

Шифр: «Вальтер»

**Метод клімадіаграм та його придатність для аналізу
макрокліматичних змін у середньо-довгострокових масштабах**

ЗМІСТ

	С.
ВСТУП.....	3
РОЗДІЛ 1. КЛІМАТ І ЙОГО МІНЛИВІСТЬ.....	5
РОЗДІЛ 2. ОБ’ЄКТ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	8
2.1. Об’єкт дослідження.....	8
2.2. МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	8
2.2.1. Метод клімадіаграм	9
2.2.2. Вихідні дані.....	9
2.2.3. Отримання даних із клімадіаграм періоду 20 – 50 рр. ХХ ст.....	11
2.2.4. Статистична обробка даних	12
РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ АНАЛІЗУ МАКРОКЛІМАТИЧНИХ ЗМІН У СЕРЕДНЬО-ДОВГОСТРОКОВИХ МАСШТАБАХ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДУ КЛІМАДІАГРАМ.....	15
3.1. ОПИС КЛІМАДІАГРАМ ДЛЯ МІСТА ХАРКОВА	16
3.1.1. Період 20 – 50 рр. ХХ ст.....	16
3.1.2. Період 2011 – 2021 рр.....	16
3.2. ОПИС КЛІМАДІАГРАМ ДЛЯ МІСТА ОДЕСИ.....	16
3.2.1. Період 20 – 50 рр. ХХ ст.....	16
3.2.2. Період 2011 – 2021 рр.....	17
3.3. ОПИС КЛІМАДІАГРАМ ДЛЯ МІСТА УМАНІ.....	17
3.3.1. Період 20 – 50 рр. ХХ ст.....	17
3.3.2. Період 2011 – 2021 рр.....	18
3.4. ТОЧНІСТЬ РЕЗУЛЬТАТІВ КЛІМАДІАГРАМ	18
3.5. РЕЗУЛЬТАТИ ПОРІВНЯННЯ КЛІМАДІАГРАМ	18
3.6. РЕЗУЛЬТАТИ СТАТИСТИЧНОЇ ОБРОБКИ ДАНИХ	20
ВИСНОВКИ	21
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	22
ДОДАТКИ.....	24

ВСТУП

Актуальність роботи. Прослідковується висока занепокоєність урядів розвинених країн, науковців, ЗМІ, громадських організацій та людей в цілому питанням зміни клімату. Міжурядова група експертів зі зміни клімату (МГЕЗК) у своєму звіті за 2023 рік зазначають, що внаслідок антропогенної діяльності, головним чином через викиди парникових газів, спровоковано підвищення глобальної температури на рівні 1,1 °C (за результатами аналізу даних за 2 періоди, 1850 – 1900 та 2011 – 2020 рр.). Фіксують значні, а головне швидкі зміни в атмосфері, океані, кріосфері та біосфері. До 2030 року 21 століття, прогнозують, що потепління перевищить 1,5 °C. За для зниження шкоди планеті, МГЕЗК пропонує урядам країн впроваджувати політику раціонального використання ресурсів, спрямовану на зниження кількості викидів парникових газів [12].

На жаль, в Україні, ще не сформована державна політика щодо протидії змінам клімату. Органи законодавчої та виконавчої влади неохоче приймають та формують державну політику щодо протидії змінам клімату. Рівень освіченості та занепокоєності українських громадян цим питанням є також вкрай низьким. Люди неохоче сприймають кліматоорієнтовні нововведення.

Проте, відсутність державної політики не відмінє занепокоєність у цьому питанні науковців, дослідників та екоактивістів. Перші ж забезпечують, у більшості випадків, свою наукову діяльність самостійно, тобто без залучення інвестицій.

Відтак українські науковці та дослідники вимушені користуватись лише відкритими даними, за для зменшення витрат на дослідження.

Зміни клімату фіксуються на основі порівняння метеорологічних параметрів. При цьому, таку інформацію треба сформувати у такому вигляді, щоб з нею можна було працювати, простіше кажучи зчитувати результати.

Перепоною для подібного роду досліджень є відсутність у відкритому доступі відкритих архівів метеоданих за минуле століття або й більше. Водночас

для 21 століття вже не так складно відшукати такі архіви, але, як показує практика, треба бути обачним із ними також та перевіряти дані.

На щастя, для отримання відомостей про клімат на початку 20 століття є насправді велика та цінна наукова робота Г. Вальтера та Г. Літа – «Атлас клімадіаграм світу» [9], де зібрані клімадіаграми для усіх метеостанцій нашої планети.

Метод клімадіаграм [10] був запропонований вченим німецького походження Генріхом Вальтером і є відомим методом наочного відображення клімату. За порівнянням побудованих діаграм можна виявляти зміни не тільки параметрів температури й опадів, а й вегетаційного, безморозного періоду, а також періодів посухи, напівпосухи та достатньої зволоженості. За основу цього методу взято зіставлення кривих температури та опадів [10]. Придатність цього методу для аналізу макрокліматичних змін у середньо-довгострокових масштабах до цього часу не досліджували.

Мета роботи – оцінити придатність методу клімадіаграм для аналізу макрокліматичних змін у середньо-довгострокових масштабах.

Для досягнення цієї мети були поставлені такі завдання:

- визначити на основі аналізу літературних джерел, що таке зміни клімату та які наслідки вони можуть мати;
- знайти і проаналізувати кліматичні дані за останнє десятиліття та встановити характер розподілу температур і опадів для модельних природних зон;
- проаналізувати кліматичні діаграми періоду 20 – 50 рр. ХХ століття та встановити характер розподілу на них температур і опадів для модельних природних зон;
- порівняти «історичний» та сучасний клімат.

Об'єкт дослідження – клімат Лісостепової і Степової зон Європи. **Предмет дослідження** – зміни розподілу температур і опадів у Лісостеповій і Степовій зонах Європи.

Методи дослідження – пошук, класифікація, порівняння, моделювання, аналогія, формалізація.

РОЗДІЛ 1. КЛІМАТ І ЙОГО МІНЛИВІСТЬ

Клімат є однією із характеристик складної сукупності фізичних процесів, що відбуваються в атмосфері, гідросфері, на поверхні суші і в льодяному покриві Землі. На відміну від погоди він є більш стабільним і є одною із фізико-географічних характеристик певної місцевості. Сукупність усіх регіональних кліматів формує глобальний клімат нашої планети.

Кліматотвірні чинники можна розділити на внутрішні і зовнішні. До *зовнішніх* кліматотвірних чинників належать астрономічні (світність Сонця, положення орбіти Землі в Сонячній системі, характеристики орбітального руху нашої планети, нахил Земної осі до площини орбіти та швидкість її обертання навколо своєї осі) і геофізичні (розмір, маса і форма Землі, власні гравітаційне і магнітне поля, внутрішнє тепло за рахунок геотермічних джерел і вулканізму). До *внутрішніх* кліматотвірних чинників належать фізико-хімічна структура і маса атмосфери Землі, маса і склад океану, особливості розподілу суші та океану, в тому числі структура їхнього діяльного шару, а також рельєф поверхні суші.

Найголовніша роль у формуванні процесів і явищ, що відбуваються на поверхні нашої планети та в її атмосфері, належить сонячній радіації. Саме нерівномірний розподіл сонячної енергії по земній поверхні та відмінності в надходженні її до окремих районів зумовлюють ту різноманітність кліматів, яка на сьогодні існує на Земній кулі.

У різних географічних районах Земної кулі кліматотвірні чинники створюють різноманітні локальні клімати. Попри це, основне, що притаманне кліматам, які існують на Землі, – це більш-менш виражена зональність в їх географічному розподілі, що сильно порушується під впливом азональних факторів, наприклад, висоти над рівнем моря, близькості до великих водоймищ та ін.

Кліматичні умови місцевості значною мірою визначаються характером підстильної поверхні. Клімат, що формується на значній території, наприклад, на території фізико-географічного району (лісостепова, степова зони), назива-

ється *макрокліматом*. У нашому дослідженні ми зосередили нашу увагу на макрокліматичних змінах у Лісостеповій і Степовій зонах Європи.

