

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Навчально-науковий
гідрометеорологічний інститут
Кафедра метеорології та кліматології

Кваліфікаційна робота магістра

на тему: Характеристика опадоутворення на станції Могилів-Подільський

Виконала студентка 2 курсу групи МЗМ-22
Спеціальності 103 «Науки про Землю»
Освітня програма
«Метеорологія і кліматологія»
Ветушинська Олена Вячеславівна

Керівник канд. геогр. наук, доцент
Семергей-Чумаченко Аліна Борисівна

Рецензент канд. геогр. наук
Данілова Наталія Василівна

Одеса 2023

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Навчально-науковий гідрометеорологічний інститут
Кафедра Метеорології та кліматології
Рівень вищої освіти магістр
Спеціальність 103 «Науки про Землю»
(шифр і назва)
Освітня програма Метеорологія і кліматологія
(назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри
метеорології та кліматології
Прокоф'єв О.М.
“23” жовтня 2023 року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА

студенту(ці) Ветушинській Олені Вячеславівни
(прізвище, ім'я, по батькові)

- Тема роботи Характеристика опадоутворення на станції Могилів-Подільський
керівник роботи Семергей-Чумаченко Аліна Борисівна канд. геогр. наук, доц.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом ОДЕКУ від “16” жовтня 2023 року № 215-С
- Строк подання студентом роботи 29 листопада 2023 року
- Вихідні дані до роботи 1. Електронні архіви метеорологічних спостережень з 1961 по 2022 рр. на метеорологічній станції Могилів-Подільський. 2. Дані Кліматичного кадастру України. 3. Реаналіз ERA 5
- Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Вибір, аналіз та систематизація наукової літератури за напрямком дослідження. 2. Формування вибірки вихідної інформації з 1961 по 2022 рр. на метеорологічній станції Могилів-Подільський. 3. Характеристика режиму опадів у Могилеві-Подільському за 60 років. 4. Визначення динаміки суми опадів та кількості днів з опадами. 5. Виявлення трендів індексів екстремальних погодних умов у Могилеві-Подільському.
- Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Рис. 1.1–1.2 – відомості про Могилів-Подільський та зміну клімату на станції; Рис. 2.1 - карта кількості днів з опадами на рік в Україні у 1961-1990 рр.; Рис. 2.2–2.6 – характеристика динаміки утворення опадів на станції Могилів-Подільський в 1961-2022 рр.; рис. 3.1-3.5-результати розрахунків кліматичних індексів

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
	немає		

7. Дата видачі завдання 23 жовтня 2023 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Оцінка виконання етапу	
			у %	за 4-х бальною шкалою
1	Отримання завдання	23.10.2023		
2	Збір вихідних даних до роботи. Ознайомлення з літературними джерелами за темою кваліфікаційної роботи магістра.	20.10.2023	95	відмінно
3	Визначення режиму опадів у Могилеві-Подільському	31.10.2023	95	відмінно
4	Рубіжна атестація	13-17.11.2023 р.	95	відмінно
5	Визначення динаміки суми опадів та кількості днів з опадами на станції з 1961 по 2022 рр.	10.11.2023	95	відмінно
6	Розрахунок індексів екстремальних погодних умов та визначення їх динаміки	15.11.2023	95	відмінно
7	Підведення підсумків та підготовка рукопису до друку	25.11.2023	95	відмінно
8	Узагальнення отриманих результатів. Оформлення остаточної електронної версії роботи та передача її на процедуру встановлення ступеня оригінальності, відсутності ознак плагіату.	29.11.2023	95	відмінно
9	Перевірка роботи на плагіат, складення протоколу і висновку керівника. Підписання авторського договору.	30.11-2.12.2023р	-	-
10	Підготовка презентаційного матеріалу	-	-	-
11	Інтегральна оцінка виконання етапів календарного плану (як середня по етапам)	-	95	-

Студент

(підпис)

Ветушинська О.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Семергей-Чумаченко А.Б.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Тема: «Характеристика опадоутворення на станції Могилів-Подільський»

Автор: Ветушинська Олена Вячеславівна

Актуальність визначення режиму та динаміки утворення опадів обумовлена значним їх впливом майже на всі соціально-економічні аспекти життя сучасного суспільства, а особливо на продуктивність сільського господарства та роботу транспортної інфраструктури.

Метою роботи є визначення сучасного режиму опадів на станції Могилів-Подільський з 1961 по 2022 рр. за даними стандартних метеорологічних спостережень та виявлення динаміки їх утворення за 60 років.

Відповідно до поставленої мети були розв'язані наступні **задачі**:

- визначені показників сучасного режиму опадів на станції Могилів-Подільський;
- встановлена динаміка міжрічна суми опадів та кількості днів з опадами з 1961 по 2022 рр.
- розраховані кліматичні індекси та визначені їх тренди за 60 років у пункті дослідження.

Об'єкт дослідження – опади на метеорологічній станції Могилів-Подільський.

Предмет дослідження – кількість днів з опадами та суми опадів на станції Могилів-Подільський.

Методи дослідження – просторово-тимчасове узагальнення даних; статистичний аналіз.

Наукова новизна отриманих результатів

В даній роботі *вперше* для станції Могилів-Подільський:

- встановлені повторюваність та міжрічна динаміка утворення опадів на станції Могилів-Подільський у 1961-2022 рр.
- розраховані кліматичні індекси та визначені їх тренди за 60 років на станції Могилів-Подільський для холодного та теплого періодів року.

Практичне значення отриманих результатів – відомості про динаміку опадоутворення та тренди кліматичних індексів на станції Могилів-Подільський за 60 років будуть використані для оновлення кліматичних описів пункту дослідження.

Кваліфікаційна робота магістра в обсязі 41 сторінки складається з 3 розділів, висновків, переліку посилань з 27 джерел, містить 13 рисунків та 5 таблиць.

Ключові слова: опади, дощ, сніг, динаміка опадів, кліматичні індекси.

SUMMARY

Thesis Topic: «Characteristics of precipitation at the Mohyliv-Podilskyi station»

Author: Olena Vetushinska

The relevance of determining the regime and dynamics of precipitation is due to their significant impact on almost all socio-economic aspects of the life of modern society, and especially on the productivity of agriculture and the operation of transport infrastructure.

The goal of the work is to determine the current regime of precipitation at Mohyliv-Podilskyi station from 1961 to 2022 based on the data of standard meteorological observations and to identify the dynamics of their formation over 60 years.

In accordance with the set goal, the following **tasks** were solved:

- determined indicators of the modern precipitation regime at the Mohyliv-Podilskyi station;
- established the inter-annual dynamics of the amount of precipitation and the number of days with precipitation from 1961 to 2022.
- calculated climatic indices and determined their trends for 60 years in the research point.

The object of the study is precipitation at the Mohyliv-Podilskyi meteorological station.

The subject of research – the number of days with precipitation and the amount of precipitation at the Mohyliv-Podilskyi station

Research methods:

- Spatial-temporal generalization of meteorological information data
- Statistical analysis

Scientific novelty of results obtained.

In this work for the first time for Mohyliv-Podilskyi meteorological station:

- established the repeatability and interannual dynamics of precipitation at the Mohyliv-Podilskyi station in 1961-2022.
- calculated climate indices and determined their trends for 60 years at the Mohyliv-Podilskyi station for the cold and warm periods of the year.

The practical significance of the obtained results - information on the dynamics of precipitation and trends of climatic indices at the Mohyliv-Podilskyi station for 60 years, used to update the climatic descriptions of the research point.

The 41-page master's thesis consists of 3 sections, conclusions, a list of references from 27 sources, contains 13 figures and 5 tables.

Keywords: precipitation, rain, snow, precipitation dynamics, climatic indices.

ЗМІСТ

Вступ.....	6
1 Коротка кліматична характеристика та історія метеорологічної станції Могилів-Подільський	8
1.1 Короткий опис географічного положення та клімату станції Могилів-Подільський	8
1.2 Історія метеорологічних спостережень у пункті дослідження	11
2 Характеристика режиму та динаміки опадоутворення на станції Могилів-Подільський у 1961-2022 рр.....	13
2.1 Просторово-часовий розподіл опадів в Україні у 1961-1990 рр.....	13
2.2 Динаміка кількості днів з опадами в Могилеву-Подільському.....	14
2.3 Сезонна та міжрічна динаміка суми опадів та амплітуди річного ходу	19
3 Динаміка екстремальних індексів опадів в Могилеві-Подільському....	27
3.1 Глобальні зміни клімату та кліматичні індекси.....	27
3.2 Динаміка кліматичних індексів опадів у Могилеві-Подільському у 1961-2022 рр.	29
Висновки	37
Список використаної літератури	38
Додаток А.....	41

ВСТУП

Опади є важливою ланкою вологообігу в природі, тому є головним механізмом поновлення водних резервів та вологи в ґрунті. Термін "опади" визначає воду у рідкому або твердому стані, що випадає з хмар або осідає з атмосфери на поверхню землі чи різні об'єкти (наприклад, роса, іній). Опади взаємодіють з іншими процесами, такими як випаровування та конденсація, утворюючи складну систему, яка забезпечує розподіл вологи та забезпечує стійкий обіг води в природному середовищі.

Зміна клімату впливає на опади у світі [1, 6, 7, 19-21, 24, 26], але конкретні ефекти залежать від регіону і сезону. Один з загальних трендів зміни клімату в Україні [5, 9, 10, 13, 14, 27] полягає в зростанні середньорічних температур. Вищі температури можуть призводити до збільшення випаровування і вологості атмосфери, що може призвести до збільшення інтенсивності зливових дощів та гроз, особливо влітку. Збільшення опадів у вигляді зливових дощів може збільшити ризик повеней та ерозії ґрунтів.

Актуальність визначення режиму та динаміки утворення опадів обумовлена значним їх впливом майже на всі соціально-економічні аспекти життя сучасного суспільства [9, 17], а особливо на продуктивність сільського господарства та роботу транспортної інфраструктури.

Метою кваліфікаційної роботи магістра є визначення сучасного режиму опадів станції Могилів-Подільський з 1961 по 2022 рр. за даними стандартних метеорологічних спостережень [12] та виявлення динаміки їх утворення за 60 років.

Об'єкт дослідження: опади на метеостанції Могилів-Подільський.

Предмет дослідження – кількість днів з опадами та суми опадів на станції Могилів-Подільський.

Методи дослідження – просторово-часове узагальнення даних, статистичний аналіз.

Кваліфікаційна робота магістра складається з вступу, трьох розділів, додатку, висновків та переліку посилань.

У вступі визначаються мета та завдання роботи.

Перший розділ складається із загальних відомостей щодо кліматичного режиму опадоутворення в Україні та опису пункту дослідження.

Другий розділ присвячений визначенню показників сучасного режиму опадів на станції Могилів-Подільський та встановленню динаміки суми опадів та кількості днів з опадами у пункті дослідження з 1961 по 2022 рр.

У третьому розділі визначена міжрічна динаміка кліматичних індексів RR, PRCPTOT, R1mm, R20mm, SDII, RX1day та RX5day, а також R75p, R95p, R99p та R75pTOT, R95pTOT, R99pTOT за даними метеорологічних спостережень на станції Могилів-Подільський з 1961 по 2022 рр.

У висновках представлені результати виконаної роботи.

Перелік посилань складається з 27 літературних джерел.

Кваліфікаційна магістерська робота виконана на кафедрі метеорології та кліматології ОДЕКУ під керівництвом канд.геогр.наук, доцента Семергей-Чумаченко А.Б. у рамках науково-дослідної роботи «Розробка та вдосконалення методів прогнозу небезпечних та стихійних метеорологічних явищ над Україною» (2020-2024 рр.) ДР № 0120U100487.

1 КОРОТКА КЛІМАТИЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ТА ІСТОРІЯ МЕТЕОРОЛОГІЧНОЇ СТАНЦІЇ МОГИЛІВ-ПОДІЛЬСЬКИЙ

1.1 Короткий опис географічного положення та клімату станції Могилів-Подільський

Могилів-Подільський – це місто обласного значення в Україні та адміністративний центр Могилів-Подільської громади у Вінницькій області (рис. 1.1). Необхідно відзначити ключову географічну роль міста, оскільки воно обладнане пунктами пропуску Могилів-Подільський - Отач та Могилів-Подільський - Вовчинець (Велчінець) на кордоні з Молдовою



Рисунок 1.1 - Географічне розташування, аерофотозйомка та сучасний герб міста Могилів-Подільський [11]

Необхідно відзначити ключову географічну роль міста, оскільки воно обладнане пунктами пропуску Могилів-Подільський - Отач та Могилів-Подільський - Вовчинець (Велчінець) на кордоні з Молдовою.

