

ГЕОГРАФІЧНІ АСПЕКТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ГЛОБАЛЬНОГО ГІДРОЛОГІЧНОГО ЦИКЛУ

DOI: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2025.4.5>

УДК 551.583.1+551.513

Скриник О.А.^{2,1}, Паламарчук Л.В.¹, Кравченко І.І.¹

¹Український гідрометеорологічний інститут ДСНС та НАН України

²Національний університет біоресурсів та природокористування України

СЕЗОННІ ТРЕНДИ СУМ АТМОСФЕРНИХ ОПАДІВ В УКРАЇНСЬКИХ КАРПАТАХ НА БАЗІ ДАНИХ CLIMUAM

У роботі представлено результати оцінювання часової динаміки місячних та річних сум опадів у регіоні Українських Карпат, що базувалися на використанні часових рядів сформованих на базі даних ClimUAm. Основа бази - дані метеорологічних спостережень за період 1946-2020 рр, що пройшли перевірку на пропуски, викиди та кліматичну однорідність (гомогенізацію). Показано, що процес гомогенізації як правило, приводить до впорядкування (вирівнювання) значень сум опадів в межах локальної ділянки регіону дослідження.

Багаторічні коливання місячних та річних сум опадів апроксимувалися лінійними трендами та поліномами 6-го ступеню. Отримані результати перевірялися на статистичну значимість критерієм Фішера. Місячні суми опадів у регіоні мають відмінності у величинах та знаках трендів. Так, у зимові місяці коефіцієнти лінійних трендів незначні, їх знак в межах регіону змінюється, що вказує на відносну стійкість процесів опадоутворення у цей сезон. Влітку, для переважної більшості станцій у регіоні отримано тенденції до зменшення кількості опадів, або незначного їх зростання. Зазвичай, величини від'ємних коефіцієнтів лінійних рівнянь у цей сезон на порядок вище додатних. Статистично значиме зменшення сум опадів отримано у червні (Берегове) та серпні (Пожичевська, Хуст, Нижній Студений, Славське, Долина). У перехідні сезони року сформувалися тенденції до зростання місячних сум опадів. Статистично значиме збільшення місячних сум опадів фіксується у березні (Яремче, Долина, Коломия), при цьому додатні тренди отримано для усіх станцій регіону. У травні також тренди додатні, а для станцій Міжгір'я, Славське, Нижній Студений, Нижні Ворота зростання статистично значиме. Збільшення опадів в усього регіону фіксується у вересні та жовтні, статистично значимі зміни - в Ужгороді, Берегове, Долин (вересень) та Яремче (жовтень).

Проведення поліноміальної апроксимації часових рядів сум опадів дало можливість виявити умовно періодичну (циклічну) зміну кількості опадів. Оцінювання показало відносно виражену періодичність у змінах річних та місячних сум опадів, яка становить 40-46 років як для часових рядів річних сум так і для рядів місячних сум опадів.

Ключові слова: база даних ClimUAm; гомогенізація; кліматична однорідність рядів; лінійна апроксимація; поліноміальна апроксимація; критерій Фішера; основні циркуляційні процеси; статистично значимі часові зміни опадів.

Вступ. Зміни у кліматичній системі що фіксуються впродовж останніх десятиріч мають відмінності прояву в межах регіональних природних систем. Очевидно, що гірські природні системи зі своєю складною багаторівневою структурою створюють своєрідний відгук на зміни глобального клімату, наприклад, формують значимі тренди окремих метеорологічних величин. Відомо, що атмосферні опади є чутливим до зовнішніх впливів метеорологічним параметром, в той же час значно залежать від атмосферної циркуляції та її змін [5, 8] Фактично, зміна поля опадів у Карпатському регіоні буде визначатися як результат взаємодії трансформованих під впливом глобального потепління циркуляційних процесів та змінених господарською діяльністю гірських ландшафтів. Враховуючи нестійкість та неоднозначність змін циркуляції в регіоні, а також той факт, що на процеси утворення опадів, впливають і ряд інших чинників, часто формуючи різнонаправлену дію на опадоутворення, виникнення стійких трендів збільшення/зменшення значень сум опадів у регіоні затруднюється.

Результати досліджень просторової та часової динаміки опадів в Українських Карпатах, що проводилися на основі даних спостережень метеорологічної мережі та

ISSN:2306-5680 Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2025. № 4 (78)

спеціальних вимірювань представлені у ряді наукових публікацій. Значна частина закономірностей часових змін метеорологічних величин у регіоні отримана при проведенні фізико - географічних та ландшафтних досліджень, результати яких представлені у публікаціях [9, 11, 13, 19, 20]. Динаміка поля опадів оцінювалась також у дослідженнях з вивченням річкового стоку та лавинної небезпеки у регіоні [1, 4, 6, 18]. Основними результатами цих досліджень є висновки про відсутність однонаправлених трендів сум опадів для усього регіону, та існування відносно стійких сезонних трендів для окремих метеорологічних станцій. Виділяються періоди відносного збільшення/зменшення кількості опадів так, відповідно до результатів отриманих у [2, 3], періоди 1948-1960 рр., 1982-1990 рр фіксувалося зменшення сум опадів, тоді як з 1963 по 1981 рік - їх збільшення. На основі таких висновків можна висловити припущення про періодичність (хвилеподібність) зміни додатних і від'ємних трендів значень сум опадів впродовж тривалих періодів часу. У роботі [20], також відмічається відсутність стійких трендів у змінах опадів в Українських Карпатах у місячному (сезонному) вимірі та незначні величини коефіцієнтів рівнянь лінійних трендів. Дослідження змін опадів у Великому Карпатському регіоні проводяться у кожній з країн, що до нього входить. Важливі та значимі результати отримані у [29] за період 1961-2010 рр., формулюється висновок про те, що суми опадів за досліджуваний період не показали стійких сезонних тенденцій, хоча дещо зросли на річній основі. Окремі регіональні дослідження навпаки отримали зменшення сезонних (літніх) [22] та зимових [30] сум опадів в Румунії. Для інших регіонів, наприклад в Сербії, спостерігалось незначне зростання осени та нечітка мінливість в інші сезони [21]; зміна знаку та малі значення коефіцієнтів лінійних трендів змін опадів притаманна для території Чехії [25]. Для Угорщини за річними даними отримано незначне зниження кількості опадів [23]. Вважається, що нестійкість та непослідовність змін кількості опадів характерна для усєї південно-східної Європи [23,27] При визначенні річних та сезонних трендів у різних субрегіонах Карпат спостерігаються певні відмінності в отриманих результатах, але ймовірно причина у неспівпадінні: тривалості періодів дослідження, дат їх початку та закінчення, відмінностях у якості даних, що складають часові ряди та методичних підходах до оцінювання.

Окремим напрямком визначення сучасних та майбутніх змін клімату є аналіз результатів чисельного моделювання. Останнім часом використовуються переважно моделі регіонального проекту з динамічного масштабування EURO-CORDEX, які базуються на використанні сценаріїв RCP, де враховується вимушений радіаційний вплив на довкілля, що формується внаслідок викидів парникових газів. Так у [24] аналізуються отримані модельні проєкції для температури повітря та атмосферних опадів у сучасному та майбутніх кліматичних періодах. До середини поточного сторіччя, за сценарієм RCP 4,5 у досліджуваному регіоні очікується деяке зростання (до 10% по відношенню до періоду 1991-2010 рр.) опадів у зимові та весняні місяці та їх зменшення влітку та восени приблизно в тих же межах. Зменшення опадів матиме високу ймовірність в південно-східній частині Карпат та на заході Закарпаття.

Отримані у розглянутих дослідженнях закономірності тенденцій сучасних та майбутніх змін опадів представлені у дещо узагальненому вигляді, переважно для усєї території України. Очевидно, що вирішення окремих практичних та теоретичних завдань для вивчення наслідків зміни клімату в Українських Карпатах, де існує висока ймовірність виникнення несприятливих явищ пов'язаних з випадінням опадів, потребує даних високого рівня достовірності та просторового розрішення з статистичним оцінюванням отриманих результатів.

Метою представленого дослідження є визначення сезонних (місячних) та річних тенденцій зміни кількості атмосферних опадів впродовж періоду 1946-2020 рр. на основі бази даних ClimUAm. Встановлення просторових закономірностей розподілу виявлених тенденцій, оцінювання статистичної значимості трендів; визначення часової динаміки річного ходу опадів для окремих станцій регіону Українських Карпат.

Використані дані та матеріали. Для визначення тенденцій змін кількості опадів у річному та сезонному (місячному) вимірі використовувалася база даних ClimUAm (<https://doi.org/10.1016/j.dib.2022.108553>), що сформована на основі даних метеорологічних спостережень за 1946-2020рр, Детально алгоритм створення бази даних представлений у

[28]. База даних ClimUAm є у вільному доступі і може використовуватися усіма зацікавленими дослідниками.

Початкові дані спостережень були отримані з архівів Центральної геофізичної обсерваторії ім. Срезневського. Вподальшому, отримані результати спостережень проходили процедури перевірки рядів на пропуски, викиди та кліматичну однорідність. Названі етапи обробки початкових даних входять до переліку вимог Всесвітньої метеорологічної організації (ВМО) до якості результатів спостережень, що використовуються для формування часових рядів кліматичних показників [26]. Обов'язковими параметрами цих вимог є: наявність даних отриманих за стандартними методиками, відсутність пропусків та підтверджена кліматична однорідність. Сформовані таким чином часові ряди можуть використовуватися як для визначення тенденцій змін метеорологічних величин так і для корегування регіональних кліматичних моделей (РМК) при визначенні кліматичних проєкцій на майбутні періоди, що показано у [16] для прогнозування приземної температури повітря.

