.%2091М%20Клімадіаграми.pdf> (дата звернення: 27.05.2024).
5. Статистика погоди. Кліматичні дані за роками та місяцями. *Метеопост* : веб-сайт. URL: <https://meteopost.com/weather/climate/> (дата звернення: 01.06.2024).
6. Berrang-Ford L., Ford J. D., & Paterson J. Are we adapting to climate change? *Global Environmental Change*, 2011, 21 (1), P. 25–33. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959378010000968> (дата звернення: 01.06.2024).
7. Burić D., Mihajlović J., Ducić V., Milenković M., Anđelković G. Contribution to the study of climate change in Serbia using continentality, oceanity, and aridity indices. *Időjárás*, 2023, 127 (3), 379–399. URL: <https://gery.gef.bg.ac.rs/handle/123456789/1439> (дата звернення: 01.06.2024).
8. Climate Monitoring. *National Center for Environmental Information of USA* : government portal. URL: <https://www.ncei.noaa.gov/monitoring> (дата звернення: 29.05.2024).

9. Data.GISS: GISS Surface Temperature Analysis (v4): Station Data, Mercator Map. *NASA*. URL: https://data.giss.nasa.gov/gistemp/station_data_v4/ (дата звернення: 07.06.2024).
10. Domrös M., Gongbing P. (1988). Climate Zones of China. *The Climate of China*. Springer, Berlin: Heidelberg. P. 258–280. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-642-73333-8_9.
11. Dreux P. Précis d'écologie. Paris : Presses Universitaires de France, 1974. 165 p.
12. Global Warming of 1,5 °C. *The Intergovernmental Panel of Climate Change* : website. URL: <https://www.ipcc.ch/sr15/> (дата звернення: 07.06.2024).
13. Hu X.-F., Wei L.-F., Cheng Q., Wu X.-Q., Ni J. (2022). A climate diagram atlas of Qingzang Plateau. *Chinese Journal of Plant Ecology*. 2022. 46 (4). P. 484–492. URL: <https://www.plant-ecology.com/EN/10.17521/cjpe.2021.0360> (дата звернення: 07.06.2024).
14. Kulikov A.I., Ubugunov L.L., Mangataev A.T. (2014). Global climate change and its impact on ecosystems. *Arid Ecosystems*. 2014. 4 (3(60)). P. 135–141. DOI: <https://doi.org/10.1134/S2079096114030032>.
15. Lee H.W., Lee S.G., Lee J.W. Design and Utilization of climagraph for Analysis of Regional Suitability of Greenhouse Cropping in Korea. *Journal of Bio-Environment Control*, 2000. 9 (2), P. 107–114. URL: <https://koreascience.kr/article/JAKO200011919961583.page> (дата звернення: 07.06.2024).
16. Legendre P., Legendre L. Numerical Ecology. 2nd English ed. Elsevier Science B.V., Amsterdam etc., 2012. 990 p.
17. Meteostat. URL: <https://meteostat.net/en/> (дата звернення: 16.06.2024).
18. Neilson R.P. Climatic Constraints and Issues of Scale Controlling Regional Biomes. *Holland M.M., Risser P.G., Naiman R.J. (eds) Ecotones*. Springer, Boston, MA, 1991. P. 31–51. DOI: https://doi.org/10.1007/978-1-4615-9686-8_3.
19. Ogunrayi O.A., Akinseye F.M., Goldberg V., Bernhofer C. Descriptive analysis of rainfall and temperature trends over Akure. Nigeria. *Journal of Geography and Regional Planning*. 2016. 9 (11), P. 195–202. URL: <https://academicjournals.org/journal/JGRP/article-full-text/FB9305862095>(дата звернення: 16.06.2024).
20. Şen Z. Trend Identification Simulation and Application. *Journal of Hydrologic Engineering*. 2013. Vol. 19, No. 3, P. 635–642. URL: [https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0000811](https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000811)(дата звернення: 16.06.2024).
21. Škvarenina J., Križová E., Tomlain J. Impact of the climate change on the water balance of altitudinal vegetation stages in Slovakia. *Ekológia (Bratislava)*. 2004. 22, Suppl. 2, P. 13–29. URL: <https://www.researchgate.net/publication/282417894> (дата звернення: 16.06.2024).
22. TuTiempo.net. Global climate data. URL: <https://en.tutiempo.net/climate/> (дата звернення: 10.06.2024).
23. Walter H. Die vegetation der Erde. Bd I. : Lehrbuch. Yena: VEB Gustav Fisher Verlag, 1964. 428 s.
24. Walter H., Lieth H. Klimadiagramm-Weltatlas : atlas. Stuttgart, 1967. 276 p. URL: <http://hdl.handle.net/2268.1/7079> (дата звернення: 02.06.2024).
25. Weisheimer A., Palmer T.M. (2014). On the reliability of seasonal climate forecasts. *J. of the Royal Society Interface*. 2014. 1 (96), 10 p. URL: <https://royalsocietypublishing.org/doi/full/10.1098/rsif.2013.1162> (дата звернення: 07.06.2024).
26. Zar J.H. (2013). Biostatistical Analysis: Pearson New International Edition, 5th Edition. New York: Pearson, 2013. 760 p.