Метеорологічна станція розташована в зоні переходу між помірним континентальним і морським кліматом. Липень є найтеплішим місяцем із середньою температурою 20 °С (табл. 1.1), в той час як січень є найхолоднішим місяцем із середньою температурою -2,8 °С.

Таблиця 1.1 – Кліматичні показники ст. Могилів-Подільський [11]

Показник	Клімат Могилева-Подільського												[сховати]
	Січ.	Лют.	Бер.	Квіт.	Трав.	Черв.	Лип.	Серп.	Вер.	Жовт.	Лист.	Груд.	Рік
Абсолютний максимум, °С	13	20	23	27	31	32	35	36	32	27	17	15	36
Середній максимум, °С	0	1	7	15	21	23	25	25	21	14	6	2	13
Середня температура, °С	-2	-1	3	10	15	18	20	19	15	9	3	0	9
Середній мінімум, °С	-6	-5	0	5	10	13	14	13	10	4	0	-2	5
Абсолютний мінімум, °С	-30	-26	-18	-4	0	3	7	3	-5	-8	-16	-22	-30
Днів з опадами	11	10	8	10	9	9	9	6	5	6	10	12	105
Днів з дощем	4	5	6	9	9	9	9	6	5	6	7	7	82
Днів зі снігом	8	7	4	1	0	0	0	0	0	1	3	7	31

Натепер вплив зміни клімату вже проявляється у зростанні температури повітря, тому розглянемо, як ці зміни відбулися в Могилів-Подільському за останні 40 років (рис. 1.2), з застосуванням реаналізу ERA5, тобто реаналізу атмосфери глобального клімату від Європейського центру середньострокових прогнозів погоди (ECMWF) п'ятого покоління, що охоплює період від 1979 до 2022 року і має просторову роздільну здатність 30 км. Але ці дані не відображатимуть умови в точному місці. Мікроклімат і місцеві відмінності не проявляться: температури часто будуть вищими, ніж ті, що відображаються, особливо в містах, а кількість опадів може змінюватися на місцевості залежно від топографії.

На рис. 1.2а показано оцінку середньорічної температури для пункту дослідження [15]. Пунктирна синя лінія йде вгору зліва направо, тобто температурний тренд позитивний і через зміну клімату стає тепліше. У нижній частині графіка зображені так звані «смуги нагріву». Кожна кольорова смуга представляє середню температуру за рік - синя для холодніших і червона для

теплих років. Отже, найтеплішими виявилися 2019 та 2020 рр. з аномаліями температури повітря 2,0 та 2,1 °С, та 2015 р. (2,0 °С). Виявився відносно прохолодним 2021 р. (аномалія 0,2 С) через низькі температури у січні внаслідок вторгнення арктичного повітря, але це не вплинуло на загальну тенденцію підвищення температури, та вже у 2022 р. аномалія температури повітря становила 1,4 °С. Виявлено, що починаючи з 2007 р. не було жодного року з від'ємною аномалією.

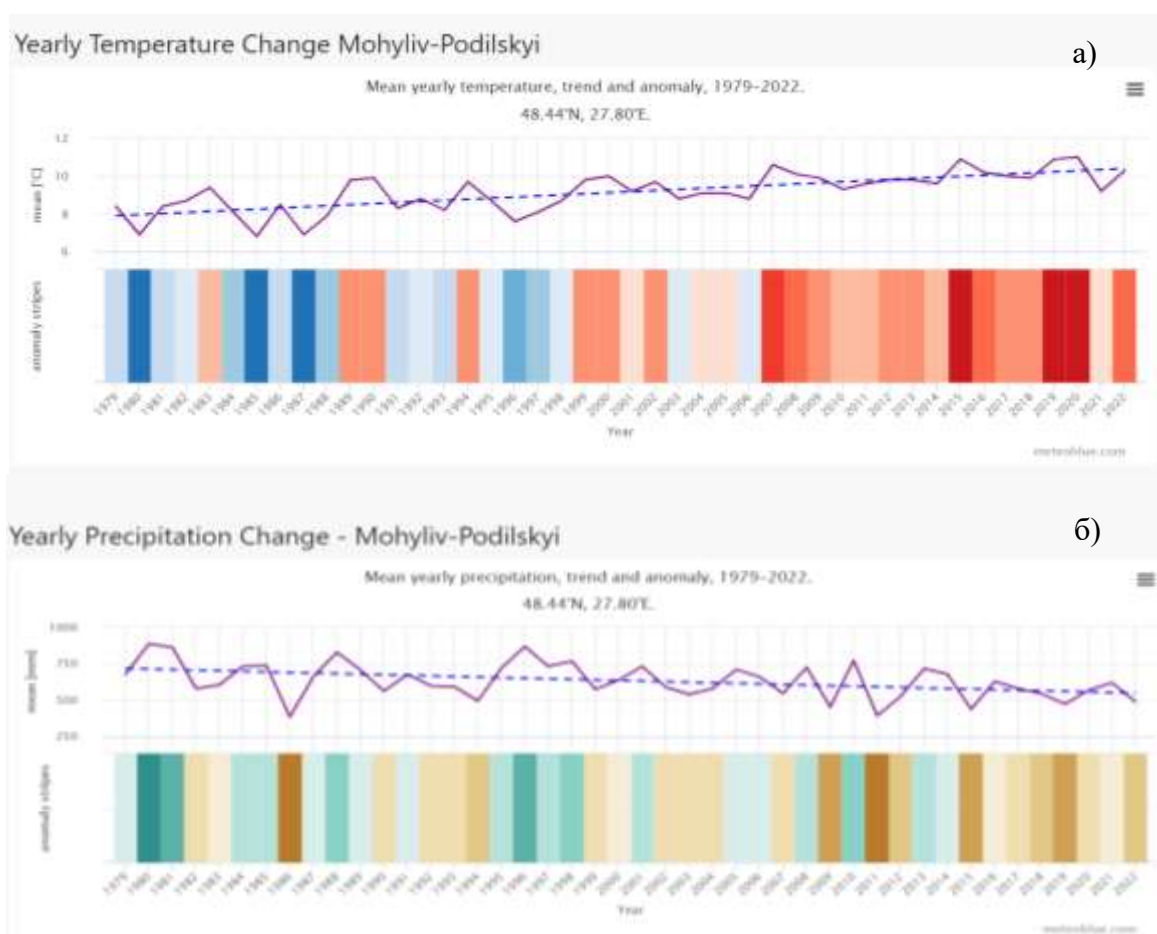


Рисунок 1.2 –Тренд та аномалія (а) середньорічних температури (°С) та суми (б) опадів (мм) для ст. Могилів-Подільський з 1979 по 2022 рр. [15]

На рис. 1.2б представлена оцінка середньої сумарної кількості опадів для станції Могилів-Подільський. Пунктирна синя лінія йде вниз зліва направо, тобто тренд кількості опадів від'ємний та клімат на станції з часом стає сухішим. У нижній частині графіка зображені так звані «смуги опадів»,

кожна кольорова смуга позначає загальну кількість опадів за рік: зелена для вологих років і коричнева для більш сухих років.

Найбільша від'ємна аномалія середньої річної кількості опадів виявилася у 1986 та 2011 рр. (-252,5 мм при абсолютному значенні річної суми опадів 383,2 мм та -249,4 мм при абсолютному значенні річної суми опадів 392,4 мм). Отже найсухішими роками для області виявився 1986, 2011 та 2015 р. (аномалія -216,0), та починаючи з 2015 р. не було жодного року з додатної аномалією. Самими вологими роками виявилися 1980 р. (+222,0 мм при абсолютному значенні річної суми опадів 885,1 мм) та 1996 р. (+212,9 мм при абсолютному значенні річної суми опадів 866,9 мм).

1.2 Історія метеорологічних спостережень у пункті дослідження

Метеорологічні спостереження в районі Могилів-Подільський були розпочаті 1 липня 1925 року з ініціативи управління Південно-західної залізниці. Ця дата вважається початком її існування. Спостереження проводилися безперервно в рамках програми 2-го розряду, за винятком періоду Другої світової війни з 19 липня 1941 року до 18 березня 1944 року, коли діяльність станції припинялась. Після звільнення міста робота станції була відновлена 19 травня 1944 року під керівництвом Г.В. Крисько. У 1949 році колектив метеостанції переїхав у нове приміщення, де працює і досі, а також облаштовано метеомайданчик та прилеглу територію (рис. 1.3).

Сьогодні до комплексу приземних метеорологічних спостережень, які проводяться цілодобово входять: спостереження за температурою та вологістю повітря, атмосферним тиском, характеристиками вітру (швидкістю та напрямком), температурою і станом підстильної поверхні, атмосферними опадами, явищами, метеорологічною дальністю видимості, кількістю та формою хмар, явищами погоди. Дані через кожних три години передаються на адресу Українського Гідрометцентру.



Рисунок 1.3 - Фронтальна проекція будівлі метеостанції Могилів-Подільський та обладнання метеорологічного майданчика.

Починаючи з 14 листопада 1949 року та дотепер на станції Могилів-Подільський для спостережень за атмосферними опадами використовують опадомір Третьякова О-1.

2 ХАРАКТЕРИСТИКА РЕЖИМУ ТА ДИНАМІКИ ОПАДОУТВОРЕННЯ НА СТАНЦІЇ МОГИЛІВ-ПОДІЛЬСЬКИЙ У 1961-2022 РР.

2.1 Просторово-часовий розподіл опадів в Україні у 1961-1990 рр.

Просторовий розподіл опадів в Україні підпорядкований основній закономірності, що визначається загальними циркуляційними факторами: опади зменшуються із півночі та північного заходу на південь і південний схід (рис. 2.1). Ця тенденція є характерною для рівнинних областей. Рельєф, впливаючи на регіональні особливості циркуляції, призводить до суттєвих змін у розподілі опадів.

До районів недостатнього зволоження в Україні відноситься південна частина Степу (Одеська, Миколаївська, Херсонська області і рівнинна частина Криму), у межах якої відмічається зменшення опадів у напрямі на південь. На узбережжях Чорного і Азовського морів, у Присивашші опадів випадає ще менше (380-400 мм) через вплив бризової циркуляції.

Важливим аспектом є інформація про максимальну кількість опадів протягом доби, яка знаходить практичне застосування в гідрологічних розрахунках для розробки проектів гідротехнічних споруд та обладнання. Ця інформація є ключовою для вирішення чисельних завдань у сфері економічного комплексу країни і також для проведення різних заходів з охорони довкілля.

На теренах України існує велика ймовірність злив та виникнення повеней, особливо в Українських Карпатах і Кримських горах, де екстремальні тривалі опади можуть призвести до паводків, селевих потоків та підтоплення. Аналізуючи розподіл добового максимуму опадів на рівнинній території, де середні показники змінюються в межах 33-48 мм щорічно, не вдається визначити конкретні закономірності. У окремі роки відзначається значна різноманітність, варіюючись від 25 до 220 мм. Орографічні особливості, зокрема в Українських Карпатах і Кримських горах, впливають

на розподіл добового максимуму опадів. Так, на висоті місцевості відбувається збільшення цього показника. У Кримських горах за рік його значення становить 82 мм (Ай-Петрі), а в Українських Карпатах він трошки менший — 61 мм (Плай), 57 мм (Пожежевська).