Однією із найважливіших особливостей клімату є його значна часова мінливість. У контексті цього фахівці розмежовувати терміни «мінливість», «коливання» та «зміни клімату». Так, мінливість клімату є загальною рисою властивостей кліматичної системи, що характеризує часові зміни стану як самої системи, так і її окремих складових. Поняття «коливаннями клімату» традиційно використовують тоді, коли в межах певного часового періоду відсутні зміни однонаправленого характеру, а має місце зворотне змінювання з деякою квазіперіодичністю або циклічністю. Під «змінами клімату» фахівці розуміють однонаправлені (в межах певного часового періоду) зміни характеристик стану кліматичної системи, в тому числі характеристик її окремих складових (наприклад, характеристик стану атмосфери).

Опис клімату здійснюють за допомогою деяких статистичних характеристик, які розраховують у результаті операції осереднення. Період осереднення може бути різний, але для отримання характеристик глобального клімату, за рішенням Міжнародної метеорологічної спільноти, необхідно оперувати даними за період у 30 – 40 років [2]. У нашій роботі під час дослідження макрокліматичних змінах ми оперували періодом у десятиріччя.

Для аналізу кліматичних даних традиційно використовують аналіз часових рядів, який передбачає у тому числі моделювання. Для застосування цього методу статичного аналізу необхідно володіти первинними даними, які, якщо говорити за минуле століття, не завжди є в наявності. На щастя, для отримання відомостей про клімат на початку 20 століття є насправді велика та цінна наукова робота Г. Вальтера та Г. Літа – «Атлас клімадіаграм світу» [9], де зібрані клімадіаграми для усіх метеостанцій нашої планети. Ми припустили, що вони можуть бути придатними для аналізу макрокліматичних змін у середньодовгострокових масштабах.

Через те, що зміни клімату залежать від багатьох чітко не визначених чинників, існує деяка невизначеність і в оцінках майбутніх змін клімату,

пов'язаних із цими чинниками. Тому в науковій літературі віддають перевагу використанню терміна «проекція клімату», а не «прогноз клімату», таким чином підкреслюючи той факт, що результати моделювання залежать від вибраного сценарію і гіпотези, на якій базується цей сценарій [2].

У наш час існує значне занепокоєння з приводу глобальної зміни клімату або глобального потепління: згідно з П'ятим оціночним звітом МЗГЕК, антропогенне потепління було приблизно на 1 °C (ймовірно, від 0,8 °C до 1,2 °C) вище доіндустріального рівня в 2017 році і зросло на 0,2 °C (ймовірно, від 0,1 °C до 0,3°C) за десятиліття [12].

Мінливість клімату має як прямий, так і непрямий вплив на здоров'я та благополуччя людини, а також біотичні угруповання. Зміни в температурі та характері і кількості опадів у поєднанні призведуть до змін у початку та тривалості вегетаційних періодів у майбутньому. Зміна частоти екстремальних подій можуть мати суттєвий вплив на поширення шкідників, бур'янів, хвороб сільськогосподарських культур і худоби та ін. [8].

Адаптація до зміни клімату – це дії, спрямовані на управління наслідками зміни клімату шляхом зменшення вразливості та схильності до її негативних наслідків, а також використання потенційних переваг. Однак немає однозначної відповіді на питання, чи можливо обмежити потепління до 1,5 °C і при цьому адаптуватися до наслідків [12].

РОЗДІЛ 2. ОБ'ЄКТ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1. Об'єкт дослідження

У нашому дослідженні ми зосередили нашу увагу на лісових та трав'янистих біомах. Лісові біоми сформувалися й існують в умовах гарного зволоження й достатньої теплозабезпеченості. Для них притаманне панування дерев. Біомаса лісових біомів набагато більша річної продукції. Темпи сукцесії науковці оцінюють як середні. Трав'янисті біоми (стеги, прерії, савани й т. п.) формуються при недостатнім зволоженні, але порівняно гарній забезпеченості теплом. Тут переважають трави, а деревне-чагарникова рослинність є відносно рідкісною або відсутня зовсім. Відношення біомаса – продукція близьке до одиниці. Швидкість сукцесійних змін є високою [1].

Об'єкт дослідження – клімат Лісостепоної і Степоної зон Європи. Предмет дослідження – зміни розподілу температур і опадів у Лісостеповій і Степовій зонах Європи.

2.2. Методи дослідження

У роботі використано методи пошуку, класифікації, порівняння, моделювання, аналогії, формалізації.

Метеостанції, які ми розглянули у нашому дослідженні, знаходяться у містах: Харків (розташоване на межі двох природних зон, Лісостепоної та Степоної), Одеса (розташоване у Степовій зоні України), Умань (розташоване у Лісостеповій зоні України).

Метеостанція «Харків» (код 34300; широта; 49,1; довгота: 36,1) розташована на висоті 155 м над рівнем моря [3].

Метеостанція «Одеса» (код 33837; широта; 46,4; довгота: 30,8) розташована на висоті 42 м над рівнем моря [3].

Метеостанція «Умань» (код 33587; широта; 48,8; довгота: 30,2) розташована на висоті 216 м над рівнем моря [3].

2.2.1. Метод клімадіаграм

Клімадіаграма – вид діаграми, що застосовується як один із методів графічного відображення клімату, в основі якого лежить нанесення усереднених показників температури та опадів по місяцях. Даний метод дозволяє, з одного боку, виявити характерні особливості того чи іншого клімату, а з іншого, – його різницю або відмінність із кліматом інших місцевостей [10].

При побудові клімадіаграм за методом Госсена-Вальтера будують шкалу температур та опадів у пропорції 1:2 та 1:3. У першому випадку можна зафіксувати прояви посухи, а в другому випадку прояв напівпосухи, якщо її виділення є можливим та необхідним. Вертикальними лініями зафарбовується область достатньої зволоженості, що фіксується вище шкали температури. Крапками заповнюється область посухи, що фіксується, коли шкала опадів 1:2 заходить під шкалу температур. Горизонтальним пунктиром замальовується область напівпосухи, що фіксується, коли шкала опадів 1:3 заходить під зону посухи [10, 5].

Період достатньої зволоженості, напівпосухи та посухи, фіксується відповідно до того, який є домінуючим, тобто якщо видно період достатньої зволоженості, який є над період напівпосухи, то фіксується напівпосуха. Проте оскільки ми розглядаємо зону помірної поясу, то напівпосуха є фактично посухою.

2.2.2. Вихідні дані

Першочергово, як джерело вихідних даних, нами було обрано Державний портал Національного центру екологічної інформації [7] США (далі – НЦЕІ США). Побудовані клімадіаграми (рис. 2.1) виявилися не типовими для досліджуваних територій, а схожі на гірську місцевість (рис. 2.2).

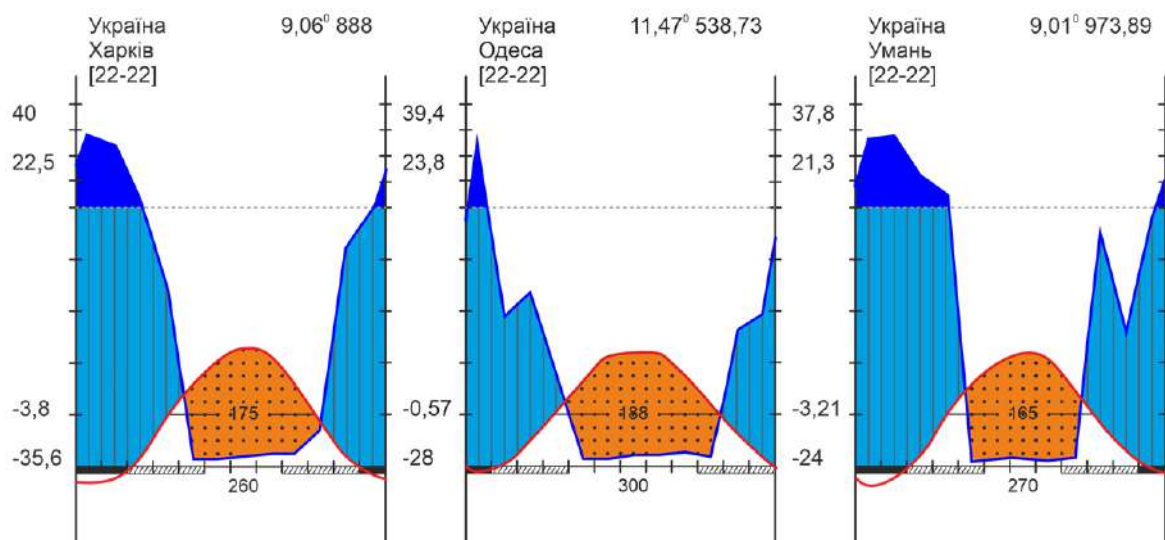


Рисунок 2.1 – Клімадіаграми досліджуваних територій в період із 1999 по 2021 роки, побудовані за даними НЦЕІ США