Для зручності використання результатів та можливості їх порівняння з отриманими в інших дослідженнях, визначення тенденцій змін сум опадів проводилося для часових рядів станцій державної метеорологічної мережі, що розташовані у регіоні. Перевірка на наявність пропусків показала, що найбільша їх кількість відмічалась на станціях, де спостереження почалися пізніше 1946 року, існували також окремі пропуски спостережень пов'язані з технічними перервами в роботі станцій. Найбільшу кількість пропусків відмічено на станціях Пожижевська (1946-1958 рр.), Рахів, Нижні Ворота (1946-1949 рр.) Міжгір'я (1946 р., 1958-1960 рр.), Долина, Коломия (2016-2017рр.) Використані програмні продукти дозволили їх заповнити.

Перевірка на кліматичну однорідність проводилася через процедуру гомогенізації з використанням програмного забезпечення HOMER (http://www/homogenization.org/HOMER_R). Програма базується на відносних гомогенізаційних методах, коли усі статистичні розрахунки виконуються для певної обраної кількості різницевих рядів, або для опадів як кумулятивної величини – рядів відношень. Тобто, для гомогенізації часового ряду опадів розглядаються ряди відношень значень основної станції (candidate station) та її оточення (referens station), при цьому на першому етапі, програмним аналізом проводиться тільки ідентифікація можливих точок розриву, які виникають при значимій відмінності між результатами спостережень близько розташованих станцій. Якщо на другому етапі розрив буде зафіксований дослідником як достовірний/обґрунтований, то відбудеться заключний етап – корекція ряду на базі застосування дисперсійного аналізу [10].

Проведена гомогенізація часових рядів для станцій досліджуваного регіону показала задовільні результати. Кліматична неоднорідність рядів (точки розриву) були виявлені для місячних сум опадів станцій Пожижевська (2), Берегово (1), Нижній Студений (2). Програмне забезпечення дозволило визначити амплітуди зміщень в рядах та з їх урахуванням провести корекцію для окремих ділянок часових рядів з метою отримання їх кліматичної однорідності.

Для ілюстрації змін, які відбуваються при гомогенізації на рис.1 показані діаграми розмаху, що побудовані на даних спостережень на станції Нижній Студений та даних рядів місячних сум опадів після проведення гомогенізації. У рядах спостережень виявлено дві точки розриву з амплітудами -0,3 (1968 р) та 0,28 (1993 р). Перша точка розриву виникла внаслідок неузгодженості сум опадів основної станції у зимові місяці з даними станцій оточення (Міжгір'я, Славське, Нижні Ворота), а друга точка (1993 р.) – внаслідок неузгодженості даних основної станції впродовж року з шістьма станціями оточення. Згідно методики, яка використовується у програмному забезпеченні, корективи вносяться до значення сум опадів кожного місяця для двох періодів 1946-1968 рр. та 1969- 1993рр. Після виконаних розрахунків, відбулося корегування місячних сум на станції Нижній Студений у відповідності з даними рядів оточуючих станціях.

Проведена процедура не змінила межі розкиду величин, та екстремальних значень показника на станції Нижній Студений (рис. 1). Але значення середнього квадратичного відхилення розраховане для місячних часових рядів після гомогенізації (табл. 1) зменшилися максимально до 2,38% (1,45 мм) по відношенню до даних спостережень. Тільки у травні (див. рис. 1) отримано незначне збільшення σ на 0,66% (0,22 мм). Наведені

результати показують, що процедура гомогенізації не порушує структури часових рядів, але дещо узгоджує дані станцій вибраного регіону між собою знижуючи величини розкиду в межах окремих часових рядів. Залежно від знаку та величини амплітуди зсуву, гомогенізація може приводити і до незначного збільшення розкиду даних в окремі місяці (травень, рис. 1)

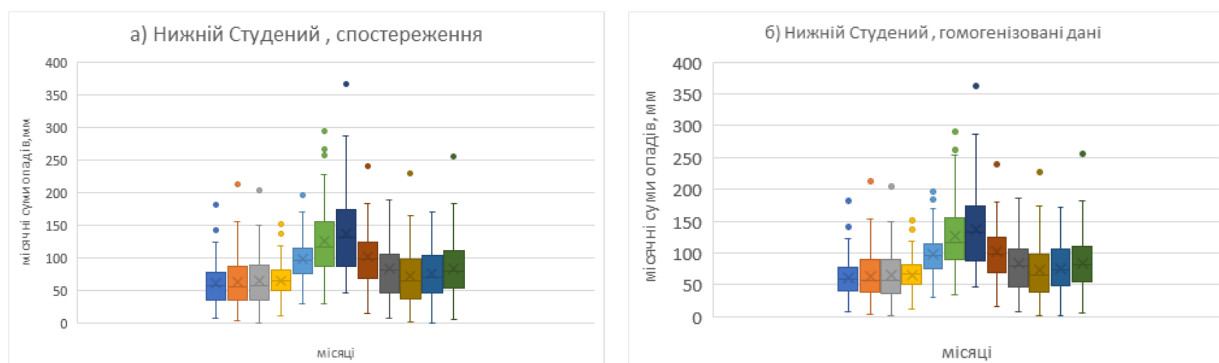


Рис. 1. Діаграми розмаху для часових рядів місячних сум опадів станції Нижній Студений: а – дані спостережень; б – дані спостережень після процедури гомогенізації

Таблиця 1. Значення середнього квадратичного відхилення місячних часових рядів опадів для періоду 1946- 2020 рр. (ст. Нижній Студений)

Величина	Місяці											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
σ, мм (спостер.)	30,72	35,83	37,66	27,23	33,26	53,13	60,79	44,50	43,24	47,94	39,17	47,02
σ, мм (гомоген)	30,32	35,59	37,36	27,23	33,48	52,18	59,34	44,30	43,10	47,01	39,04	46,46
Δσ, мм, (%)	-0,40 (1,3)	-0,24 (0,7)	-0,30 (0,8)	0,0	0,22 (0,7)	-0,95 (1,8)	-1,45 (2,4)	-0,2 (0,5)	-0,14 (0,3)	-0,93 (2,0)	-0,13 (0,3)	-0,56 (1,2)

Отже, перевірка та впорядкування даних за допомогою програмного забезпечення дозволила отримати кліматично однорідні часові ряди місячних сум опадів, в яких оцінено і узгоджено викиди даних та заповнено існуючі пропуски.

Оцінювання тенденцій змін сум опадів проводилися на основі обчислення рівнянь лінійних трендів методом найменших квадратів, який реалізовувався у MS Excel. Статистична значущість отриманих рівнянь перевірялась статистикою Фішера. Для розрахунку критерія використовувалося наступне співвідношення:

$$F = \frac{R^2}{1 - R^2} * \frac{n - k - 1}{k}$$

де: F – розраховане значення критерію Фішера,

R²- коефіцієнт детермінації лінійного тренду (або індекс детермінації поліноміального тренду),

n - тривалість періоду спостережень,

k – значення ступеню полінома. Для лінійного тренду k= 1.

Критичні значення (F_{кр}) для рівня значущості α= 0,05 визначалася за допомогою статистичної функції F.INT.RT в Excel. Якщо виконувалася нерівність F> F_{кр}, то рівняння вважалось статистично значимим для рівня значущості α= 0,05.

За таким же алгоритмом проводилося оцінювання апроксимацій рядів річних, та місячних сум опадів поліноміальними трендами шостого ступеню. У цьому випадку k=6 і, відповідно, встановлювалася величина F_{кр} за статистичною функцією F.INT.RT.

Результати і обговорення. При вирішенні багатьох задач з оцінювання та прогнозування режиму зволоження у регіоні, показників поверхневого стоку, водного балансу та ін., виникає потреба у кількісних та статистично підтверджених тенденціях змін сум опадів різної часової роздільності. Результати представленого оцінювання місячних та річних сум опадів, розрахунок коефіцієнтів рівнянь лінійних та поліноміальних трендів для періоду (1946-2020 рр.) з визначенням їх статистичної значимості отриманих можуть використовуватися для вищої результативності таких досліджень.

Зауважимо, що встановлюючи сезонні та річні тенденції зміни кількості опадів у регіоні дотримуємося думки, що визначальним фактором змін режиму випадання опадів є перебудова крупномасштабних та регіональних циркуляційних процесів в умовах глобального потепління. Особливості циркуляційних змін у Європі та в Україні показані у роботах [5, 7-8, 12]. Узагальнюючи результати цих досліджень можемо вказати наступні зміни циркуляції в Українських Карпатах внаслідок вищої повторюваності меридіональних процесів над Євразією: у літній період над регіоном зростає ймовірність формуються відрогів континентальних антициклонів та гребенів, у цей час збільшується також повторюваність гребенів субтропічного антициклону; у холодний період року спостерігається зниження інтенсивності. Середземноморської гілки Полярного фронту, що приводить до зменшення у цей сезон кількості та інтенсивності південно-західних циклонів, але при цьому тут збільшується повторюваність північно-західних депресій. Виходячи з цього, видається, що можливим є зменшення сум опадів у літні місяці майже у всьому регіоні та зменшення річних та місячних сум опадів у осінньо-зимовий період на південно-західному макросхилі Українських Карпат.

Залежно від географічного розташування та орографічного положення метеорологічних станцій, дані яких використовувалися у дослідженні, виділено чотири групи близьких за місцезнаходженням та типом опадоутворюючих процесів, для яких і проводилося оцінювання трендів.