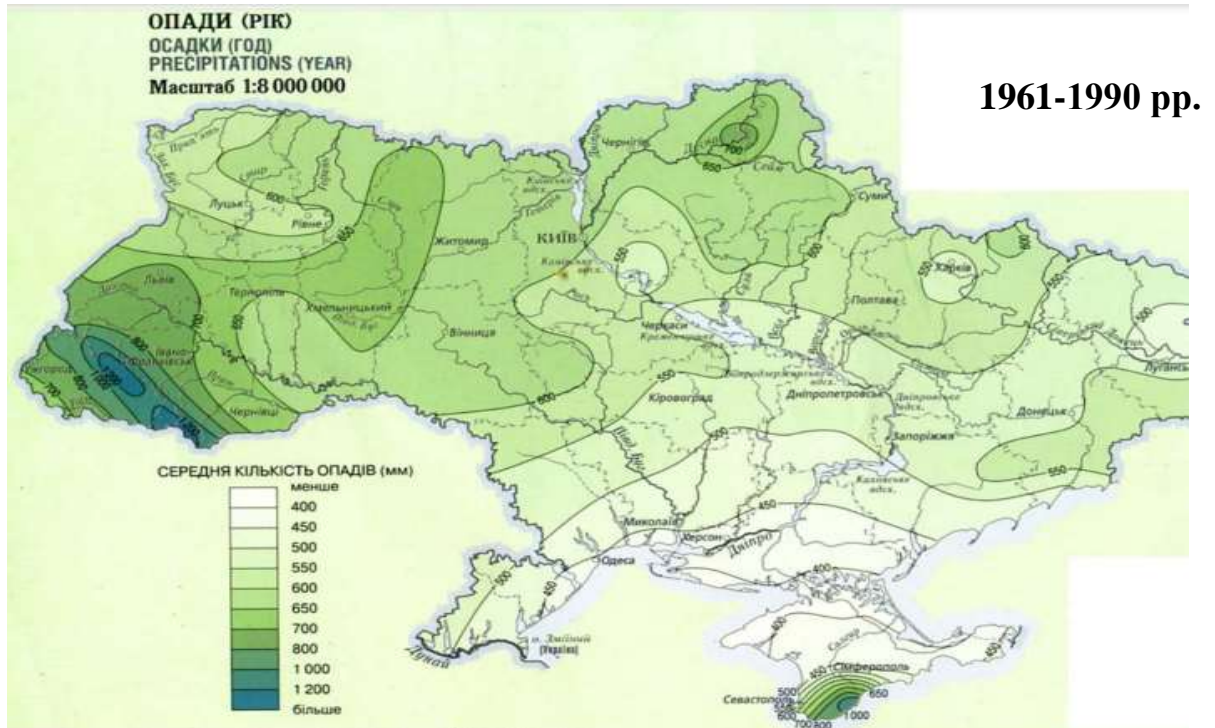


Рисунок 2.1 - Середня кількість опадів за рік (мм) в Україні [3]

Через значну непередбачуваність розподілу опадів, добовий максимум не завжди фіксується існуючою системою метеорологічних станцій і постів. Це може призвести до серйозних наслідків для людського життя та нанесення значних матеріальних збитків.

2.2 Динаміка кількості днів з опадами в Могилеву-Подільському

Для характеристики режиму опадоутворення у Могилеву-Подільському Винницької області у якості вихідної інформації залучені дані метеорологічних спостережень з книжок КН-01 та ресурсу [12] з січня 1961 по грудень 2022 рр.

Дані спостережень містять інформацію про кількість опадів за 24 год., для дослідження режиму опадів враховувалися відомості за добу. Методами дослідження є загальні статистичні засоби обробки вибірових величин, що спираються на врахування властивостей та природи атмосферних процесів.

В ході дослідження були розраховані кількість днів з опадами різної інтенсивності і річні та місячні суми опадів на станції Могилів-Подільський у період дослідження та визначені тренди їх значень.

Як видно з рис. 2.2, середня кількість днів з опадами становила 124 днів та коливалася у межах від 94 до 158 у 1982 та 1980 рр., відповідно, а її модальне значення становило 135 днів у 1961-2020 рр. (табл. 2.1). Впродовж періоду дослідження спостерігалось зниження кількості днів з опадами у межах якого можна визначити три періоди – 1969-1978, 1980-1989 та 2008-2015 рр., коли з року у рік зменшувалася кількість днів з опадами, у 2021 р. кількість днів з опадами опади суттєво зросла (до 136 днів) та знова знизилася у 2022 р. до 121 дня. Лінійний тренд для цієї характеристики є від’ємним.

Якщо розрахувати ковзне середнє або рухоме середнє (moving average), тобто застосувати один із інструментів аналізу випадкових процесів та часових рядів, що полягає в обчисленні середнього підмножини значень, з різними періодами осереднення (5, 10 та 20 років), то отримаємо зниження кількості днів з опадами (рис. 2.2а), яке має наочний вигляд при 20-річному періоді осереднення. Також за графіками ковзного середнього видно два періоди відносно підвищеної активності опадоутворення - 1968-1972, 1977-1983 та 1995-2002 рр.

Залучення до аналізу кількості днів з опадами різної інтенсивності, табл. 2.1 та рис. 2.2, виявило, що частіше за все спостерігаються опади з інтенсивністю менш ніж 10 мм за добу та 10-20 мм за добу та їх кількість знижувалася з 1961 по 2022 рр.

Кількість опадів з інтенсивністю 10 мм на добу становило в середньому 15,6 днів на рік, коливаючись від 5 до 25 днів, найчастіше дорівнюючи – 19.

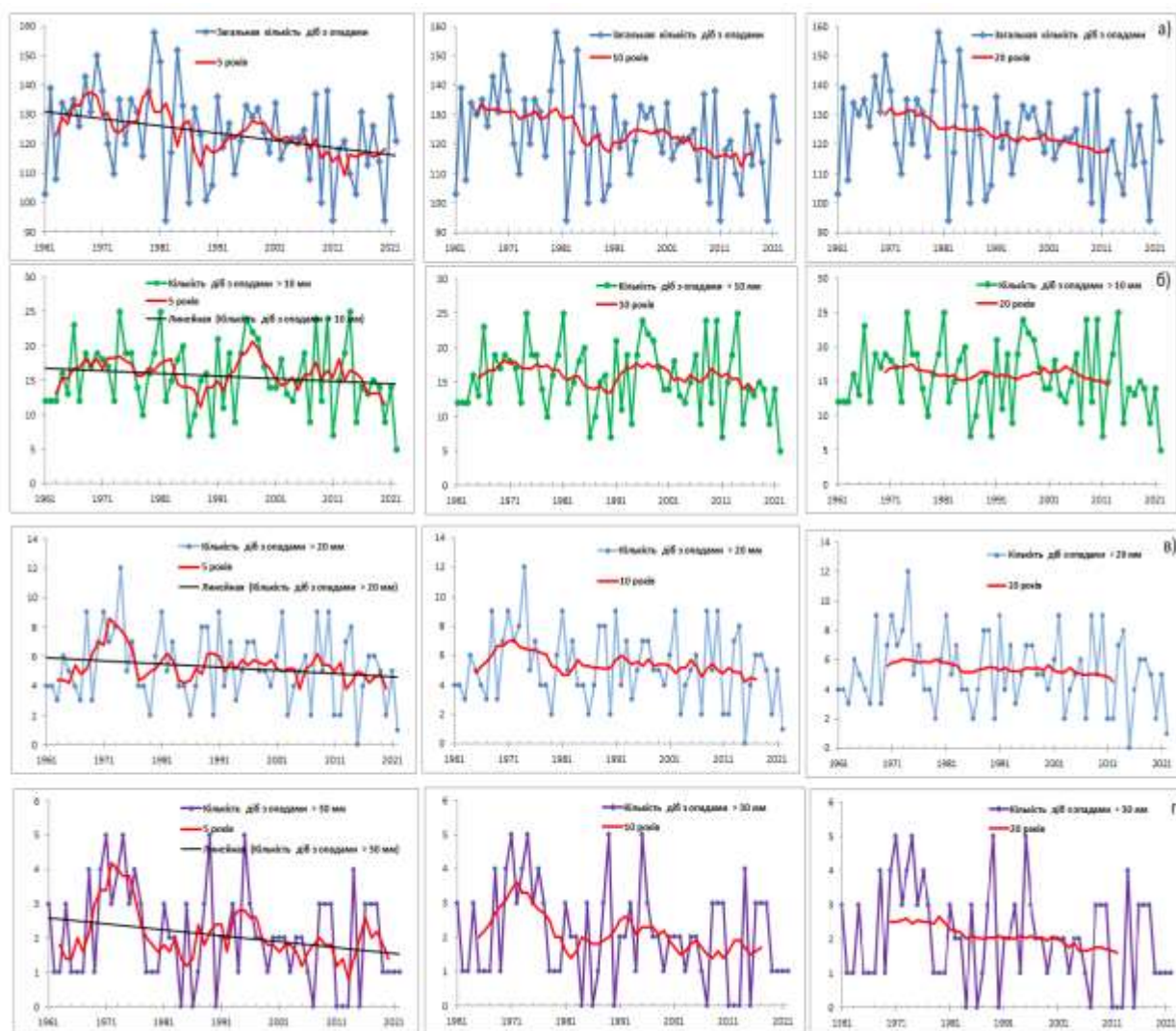


Рисунок 2.2 – Загальна кількість днів з опадами та кількість днів з опадами більше 10, 20 та 30 мм на станції Могилів-Подільський у період з 1961 по 2022 рр.

Розрахунок ковзного середнього (5 та 10 років) для цієї градації визначив, що відносно частіше опади з інтенсивністю 10 мм на добу випадали у 1994-2000 рр. Лінійний тренд (рис. 2.2б) виявився слабо від’ємним разом з 20-річним осередненням.

Подібний тренд спостерігався для опадів з інтенсивністю від 20 мм на добу (рис. 2.2в), але для цієї градації максимальна кількість днів припала на 1969-1974 рр., що проявлялося навіть при 20-річному осередненні. В середньому такі опади спостерігалися 5,3 днів на рік, коливаючись від 1 до 12

днів у 1974 р., з модальним значенням 4 дня на рік. За період дослідження лише у 2015 р. не було жодного дня з інтенсивністю 20 мм на добу

Кількість днів з опадами 30 мм на добу опадів з інтенсивністю 30 мм випадала ще менше – в середньому 2 рази на рік, з максимумом – 5 разів у 1989 та 1994 рр. Від 1961 до 1983 року включно кожен рік виникали опади з такою інтенсивністю, інший період активності був з 1991 по 2006 р. З 2011 по 2013 рр. такої градації не спостерігалось взагалі.

Отже, від’ємний тренд властивий для всіх градацій кількості днів з опадами на ст. Могилів-Подільський з 1961 по 2022 рр., а опади з інтенсивністю більш ніж 80 мм за добу взагалі не спостерігалися з 2002 р., а у першу половину 70-тих утворювалися майже щорічно.

Розрахунки середньорічної кількості днів з опадами за десятирічні періоди (табл. 2.2) виявили, що найбільша кількість днів з опадами була у

Таблиця 2.2 – Середня кількість днів з опадами і їх аномалії станції Могилів-Подільський для різних періодів

Роки	Середня кількість днів з опадами								
	> 0 мм	> 10 мм	> 20 мм	> 30 мм	> 40 мм	> 50 мм	> 60 мм	> 70 мм	> 80 мм
1961-1970	129,9	15,5	4,8	2,0	0,7	0,2	0,0	0,0	0,0
1971-1980	138,8	16,9	6,4	3,0	1,8	1,2	0,5	0,5	0,5
1981-1990	120,6	14,5	5,2	1,9	1,0	0,7	0,5	0,3	0,3
1991-2000	124,8	17,0	5,6	2,3	0,9	0,3	0,1	0,0	0,0
2001-2010	122,1	16,0	5,7	1,9	1,0	0,6	0,1	0,1	0
2011-2020	112,4	14,7	4,2	1,5	0,4	0,1	0,0	0,0	0,0
1961-1990	129,8	15,6	5,5	2,3	1,2	0,7	0,3	0,3	0,3
1991-2020	119,8	15,9	5,2	1,9	0,8	0,4	0,1	0,1	0,0
1961-2020	124,8	15,8	5,3	2,1	1,0	0,5	0,2	0,2	0,2
Роки	Аномалії кількості днів з опадами для періоду 1961-2020 рр.								
	> 0 мм	> 10 мм	> 20 мм	> 30 мм	> 40 мм	> 50 мм	> 60 мм	> 70 мм	> 80 мм
1961-1970	5,1	-0,3	-0,5	-0,1	-0,3	-0,3	-0,2	-0,2	-0,2
1971-1980	14,0	1,1	1,1	0,9	0,8	0,7	0,3	0,3	0,4
1981-1990	-4,2	-1,3	-0,1	-0,2	0,0	0,2	0,3	0,1	0,2
1991-2000	0,0	1,2	0,3	0,2	-0,1	-0,2	-0,1	-0,2	-0,2
2001-2010	-2,7	0,2	0,4	-0,2	0,0	0,1	-0,1	-0,1	-0,2
2011-2020	-12,4	-1,1	-1,1	-0,6	-0,6	-0,4	-0,2	-0,2	-0,2
1961-1990	5,0	-0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1
1991-2020	-5,0	0,1	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,1	-0,1	-0,1

1971-1980 рр. (138,8 днів), а найменша у 2011-2020 рр. (119,8 днів), значення аномалії відносно періоду 1961-2020 рр. становило 14,0 та -12,4 днів.