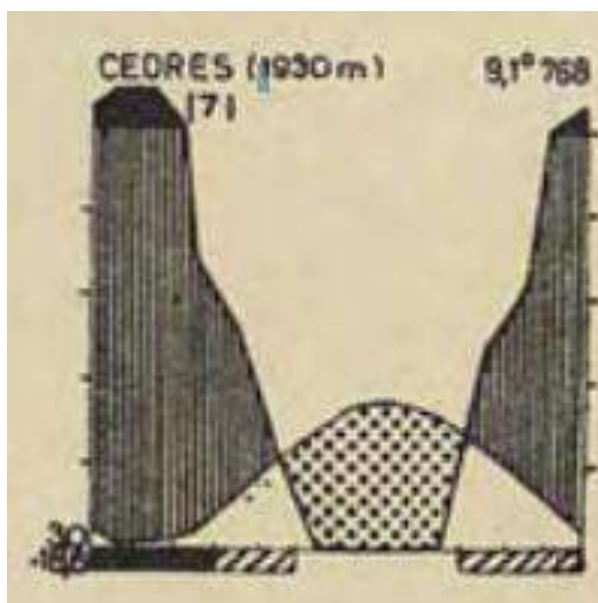


Рисунок 2.2 – Клімадіаграма міста Les Cedres, Ліван [9]

Показники температури були представлені в °F, а кількість опадів – у дюймах. При переведенні цих показників у міжнародні одиниці вимірювання (°C та мм), було встановлено, що ми не можемо зафіксувати температуру нижче 0 °F, а отже -17,78 °C.

Враховуючи це, подальше використання цього джерела, принаймні в цій роботі, є неефективним із-за недостовірних даних.

На заміну був обраний український сайт Метеопост [4], який має архів кліматичних даних по метеостанціях України з 2010 року і до сьогодні.

Було прийнято рішення обрати для дослідження діапазон у 10 років із 2010 по 2021 рік, бо, по-перше, були відсутні дані в період із березня по вересень 2022 року по метеостанції «Харків», по-друге, якщо ми візьмемо менший діапазон дат, то менше будуть впливати на результат коливання у кліматі. Дані з сайту були вручну перенесені до програми MS Excel, де і проводились усі розрахунки. Усі вихідні дані для побудови клімадіаграм за період із 2010 по 2021 рік наведені в табл. А.1 – А.3.

Дані попереднього століття, а саме клімадіаграми, були взяті з «Атласу клімадіаграм світу», співавтором якого є один з основоположників методу графічного відтворення клімату – клімадіаграмами – Генріх Вальтер, що співпрацював із Гельмутом Літом. Клімадіаграми для досліджуваних територій наведені нижче (у третьому розділі, рис. 3.2).

2.2.3. Отримання даних із клімадіаграм періоду 20 – 50 pp. XX ст.

Клімадіаграми для досліджуваних міст були скопійовані з атласу шляхом знімка з екрана та перенесені на розлінований у клітинку (0,5 мм) аркуш формату А4. Перевірити достовірність цієї інформації можна в додатку Б. Параметри шкал за допомогою редактора PDF файлів були максимально підлаштовані під клітинку аркуша. Отриманий файл роздруковано на принтері.

Було проведено вимір клітинок лінійкою, і фактично 1 клітина пропорційна 0,5 см. Мітки на шкалах температури та опадів на клімадіаграмах міст Харкова та Умані вкладаються у пропорцію 10 °С : 1 см та 20 мм : 1 см відповідно. Мітки на шкалі опадів на клімадіаграмі міста Одеси вкладаються у пропорцію 20 мм : 0,9 см. Для урівноваження отриманих показників, результати вимірювань піддавались перерахунку за формулою:

$$PRCP_{20:1} = \left(\frac{PRCP_{20:0,9}}{0,9} \right) \cdot 2,$$

де $PRCP_{20:1}$ – відкоригований показник місячної кількості опадів, мм;

$PRCP_{20:0,9}$ – вимірний лінійкою показник місячної кількості опадів із клімадіаграми, мм.

2.2.4. Статистична обробка даних

«Робоча» гіпотеза у нашому дослідженні зводиться до припущення, що відмінності, які ми спостерігаємо між температурами повітря та кількістю опадів у різних природних зонах за два розглянуті періоди, носять не випадковий характер.

Для тестування робочої гіпотези можна було б вдаватися до порівняння середніх річних температур за періоди 20 – 50 рр. ХХ ст. та 2011 – 2021 рр. та середніх річних сум опадів за ці ж періоди для кожної метеостанції за допомогою критерію Стюдента. Але беручи до уваги, що ми не маємо бази даних, яку використовували свого часу автори «Атласу клімадіаграм світу» Г. Вальтер та Г. Літ, це унеможлиблює розрахунок нами зокрема дисперсії – однієї із базових статистик, що фігурує в алгоритмові розрахунку t-критерію.

Середні річні величини розраховують на основі розподілів температур і опадів впродовж року, тому ми перевели фокус нашої уваги саме на розподіли. Для порівняння розподілів середньодобових температур за 12 місяців за періоди 20 – 50 рр. ХХ ст. та 2011 – 2021 рр. для кожної метеостанції ми скористалися спеціалізованим критерієм Колмогорова. Так само ми вдалися до використання цього ж критерію під час порівняння між собою розподілів середньомісячної кількості опадів за 12 місяців за ці самі періоди.

Критерій, запропонований академіком А. М. Колмогоровим – одним із найвизначніших математиків ХХ століття, є досить потужним і широко використовується на практиці, але для порівняння розподілів температур і опадів, які відображені на клімадіаграмах, його застосовано вперше.

Заснований він на визначенні теоретичних та емпіричних частот із подальшим обрахунком самого критерію та порівняння його з критичним значенням. Розраховували критерій Колмогорова за формулою [6]:

$$K(\lambda) = d_{max} \cdot \sqrt{N},$$

де $K(\lambda)$ – величина критерію Колмогорова;
 d_{max} – максимальна різниця за модулем числа;
 N – об'єм емпіричного ряду.

Розрахунок проводився за допомогою програми MS Excel, що дає змогу проводити розрахунки з високою точністю.

Критичні значення критерію для обраної довірчої імовірності (вказана в дужках):

- 1,36 ($P_1 = 0,95$);
- 1,63 ($P_2 = 0,99$);
- 1,95 ($P_3 = 0,999$).

Якщо вирахована величина критерію Колмогорова перевищує хоча б величину 1,36, це означає, що розподіли відрізняються між собою, а відтак можна зафіксувати суттєву зміну кліматичного параметра.

Оскільки фактично не можна встановити, який розподіл буде емпіричний, а який теоретичний, нами було прийняте рішення проводити розрахунок критерію почергово змінюючи дані. Наприклад, спочатку дані за 20 – 50 роки ХХ століття ми вважали «емпіричним» розподілом, а дані за 2011 – 2021 – «теоретичним», а потім навпаки.

Перепоною до розрахунку стають від'ємні значення температур, адже частоти, для роботи з якими традиційно застосовують даний критерій, не можуть мати від'ємних значень. Тому на підготовчому етапі роботи з критерієм ми вдалися до зрушення обох розподілів вздовж осі температур так, щоб усі значення знаходилися вище нуля. Це жодним чином не змінювало сам характер розподілів, але дозволяло адаптувати використання даного критерію до вирішення поставлених нами задач. Подібні маніпуляції застосовують під час роботи в багатовимірному просторі, де ми можемо змістити досліджувану нами «храму» у центр координат, що не вплине на результати аналізу. Щоб визначити величину, на яку слід «підняти» розподіл вгору, для обох досліджуваних рядів ми розраховували мінімум. Цю величину ми віднімали від фактичних значень у обох досліджуваних рядах. Наприклад, для метеостанції міста Харкова за роз-

глянути періоди часу розраховано, що мінімальна середньодобова температура повітря становить $-7,1$ °С (січень, 2011 – 2021 рр.). Віднімемо цю величину від фактичної для ряду, що характеризує 2011 – 2021 рр.:

- для січня $-7,1 - (-7,1) = -7,1 + 7,1 = 0$ °С;
- для лютого $-4,6 - (-7,1) = -4,6 + 7,1 = 2,5$ °С;
- для березня $0,1 - (-7,1) = 0,1 + 7,1 = 7,2$ °С і т. д.