До першої група входить високогірна станція та станції міжгірних котловин, де орографічний вплив на процеси опадоутворення може бути суттєвим (абсолютна висота станції, розташування хребтів по відношенню до вологонесучих потоків і т.п.). Станції знаходяться як на південно-західному (Міжгір'я, Рахів) так і на північно-східному (Яремче) макросхилах. На рис. 2 показано величини та знак коефіцієнтів лінійних трендів місячних часових рядів сум опадів, а у табл. 2 наведено результати статистичного оцінювання цих змін критерієм Фішера. Представлені значення величини вірогідності апроксимації (R^2), розраховані величини критерію Фішера (F_p) та його критичні ($F_{кр}$) значення для рівня значущості $\alpha=0,05$. Для часових рядів сум опадів у зимові місяці (грудень-лютий) коефіцієнти рівнянь лінійних трендів мають невисокі значення та відзначаються просторовою зміною знаків тенденцій. Статистично значимих приростів (див. табл. 2) для цього періоду року не виявлено. У [1] отримано близькі величини коефіцієнтів лінійних трендів сум зимових опадів на станції Пожижевська для періоду 1960-2016 рр., але відомо, що оцінки тенденцій зміни кліматичних показників для певного періоду і його частини можуть неспівпадати.

У літні місяці (червень – серпень) на трьох станціях (крім Яремче) коефіцієнти лінійних трендів переважно від'ємні (рис. 2), але тільки для Пожижевської у серпні оцінювання показало статистично значиме зменшення опадів, при цьому отримано високий для регіону коефіцієнт лінійного тренду – $k=0,7$, інші параметри- $R^2= 0,0947$, $F_p=7,6363 > F_{кр}$. Найчастіше статистично значиме збільшення кількості опадів на станціях цієї групи фіксується у перехідні сезони року, для Пожижевської і Міжгір'я це *травень*, для Яремче – *березень і жовтень*. Для Рахова також отримано близькі до статистично значимих критерії для *березня і травня* (табл. 2).

При оцінюванні рівнянь лінійних трендів місячних сум опадів в окремих випадках відмічається невідповідність між величинами коефіцієнтів лінійних трендів та вірогідності апроксимації. Наприклад, для Яремче, в липні місяці $k = 0,64$, значення близьке до максимуму у регіоні для лінійних трендів місячних сум опадів, при цьому $R^2=0,032$ і, розрахунки не підтверджують статистичної значимості змін. Для березня отримано статистично значимі прирости при $k = 0,4$, $R^2=0,1$. Такі результати потребують додаткового вивчення, можливо паралельного використання інших критеріїв оцінювання.

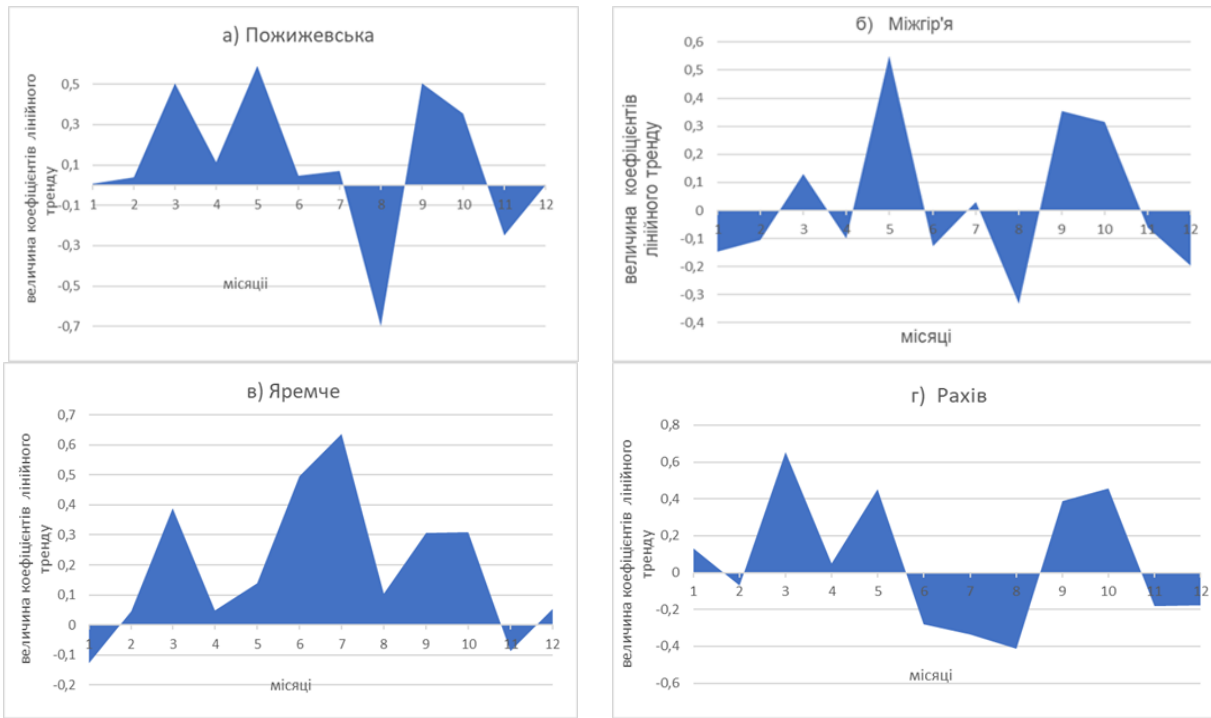


Рис. 2. Коефіцієнти лінійних трендів для кожного місяця року за період 1946-2020 рр. на Високогірній станції (Пожижевська) та станціях міжгірних котловин (Міжгір'я, Яремче, Рахів)

Таблиця 2. Результати оцінювання значимості лінійних трендів критерієм Фішера (високогірна станція та станції міжгірних котловин)

Метеорологічні станції	Місяць												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Пожижевська	R ²	0,0006	0,0002	0,0256	0,0033	0,0613	0,0002	0,0005	0,0947	0,0350	0,0131	0,0080	0,0009
	F _p	0,0163	0,0146	1,1910	0,2476	4,7667	0,0146	0,0362	7,6363	2,6477	0,9690	0,5887	0,0658
	F _{кр}	3,972											
Міжгір'я	R ²	0,0036	0,0019	0,0028	0,0040	0,0711	0,0025	0,0001	0,0205	0,0227	0,0097	0,0005	0,0041
	F _p	0,2637	0,1390	0,2050	0,2932	5587,6	0,1830	0,0073	1,5278	1,6956	0,7150	0,0365	0,3005
	F _{кр}	3,972											
Яремче	R ²	0,0256	0,0019	0,0975	0,0010	0,0035	0,0218	0,0321	0,0014	0,0202	0,0536	0,0064	0,0040
	F _p	1,9179	0,1389	7,8864	0,0731	0,2564	1,6269	2,4210	0,1023	1,5050	4,1344	0,4702	0,2931
	F _{кр}	3,972											
Рахів	R ²	0,0027	0,0006	0,0501	0,0009	0,0415	0,0119	0,0197	0,0352	0,0224	0,0226	0,0044	0,0034
	F _p	0,1976	0,0438	3,8501	0,0658	3,1607	0,8792	1,4670	2,6633	1,6727	1,6879	0,3226	0,2491
	F _{кр}	3,972											

Отже, для цієї групи станцій місячні суми опадів взимку практично не змінюються, в літній період, крім станції Яремче, спостерігається тенденція до зменшення місячних сум, а у перехідні сезони року - переважно їх зростання. Якщо такі тенденції збережуться, то річний розподіл опадів у регіоні зазнає змін по відношенню до стандартного для помірного клімату.

Відзначимо, що зменшення опадів у літні місяці і, особливо у серпні, спостерігаються на більшості станцій регіону. Незначні величини додатних коефіцієнтів для липня не змінюють загальної тенденції. Однією з ймовірних причин зменшення кількості літніх опадів є зростаюча повторюваність та значна тривалість у цей період антициклоніальних циркуляцій (континентальні та субтропічні гребені), що супроводжується хвилями тепла, зменшенням хмар та відсутністю опадів [17].

На Закарпатті (рис. 3, табл. 3) зберігаються подібні до виявлених для попередньої групи тенденції змін місячних сум. Тобто, незначна різнонаправлена зміна місячних сум опадів в зимові місяці та переважно зменшення кількості опадів влітку. Але зменшення сум опадів у літні місяці на Закарпатті є більш вагомим, ніж на інших територіях у Карпатському регіоні. Не підтверджена статистична значимість зменшення літніх опадів, але розраховані F_p для червня (Берегово) та для серпня (Хуст) близькі до критичних значень. Збільшення сум опадів відбувається у вересні та жовтні, статистично значимі зміни встановлені тільки для Берегово (вересень), для Ужгорода F_p у цей час близький до критичних значень. Особливістю часового розподілу опадів для Закарпаття є відсутність сталих зростань місячних сум у весняні місяці, яке притаманно іншим групам станцій. Очевидно, захищеність території від впливу домінуючих впродовж року західних та північно-західних циклонів та підсилення впливу субтропічних гребенів приводить до суттєвого зменшення опадів у весняно-літній період. На рис.3 показано також зменшення кількості опадів у Закарпатті для листопада-грудня, що побічно підтверджує факт зниження в цей час впливу на опадоутворення південно-західних депресій.