Така тенденція властива для всіх градацій інтенсивності опадів, але для опадів від 10 мм на добу також виявлена значна від'ємна аномалія у 80-ті роки (-14,5 днів). А також у 60-ті роки ХХ сторіччя практично не утворювалися опади більше 50 мм на добу.

Порівнюючи періоди 1961-1990 та 1991-2020 рр., виявлено зниження кількості днів з опадами у всіх градаціях за винятком > 10 мм, де спостерігалось невелике зростання (0,1.)

2.3 Сезонна та міжрічна динаміка суми опадів та амплітуди річного ходу

Якщо залучити до аналізу річну суму опадів за вказані десятиліття, то на рис. 2.3 та табл. 2.3 видно, що вона досягала найбільшого значення також у 70-ті роки (721,9 мм), далі значно (на 157 мм) знижувалася, потім у 1991-2000 та 2001- 2010 рр. зросла до 610 мм. Але в останнє десятиріччя (2011-2020 рр.) середньорічна сума опадів знизилася до 509 мм, стала мінімальною.

Найбільшого значення річна сума опадів досягала у 70-ті та 80-ті роки, а точніше у 1975 та 1981 рр. – 904 та 915 мм., мінімальні значення цього параметру були у 2011 р. та становили 308 мм.

В середньому за 60 років річна сума опадів становила 599,4 мм, а порівняння двох кліматичних періодів виявило суттєве зниження активності опадоутворення – від 623 до 576 мм на рік у 1961-1990 та 1991-2020 рр.

Сума опадів у холодний період у 60-ті та 70-ті роки ХХ століття була майже однаковою (216 та 219 мм, відповідно) та відносно найбільшою в межах періоду дослідження, а мінімальна сума опадів спостерігалася у 80-ті роки (148 мм). Отже в холодний період з листопада по березень сума опадів знизилася на 32 мм – від 194 на 163 мм, а максимального значення вона досягала у 1966 р. (350 мм).

Таблиця 2.3 – Середня, максимальна та мінімальна суми опадів (RR, мм) для всього року, холодного та теплого періодів на ст. Могилів-Подільський для 10- та 30-річних періодів

Роки	Річна сума, мм			Холодний період			Теплий період		
	Середня	Мах	Мін	Середня	Мах	Мін	Середня	Мах	Мін
1961-1970	581,9	791,52	396,4	215,9	350,6	92,4	365,9	526,1	223,7
1971-1980	721,9	904,5	448,2	218,8	295,0	75,8	503,0	828,8	314,9
1981-1990	565,4	915,1	376,9	147,9	256,7	70,6	417,6	658,4	243,8
1991-2000	609,7	787,4	384,1	155,2	250,2	95,1	454,5	614,2	289,0
2001-2010	609,7	821,1	410,6	170,8	254,3	109,1	438,9	678,0	290,4
2011-2020	507,8	657,8	308,0	162,0	243,7	78,8	345,9	512,3	171,0
1961-1990	623,1	915,1	376,9	194,2	350,6	70,6	428,8	828,8	223,7
1991-2020	575,7	821,1	308,0	162,6	254,3	78,8	413,1	678,0	171,0
1961-2020	599,4	915,1	308,0	178,4	350,6	70,6	421,0	828,8	171,0

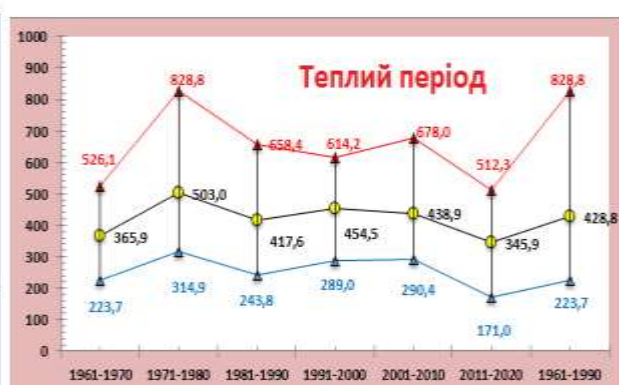
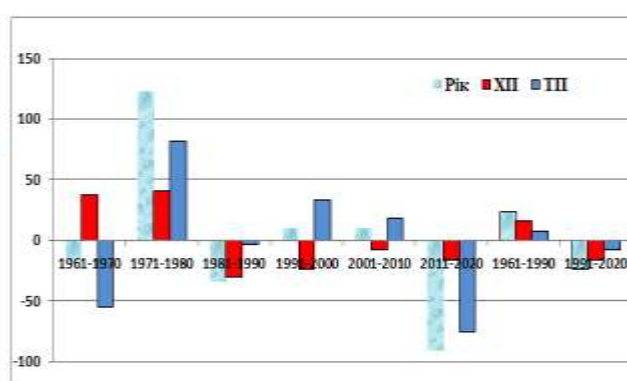


Рисунок 2.3 - Середня сума опадів (RR, мм) і її аномалії для всього року, холодного та теплого періодів наст. Могилів-Подільський для 10- та 30-річних періодів

Найбільшого значення сума опадів теплого періоду досягала також у 70-ті роки – 503 мм в середньому за десятиріччя, з максимумом у 1975 р. – 829 мм. Мінімальні значення цього параметру були у 2015 р. та становили 171 мм.

В середньому за 60 років сума опадів з квітня по жовтень становила 421,0 мм, а порівняння двох кліматичних періодів виявило зниження активності опадоутворення – від 429 до 413 мм на рік у 1961-1990 та 1991-2020 рр.

На рис. 2.4 приведені графіки річної суми опадів на ст. Могилів-Подільський за 1961-2022 рр., яка у середньому за весь період становила 595 мм та коливалася у межах від 308 до 915 мм у 2011 та 1975 рр. відповідно. Ця характеристика знижувалася від 1970 до 1990 рр. та від 1996 по 2020 рр., тобто майже подібно кількості днів з опадами, та має від’ємний тренд за часом.

Оскільки Вінницька область відноситься до територій з континентальним типом річного ходу опадів [3], при якому сума опадів теплого періоду переважає над сумою опадів холодного періоду. Річний хід опадів має свої особливості та відрізняється за значеннями максимуму та мінімуму, за амплітудою коливання та мінливістю у межах року. У січні на ст. Могилів-Подільський випадала найменша кількість опадів (29,5 мм), а у липні та червні спостерігалася максимальна за рік кількість опадів – 182,1 мм, тобто 30 % від річної суми опадів. На липень припадає річний максимум кількості опадів – 96 мм.

Окреме врахування кількості опадів за холодне та тепле півріччя показало, що це зниження відбулося переважно завдяки зменшенню опадів у тепле півріччя, тому що кількість опадів з листопада по березень сповільнилася з 1961 по 2022 рр. менш інтенсивне.

Щодо амплітуди річного ходу впродовж всього періоду дослідження, то в середньому вона становила 66,9 мм і її значення коливалось від 38 до 386 мм у 1999 та 1975 рр. відповідно. Інший пик амплітуди був у 2008 р. – 265 мм.

Також великі значення амплітуди (біля 200 мм) спостерігалася у 1971, 1981, 1989, 1991 та 2010 рр. через сильні конвективні опади влітку. Міжрічний розподіл амплітуди характеризується слабким від'ємним лінійним трендом.

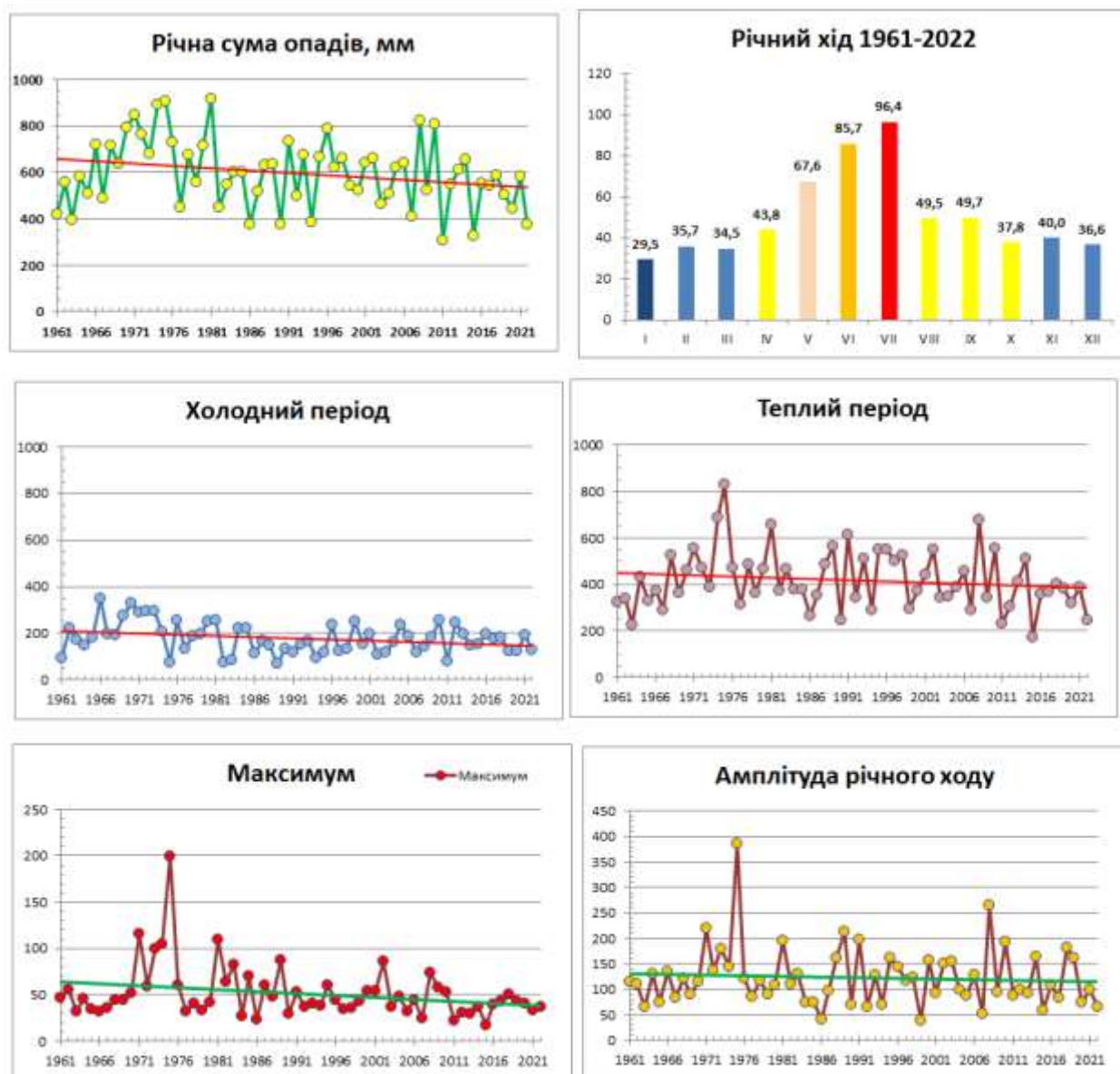


Рисунок 2.4 - Графік річної суми опадів, її тренд та річний хід з амплітудою на ст. Могилів-Подільський з 1961 по 2022 рр., міжрічна мінливість суми опадів у теплий і холодний періоди та її максимальне значення на рік

Також від'ємний лінійний тренд виявився у максимальній кількості опадів за добу на рік (рис. 2.4). Середнє значення максимальної кількості за

добу на рік становило 67,2 мм при мінімумі 23,3 мм і максимумі 199 мм у 1986 та 1975 р. Можна виділити також максимуми цього показника у 1971 (115,1 мм), 1981 (108,8 мм), 1989 і 2002 (86,9 і 86,5 мм) та 2008 (73,5 мм).

Розрахунок ковзного середнього для річної суми опадів з різними періодами осереднення (5, 10 та 20 років) виявив її зниження (рис. 2.5), яке має наочний вигляд при 20-річному періоді осереднення. Також за графіками ковзного середнього (5 та 10 років) видно період відносно підвищеної активності опадоутворення – 1965-1978 рр. Ковзне середнє з періодом 20 років виявляє зниження річної суми опадів з 1975 до 1993 рр., далі до 2004 року цей параметр не змінюється, а потім починає знов зменшуватися.