Аналогічно віднімемо цю величину від фактичної для ряду, що характеризує 20 – 50 роки ХХ століття:

- для січня $-4,5 - (-7,1) = -4,5 + 7,1 = 2,6$ °С;
- для лютого $-3,5 - (-7,1) = -3,5 + 7,1 = 3,6$ °С;
- для березня $2,1 - (-7,1) = 2,1 + 7,1 = 9,2$ °С і т. д.

РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ АНАЛІЗУ МАКРОКЛІМАТИЧНИХ ЗМІН У СЕРЕДНЬО-ДОВГОСТРОКОВИХ МАСШТАБАХ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДУ КЛІМАДІАГРАМ

Вихідні дані для аналізу наведені в табл. А.1 – А.3, побудовані на основі цих даних клімадіаграми – на рис. 3.1. «Історичні» клімадіаграми з атласу наведені нижче (див. рис. 3.2), отримані з них дані – в табл. В.1 – В.3.

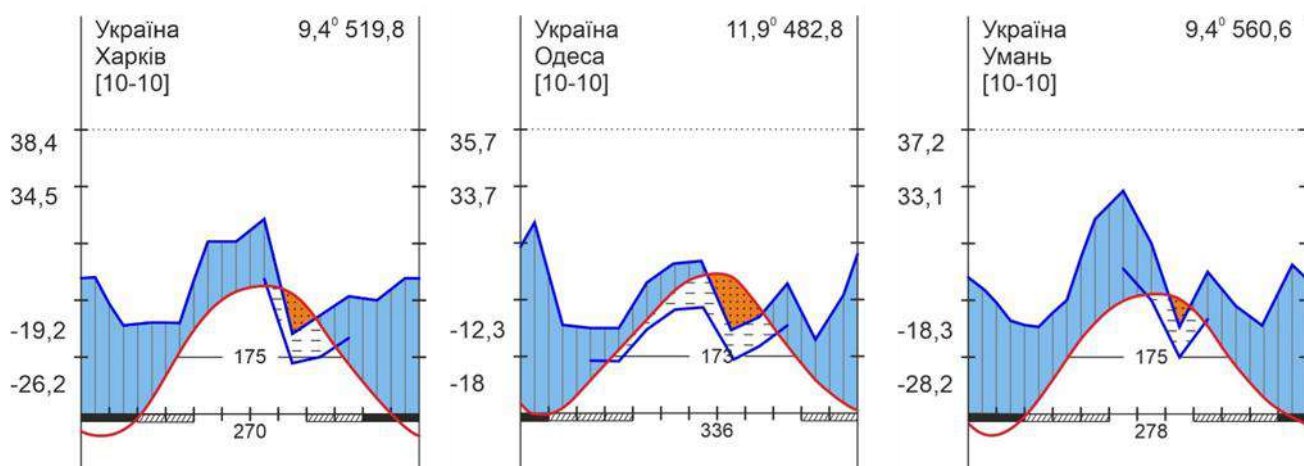


Рисунок 3.1 – Клімадіаграми за період 2011 – 2021 рр.

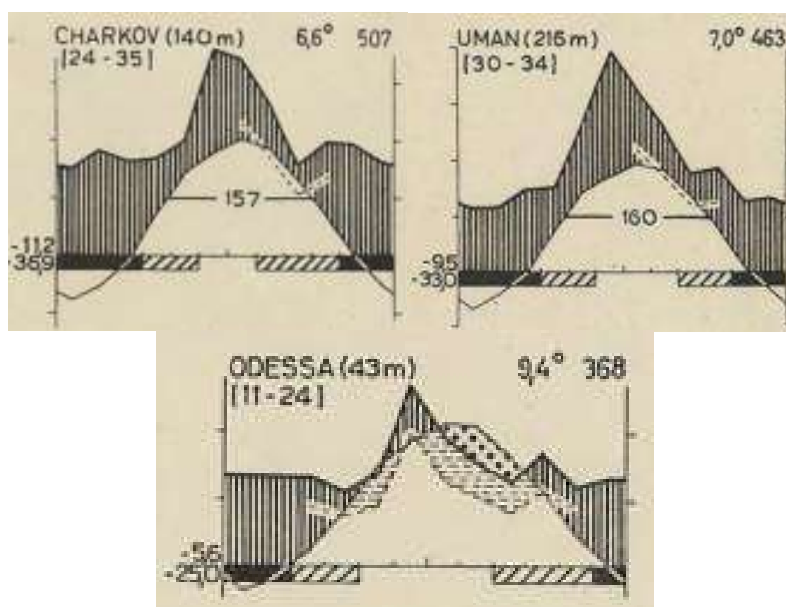


Рисунок 3.2 – Клімадіаграми за період 20 – 50 рр. ХХ. ст. з «Атласу клімадіаграм світу» [9]

3.1. Опис клімадіаграм для міста Харкова

3.1.1. Період 20 – 50 рр. XX ст.

Крива ходу середніх місячних температур впродовж року є стабільною, тобто без різких коливань. Крива ходу середніх місячних опадів упродовж року виявляє суттєві коливання, тобто не є рівномірною.

З діаграми видно, що з 3/4 вересня до 1/3 серпня період достатньої зволоженості. З 1/3 серпня до 3/4 вересня період напівпосухи. Перезволоженість та посуха відсутні.

Тривалість вегетаційного періоду орієнтовно складає 157 днів (із 2/3 квітня до 1/4 жовтня). Середня тривалість безморозного періоду орієнтовно складає 253 дні (з березня по листопад).

3.1.2. Період 2011 – 2021 рр.

Крива ходу середніх місячних температур впродовж року є стабільною, тобто без різких коливань. Крива ходу середніх місячних опадів упродовж року виявляє суттєві коливання, тобто не є рівномірною.

З діаграми видно, що з початку жовтня до 1/2 липня, період достатньої зволоженості. З 1/2 липня до 1/4 серпня та з 1/3 вересня по кінець вересня напівпосуха. З 1/8 серпня до 1/3 вересня, період посухи. Перезволоженості не спостерігається.

Тривалість вегетаційного періоду, тобто діапазон, коли середньомісячна температура сягає 10°C, орієнтовно складає 175 днів (із 1/2 квітня до 1/3 жовтня). Середня тривалість безморозного періоду орієнтовно складає 270 днів (із березня по листопад).

3.2. Опис клімадіаграм для міста Одеси

3.2.1. Період 20 – 50 рр. XX ст.

Крива ходу середніх місячних температур впродовж року є стабільною, тобто без різких коливань. Крива ходу середніх місячних опадів упродовж року виявляє суттєві коливання, тобто не є рівномірною.

З діаграми видно, що з 1/2 жовтня до 1/2 квітня період достатньої зволоженості. З 1/2 квітня до 1/3 липня та з 5/6 серпня до 1/2 жовтня напівпосуха. З 1/3 липня до 3/4 вересня період посухи.

Тривалість вегетаційного періоду орієнтовно складає 176 днів (із 3/4 квітня до 3/4 жовтня). Середня тривалість безморозного періоду орієнтовно складає 285 днів (із березня по 1/2 грудня).

3.2.2. Період 2011 – 2021 рр.

Крива ходу середніх місячних температур впродовж року є стабільною, тобто без різких коливань. Крива ходу середніх місячних опадів упродовж року виявляє суттєві коливання, тобто не є рівномірною.

З діаграми видно, що з 1/2 жовтня до 1/3 квітня, період достатньої зволоженості. З 1/3 квітня до 3/4 липня та 2/3 вересня до 1/4 жовтня період напівпосухи. З 2/3 липня до 2/3 вересня, період посухи. Перезволоженості не спостерігається.

Тривалість вегетаційного періоду орієнтовно складає, 173 дні (із 1/2 квітня по 3/4 жовтня). Середня тривалість безморозного періоду орієнтовно складає 336 днів (із лютого по грудень).

3.3. Опис клімадіаграм для міста Умані

3.3.1. Період 20 – 50 рр. ХХ ст.