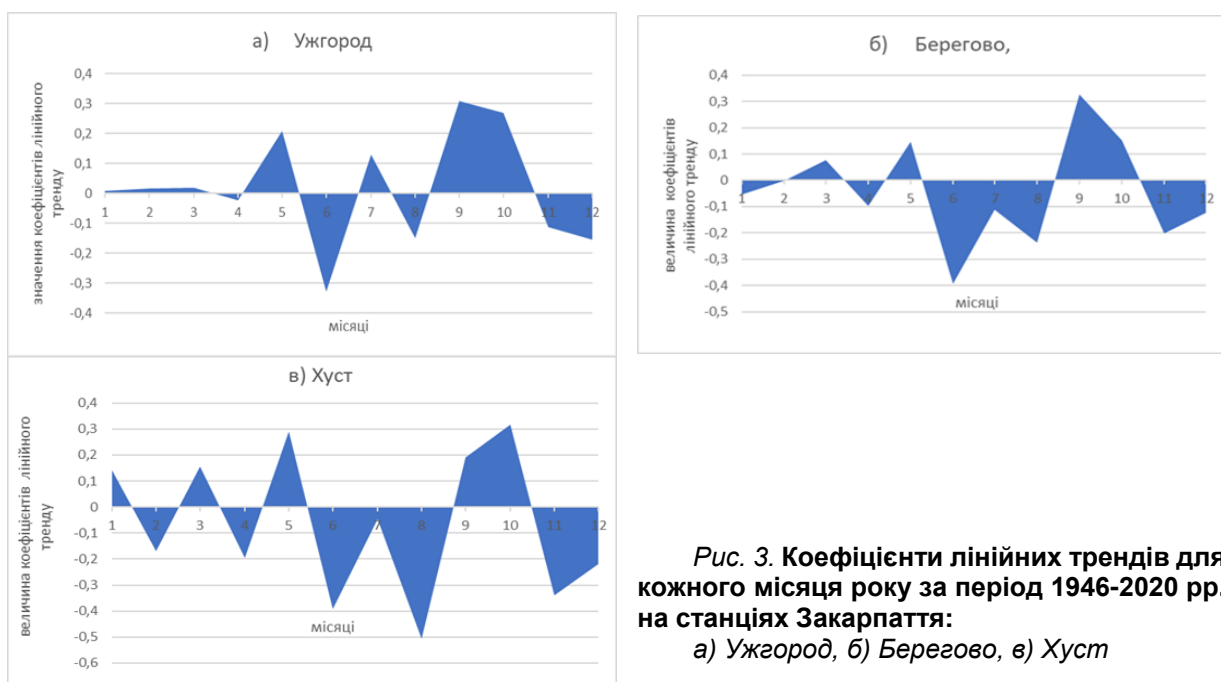


Рис. 3. Коефіцієнти лінійних трендів для кожного місяця року за період 1946-2020 рр. на станціях Закарпаття:
а) Ужгород, б) Берегово, в) Хуст

Наступна група станцій (табл. 4, рис. 4) розташована в межах річкових долин у західній та центральній частині Південно-західного макросхилу. Опадоутворення у цьому регіоні, особливо у холодний період року, залежить від повторюваності і інтенсивності південно-західних циклонів. Отримані результати також показують незначні за величиною різнонаправлені зміни у зимові місяці як і на інших територіях. Влітку, особливо в червні та серпні суми опадів зменшуються. Статистично значимими такі зміни є для Нижнього Студеного (серпень), а для Нижніх Воріт та Нижнього Студеного у червні F_p близькі до критичних значень. У червні, коли за існуючими кліматичними нормами для помірного поясу спостерігаються максимальні місячні суми у річному ході опадів, отримано тенденції до

зменшення кількості опадів з відносно високими для цієї вибірки даних, значеннями величини вірогідності апроксимації ($R=0,0398$).

Таблиця 3. Результати оцінювання значимості лінійних трендів критерієм Фішера (станції Закарпаття)

Метеорологічні станції	Місяць												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ужгород	R^2	0,0005	0,0002	0,0002	0,0005	0,0173	0,0295	0,0049	0,0059	0,0413	0,0259	0,0074	0,0099
	Fp	0,0365	0,0146	0,0146	0,0365	1,2851	2,2189	0,3594	0,4333	3,1447	1,9409	0,5442	0,7299
	Fкр	3,972											
Берегове	R^2	0,0029	0,0006	0,0040	0,0095	0,0127	0,0127	0,0418	0,0032	0,0155	0,0523	0,0090	0,0272
	Fp	0,2123	0,0438	0,2931	0,7001	0,9390	3,1845	0,2343	1,1493	4,0285	0,6629	2,0411	0,5739
	Fкр	3,972											
Хуст	R^2	0,0047	0,0059	0,0045	0,0206	0,0251	0,0259	0,0003	0,0448	0,0078	0,0151	0,0283	0,0068
	Fp	0,3447	0,4332	0,3255	1,5354	1,8794	1,9409	0,0219	3,4238	0,5739	1,1192	2,1261	0,4998
	Fкр	3,972											



Рис 4. Коефіцієнти лінійних трендів для кожного місяця року за період 1946-2020 рр. станції

а) Великий Березний, б) Нижній Студений, в) Нижні Ворота

У перехідні сезони року переважають додатні коефіцієнти збільшення місячних сум опадів. Так у травні статистично значимі прирости отримані для Нижнього Студеного та Нижніх Воріт, а для Великого Березногоу цей час Fp близькі до критичних значень. У вересні та жовтні отримані додатні значення коефіцієнтів лінійних трендів, але статистична

значимість таких змін не підтверджена. У листопаді і грудні, коли опади у регіоні викликані переважно впливом південно-західних циклонів, коефіцієнти лінійних трендів малі, а зміни просторово різнонаправлені, що може свідчити про зниження традиційного впливу [14] на опадоутворення цих процесів.

Таблиця 4. Результати оцінювання значимості лінійних трендів критерієм Фішера (станції західної та центральної частини Південно-Західного макросхилу)

Метеорологічні станції	Місяць												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Великий Березний	R ²	0,0023	0,0099	0,0013	0,0007	0,0436	0,0158	0,0051	0,0005	0,0277	0,0232	0,0015	0,0070
	Fp	0,1683	0,7299	0,0951	0,0512	3,3279	1,1719	0,3742	0,0365	2,0797	1,7338	0,1096	0,5146
	Fкр	3,9720											
Нижній Студений	R ²	0,0025	0,0007	0,0116	0,0008	0,0559	0,0451	0,0014	0,0581	0,0232	0,0176	0,0011	0,0046
	Fp	0,1829	0,0511	0,8567	0,0584	4,3223	3,4477	0,1023	4,4946	1,7338	1,3078	0,0803	0,3373
	Fкр	3,972											
Нижні Ворота	R ²	0,0006	0,0005	0,0088	0,0006	0,0599	0,0398	0,0008	0,0098	0,0116	0,0119	0,0029	0,0006
	Fp	0,0438	0,0365	0,6481	0,0438	4,6513	3,0258	0,0584	0,7225	0,8567	0,8792	0,2123	0,0438
	Fкр	3,9720											

Для станцій північно-східного макросхилу (табл. 5, рис. 5) отримано подібний до попередніх груп розподіл коефіцієнтів лінійних трендів. Суми опадів у зимові місяці змінювалися мало і коефіцієнти лінійних трендів просторово різнонаправлені. Влітку відбувається чітко зменшення опадів, але тільки у серпні місяці такі зміни статистично значимі. У липні відбувається зростання сум і коефіцієнти лінійних трендів становлять 0,1-0,2, що визначає цю групу станцій в межах досліджуваного регіону.

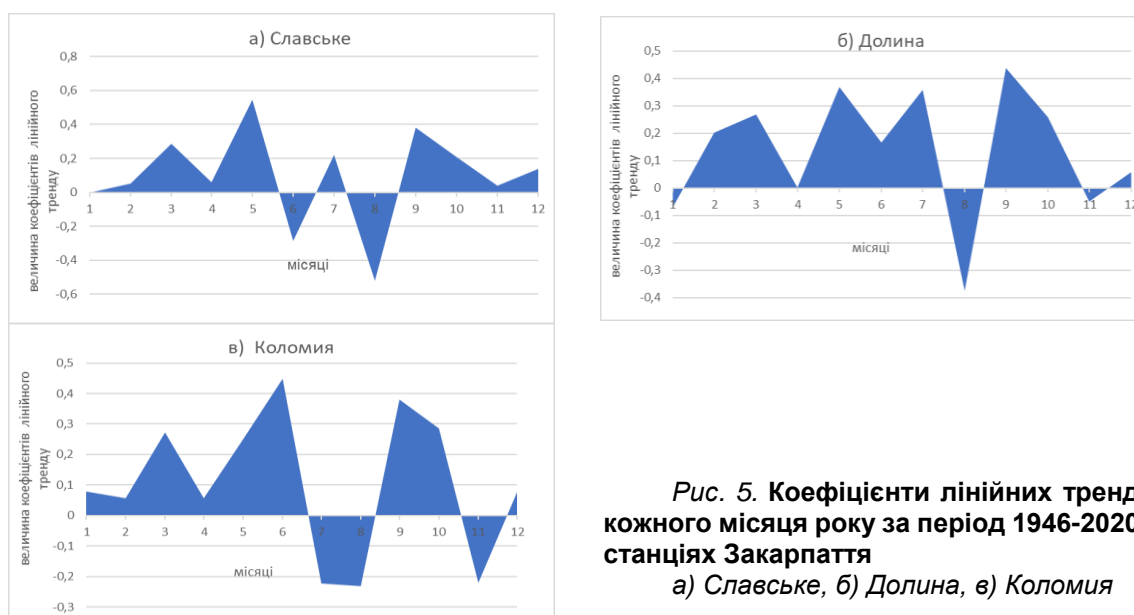


Рис. 5. Коефіцієнти лінійних трендів для кожного місяця року за період 1946-2020 рр. на станціях Закарпаття
а) Славське, б) Долина, в) Коломия

Таблиця 5. Результати оцінювання значимості лінійних трендів критерієм Фішера (станції Північно- Східного макросхилу)

Метеорологічні станції	Місяць												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Славське	R ²	8E-04	0,001	0,031	0,002	0,092	0,012	0,006	0,062	0,036	0,01	5E-04	0,007
	F p.	0,058	0,088	2,328	0,176	7,379	0,909	0,455	4,842	2,726	0,708	0,037	0,485
	F кр.	3,972											
Долина	R ²	0,007	0,04	0,057	8E-04	0,026	0,003	0,013	0,053	0,046	0,034	0,002	0,003
	F p.	0,515	3,058	4,38	0,058	1,933	0,198	0,992	4,118	3,52	2,546	0,146	0,22
	F кр.	3,972											
Коломия	R ²	0,014	0,007	0,082	0,002	0,018	0,03	0,008	0,015	0,045	0,06	0,059	0,009
	F p.	1,067	0,5072	6,4947	0,1683	1,3229	2,2190	0,5516	1,0891	3,4638	4,6596	2,7448	0,6258
	F кр.	3,972											

У перехідні сезони року місячні суми опадів збільшувалися, як для переважної більшості станцій регіону. Статистично значимі є зростання сум опадів весною: у березні для Долини і Коломиї та у травні для Славського. Збільшення місячних сум відбувалося і вересні і жовтні. Для вересня Fp близькі до критичних значень для Коломиї і Долини.