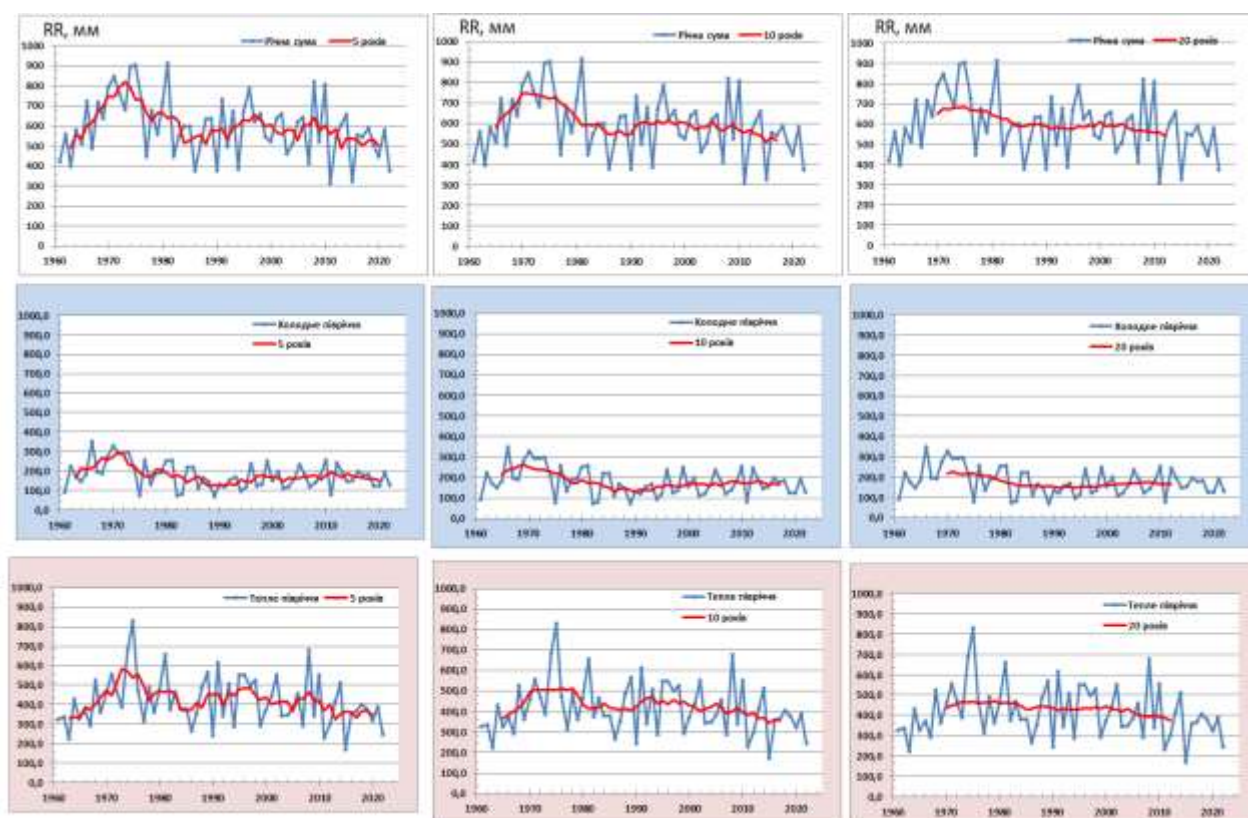


Рисунок 2.5 – Міжрічна динаміка суми опадів (мм) теплого та холодного періодів і графіки ковзної середньої (5, 10 та 20 років) суми опадів на АМСЦ Вінниця з 1961 по 2021 рр.

Розрахунок ковзного середнього з періодами 5, 10 та 20 років для холодного періоду (з листопаду по березень) визначив зниження активності

опадоутворення з середини 60-х років до кінця 80-х років ХХ століття (рис. 2.5). Далі з 1990 по 2020 рр. не спостерігається змін суми опадів за 20-річним осередненням, а ковзне середнє з періодом 5 та 10 років демонструє незначні коливання.

Динаміка результатів розрахунку ковзного середнього з періодами 5, 10 та 20 років для теплого періоду (з квітня по вересень) демонструє стабільну активність опадоутворення з середини 60-х років до 2000 р, але далі спостерігається зменшення річної суми опадів.

Розгляд міжрічної динаміки середньомісячної суми опадів та її лінійних на ст. Могилів-Подільський з 1961 по 2022 рр. по місяцях (рис. 2.6) виявив, що активне зниження середньомісячної суми опадів спостерігалось з листопаду по березень. У квітні та серпні лінійний тренд практично рівний, а у вересні та жовтні – незначно, але додатний.

Весною спостерігалися від’ємні тренди у березні та травні і майже нульовий у квітні. У березні при середньомісячному значенні 34,5 мм кількість опадів на місяць коливалася від 5 (1982 та 2022 рр.) до 130 мм (2006 р.), але переважно не перевищувала 60 мм, а з 1980 по 2005 мм – 40 мм. У квітні при середньомісячному значенні 43,8 мм кількість опадів на місяць коливалася від 6,0 (2009 р.) до 109 та 104 мм (2009 та 1970 рр.). Двічі місячна сума опадів досягала 80 мм – 1975 та 1977 рр. У травні при середньомісячному значенні 67,6 мм кількість опадів на місяць коливалася від 15,0 (2015 р.) до 194 та 174 мм (1975 та 2019 рр.). П’ять разів місячна сума опадів перевищила 120 мм. Причому з 1996 по 2004 рр. жодного разу кількість не досягала 60 мм.

Влітку виявився нейтральний тренд у серпні та від’ємні у липні та червні. У червні при середньомісячному значенні 85,7 мм кількість опадів на місяць коливалася від 12,5 (2004 р.) до 230 мм (1971 р.). 4 рази місячна сума опадів перевищувала 200 мм – 1971, 1989, 2010 та 2018 рр. Можна визначити два періоди зростання активності опадоутворення – 1971-1980 та , 1991-1995 рр., які й формують від’ємний тренд. В липні при середньомісячному значенні 96,4 мм кількість опадів на місяць коливалася від 19 (1989-1990 рр.)

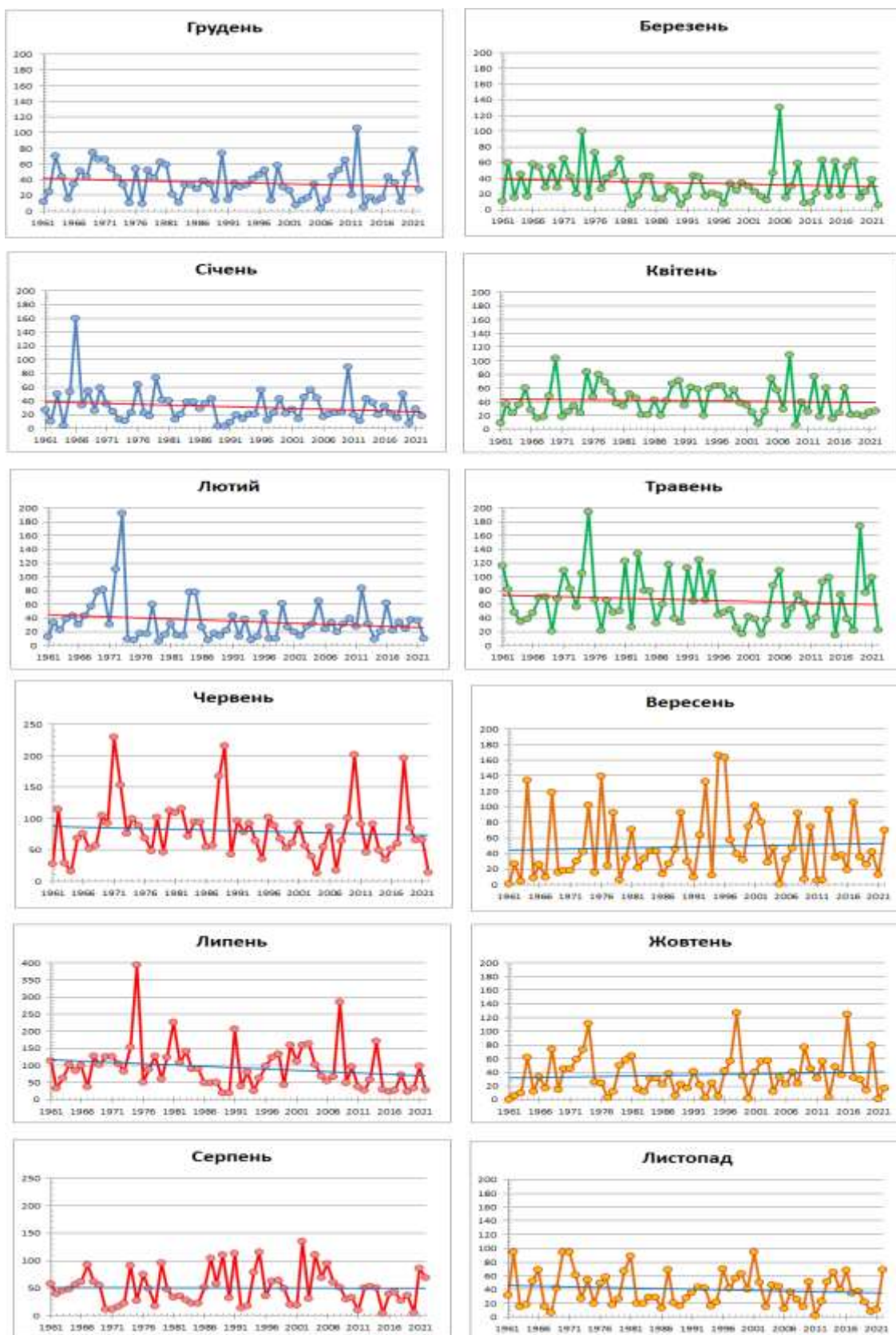


Рисунок 2.6 – Динаміка середньомісячної суми опадів та її лінійних на ст. Могилів-Подільський з 1961 по 2022 рр. по місяцях

до 394 мм (1975 р.). 4 рази місячна сума опадів перевищувала 200 мм – 1975, 1981, 1991 та 2008 рр., а починаючи з 2003 р. поступово знижувалася. В серпні при середньомісячному значенні 49,5 мм кількість опадів на місяць коливалася від 3,4 (2015 р.) до 135 мм (2002 р.).

Восени спостерігалися слабкі додатні тренди у вересні та жовтні і від'ємний тренд у листопаді. У вересні при середньомісячному значенні 49,7 мм кількість опадів на місяць коливалася від 0,8 (2005 р.) до 163-166 мм (1995-1996 рр.), та з 2006 по 2016 рр. спостерігається зростання кількості опадів, що й вплинуло на характер лінійного тренду. У жовтні при середньомісячному значенні 37,8 мм кількість опадів на місяць коливалася від 0,5 (2021 р.) до 127 та 125 мм (1998 та 2016 рр.) зі незначним зростанням після 2004 р. У листопаді, навпаки, на початку 2000-х років виявилось зменшення щомісячної суми опадів.

3 ДИНАМІКА ЕКСТРЕМАЛЬНИХ ІНДЕКСІВ ОПАДІВ В МОГИЛЕВІ-ПОДІЛЬСЬКОМУ

3.1 Глобальні зміни клімату та кліматичні індекси

Зміна клімату є однією з найбільш серйозних екологічних проблем у сучасному світі, і вона виникає внаслідок збільшення концентрації парникових газів у атмосфері, таких як вуглекислий газ, метан, оксиди азоту тощо. Основними джерелами цих газів є використання копалин, спалювання вугілля, нафти та природного газу, а також зміни використання землі, такі як вирубка лісів.

Наслідки зміни клімату різноманітні. Вони включають у себе підвищення середньої температури планети (глобальне потепління), збільшення інтенсивності та частоти природних катастроф, таких як урагани, повені, посухи та лісові пожежі. Зміни в кліматі також впливають на гідрологічний цикл, рівень моря, екосистеми, аграрний сектор, здоров'я людей та багато інших аспектів життя.

Внаслідок зміни клімату виникають соціально-економічні виклики, включаючи збитки у сільському господарстві, руйнування житлових інфраструктур, економічні втрати внаслідок природних катастроф, міжнародні конфлікти через конкуренцію за ресурси та масові міграції людей, що шукають кращі умови проживання.