Крива ходу середніх місячних температур впродовж року є стабільною, тобто без різких коливань. Крива ходу середніх місячних опадів упродовж року виявляє суттєві коливання, тобто не є рівномірною.

З діаграми видно, що з 3/4 вересня до 1/4 серпня період достатньої зволоженості. З 1/4 серпня до 3/4 вересня напівпосуха. Презволоженість та посуха відсутні.

Тривалість вегетаційного періоду орієнтовно складає 160 днів (із 3/4 квітня до 1/3 жовтня). Середня тривалість безморозного періоду орієнтовно складає 160 днів (із квітня по 1/2 листопада).

3.3.2. *Період 2011 – 2021 рр.*

Крива ходу середніх місячних температур впродовж року є стабільною, тобто без різких коливань. Крива ходу середніх місячних опадів упродовж року виявляє суттєві коливання, тобто не є рівномірною.

З діаграми видно, що з 7/8 серпня до 1/3 липня період достатньої зволоженості. З 1/3 липня до 1/6 серпня та з 5/6 серпня до 1/3 вересня період напівпосухи. З 1/6 до 5/6 серпня – посуха.

Тривалість вегетаційного періоду орієнтовно складає 175 днів (із 1/2 квітня до 1/3 жовтня). Середня тривалість безморозного періоду орієнтовно складає 278 днів (із березня до початку грудня).

3.4. Точність результатів клімадіаграм

При визначенні параметрів із клімадіаграм автори атласу встановлюють допустимі похибки [с. 13, 9]:

- для температури до 0,5 °С;
- для опадів до 10 мм.

Похибка визначена як різниця фактичного показника середньорічної кількості опадів або середньорічної температури з отриманими даними після зняття показників із клімадіаграм періоду 20 – 50 рр. ХХ ст.

За клімадіаграмою Харкова похибка температури складає 0 °С, опадів 5,5 мм. За клімадіаграмою Одеси похибка температури складає 0,3 °С, опадів 15,6 мм. За клімадіаграмою Умані похибка температури складає 0,1 °С, опадів 14,6 мм.

3.5. Результати порівняння клімадіаграм

Для полегшення сприйняття інформації усі зафіксовані параметри були перенесені у табличний вигляд. Таблиця заходиться у додатку Г.

Надалі у зроблених нами узагальненнях буде фігурувати похибка, яка розрахована на основі клімадіаграм 20 – 50 рр. ХХ століття як різниця фактичних параметрів середньорічної температури та опадів із вимірними показниками за допомогою лінійки.

Температура, у досліджуваних нами природних зонах, а саме Харків (далі – перехідна зона) – перехідна зона лісостепу і степу, Одеса (далі – степова зона) – степ, Умань (далі – лісостепова зона) – лісостеп, у середньому **зросла на 2,6 °С** (середня похибка 0,13 °С). На даному етапі зробити висновок щодо вагомості зміни цього параметру впродовж років не є об'єктивним і потребує статистичного підтвердження.

Фіксується незначне **підвищення річної кількості опадів** (більше 10 мм, можлива похибка в 5 мм) у перехідній зоні. Кількість опадів зросла у степовій зоні (орієнтовно 50 мм, можлива похибка в 15,6 мм) та лісостеповій зоні (орієнтовно 110 мм, можлива похибка в 14,6 мм). На даному етапі зробити висновок щодо вагомості зміни цього параметру впродовж років також не є об'єктивним.

Зволожена пора року в середньому **зменшилась орієнтовно на понад 30 днів**. У перехідній зоні напівпосуха збільшилась на 10 днів у бік початку весни і цей період розділяє посуха з серпня по вересень, яка раніше не фіксувалась. У зоні степу напівпосуха сумарно має орієнтовно однаковий період (95 днів), тобто без змін, а посуха в даній області збільшилась на орієнтовно 10 днів. У лісостеповій зоні фіксується зменшення періоду достатньої вологості, орієнтовно більше ніж на 35 днів, у бік початку року. Період напівпосухи зменшився за рахунок прояву періоду посухи в серпні. Зменшення періоду зволоженої пори року **підтверджується проявами та/або збільшення посухи**, а також **збільшення напівпосухи**.

У перехідній зоні вегетаційний період орієнтовно збільшився на понад 15 днів, почав раніше починатись та закінчуватись, тобто фактично здвинувся у бік початку року на тиждень. У зоні степу вегетаційний період збільшився на понад 10 днів у бік початку року. У зоні лісостепу фіксується збільшення вегетаційного періоду орієнтовно на понад 30 днів у бік початку року. Також виявляється закономірність, що вегетаційний період для досліджуваних територій починається з середини квітня.

Гіпотетично, зсув вегетаційного періоду в бік початку року є підтвердженням підвищення середньомісячної температури квітня, адже вегетація починається, коли температура атмосферного повітря сягає позначки 10 °С.

Аналогічно фіксується збільшення безморозного періоду в бік початку року, що фактично підкреслює вищезазначене твердження.

3.6. Результати статистичної обробки даних

Результати розрахунку критерію Колмагорова зведені в таблицю, що наведена в додатку Д (побудовані нами графіки розподілів продемонстровані на рис. Е.1 – Е.2). Для розподілів температур мінімальна величина критерію становить 1,94 (місто Умань), що значно перевищує 1,63, $P_2 = 0,99$, а максимальна – 2,81 (місто Одеса), що значно перевищує 1,95, $P_2 = 0,999$. У цілому за результатами серії аналізів з імовірністю 99,0 – 99,9 % можна стверджувати, що досліджувані нами розподіли середніх місячних температур відрізняються суттєво.

Для розподілів опадів мінімальна величина критерію становить 1,23 (місто Харків), що менше ніж 1,36, $P_2 = 0,95$, а максимальна – 5,07 (місто Одеса), що значно перевищує 1,95, $P_3 = 0,999$. Якщо зосередити свою увагу тільки на містах Умань і Одеса, мінімальна величина критерію становить 3,51 (місто Умань), що більше ніж 1,95, $P_3 = 0,999$ (максимальна величина відповідно без змін). У цілому за результатами серії аналізів із високим рівнем достовірності ($P_3 = 0,999$) можна зробити висновок, що маємо суттєве збільшення середніх місячних опадів за відносний період у 100 років для степової та лісостепової зон. Натомість для перехідної зони, у межах якої знаходиться місто Харків, за відносний період у 100 років відмінності між показниками середньомісячної кількості опадів не виявлено.

Не залежно від того, який розподіл ми вважали емпіричним, а який теоретичним, результати розрахунку майже збігалися. Отримані результати опосередковано підтверджують відмінність середніх річних температур за періоди 20 – 50 рр. ХХ ст. та 2011 – 2021 рр. для усіх трьох метеостанцій, на суттєве збільшення річної суми опадів за відносний період у 100 років у лісостеповій і степовій зонах та на незмінні рівні надходження опадів у перехідній зоні.

ВИСНОВКИ

1. Державний портал Національного центру екологічної інформації США має недостовірні дані по кліматичним параметрам для розглянутих метеостанцій. Не можливо зафіксувати температуру нижче 0 °F (-17,8 °C). Показники опадів непомірно завищені в холодну та критично занижені в теплу пору року. Побудовані клімадіаграми відповідають гірській місцевості, а не лісостеповій, степовій, перехідній.

2. Аналіз клімадіаграм показав, що за досліджуваними зонами температура в середньому зросла на 2,6 °C, кількість опадів збільшилась (незначно – перехідна зона; значно – лісостепова і степова зони). Зволожена пора року зменшилась на понад 30 днів, зафіксовані прояви або збільшення посухи, збільшення періоду напівпосухи. Вегетаційний період зсунувся в бік початку року, аналогічна ситуація з безморозним періодом.

3. На основі статистичної обробки даних, за модифікованим нами алгоритмом розрахунку критерію Колмогорова, зафіксоване достовірне підвищення температури у всіх досліджуваних зонах (мінімальне значення $K = 1,94$, $P_2 = 0,99$) та збільшення кількості опадів у лісостеповій та степовій зонах (мінімальне значення $K = 3,51$, $P_3 = 0,999$). Натомість у перехідній зоні різниця між розподілами кількості опадів за два розглянуті періоди відсутня (мінімальне значення $K = 1,23$, $P_1 = 0,95$).

4. Клімадіаграми можна використовувати як джерело повноцінних вихідних даних для аналізу макрокліматичних змін у середньо-довгострокових масштабах.