References:

1. Bilous, L.F. (2021). Biogeography: a textbook. Kyiv: T. G. Shevchenko National University of Kyiv. 260 s. URL: Retrieved 27.05.2024 from https://geo.knu.ua/wp-content/uploads/2021/06/bilous_biogeography_posibn.pdf [In Ukrainian].
2. Ivchenko, V.Yu., & Rybalka, I.O. (2024). A technique to build climadiagrams in MS Excel. *Introduction of new technologies to improve education* : proceedings of the XIXth International scientific conference, Rome, 13 May 2024. 251–254. Retrieved 27.05.2024 from https://www.researchgate.net/publication/380530400_Metodika_pobudovi_klimadiagram_v_MS_Excel [In Ukrainian].
3. Kovalenko, I.M. (2018). Forest Ecology with the Basics of Reforestation and Afforestation: a textbook. Sumy: PF «Vydavnyctvo “Universytets`ka knyga”», 240 p. Retrieved 27.05.2024 from <https://repo.snau.edu.ua/bitstream/123456789/6518/1/Коваленко%20I.%20M.%20Лісова%20екологія.pdf> [In Ukrainian].
4. Climadiagram Method according to H. Gaussen –H. Walter: a student's workbook. (2012). (Practical guide (for students of II, III and V years of full-time and I and VI years of part-time departments in the direction 6.040106 “Ecology, environmental protection and sustainable use of nature”, speciality 8.040106 Ecology