Через кліматичні зміни спостерігається збільшення вологості в деяких регіонах, але розподіл опадів нерівномірний, і у деяких інших регіонах може посилюватися засушливість [17, 22]. У регіонах, які вже мають достатню кількість опадів, їхнє випадіння стає інтенсивнішим, тоді як у регіонах з недостатнім зволоженням збільшується ризик засушливих періодів [5-7, 9, 10, 13, 14, 19].

Протягом останніх десятиліть клімат в Україні [9, 10, 13, 14] вже пережив зміни (температура та інші метеорологічні параметри відрізняються від кліматичної норми). Згідно з [9], на території України очікується подальше зростання температури повітря у майбутньому (хоча величина змін може варіюватися в залежності від прогнозних моделей), а також зміна кількості опадів.

З участю екстремальних погодніх явищ, які стають більш частими та інтенсивнішими на всій планеті і завдають значних збитків глобальній економіці, останніми роками виникли нові методи та механізми для аналізу та прогнозу змін клімату та їх впливу на суспільство [22].

У кліматології для виявлення та оцінки наявних змін клімату традиційно використовуються кліматологічні показники, які представлені середньорічними, середньосезонними або середньомісячними значеннями різних кліматичних елементів, таких як температура повітря, атмосферні опади, швидкість і напрям вітру та інші. Ці показники розраховуються на основі даних спостережень, здійснених на опорній метеорологічній мережі. Аналіз багаторічної динаміки таких показників слугує основою для виявлення змін клімату та їх оцінки в рамках звітів Міжурядової групи експертів зі зміни клімату (IPCC), що здійснює свою діяльність під егідою Всесвітньої метеорологічної організації та Програми Організації Об'єднаних Націй з навколишнього середовища (UNEP) з 1988 року, і включається у Щорічні заяви Всесвітньої метеорологічної організації про стан глобального клімату.

У кінці ХХ – на початку ХХІ століття була розроблена система кількісних показників для моніторингу, аналізу та оцінки екстремальних кліматичних явищ, які базуються на добових даних метеорологічних спостережень і відомі як "екстремальні індекси" [23]. Ця система дозволяє більш детально аналізувати та оцінювати зміни клімату та розкривати їхню "внутрішню" структуру. Початковий набір з 27 екстремальних індексів був розроблений експертною групою, і зараз їх кількість збільшилася до 75, включаючи показники для різних аспектів клімату. Ці індекси охоплюють

термічний режим, режим зволоження, сонячну радіацію, атмосферний тиск, хмарність та інші аспекти. У зв'язку з значним розширенням кількості індексів, їх тепер також можна називати "кліматичними індексами" або "індексами зміни клімату".

Кліматичні індекси можна умовно розділити на прості, які обчислюються на основі одного параметра, і складні або комплексні, які включають в себе кілька характеристик. Серед простих індексів виділяють ті, що вимірюють спеку, холод, атмосферний тиск, вітровий режим, сніговий покрив, режим зволоження, посуху, хмарність і багато інших. Зазвичай кліматичні індекси розраховуються на основі добових середніх та екстремальних даних, аналізуються місячні або річні значення, засновані на кілька десятиліть, чи їх довготривалий тренд.

В залежності від географічного розташування, кліматичні екстремуми виявляються по-різному. Одночасно в одних регіонах можна відзначити найсильніші посухи, тоді як в інших будуть значні опади.

3.2 Динаміка кліматичних індексів опадів у Могилеві-Подільському у 1961-2022 рр.

Кліматичні індекси тепер широко використовуються для оцінки як глобальних, так і регіональних змін клімату [10, 13, 18-27]. Наприклад, у [10, 13] визначено, що в середньому по Україні за останні 30 років кількість літніх днів, теплих днів і ночей, індекс тривалості потепління досягли найвищих історичних значень, а кількість холодних днів і ночей, морозів і ожеледиць, а також тривалість похолодань. індекс досяг найнижчих зафіксованих значень. Для всієї території України протягом останніх трьох десятиліть спостерігається збільшення максимальної добової (RX1day) та максимальної 5-денної суми опадів (RX5day). В дослідженні були розраховані такі кліматичні індекси (табл. 3.1), а результати розрахунків представлені у табл. 3.2 та на рис. 3.1-3.5.

Таблиця 3.1 – Кліматичні індекси екстремальних явищ погоди [23]

Індекс	Назва індексу (Index name)	Визначення індексу (Index definitions)	Units
RR	precipitation sum	Річна кількість опадів	mm
R1mm	Wet Days	Загальна кількість днів на рік з опадами > 1 мм	days
R10mm	Number of heavy precipitation days	Кількість днів на рік, коли добова кількість опадів ≥ 10 mm	days
R20mm	Number of very heavy precipitation days	Кількість днів на рік, коли добова кількість опадів ≥ 20 mm	days
PRCPTOT	Annual wet-day precipitation	Річна сумарна кількість опадів у вологі дні ^a	mm
SDII	Simple daily precipitation index	Відношення річної сумарної кількості опадів до кількості вологих днів, коли $RR_{ij} \geq 1$ ^a	mm/day
R75p	Days with RR > 75th percentile of daily amounts (wet days)	Дні з RR > 75-го перцентиля добової кількості (вологі дні)	days
R75pTOT	Precipitation fraction due to very wet days (> 75th percentile)	Частка опадів через дуже дощові дні (> 75-го перцентиля)	mm
R95p	Days with RR > 95th percentile of daily amounts (very wet days)	Дні з RR > 95 перцентиля добової кількості (дуже вологі дні)	days
R95pTOT	Precipitation fraction due to very wet days (> 95th percentile)	Частка опадів через дуже дощові дні (> 95 перцентиль)	mm
R99p	Days with RR > 99th percentile of daily amounts (extremely wet days)	Дні з RR > 99-го перцентиля добової кількості (надзвичайно вологі дні)	days
R99pTOT	Precipitation fraction due to very wet days (> 99th percentile)	Частка опадів через дуже дощові дні (> 99 перцентиль)	mm
RX1day	Max 1-day precipitation	Середня максимальна кількість опадів за 1 день	mm
RX5day	Max 5-day precipitation	Середня максимальна кількість опадів за 5 днів	mm

Таблиця 3.2 – Кліматичні індекси у Могилеві-Подільському, 1961-2022 рр.

Роки													
	RX1day	RX5day	R1mm	R20mm	PRCPTOT	RR	SDII	R75p	R75pTOT	R95p	R95pTOT	R99p	R99pTOT
1961	46,1	64,4	54	4	399,3	418,4	7,7	15	274,0	3	117,3	1	46,1
1962	55	58,8	87	4	535,7	559,8	6,4	24	330,0	3	102,4	1	55
1963	32,4	36,7	61	3	376,8	396,4	6,5	17	251,9	2	59,5	0	0
1964	45,6	74,7	76	6	553,2	579,7	7,6	26	410,6	5	170	1	45,6
1965	34,5	46,1	76	5	487,1	509,5	6,7	22	309,5	4	105,4	0	0
1966	31,9	44,6	99	4	701,6	721,5	7,3	34	485,1	4	116,1	0	0
1967	35,2	58,3	87	3	468,3	489,0	5,6	16	245,0	2	57,7	0	0
1968	43,6	60,9	100	9	693,2	715,8	7,2	25	476,1	9	277,6	1	43,6
1969	44	82,35	76	3	602,51	636,9	8,4	33	439,0	1	44	1	44
1970	51,1	59,64	97	7	757,26	791,5	8,2	28	495,7	7	243	2	101
1971	115,1	123,3	84	9	810,88	847,1	10,1	26	582,6	7	344,2	4	264,2
1972	58,55	69,14	105	7	711,18	764,2	7,3	24	446,5	7	243,3	2	109,34
1973	100,08	136,28	68	8	654,02	681,2	10,0	18	462,2	8	350	3	208,1
1974	105	105	84	12	866,9	898,6	10,7	31	694,8	11	441,1	3	207
1975	199	219,51	62	5	766,61	803,6	13,0	27	656,7	4	375	3	351
1976	60	82,2	89	7	701,86	730,7	8,2	28	484,7	5	208	2	116
1977	32	36,6	64	4	413,51	448,2	7,0	16	245,3	3	86	0	0
1978	41	87	90	7	643,01	676,2	7,5	27	425,9	6	184	1	41
1979	33,2	55,6	89	2	529,2	556,7	6,3	20	284,9	2	55,1	0	0
1980	42,2	60	118	6	692,9	716,4	6,1	28	400,5	4	114,6	1	42,2
1981	135,7	119	65	8	652	898,7	9,0	33	621,3	8	310,7	2	153,1
1982	63,5	76,4	60	5	428,5	448,6	7,5	12	257,2	4	148,1	1	
1983	82,8	88,3	72	7	528,5	548,0	7,6	16	348,8	5	185,5	1	82,8
1984	26,3	44,9	112	4	579,9	599,7	5,4	23	323,6	4	75,4	0	0
1985	70	127,8	70	4	593,3	599,7	8,6	23	434,3	3	170,9	3	170,9
1986	23,3	29,6	71	2	359,6	377,2	5,3	14	177,2	2	44,9	0	0
1987	59,8	71,8	90	4	497,3	520,3	5,8	15	249,1	4	127	1	59,8
1988	48,3	74,2	83	8	610,2	632,2	7,6	22	399,8	7	221,5	1	48,3
1989	86,9	104,2	70	8	617	636,6	9,1	23	465,0	8	290,6	1	86,9
1990	29,1	46	76	2	361,4	376,9	5,0	12	174,4	2	56,7	0	0
1991	52,6	129,1	86	9	707,2	733,3	8,5	28	495,7	2	219,6	1	52,6
1992	36,8	53,4	74	4	471,5	497,1	6,7	16	284,5	2	126,4	0	0
1993	40,9	82,2	96	7	657,5	675,5	7,0	24	431,2	3	146,4	0	0
1994	37,5	55	66	3	362,3	384,1	5,8	13	191,9	1	84,9	0	0
1995	60,1	74,1	87	5	647,1	667,5	7,7	21	425,7	5	212,2	2	104,7
1996	44	83,9	98	7	767,4	787,4	8,0	30	503,8	3	147	1	44
1997	33,7	48,9	85	7	598,2	621,5	7,3	25	394,6	2	111,9	0	0
1998	36,1	65,6	83	5	634,8	661,8	8,0	26	425,7	2	124,3	0	0
1999	42,6	51	91	5	527	543,8	6,0	18	299,3	1	91,3	0	0
2000	53,9	81,1	77	4	501,2	524,7	6,8	17	302,2	2	115,1	1	53,9
2001	54,2	78	85	6	608,5	639,5	7,5	22	379,8	2	122,8	1	54,2
2002	86,5	106,9	78	9	641,1	659,7	8,5	20	439,4	2	230,3	1	86,5
2003	37,2	71,6	74	2	433,9	461,7	6,2	17	251,7	1	63,6	0	0
2004	47,6	67,1	80	4	486	508,8	6,4	16	271,5	2	80,6	1	47,6
2005	32,4	55,4	89	5	603	621,1	7,0	26	390,3	2	144,3	0	0
2006	44,1	66,6	91	6	624,2	642,5	7,1	21	393,7	1	154,4	1	44,1
2007	24,6	33,8	74	2	393,6	410,6	5,5	14	202,1	1	47,8	0	0
2008	73,5	205,7	97	9	802,3	821,1	8,5	29	561,8	3	259,6	3	183,8
2009	58,2	58,2	66	5	490,4	524,0	7,9	20	333,3	3	147,1	1	58,2
2010	53,3	101,2	91	9	782,2	807,9	8,9	30	543,9	3	240,6	1	53,3
2011	21,8	38,3	55	2	284,1	308,0	5,6	10	135,6	0	0	0	0
2012	30	57,4	82	2	527,3	545,9	6,7	22	301,1	1	56,3	0	0
2013	29,1	53	81	7	589,9	609,2	7,5	22	385,6	0	0	0	0
2014	37	69,8	78	8	640,7	657,8	8,4	29	497,6	4	243,4	0	0
2015	16,5	30,7	70	0	304,1	324,4	4,6	10	132,6	0	0	0	0
2016	39	90,2	86	4	530,4	553,3	6,4	15	279,2	3	133,7	0	0
2017	43,3	70,3	78	6	525,1	542,7	7,0	21	340,3	3	152,4	1	43,3
2018	50,3	80,4	74	6	560,8	587,5	7,9	24	400,9	3	149	1	50,3
2019	43,1	76,7	80	5	487,9	504,6	6,3	16	278,4	1	124,7	1	43,1
2020	39,88	55,99	65	2	428,37	445,0	6,8	17	241,3	1	64,88	0	0
2021	33	43,42	86	5	554,1	579,7	6,7	19	305,5	1	109,02	0	0
2022	36,2	43,5	73	1	348,4	374,3	5,1	11	147,9	1	36,2	0	0
1961-1990	61,0	78,1	81,2	5,6	586,4	619,3	7,6	22,6	395,1	4,8	177,5	1,2	78,5
1991-2020	43,3	73,1	80,6	5,2	553,9	575,7	7,1	20,6	350,5	2,0	126,5	0,6	30,7

Річна сума опадів (RR) незалежно від їх інтенсивності у середньому за весь період складає 575 мм (рис. 3.1) та коливається від 308 мм (2011 р.) до 898 мм (1981 р.). Цей індекс впродовж періоду дослідження поступово знижувався та лінійний тренд виявився від'ємним.