5. Критерій Колмогорова дозволяє відстежити різницю розподілів температур і опадів із високою точністю та може бути використаний як універсальний тест для порівняння кліматів (зокрема розподілів температур і опадів), що здійснюється з залученням клімадіаграм.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Білоус Л. Ф. Біогеографія: навчальний посібник. Київ: Київський національний університет імені Тараса Шевченка, 2020. 260 с. URL: https://geo.knu.ua/wp-content/uploads/2021/06/bilous_biogeography_posibn.pdf (дата звернення: 29.01.2024).
2. Врублевська О. О., Катеруша Г. П., Гончарова Л. Д. Кліматологія: підручник. Одеса: Вид-во ОДЕУ, 2013. 344 с. URL: http://eprints.library.odeku.edu.ua/id/eprint/398/1/VrublevskaayaAA_Klimatologiya_2013.pdf (дата звернення: 06.02.2024).
3. Синоптичний індекс *FlyMeteo*: веб-сайт. URL: https://flymeteo.org/synop/station_index.php (дата звернення: 06.02.2024).
4. Статистика погоди. Кліматичні дані за роками та місяцями. *Метеопост*: веб-сайт. URL: <https://meteopost.com/weather/climate/> (дата звернення: 01.02.2024).
5. Спірін О. І. Метод клімадіаграм за Госсеном-Вальтером: практичний порадник (для студентів II, III та V курсів денного й I 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». Харків: ХНАМГ, 2012. 38 с.
6. Математична статистика / Лебедев Є. О., Лівінська Г. В., Розора І. В., Шарапов М. М. Київ: КНУ імені Тараса Шевченка, 2016. 159 с.
7. Climate Monitoring *National Center for Environmental Information of USA*: government portal. URL: <https://www.ncei.noaa.gov/monitoring> (Last accessed: 29.01.2024).
8. Thornton P., Ericksen P., Herrero M., Challinor A. Climate variability and vulnerability to climate change: a review. *Global Change Biology*. Now. 2014 Vol. 20.

Issue 11. Page. 3313 – 3328. URL: <https://doi.org/10.1111/gcb.12581> (Last accessed: 29.01.2024).

9. Walter H., Lieth H. Klimadiagramm-Weltatlas: atlas. Stuttgart, 1967. 276 с. URL: <http://hdl.handle.net/2268.1/7079> (дата звернення: 02.02.2024).

10. Walter H. Die vegetation der erde Bd I.: lehrbuch. Yen: VEB Gustav Fisher Verlag, 1964. 428 с.

11. Walter H. Die vegetation der erde Bd II.: lehrbuch. Yen: VEB Gustav Fisher Verlag, 1968. 426 с.

12. Global Warming of 1.5 °C *The Intergovernmental Panel of Climate Change*: website. URL: <https://www.ipcc.ch/sr15/> (Last accessed: 07.02.2024).

ДОДАТКИ

Додаток А

Таблиця А.1 – Вихідні дані для побудови клімадіаграми для метеостанції Харкова за період 2011 – 2021 рр.

Місяць	T, °C	PRCP, мм	TM с-д., °C	Tm с-д., °C	TM абс., °C	Tm абс., °C
1	-4,5	47,1	6,9	-12,4	6,8	-25,5
2	-3,5	31,7	4,2	-19,2	12,1	-26,2
3	2,1	33,4	7,0	-16,8	21,0	-15,8
4	10,2	32,8	14,6	-9,0	30,3	-5,3
5	17,2	61,1	24,6	-1,7	32,5	2,8
6	21,1	60,7	28,7	5,5	34,2	6,4
7	22,6	68,1	32,5	9,9	38,4	9,7
8	22,1	28,0	34,2	12,7	36,8	8,4
9	16,0	30,0	34,5	10,6	34,1	-0,2
10	8,6	40,7	29,8	3,4	24,5	-7,3
11	2,3	39,8	22,2	-3,2	17,5	-14,0
12	-1,5	46,4	13,9	-7,6	13,0	-20,8
Роки	<i>Середнє</i>	<i>Сума</i>	<i>Макс.</i>	<i>Мін.</i>	<i>Макс.</i>	<i>Мін.</i>
	9,4	519,8	34,5	-19,2	38,4	-26,2

Таблиця А.2 – Вихідні дані для побудови клімадіаграми для метеостанції Одеси за період 2011 – 2021 рр.

Місяць	T, °C	PRCP, мм	TM с-д., °C	Tm с-д., °C	TM абс., °C	Tm абс., °C
1	-0,1	66,9	12,1	-7,0	22,4	-16,2
2	0,9	31,2	9,9	-12,3	17,3	-18,0
3	5,1	29,0	12,9	-9,3	22,9	-11,0
4	10,4	28,9	17,5	-4,3	27,8	-0,9
5	16,7	44,7	22,1	1,7	29,2	5,7
6	21,6	52,4	26,5	8,1	33,1	9,4
7	23,8	52,9	31,2	12,5	34,6	11,4
8	23,9	28,9	32,6	14,7	35,7	11,8
9	18,7	34,1	33,7	14,4	32,9	4,6
10	12,2	45,3	28,8	8,3	27,6	0,5
11	6,8	26,7	22,7	2,8	20,3	-5,8
12	2,7	42,0	15,6	-2,4	16,5	-12,7
Роки	<i>Середнє</i>	<i>Сума</i>	<i>Макс.</i>	<i>Мін.</i>	<i>Макс.</i>	<i>Мін.</i>
	11,9	482,8	33,7	-12,3	35,7	-18,0

Таблиця А.3 – Вихідні дані для побудови клімадіаграми для метеостанції Умані за період 2011 – 2021 рр.

Місяць	T, °C	PRCP, мм	ТМ с-д., °C	Тm с-д., °C	ТМ абс., °C	Тm абс., °C
1	-3,3	43,9	9,7	-11,3	8,3	-22,6
2	-2,1	33,5	6,1	-18,3	13,3	-28,2
3	3,3	32,0	9,5	-15,4	19,6	-20,4
4	10,3	41,7	17,1	-8,6	29,2	-8,0
5	15,9	69,2	25,1	-2,5	29,6	-1,8
6	20,1	78,3	28,1	3,6	35,8	4,6
7	21,4	60,1	31,7	7,9	34,6	7,7
8	20,7	30,2	32,6	10,2	37,2	6,2
9	15,5	49,5	33,1	8,9	36,2	-1,0
10	8,6	37,8	30,0	2,8	35,2	-5,6
11	3,5	30,7	24,0	-3,1	21,7	-12,4
12	-0,5	53,7	15,1	-6,7	15,7	-20,4
Роки	<i>Середнє</i>	<i>Сума</i>	<i>Макс.</i>	<i>Мін.</i>	<i>Макс.</i>	<i>Мін.</i>
	9,4	560,6	33,1	-18,3	37,2	-28,2