Багаторічні коливання річних та місячних сум опадів апроксимовано крім лінійних також і поліноміальними трендами. Для рядів річних сум опадів, згідно з табл. 6, значення коефіцієнтів лінійних трендів (k) зростають практично в межах всього регіону за виключенням станцій Берегове і Хуст, але статистично значиме збільшення підтверджено тільки для станцій Яремче і Нижні Ворота. Тобто, у регіоні Українських Карпат відмічаються тенденції до зростання річних сум опадів, але стійкість у часі цих змін незначна. Однією з причин відсутності значущих трендів, очевидно все таки є відносна стійкість циркуляційних макропроцесів та процесів опадоутворення синоптичного масштабу у регіоні.

Таблиця 6. Результати оцінювання лінійних апроксимацій рядів річних сум опадів

№ за/п	1	2	3	4	5	6	7
Метео-станція	Пожижевська	Міжгір'я	Яремче	Рахів	Ужгород	Берегове	Хуст
R ² (k)	0,0132 (1,29)	0,0011 (0,31)	0,0834 (2,31)	0,0049 (0,64)	0,0011 (0,20)	0,0077 (-0,52)	0,009 (-0,77)
Fp.	0,9765	0,0803	6,6422	0,3595	0,0804	0,5665	0,633
№ за/п	8	9	10	11	12	13	
Метео-станція	В.Березний	Н.Студений	Нижні Ворота	Славське	Долина	Коломия	
R ² (k)	0,0097 (0,64)	0,061 (2,01)	0,0115 (0,84)	0,023 (1,12)	0,0343 (1,42)	0,0440 (1,23)	
Fp.	0,7151	4,7422	0,8493	1,7185	2,5928	3,3598	

Поліноміальними трендами були апроксимовані часові ряди річних сум опадів, а також ряди місячних сум опадів для тих випадків, де зміни були статистично значущими при оцінюванні лінійними трендами, а також ряди місячних сум для яких отримані максимальні

значеннями коефіцієнтів детермінації поліноміальних трендів. У табл. 7. наведено результати оцінювання статистичної достовірності річних та місячних поліноміальних трендів критерієм Фішера, критичне значення у цьому випадку становить $F_{кр.}=2,348$. Відмічається співпадіння статистично значимих змін розрахованих за лінійними та поліноміальними трендами для часових рядів місячних сум опадів. При апроксимації поліноміальними трендами збільшується кількість часових рядів місячних сум, де зміни є статистично значимими в основному за рахунок перехідних сезонів Співпадіння статистично значимих річних лінійних та поліноміальних трендів сум опадів відсутні. У [15] для окремих станцій рівнинної території України показано, що циклічні зміни більш чітко виявляються у випадку застосування поліноміальних трендів до довгих часових рядів (сто років і більше) річних/ місячних сум опадів.

Таблиця 7. Результати оцінювання поліноміальних апроксимацій рядів річних та місячних сум опадів

№ за/п	Метео станція	Період	R ²	F _p	№ за/п	Метео станція	Період	R ²	F _p
1	Пожижевська	Рік	0,2441	4,4564	8	Великий Березний	Рік	0,0485	0,7034
		Лютий	0,3093	6,1797			Травень	0,0904	1,3715
		Березень	0,191	3,2581	9	Нижній Студений	Рік	0,0926	1,4082
		Травень	0,1421	2,2858			Травень	0,155	2,5314
		Серпень	0,1571	2,572			Червень	0,0869	1,3134
2	Міжгір'я	Рік	0,02	0,2816	10	Нижні Ворота	Серпень	0,1422	2,2877
		Травень	0,1576	2,5818			Рік	0,0544	0,7939
3	Яремче	Рік	0,1089	1,6865			Травень	0,1025	1,576
		Березень	0,1574	2,5779	Червень	0,0724	1,0771		
		Жовтень	0,1465	2,3687	11	Славське	Рік	0,0802	1,2033
4	Рахів	Рік	0,024	0,3393			Травень	0,1639	2,7052
		5	Ужгород	Рік			0,0343	0,4902	Серпень
Вересень	0,1474			2,3858			Вересень	0,1836	3,1035
6	Берегове	Рік	0,1566	2,5623			12	Долина	Рік
		Квітень	0,1713	2,8525	Березень	0,0822			1,236
		Червень	0,0774	1,1577	Серпень	0,1009			1,5487
		Вересень	0,181	3,0498	Вересень	0,1108			1,7196
7	Хуст	Рік	0,0848	1,2787	13	Коломия	Рік	0,1129	1,7563
		серпень	0,1291	2,0457			Березень	0,1121	1,7423
							Травень	0,1631	2,6894
							Жовтень	0,1437	2,0012

На рис. 6 представлено результати паралельного використання лінійної та поліноміальної апроксимації часового розподілу річних та місячних сум опадів. При поліноміальній апроксимації часових рядів сум опадів є можливість виявити умовну періодичну (циклічну) зміну кількості опадів. В зв'язку з тим, що опадоутворення обумовлене взаємодією різнорівневих процесів з притаманними кожному з них енергіями і частотами, то результуючі цикли матимуть більш, або менш чіткий прояв і не завжди однозначне пояснення причин.

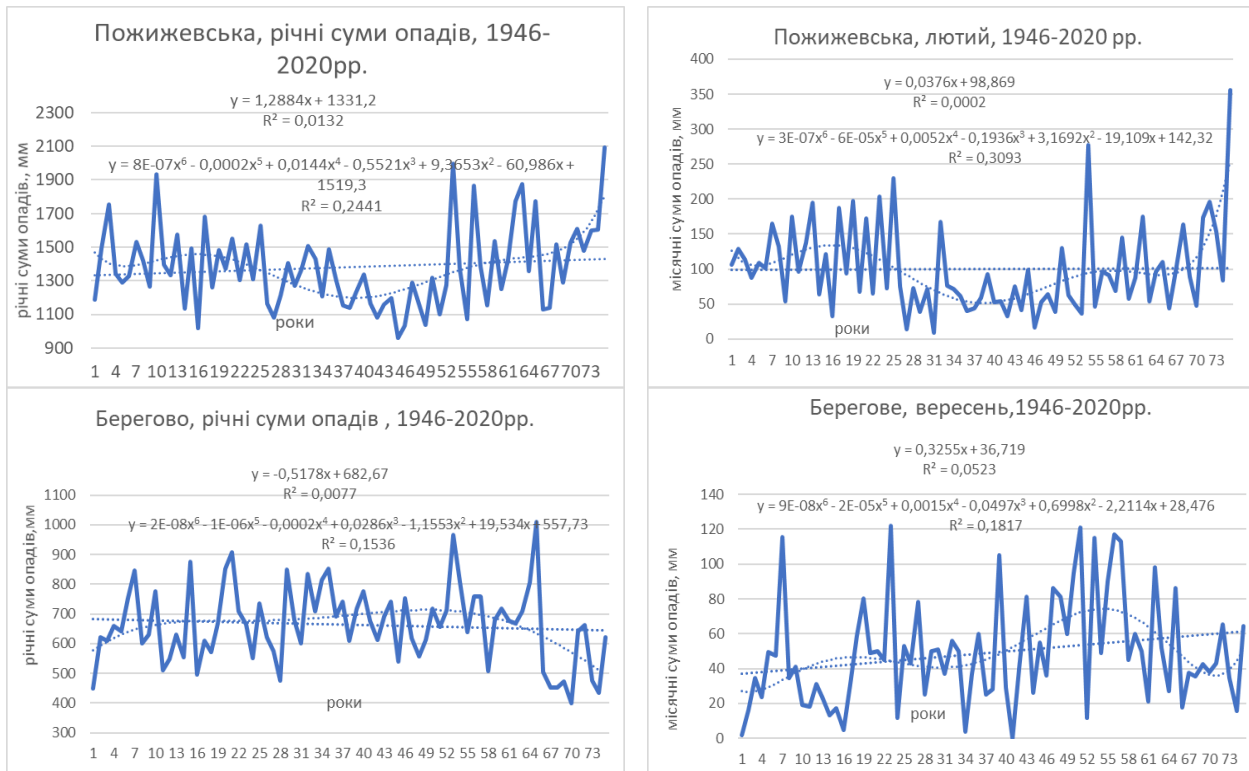


Рис. 6. Лінійна та поліноміальна апроксимація часових рядів річних та місячних сум опадів, ст. Пожижевська та ст. Берегове

Міжрічні коливання сум опадів на станції Пожижевська становлять 200-700 мм (рис. 6), знак тенденцій змінюється кожні 2-3 роки. Поліноміальна крива показує умовну циклічність у ході часових рядів як річних так і місячних сум опадів, тривалість циклів близько 42-44 років. Для станції Берегове також існує подібна циклічність у розподілі як річних так і місячних сум опадів, але менш чітко виражена. Амплітуди міжрічних коливань 80-400 мм, а знак тенденції змінюється через 3-4 роки. Лінійна і поліноміальна апроксимації вказують, що за останні 15- 20 років на високогір'ях Карпат суми опадів стійко зростають, а в Закарпатті їх кількість зменшується.