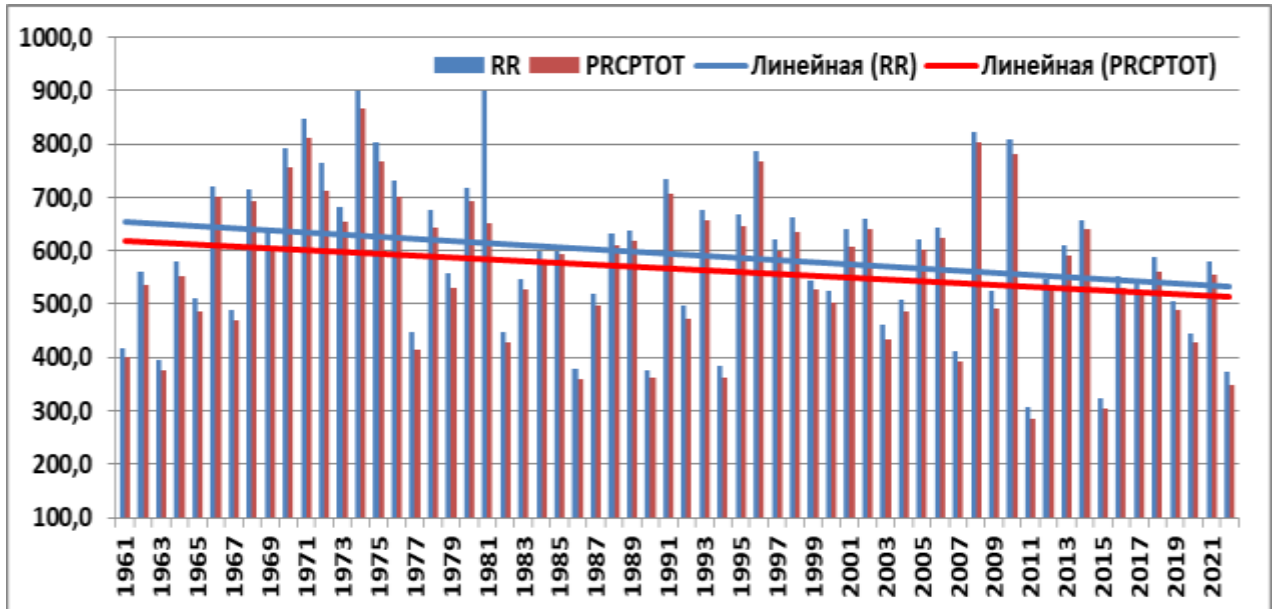


Рисунок 3.1 - Значення індексів RR (мм) та PRCPTOT (мм) на ст. Могилів-Подільський 1961 по 2022 рр.

Річна сума опадів під час вологих днів (PRCPTOT), тобто сума опадів у «вологі дні» (wet days) коли кількість опадів становила ≥ 1 мм, також характеризується від'ємним трендом, а значення індексів RR та PRCPTOT суттєво не відрізняються. Так, середнє значення PRCPTOT за період дещо менше ніж RR та складає 554 мм коливаючись від 284 до 867 мм. Міжрічна динаміка обох індексів повністю подібна, та обидва індекси у 1991-2020 рр. зменшилися у порівнянні з попереднім періодом.

В результаті розрахунку індексу R1mm виявлено, що в середньому кожен рік спостерігається 80 вологих днів (рис. 3.2), а їх мінімальна кількість була у 1961 та 2011 рр. (54 та 55 днів), а максимальна у 1980 (118 днів).

Впродовж періоду дослідження виявлений слабкий від’ємний тренд у кількості «вологих днів».

Далі було залучено до аналізу індекс R20mm, тобто кількість днів з опадами з інтенсивністю 20 мм за добу. Впродовж періоду дослідження індекс R20mm продемонстрував від’ємний тренд, а основні максимуми були у 1971-1974 рр., коли значення цього індексу становило 8-10 днів на рік.

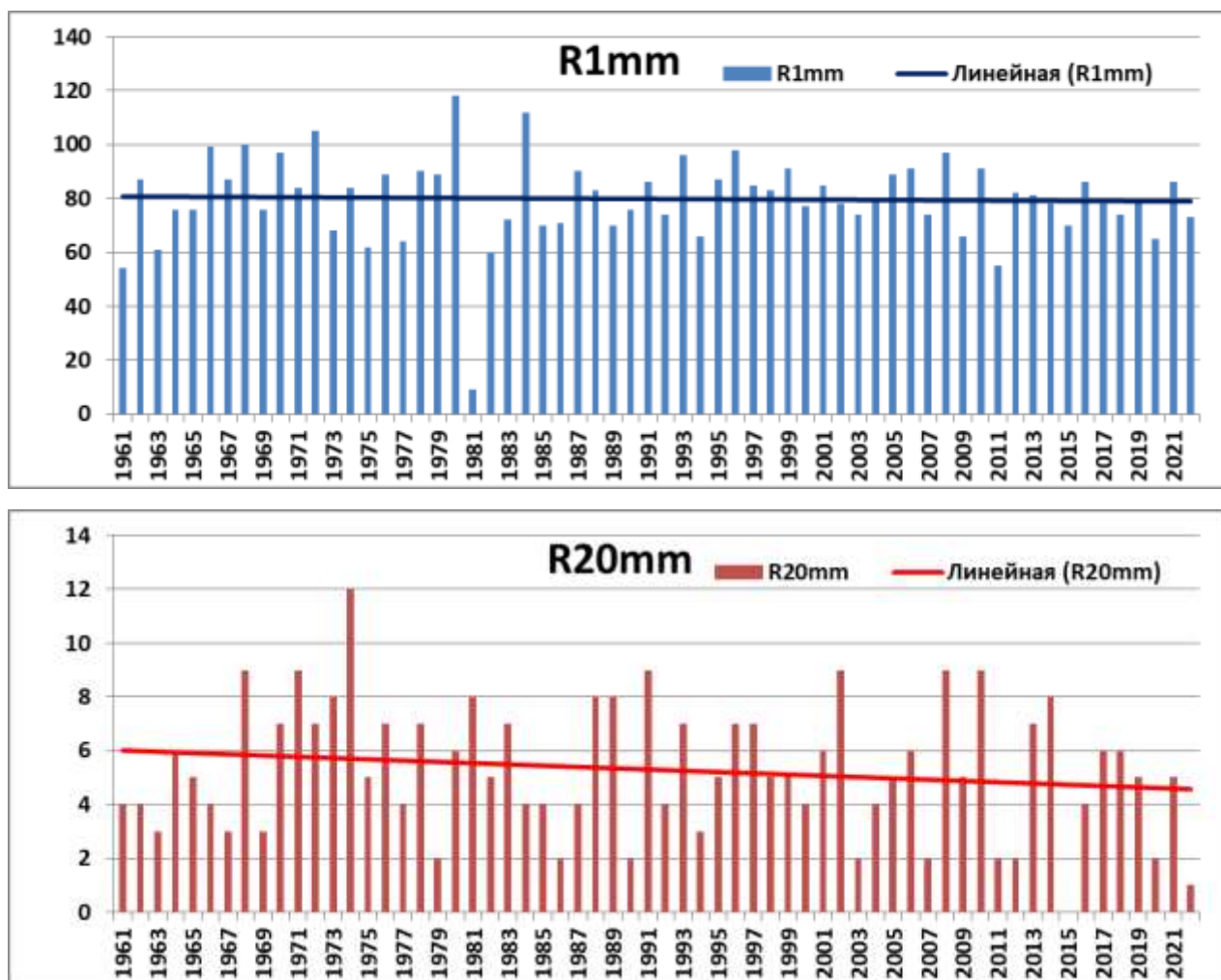


Рисунок 3.2 - Значення індексів R1mm і R20mm (к.днів) на ст. Могилів-Подільський 1961 по 2022 рр.

За результатами розрахунку індексу SDII виявлено (рис. 3.3), що відношення річної сумарної кількості опадів до кількості вологих днів, коли $RR_{ij} \geq 1$ впродовж періоду дослідження зменшується, на що вказує слабкий

від'ємний лінійний тренд. Середнє значення цього індексу складає 7,5 мм/к. днів, а найвище значення спостерігалось у 1975 р. (13 мм/к. днів), також максимуми визначалися у 1971, 1973 та 1974 рр. (10,1-10,7 мм/к. днів). Цей індекс суттєво знизився після 2014 р. та не перевищував 8 мм/к. днів.

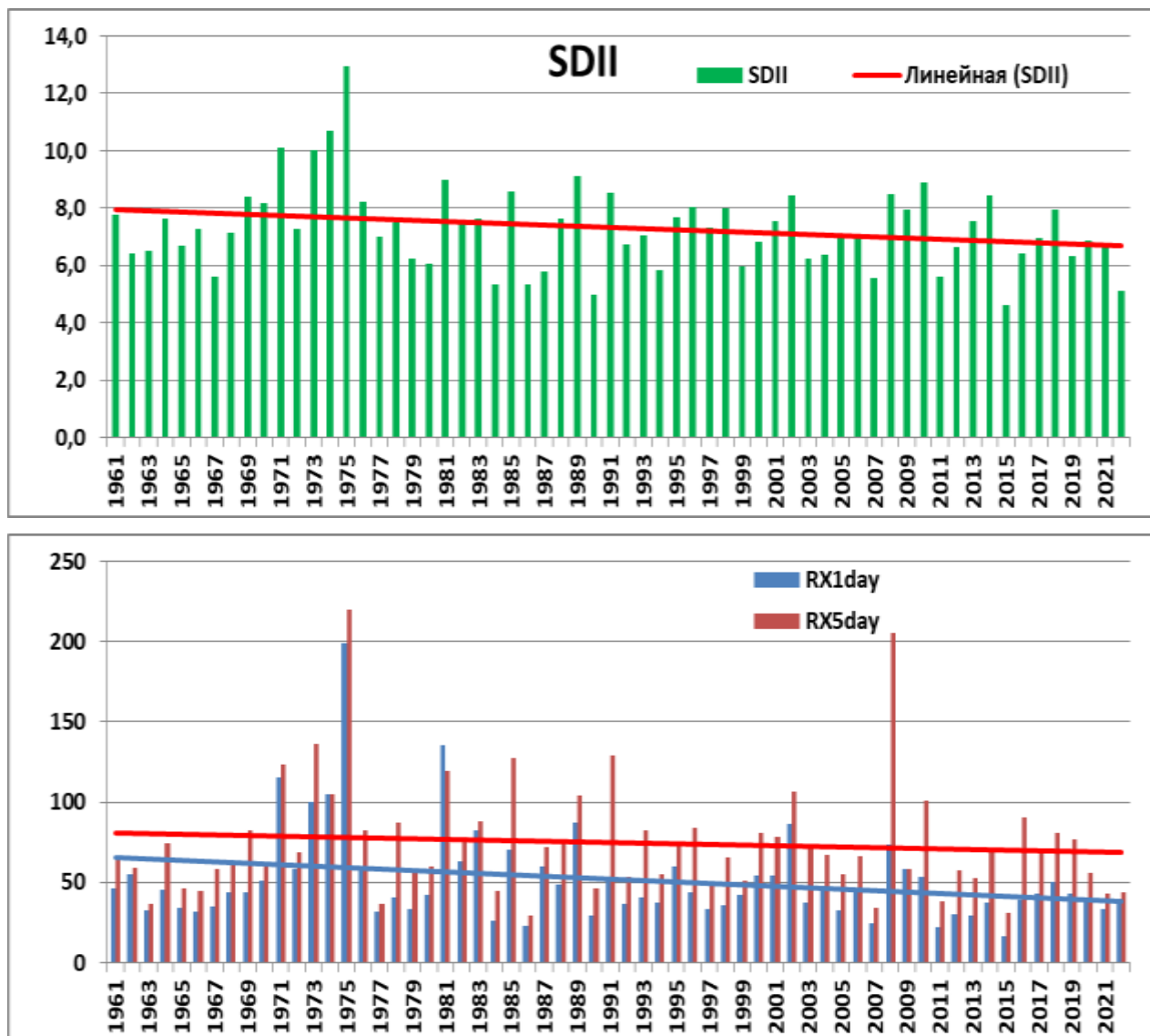


Рисунок 3.3 - Значення індексів SDII (мм/к.днів), RX1day і RX5day (мм) на ст. Могилів-Подільський 1961 по 2022 рр.