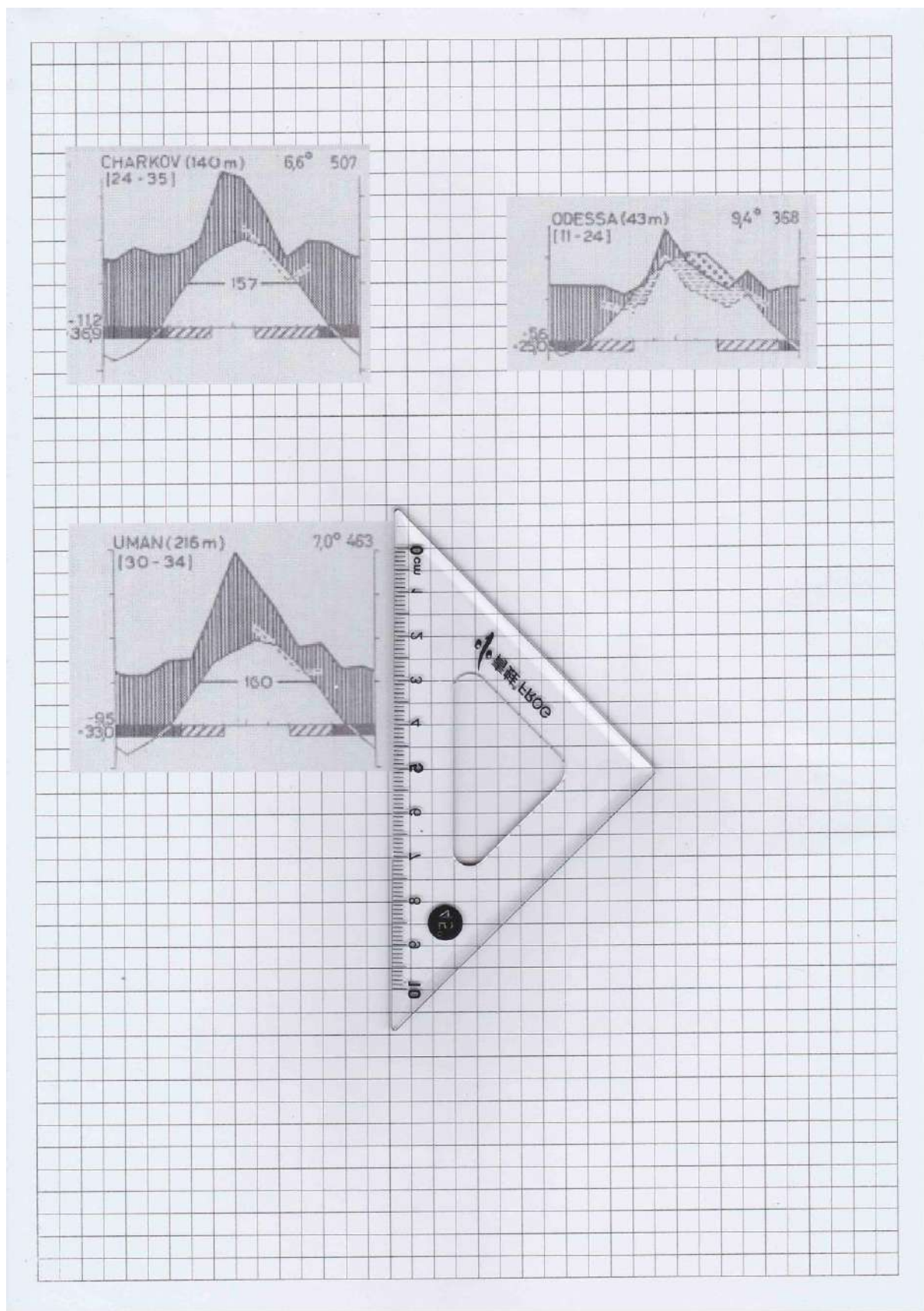


Рисунок Б.1 – Роздруковані клімадіаграми з атласу для зняття показників

Додаток В

Таблиця В.1 – Отримані показники з клімадіаграми міста Харкова за 20 – 50 рр. ХХ століття

Місяць	Т, °С	PRCP, мм
1	-7,1	30,0
2	-4,6	37,0
3	0,1	33,0
4	7,3	35,0
5	14,0	43,0
6	17,2	70,5
7	19,5	67,0
8	17,8	53,0
9	13,0	32,0
10	6,5	40,0
11	1,0	39,0
12	-5,0	33,0
Вимір	<i>Середнє</i>	<i>Сума</i>
	6,6	512,5
Фактичне	6,6	507
Похибка	0,0	5,5

Таблиця В.2 – Отримані показники з клімадіаграми міста Одеси за 20 – 50 рр. ХХ століття

Місяць	Т, °С	PRCP, мм
1	-2,9	30,7
2	-1,0	26,9
3	2,0	26,7
4	8,0	25,3
5	14,1	32,0
6	17,9	57,3
7	19,4	42,2
8	20,0	31,3
9	15,9	24,9
10	11,3	35,3
11	4,6	24,2
12	-0,3	26,7
Вимір	<i>Середнє</i>	<i>Сума</i>
	9,1	383,6
Фактичне	9,4	368
Похибка	-0,3	15,6

Таблиця В.3 – Отримані показники з клімадіаграми міста Умані за 20 – 50 рр. ХХ століття

Місяць	Т, °С	PRCP, мм
1	-6,8	23,6
2	-4,0	26,0
3	0,1	30,0
4	7,0	32,0
5	14,0	53,8
6	16,8	78,4
7	18,9	66,2
8	18,0	42,2
9	13,1	35,2
10	8,1	37,8
11	1,5	26,0
12	-3,9	26,4
Вимір	<i>Середнє</i>	<i>Сума</i>
	6,9	477,6
Фактичне	7	463
Похибка	-0,1	14,6

Додаток Г

Таблиця Г.1 – Результати порівняння кліматичних діаграм для метеостанцій у містах Харків, Одеса та Умань

Місто	Показник	Діапазон спостережень				Примітки (відносно те- перішнього часу)
		2011 – 2021 рр.		20 – 50 рр. ХХ ст.		
Харків	Середньорічна t, °С	9,4		6,6		Збільшення на 2,8 °С
	Сумарна кількість опадів, мм	519,8		507		Дещо зросла
	Зволоженість, період	Початок жовтня – 1/2 липня		3/4 вересня – 1/3 серпня		Зменшення на понад 30 днів
	Напівпосуха, період	1/2 липня – 1/4 серпня та з 1/3 вересня – кінець вересня		1/3 серпня – 3/4 вересня		Збільшення більше ніж на 10 днів
	Посуха, період	1/8 серпня – 1/3 вересня		Відсутня		З'явилась
	–	Період з – до	Дні	Період з – до	Дні	–
	Вегетаційний період	1/2 квітня – 1/3 жовтня		2/3 квітня – 1/4 жовтня		Раніше початок, раніше кінець
	Безморозний період	Березень – листопад		Березень – листопад		Збільшення на понад 10 днів
Одеса	Середньорічна t, °С	11,9		9,4		Збільшення на 2,5 °С
	Сумарна кількість опадів, мм	482,8		368		Підвищення на понад 110 мм
	Зволоженість, період	1/2 жовтня – 1/3 квітня		1/2 жовтня до 1/2 квітня		Зменшення на 30 днів
	Напівпосуха, період	1/3 квітня – 3/4 липня та 2/3 вересня – 1/4 жовтня		1/2 квітня – 1/3 липня та 5/6 серпня – 1/2 жовтня		Однаково орієнтовно 95 днів
	Посуха, період	2/3 липня – 2/3 вересня		1/3 липня – 3/4 вересня		Збільшення понад 10 днів
	–	Період з – до	Дні	Період з – до	Дні	–
	Вегетаційний період	1/2 квітня – 3/4 жовтня		3/4 квітня – 2/3 жовтня		Збільшився на понад 10 днів
	Безморозний період	Лютий – грудень		Березень – 1/2 грудня		Збільшення на понад 50 днів

Продовж. табл. Г.2

Місто	Показник	Діапазон спостережень				Примітки (відносно те- перішнього часу)
Умань	Середньорічна t, °C	9,4		6,9		Збільшення на 2,5 °C
	Сумарна кількість опадів, мм	560,6		463		Збільшення на понад 50 мм
	Зволоженість, період	7/8 серпня – 1/3 лип- ня		3/4 вересня – 1/4 серпня		Зменшення на понад 35 днів
	Напівпосуха, пе- ріод	1/3 липня до 1/6 сер- пня та 5/6 серпня – 1/3 вересня		1/4 серпня – 3/4 ве- ресня		Зменшилась
	Посуха, період	1/6 серпня – 5/6 сер- пня		Відсутня		З'явилась
	–	Період з – до	Дні	Період з – до	Дні	–
	Вегетаційний пе- ріод	1/2 квітня – 1/3 жовтня		3/4 квітня – 1/3 жовтня		Збільшився на понад 2 тижні
	Безморозний пе- ріод	Березень – поч. грудня		Квітень – 1/2 листопада		Збільшився на понад 30 днів

Додаток Д

Таблиця Д.1 – Результати розрахунку критерію Колмогорова

Показник	Метеостанція	Розподіл, період		K(λ)	Критичне значення	P
		«Емпіричний»	«Теоретичний»			
Температура, °C	Харків	20 – 50 pp. XX століття	2011 – 2021	2,57	> 1,95	0,999
		2011 – 2021	20 – 50 pp. XX століття	2,1		
	Одеса	20 – 50 pp. XX століття	2011 – 2021	2,81		
		2011 – 2021	20 – 50 pp. XX століття	2,31		
	Умань	20 – 50 pp. XX століття	2011 – 2021	2,39		
		2011 – 2021	20 – 50 pp. XX століття	1,94		
Опади, мм	Харків	20 – 50 pp. XX століття	2011 – 2021	1,24	< 1,36	0,95
		2011 – 2021	20 – 50 pp. XX століття	1,23		
	Одеса	20 – 50 pp. XX століття	2011 – 2021	5,07	> 1,95	0,999
		2011 – 2021	20 – 50 pp. XX століття	4,52		
	Умань	20 – 50 pp. XX століття	2011 – 2021	3,8		
		2011 – 2021	20 – 50 pp. XX століття	3,51		