Циклічність у розподілі опадів при оцінюванні часових рядів місячних сум більше проявляється для перехідних сезонів року у всьому регіоні, а також для станцій, що мають більші абсолютні висоти, у випадку оцінюванні часових рядів річних сум.

Висновки. Проведено оцінювання тенденцій зміни річних та місячних сум опадів у регіоні Українських Карпат на основі бази даних ClimUAm. Часові ряди місячних сум опадів сформовані на основі результатів метеорологічних спостережень, які пройшли перевірку і гомогенізацію згідно вимог ВМО. Такі процедури дозволили заповнити наявні на окремих станціях пропуски даних вимірювання та отримати кліматично однорідні часові ряди. Основні переваги використаної бази даних - достовірність, відповідності вимогам ВМО, висока часова та просторова роздільність, що важливо для проведення метеорологічних та гідрологічних розрахунків.

У дослідженні виходимо з припущення, що зміни у часі кількості опадів є наслідком трансформації у регіоні циркуляційних процесів синоптичного масштабу та мезомасштабного впливу орографії на процеси опадоутворення.

Результати апроксимації часових рядів сум опадів рівняннями лінійних трендів показали, що для річних сум характерно зростання кількості опадів, але статистично значимим зміни є тільки для станцій Яремче і Нижній Студений.

Для Закарпаття отримано переважаюче зменшення річних сум опадів, статистично значимим воно є для станцій Хуст і Берегово.

В межах досліджуваного періоду відмічаються нестійкі тенденції змін місячних сум опадів у всьому регіоні у *зимові місяці, такі зміни кількісно незначні і різнонаправлені. Влітку* формується загальна тенденція до *зменшення сум опадів*, тобто при збереженні такого характеру змін в подальшому, різниця між сумами опадів теплого і холодного періодів у річному ході може зменшуватися, а річний хід відхилятися від широтного стандарту. Статистично значиме *зменшення* кількості опадів частіше отримуємо для *серпня*. У *перехідні сезони* року фіксується переважне зростання сум опадів в усьому регіоні. Статистично значимі додатні прирости фіксуються у травні, березні, вересні та жовні. У листопаді та грудні у регіоні на більшості станцій прослідковуються тенденції подібні до зимового сезону, а на південно-східному схилі у цей час чітко зниження кількості опадів

Оцінювання поліноміальними трендами показало відносно виражену періодичність у змінах річних та місячних сум опадів, яка становить 40-46 років як для часових рядів річних сум так і для рядів місячних сум опадів.

Виявлені закономірності потребують подальшого дослідження, можливо на більш довгих часових рядах. У зв'язку з тим, що опадоутворення складний і багаторівневий процес отримана періодичність не завжди має однозначне пояснення причин, але попередньо, можна вказати на її залежність від проявів циклічності макроциркуляційних процесів.

Список літератури

1. Аксюк О.М. Багаторічні змінення атмосферних опадів холодного періоду року (01.12-30.04) у районах сніголавинних станцій Плай і Пожежевська (Українські Карпати). Наукові праці Українського науково-дослідного гідрометеорологічного інституту, 2016. вип. 269. С. 114-122.

2. Антонов В.С. Кліматичні умови та їх сезонний хід. Географія Чернівецької області / за ред. проф. Я.І. Жупанського. Чернівці, 1993. С. 32-38.

3. Антонов В.С. Як змінився клімат Чернівців за останні 50 років. Чернівці: Місто, 2002. С. 36-38.

4. Баужа Т.О.; Горбачова Л.О. Циклічні коливання гідрометеорологічних характеристик у басейні р. Ріка. Наукові праці Українського науково-дослідного гідрометеорологічного інституту, 2013. С. 34-43.

5. Гончарова Л.Д., Прокоф'єв О.М., Решедченко С.І. Особливості клімато-географічного розподілу атмосферних опадів на півдні України. Вісник Харківського національного університету імені ВН Каразіна, серія: «Географія, геологія, екологія», 2022. №. 57. С. 81-94. URL: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-57-07>

6. Горбачова Л.О. Багаторічні тенденції річного стоку води річок України та його кліматичних чинників. Наукові праці Українського науково-дослідного гідрометеорологічного інституту, 2019. Вип. 269. С. 94-106.

7. Заблоцька Т.М., Шпиг В.М. Кліматологічна оцінка циркуляційних процесів у північній півкулі та їх вплив на температурний режим. Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія, 2017. Вип. 3. С. 23-32.

8. Заблоцька Т.М., Шпиг В.М., Ціла А. Ю. Циркуляційні процеси та хмарний покрив упродовж періоду глобального потепління. Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія, 2021 Вип.1. С. 76-91.

9. Карабінюк М.М., Марканич Я.В. Динамічність кліматичних умов та сучасні тенденції їхніх змін у північно-східному секторі ландшафту Чорногора (Українські Карпати). Природа Карпат: науковий щорічник Карпатського біосферного заповідника та Інституту екології Карпат НАН України. 2020. Вип. №1(5) С. 4-16.

10. Кирєєва З.М., Скриник О.А., Паламарчук Л.В. Гомогенізація часових рядів опадів: основні сучасні підходи та програмні засоби. Метеорологія. Гідрологія. Моніторинг довкілля. 2023. 1(3). С. 14-26 URL: <http://doi.org/10.15407/>

11. Костів Л., Петрів О. Радіаційно-тепловий режим природних територіальних комплексів середньогір'я північно-східного сектора Чорногори. Фізична геогр. та геоморфол. Київ : Обрії, 2004. Вип. 46., Т. 2. С.126–132.

12. Мартазинова, В.Ф., Свердлик, Т.А. Крупномасштабная атмосферная циркуляция XX столетия, ее изменения и современное состояние. Наук. праці УкрНДГМІ, 1998. Вип. 246, С. 21-27.

13. Муха Б.П. Розподіл температури і відносної вологості повітря по профілю гора Пожижевська – місто Яремча. Природні комплекси й екосистеми верхів'я р. Прут: функціонування, моніторинг і охорона. Львів: Видавн центр ЛНУ ім. І. Франка, 2009. С. 176–179.
14. Паламарчук Л.В., Басіста Є.К. Орографічний вплив на формування просторових та часових відмінностей розподілу опадів в Українських Карпатах. Гідрологія, гідрохімія і гідрогеологія, 2019. Вип.2. С. 53-66.
15. Паламарчук Л.В., Шедеменко І.П. Статистична оцінка часових змін річних сум опадів рівнинної території України. Фізична географія та геоморфологія, 2020. Вип. 3-4 (101-102). С. 7-18. URL: <https://doi.org/10.17721/phgg.2020.3-4.01>
16. Паламарчук Л.В., Скриник О.Я., Путренко В.В., Скриник О.А., Ошурок Д.О., Сіденко В.П., Кирєєва З.М. Моделі EURO-CORDEX у визначенні змін термічного режиму приземного повітря в Українських Карпатах до середини XXI сторіччя. Геофізичний журнал. 2024. Т. 46, № 3. С. 3-31. URL: <http://jnas.nbuv.gov.ua/article/UJRN-0001517781>
17. Сафранов Т.А. Катеруша Г.П., Катеруша О.В., Камбіз Яраї. Особливості динаміки хвиль тепла в окремих містах України. Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія», 2021. Вип. 55. С. 232-244. URL: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2021-55-1>
18. Сніжко С.І., Ободовський О.Г., Шевченко О.Г., Гребінь В.В., Дідовець Ю.С., Купріков І.В., Почаєвець О.О. Регіональна оцінка зміни водного стоку річок Українських Карпат під впливом зміни клімату. Український географічний журнал, 2020. Вип. 2. С. 20-29. URL: <https://doi.org/10.15407/ugz2020.02.02>
19. Сопушинский И.Н., Мельник П.Г. Фено-экологические особенности произрастающего в Украине клена-явора. Лесн. вестн. 2013. № 2 (94). С. 28–32.
20. Удра І.Х., Батова Н.І. Місце національного природного парку «Синевир» в Українських Карпатах за біокліматичними параметрами. Наук. вісн. Ужгор. ун-ту. Серія: Біологія. Ужгород: Говерла, 2011. Вип. 30. С. 104-109.
21. Bozanic D., Gasperic M. Initial National communication of the Republic of Serbia under the United Nations Framework Convention on Climate Change. Belgrade. URL: www.unfccc.int/resource/docs/natc/srbnc1.pdf
22. Busuioc A, von Storch H, Schnur R. Verification of GCM-generated regional seasonal precipitation for current climate and of statistical downscaling estimates under changing climate conditions. J. Clim, 1999. №12(1): 258–272. URL: <https://doi.org/10.1175/1520-0442-12.1.258>
23. Hirschi M., Seneviratne S., Alexandrov V. et al. Observational evidence for soil-moisture impact on hot extremes in southeastern Europe. Nature Geosci, 2011. № 4, P. 17–21. URL: <https://doi.org/10.1038/ngeo1032>
24. Krakovska S., Balabukh V., Chyhareva A., Pysarenko L., Trofimova I. and Shpytal T. Projections of regional climate change in Ukraine based on multi-model ensembles of Euro-CORDEX. EGU general assembly 2021, online, 19–30. Apr 2021, EGU21-13821. URL: <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu21-1382>
25. Kysely J., Pokorna L., Kyncl J. and Kriz B. Excess Cardiovascular Mortality Associated with Cold Spells in the Czech Republic. BMC Public Health, 2009. №19. URL: <https://doi.org/10.1186/1471-2458-9-19>
26. IPCC: Workshop Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Workshop on Regional Climate Projections and their Use in Impacts and Risk Analysis Studies / Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, and M. Tignor (eds.). IPCC Working Group I Technical Support Unit, University of Bern, Bern, Switzerland, 2015. pp. 171. URL: <https://archive.ipcc.ch/pdf/supporting-material>
27. Lakatos M. The CARPATCLIM Homogenization and Interpolation Team. 2012. Extreme climate indices calculations on harmonized dataset covering the Carpathian Region. EMS Annual Meeting Abstracts 9, EMS2012-191-2.
28. Osadchyi V., Skrynyk O.A., Skrynyk O.Y., Osypov V., Oshurok D., Sidenko V. Dataset of gridded time series of monthly air temperature (min, max, mean) and atmospheric precipitation for Ukraine covering the period of 1946-2020. Data in Brief. 2022. 44, 108553. URL: <https://doi.org/10.1016/j.dib.2022.108553>
29. Spinoni J., Szalai S., Szentimrey T. et al. Climate of the Carpathian region in the period 1961–2010: climatologies and trends of 10 variables. International Journal of Climatology, 2015. № 35, 1322–1341. URL: <https://doi.org/10.1002/joc.4059>
30. Tomozeiu R, Stefan S, Busuioc A.. Winter precipitation variability and large-scale circulation patterns in Romania. Theor. Appl. Climatol, 2005. №81(3-4) P.193–201.