- and environmental protection”) in the disciplines “General ecology”, “General ecology and basics of reserve management” and “Reserve management”. Kharkiv National Academy of Municipal Economy; compiled by O.I Spirin. Kharkiv: KHNAMH, 2012. 38 s. Retrieved 27.05.2024 from <https://eprints.kname.edu.ua/25895/1/2010%20печ.%2091М%20Клімадіаграми.pdf> [In Ukrainian].
5. Weather statistics. Climate data by year and month. *Meteopost*: a web-site. Retrieved 01.06.2024 from <https://meteopost.com/weather/climate/> [In Ukrainian].
 6. Berrang-Ford, L., Ford, J.D., & Paterson, J. (2011). Are we adapting to climate change? *Global Environmental Change*, 21(1), 25–33. Retrieved 01.06.2024 from
 7. Burić, D., Mihajlović, J., Ducić, V., Milenković, M., & Anđelković, G. (2023). Contribution to the study of climate change in Serbia using continentality, oceanity, and aridity indices. *Időjárás*, 127(3), 379–399. Retrieved 01.06.2024 from <https://gery.gef.bg.ac.rs/handle/123456789/1439>
 8. Climate Monitoring *National*. *Center for Environmental Information of USA*: government portal. Retrieved 29.05.2024 from <https://www.ncei.noaa.gov/monitoring>
 9. Data.GISS: GISS Surface Temperature Analysis (v4): Station Data, Mercator Map. *NASA*. Retrieved 07.06.2024 from https://data.giss.nasa.gov/gistemp/station_data_v4/
 10. Domrös, M., & Gongbing, P. (1988). Climate Zones of China. In: *The Climate of China*. Springer, Berlin: Heidelberg. P. 258–280. https://doi.org/10.1007/978-3-642-73333-8_9
 11. Dreux, P. (1974). *Précis d'écologie*. Paris: Presses Universitaires de France. 165.
 12. Global Warming of 1,5 °C. *The Intergovernmental Panel of Climate Change*: website. Retrieved 07.06.2024 from <https://www.ipcc.ch/sr15/>
 13. Hu, X.-F., Wei, L.-F., Cheng, Q., Wu, X.-Q., & Ni J. (2022). A climate diagram atlas of Qingzang Plateau. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 46(4), 484–492. Retrieved 07.06.2024 from <https://www.plant-ecology.com/EN/10.17521/cjpe.2021.0360>
 14. Kulikov, A.I., Ubugunov, L.L. & Mangataev, A.T. (2014). Global climate change and its impact on ecosystems. *Arid Ecosystems*, 4(3(60)), 135–141. <https://doi.org/10.1134/S2079096114030032>
 15. Lee, H.W., Lee, S.G., & Lee, J.W. (2000). Design and Utilization of climagraph for Analysis of Regional Suitability of Greenhouse Cropping in Korea. *Journal of Bio-Environment Control*, 9(2), 107–114. Retrieved 07.06.2024 from <https://koreascience.kr/article/JAKO200011919961583.page>
 16. Legendre, P., & Legendre, L. (2012). *Numerical Ecology*. 2nd English ed. Elsevier Science B. V., Amsterdam etc. 990.
 17. Meteostat. Retrieved 16.06.2024 from <https://meteostat.net/en/>
 18. Neilson, R.P. (1991). Climatic Constraints and Issues of Scale Controlling Regional Biomes. In: Holland, M.M., Risser, P.G., Naiman, R.J. (eds) *Ecotones*. Springer, Boston, MA, 31–51. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-9686-8_3
 19. Ogunrayi, O.A., Akinseye, F.M., Goldberg, V., & Bernhofer, C. (2016). Descriptive analysis of rainfall and temperature trends over Akure, Nigeria. *Journal of Geography and Regional Planning*, 9(11), 195–202. Retrieved 16.06.2024 from <https://academicjournals.org/journal/JGRP/article-full-text/FB9305862095>
 20. Şen, Z. (2013). Trend Identification Simulation and Application. *Journal of Hydrologic Engineering*, 19(3), 635–642. Retrieved 16.06.2024 from [https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0000811](https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000811)
 21. Škvarenina, J., Križová, E., & Tomlain, J. (2004). Impact of the climate change on the water balance of altitudinal vegetation stages in Slovakia. *Ekológia (Bratislava)*, 22(2), 13–29. Retrieved 16.06.2024 from <https://www.researchgate.net/publication/282417894>
 22. TuTiempo.net. Global climate data. Retrieved 10.06.2024 from <https://en.tutiempo.net/climate/>
 23. Walter, H. (1964). *Die vegetation der Erde*. Bd I.: Lehrbuch. Yena: VEB Gustav Fisher Verlag, 428.
 24. Walter, H., & Lieth, H. (1967). *Klimadiagramm-Weltatlas*: atlas. Stuttgart, 276 p. Retrieved 02.06.2024 from <http://hdl.handle.net/2268.1/7079>
 25. Weisheimer, A., & Palmer, T.M. (2014). On the reliability of seasonal climate forecasts. *J. of the Royal Society Interface*, 11(96), 10. Retrieved 07.06.2024 from <https://royalsocietypublishing.org/doi/full/10.1098/rsif.2013.1162>
 26. Zar, J.H. (2013). *Biostatistical Analysis*: Pearson New International Edition, 5th Edition., New York: Pearson, 760.

Стаття надійшла до редколегії
25.06.2024 р.