Додаток Е

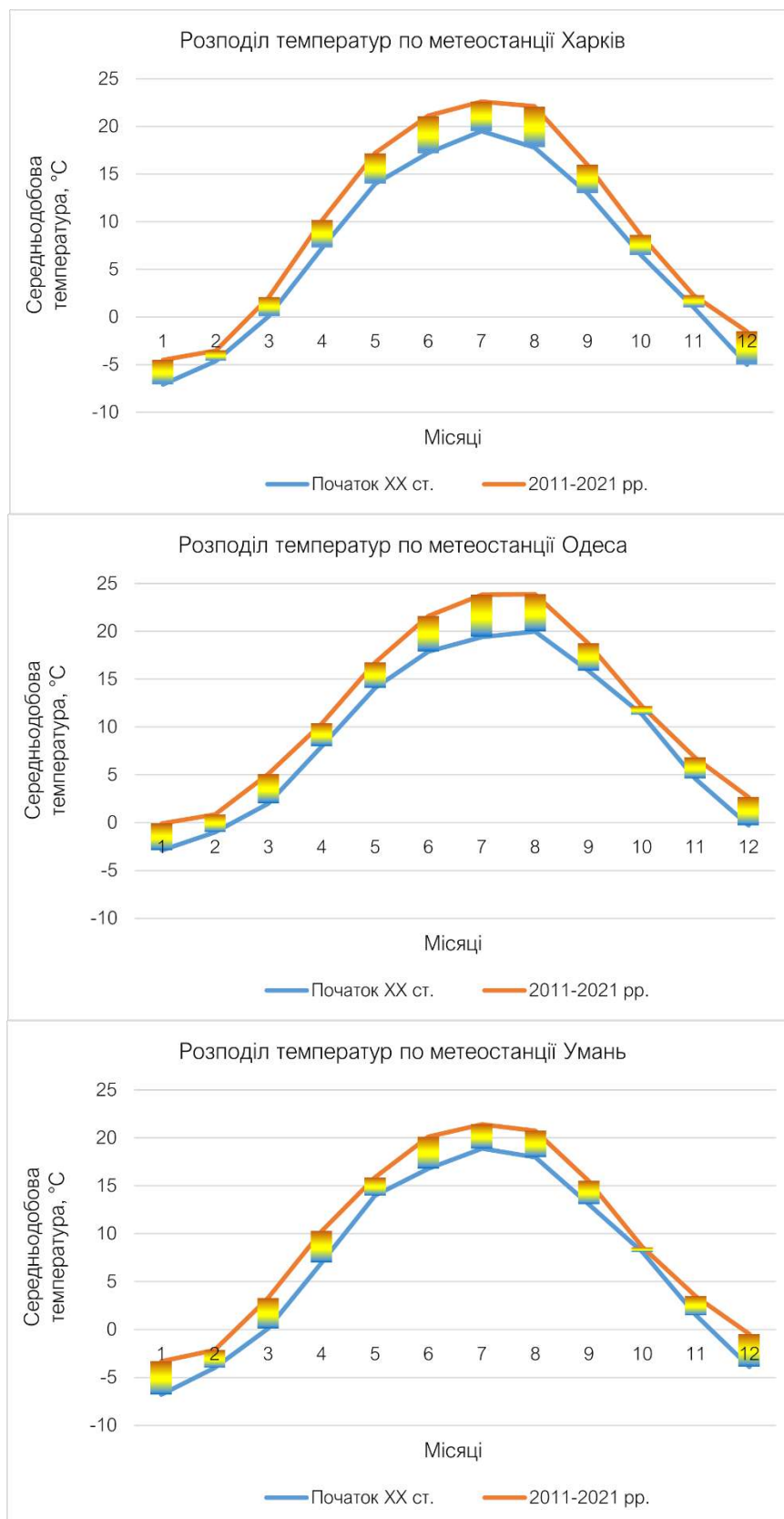


Рисунок Е.1 – Графіки розподілу температур

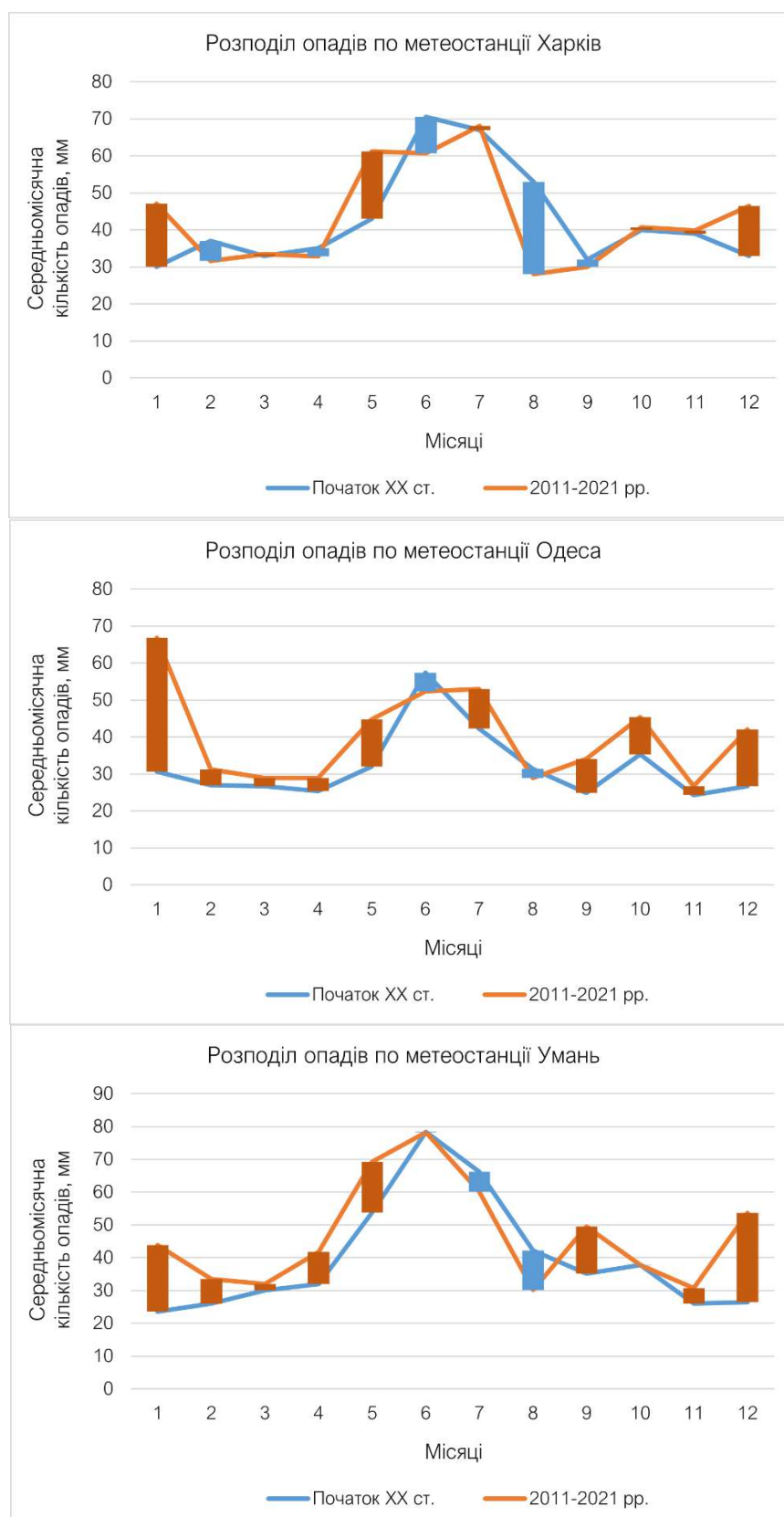


Рисунок Е.2 – Графіки розподілу опадів