References

1. Aksiuk O.M. Bahatorichni zminennia atmosferykh opadiv kholodnoho periodu roku (01.12-30.04) u raionakh sniholavnynykh stantsii Plai i Pozhezhevska (Ukrainski Karpaty) [Long-term changes in precipitation in the cold period of the year (01.12-30.04) in the areas of the avalanche stations Plai and

- Pozhvezhvska (Ukrainian Carpathians)]. Naukovi pratsi Ukrainiskoho naukovo-doslidnoho hidrometeorolohichnoho instytutu, 2016. vyp. 269. S. 114-122.
2. *Antonov B.C.* Klimatychni umovy ta yikh sezonnyi khid [Climatic conditions and their seasonal course]. Heohrafiia Chernivetskoj oblasti / za red. prof. Ya.I. Zhupanskoho. Chernivtsi, 1993. S. 32-38.
 3. *Antonov V.S.* Yak zminyvsia klimat Chernivtsiv za ostanni 50 rokov [How the climate of Chernivtsi has changed over the past 50 years]. Chernivtsi: Misto, 2002. S. 36-38.
 4. *Bauzha T.O., Horbachova L.O.* Tsyklichni kolyvannia hidrometeorolohichnykh kharakterystyk u baseini r. Rika [Cyclic fluctuations of hydrometeorological characteristics in the Rika River basin]. Naukovi pratsi Ukrainiskoho naukovo-doslidnoho hidrometeorolohichnoho instytutu, 2013. S. 34-43.
 5. *Honcharova L.D., Prokofiev O.M., Reshedchenko S.I.* Osoblyvosti klimato-heohrafichnoho rozpodilu atmosferykh opadiv na pivdni Ukrainy [Features of the climatic and geographical distribution of precipitation in southern Ukraine]. Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho universytetu imeni VN Karazina, serii: «Heohrafiia, heolohiia, ekolohiia», 2022. № 57. S. 81-94. URL: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2022-57-07>
 6. *Horbachova L.O.* Bahatorichni tendentsii richnoho stoku vody richok Ukrainy ta yoho klimatychnykh chynnykiv [Long-term trends in the annual water runoff of Ukrainian rivers and its climatic factors]. Naukovi pratsi Ukrainiskoho naukovo-doslidnoho hidrometeorolohichnoho instytutu, 2019. Vyp. 269. C. 94-106.
 7. *Zabolotska T.M., Shpyh V.M.* Klimatolohichna otsinka tsyrkuliatsiinykh protsesiv u pivnichnii pivkuli ta yikh vplyv na temperaturnyi rezhym [Climatological assessment of circulation processes in the northern hemisphere and their impact on the temperature regime]. Hidrolohiia, hidrokhimiia i hidroekolohiia, 2017. Vyp. 3. C. 23-32.
 8. *Zabolotska T.M., Shpyh V.M., Tsila A. Yu.* Tsykuliatsiini protsesy ta khmarnyi pokryv uprodovzh periodu hlobalnoho poteplinnia [Circulation processes and cloud cover during the period of global warming]. Hidrolohiia, hidrokhimiia i hidroekolohiia, 2021 Vyp.1. C. 76-91.
 9. *Karabiniuk M.M., Markanych Ya.V.* Dynamichnist klimatychnykh umov ta suchasni tendentsii yikhnikh zmin u pivnichno-skhidnomu sektori landshaftu Chornohora (Ukrainski Karpaty) [Dynamics of climatic conditions and modern trends in their changes in the northeastern sector of the Chornohora landscape (Ukrainian Carpathians)]. Pryroda Karpat: naukovyi shchorichnyk Karpatskoho biosferneho zapovidnyka ta Instytutu ekolohii Karpat NAN Ukrainy. 2020. Vyp. №1(5) S. 4-16.
 10. *Kyrieieva Z.M., Skrynyk O.A., Palamarchuk L.V.* Homohenizatsiia chasovykh riadiv opadiv: osnovni suchasni pidkhody ta prohramni zasoby [Homogenization of precipitation time series: basic modern approaches and software tools]. Meteorolohiia. Hidrolohiia. Monitorynh dovkillia. 2023. 1(3). S. 14-26 URL: <http://doi.org/10.15407/>
 11. *Kostiv L., Petriv O.* Radiatsiino-teplovyy rezhym pryrodnykh terytorialnykh kompleksiv serednohiria pivnichno-skhidnoho sektora Chornohory [Radiation-thermal regime of natural territorial complexes of the middle mountains of the northeastern sector of Chornogora]. Fizychna heohr. ta heomorfol. Kyiv : Obrii, 2004. Vyp. 46., T. 2. S.126–132.
 12. *Martazynova, V.F., Sverdlyk, T.A.* Krupnomasshtabnaia atmosferaia tsyrkuliatsiia KhKh stoletyia, ee yzmeneniya y sovremennoe sostoianye [Large-scale atmospheric circulation of the 20th century, its changes and current state]. Nauk. pratsi UkrNDHMI, 1998. Vyp. 246, S. 21-27.
 13. *Mukha B.P.* Rozpodil temperatury i vidnosnoi volohosti povitria po profiliiu hora Pozhvezhvska – misto Yaremcha [Distribution of temperature and relative humidity of air along the profile of Pozhvezhvska mountain - Yaremcha city]. Pryrodni komplekxy y ekosystemy verkhivya r. Prut: funktsionuvannia, monitorynh i okhrona. Lviv: Vydavn tsentr LNU im. I. Franka, 2009. S. 176–179.
 14. *Palamarchuk L.V., Basista Ye.K.* Orohrafichnyi vplyv na formuvannia prostorovykh ta chasovykh vidminnostei rozpodilu opadiv v Ukrainskykh Karpatakh [Orographic influence on the formation of spatial and temporal differences in precipitation distribution in the Ukrainian Carpathians]. Hidrolohiia, hidrokhimiia i hidroheolohiia, 2019. Vyp.2. S. 53-66.
 15. *Palamarchuk L.V., Shedemenko I.P.* Statystychna otsinka chasovykh zmin richnykh sum opadiv rivnynnoi terytorii Ukrainy [Statistical assessment of temporal changes in annual precipitation amounts in the plain territory of Ukraine]. Fizychna heohrafiia ta heomorfolohiia, 2020. Vyp. 3-4 (101-102). S. 7-18. URL: <https://doi.org/10.17721/phgg.2020.3-4.01>
 16. *Palamarchuk L.V., Skrynyk O.Ya., Putrenko V.V., Skrynyk O.A., Oshurok D.O., Sidenko V.P., Kyrieieva Z.M.* Modeli EURO-CORDEX u vyznachenni zmin termichnoho rezhymu pryzemnoho povitria v Ukrainskykh Karpatakh do seredyny KhKhI storichchia [EURO-CORDEX models in determining changes in the thermal regime of surface air in the Ukrainian Carpathians by the middle of the 21st century]. Heofizychnyi zhurnal. 2024. T. 46, № 3. S. 3-31. URL: <http://jnas.nbu.gov.ua/article/UJRN-0001517781>
 17. *Safranov T.A., Katerusha H.P., Katerusha O.V., Kambiz Yarai.* Osoblyvosti dynamiky khvyl tepla v okremykh mistakh Ukrainy [Features of the dynamics of heat waves in individual cities of Ukraine]. Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho universytetu imeni V. N. Karazina, serii «Heolohiia. Heohrafiia. Ekolohiia», 2021. Vyp. 55. S. 232-244. URL: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2021-55-1>

18. Snizhko S.I., Obodovskiy O.H., Shevchenko O.H., Hrebin V.V., Didovets Yu.S., Kuprikov I.V., Pochaievets O.O. Regionalna otsinka zminy vodnoho stoku richok Ukrainskykh Karpat pid vplyvom zminy klimatu [Regional assessment of changes in the water flow of the rivers of the Ukrainian Carpathians under the influence of climate change]. *Ukrainskyi heohrafichnyi zhurnal*, 2020. Vyp. 2. S. 20-29. URL: <https://doi.org/10.15407/ugz2020.02.02>
19. Sopushynskiy Y.N., Melnyk P.H. Feno-ekolohycheskye osobennosti proyrazstaiushcheho v Ukrainy klena-yavora [Pheno-ecological features of the maple-sycamore growing in Ukraine]. *Lesn. vestn.* 2013. № 2 (94). S. 28–32.
20. Udra I.Kh., Batova N.I. Mistse natsionalnoho pryrodnoho parku «Synevyr» v Ukrainskykh Karpatakh za bioklimatychnymy parametramy [Location of the Synevyr National Nature Park in the Ukrainian Carpathians according to bioclimatic parameters]. *Nauk. visn. Uzhhor. un-tu. Serii: Biolohiia.* Uzhhorod: Hoverla, 2011. Vyp. 30. S. 104-109.
21. Bozanic D., Gasperic M. Initial National communication of the Republic of Serbia under the United Nations Framework Convention on Climate Change. Belgrade. URL: www.unfccc.int/resource/docs/natc/srbnc1.pdf
22. Busuioc A, von Storch H, Schnur R. Verification of GCM-generated regional seasonal precipitation for current climate and of statistical downscaling estimates under changing climate conditions. *J. Clim.* 1999. №12(1): 258–272. URL: <https://doi.org/10.1175/1520-0442-12.1.258>
23. Hirschi M., Seneviratne S., Alexandrov V. et al. Observational evidence for soil-moisture impact on hot extremes in southeastern Europe. *Nature Geosci.* 2011. № 4, P. 17–21. URL: <https://doi.org/10.1038/ngeo1032>
24. Krakovska S., Balabukh V., Chyhareva A., Pysarenko L., Trofimova I. and Shpytal T. Projections of regional climate change in Ukraine based on multi-model ensembles of Euro-CORDEX. EGU general assembly 2021, online, 19–30. Apr 2021, EGU21-13821. URL: <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu21-1382>
25. Kysely J., Pokorna L., Kyncl J. and Kriz B. Excess Cardiovascular Mortality Associated with Cold Spells in the Czech Republic. *BMC Public Health*, 2009. №19. URL: <https://doi.org/10.1186/1471-2458-9-19>
26. IPCC: Workshop Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Workshop on Regional Climate Projections and their Use in Impacts and Risk Analysis Studies / Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, and M. Tignor (eds.). IPCC Working Group I Technical Support Unit, University of Bern, Bern, Switzerland, 2015. pp. 171. URL: <https://archive.ipcc.ch/pdf/supporting-material>
27. Lakatos M. The CARPATCLIM Homogenization and Interpolation Team. 2012. Extreme climate indices calculations on harmonized dataset covering the Carpathian Region. EMS Annual Meeting Abstracts 9, EMS2012-191-2.
28. Osadchyi V., Skrynyk O.A., Skrynyk O.Y., Osypov V., Oshurok D., Sidenko V. Dataset of gridded time series of monthly air temperature (min, max, mean) and atmospheric precipitation for Ukraine covering the period of 1946-2020. *Data in Brief.* 2022. 44, 108553. URL: <https://doi.org/10.1016/j.dib.2022.108553>
29. Spinoni J., Szalai S., Szentimrey T. et al. Climate of the Carpathian region in the period 1961–2010: climatologies and trends of 10 variables. *International Journal of Climatology*, 2015. № 35, 1322–1341. URL: <https://doi.org/10.1002/joc.4059>
30. Tomozeiu R, Stefan S, Busuioc A.. Winter precipitation variability and large-scale circulation patterns in Romania. *Theor. Appl. Climatol*, 2005. №81(3-4) P.193–201

Seasonal trends in precipitation amounts in the Ukrainian Carpathians based on the ClimUAm database Skrynyk O.A., Palamarchuk L.V., Kravchenko I.I.

The paper presents the results of assessing the temporal dynamics of monthly and annual precipitation sums in the Ukrainian Carpathians region, which were based on the use of time series generated on the ClimUAm database. The basis of the database is meteorological observation data for 1946-2020, which were checked for omissions, emissions and climatic homogeneity (homogenization). It is shown that the homogenization process usually leads to the ordering (leveling) of precipitation amounts within the local area of the study region.

Multi-year fluctuations in monthly and annual precipitation amounts were approximated by linear trends and 6th degree polynomials. The results obtained were tested for statistical significance using Fisher's exact test. Monthly precipitation amounts in the region have differences in magnitude and trend signs. Thus, in the winter months, the coefficients of linear trends are insignificant, their sign changes within the region, which indicates the relative stability of precipitation processes in this season. In summer, for the vast majority of stations in the region, trends towards a decrease in precipitation or a slight increase were obtained. Typically, the values of negative coefficients of linear equations are almost an order of magnitude higher. A statistically significant decrease in precipitation was observed in June (Berehove) and August (Pozhzyhevska, Khust, Nyzhniy Studeny, Slavske, Dolyna). In the transitional seasons of the year, trends towards an increase in monthly precipitation amounts were formed. A statistically significant increase in monthly precipitation amounts occurred in March (Yaremche, Dolyna, Kolomyia), but positive trends were obtained for all stations in the region. Positive trends were also obtained in May, and for the stations Mizhhirya, Slavske, Nyzhniy Studeny, and Nyzhniy Vorota they are statistically significant. An increase in precipitation for the entire region was

observed in September and October, with statistically significant changes in Uzhhorod, Beregovo, Dolyna (September) and Yaremche (October).

Conducting polynomial approximation of time series of precipitation amounts made it possible to identify a conditionally periodic (cyclic) change in the amount of precipitation. The assessment showed a relatively pronounced periodicity in changes in annual and monthly precipitation amounts, which is 40-46 years for both the annual and monthly precipitation time series.

Key words: ClimUAm database; homogenization; climatic homogeneity of series; linear approximation; polynomial approximation; Fisher's criterion; basic circulation processes; statistically significant temporal changes in precipitation.

Надійшла до редколегії 24.09.2025

DOI: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2025.4.6>

УДК 551.58(551.576):[551.502.21+551.501.86+551.508.85+551.509.313]

Ціла А.Ю., Шпиг В.М.

Український гідрометеорологічний інститут ДСНС України та НАН України

ДОСЛІДЖЕННЯ ХМАРНОГО ПОКРИВУ В УКРАЇНІ ТА ЗА КОРДОНОМ

Хмарність є однією з ключових складових кліматичної системи та значною мірою впливає на радіаційний баланс Землі, циркуляцію атмосфери та опадоутворення, що робить її одним із основних кліматичних показників. Дана стаття присвячена аналізу українських та іноземних досліджень хмарного покриття у контексті кліматології, основних напрямів та джерел даних, які використовувалися при їх проведенні.

В Україні дослідження, які присвячені аналізу кількісних та якісних змін хмарного покриття у ХХ та ХХІ століттях, є нечисленними. Найбільш широко та змістовно висвітлені питання щодо ступеня покриття небосхилу хмарами, річного ходу загальної та нижньої хмарності, вкладу нижньої хмарності у загальну, повторюваності та річного ходу похмурого неба, добового ходу загальної хмарності, стійкості ясної та похмурої погоди, режиму хмарності за формою і висотою, просторової структури хмар. Також є дослідження, які у контексті змін клімату розкривають питання щодо зміни повторюваності хмар основних родів і взаємозв'язку хмарного покриття із атмосферною циркуляцією (шляхом аналізу баричного поля та індексів циркуляції атмосфери). Всі вони ґрунтуються на основі даних наземних спостережень, при цьому часто кількість метеорологічних станцій та довжина рядів (періоди дослідження), які використовувалися, є різними. Також варто відзначити наявність невеликої кількості досліджень, які були присвячені температурному режиму у хмарах і навколохмарному просторі, фазовому стану та водності хмар над Україною. Ці дослідження були проведені на основі архіву даних літакових зондувань, які були проведені упродовж другої половини ХХ століття.

Іноземні дослідження хмарності також часто ґрунтуються на даних наземних спостережень, проте варто відзначити декілька очевидних тенденцій. Поява дистанційних засобів визначення фізичних та геометричних характеристик хмар дала можливість вивчати кліматологію хмарності. Спочатку це були дослідження, в основу яких були покладені дані метеорологічних радіолокаторів. Пізніше широкого використання набуло залучення даних метеорологічних супутників. Бурхливий розвиток електронно-обчислювальної техніки став одним із факторів значного прогресу числового атмосферного моделювання. Починаючи з кінця ХХ – початку ХХІ століть і до сьогодні, триває процес широкого залучення атмосферних моделей для моделювання клімату минулого та майбутнього. Збільшується їх просторова роздільна здатність: відбувається поділ на глобальні та регіональні моделі. Відносно нещодавно виникає окремий клас таких моделей, які отримали назву «реаналіз». Найбільш відомими на даний момент у світі є реаналізи, які були створені в Європейському центрі середньострокових прогнозів погоди (ECMWF), Національному центрі передбачення стану навколишнього середовища (NCEP, США) та Японською метеорологічною агенцією (JMA). Упродовж останніх двох десятиліть саме використання реаналізу у поєднанні із іншими джерелами даних набуло найбільшого поширення у світі.

Ключові слова: хмарність; метеорологічний супутник; метеорологічний радіолокатор; числова модель атмосфери; реаналіз; кліматологія.

Вступ. Хмарність – фундаментальна складова атмосферної системи та один з найбільш комплексних чинників формування погоди і клімату. Вона є результатом взаємодії динамічних і радіаційних процесів та має суттєвий вплив на формування енергетичного балансу. Відбивання або ж поглинання потоків радіації створює зворотні негативні кліматичні зв'язки, зумовлюючи формування температурного режиму тропосфери.