На графіку з індексами RX1day і RX5day (рис. 3.3) видно, що максимальна кількість опадів за 1 день та максимальна кількість опадів за 5 днів мають майже однаковий хід тому ми спостерігаємо два паралельних

слабких від'ємних тренди. Найбільші значення індексу RX1day спостерігалися 1975 році (199 мм) та у 1981 (135 мм) , а найбільші значення індексу RX5day також припадали на 1975 (219 мм) та 2008 (205 мм).

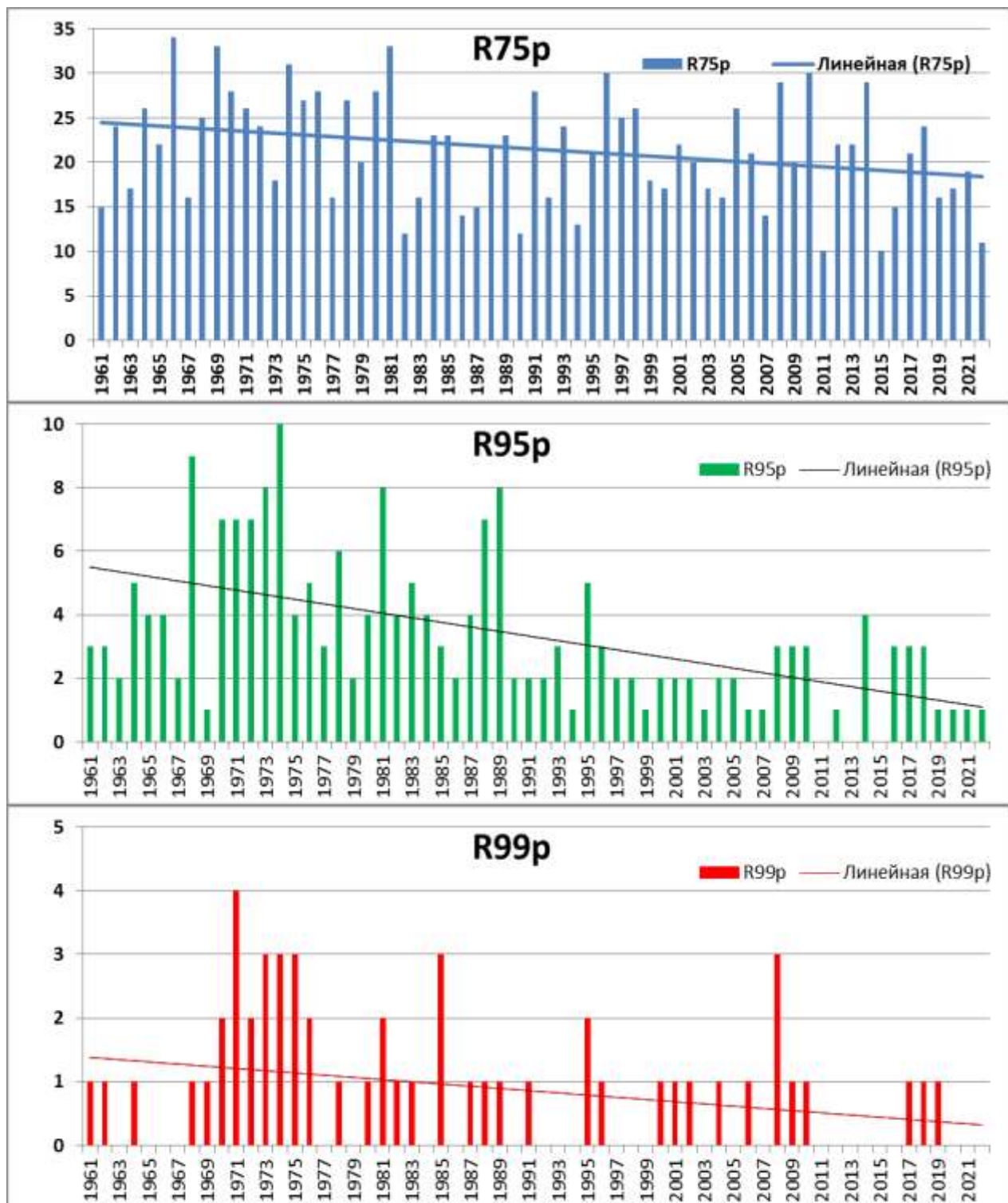


Рисунок 3.4 - Значення індексів R75p, R95p та R99p (к.днів), на ст. Могилів-Подільський 1961 по 2022 рр.

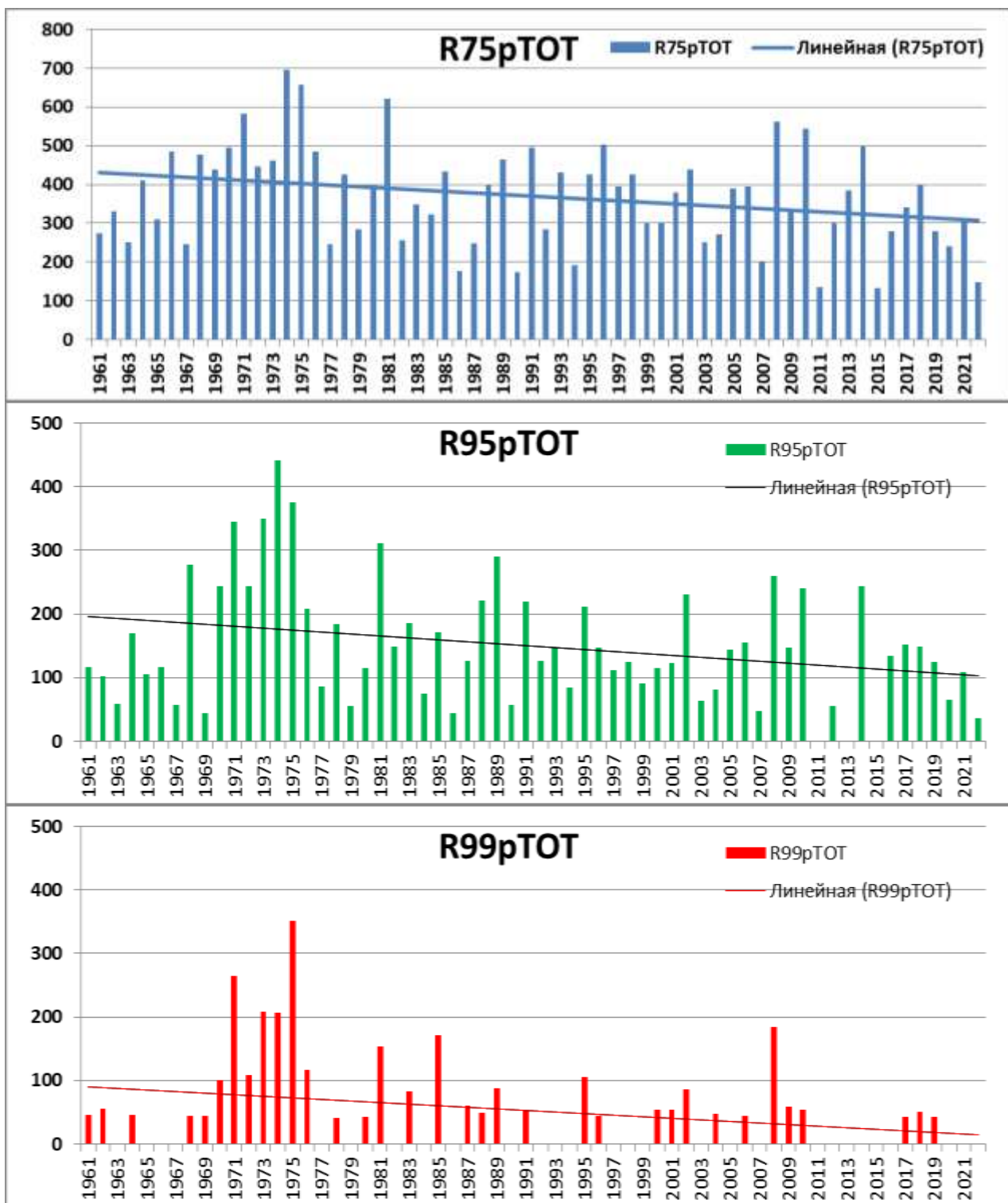


Рисунок 3.5 - Значення індексів R75pTOT, R95pTOT та R99pTOT (мм), на ст. Могилів-Подільський 1961 по 2022 рр.

Розрахунок кількості днів, з сумаю опадів більше 75, 95 та 99 процентіля (рис. 3.4) та суми опадів у ці дні (рис. 3.5) виявив значні від'ємні тренди, особливо для R95p та R95pTOT.

ВИСНОВКИ

В результаті виконаного дослідження, слід відмітити, що врахування відомостей про динаміку опадоутворення та тренди кліматичних індексів на станції Могилів-Подільський за 60 років можна застосувати для оновлення кліматичних описів пункту дослідження та зробити такі висновки:

1. Метеорологічна станція Могилів-Подільський розташована в зоні переходу між помірним континентальним і морським кліматом. Середньорічна сума опадів у 1979-2022 рр. за реаналізом ERA5 показала від'ємний тренд при додатному тренді температури повітря. Починаючи з 2007 р. не було жодного року з від'ємною аномалією температури повітря, а з 2015 р. відсутні роки з додатною аномалією суми опадів.

2. Виявлено, що впродовж періоду 1961-2021 рр. найбільш активне зниження кількості днів з опадами на ст. Могилів-Подільський спостерігалось у 1981-1990 та 2011-2020 рр., а найбільш активним опадоутворенням характеризувалися 70-ті роки ХХ століття.

3. В середньому за 60 років річна сума опадів становила 599,4 мм, а порівняння двох кліматичних періодів виявило суттєве зниження активності опадоутворення – від 623 до 576 мм на рік у 1961-1990 та 1991-2020 рр.

4. Виявлений, що активне зниження середньомісячної суми опадів спостерігалось з листопаду по березень. У квітні та серпні лінійний тренд практично рівний, а у вересні та жовтні – незначно додатний.

5. Річна сума опадів та річна сума опадів під час вологих днів характеризувалися від'ємним трендом. Також від'ємний тренд виявився для індексів R1mm та R20mm, причому зниження R20mm відбувалося активніше ніж R1mm. Максимальна кількість опадів за 1 день та максимальна кількість опадів за 5 днів мають майже однаковий хід та характеризуються слабкими від'ємними трендами. Індекси R75p, R95p та R99p мають наявні від'ємні тренди.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Балабух В.О. Мінливість дуже сильних дощів і сильних злив в Україні. Наукові праці Українського науково-дослідного гідрометеорологічного інституту, 2008. Вип. 257. С. 61-72.

2. Ветушинська О.В., Семергей-Чумаченко А. Б. Динаміка опадоутворення на ст. Могилів-Подільський // Матеріали Студентської наукової конференції ОДЕКУ, 11-18 травня 2022. Одеса: ОДЕКУ, 2022, С. 473-475.

3. Клімат України Під ред. В.М. Ліпінського, В.А. Дячука, В.М. Бабіченко, Київ: Вид-во Раєвського, 2003. 343 с.

4. Кліматичний кадастр України (стандартні кліматичні норми за період 1961–1990 рр.) / Державна гідрометеорологічна служба та ін. УНДГМІ–ЦГО, Київ, 2006. [Електронний ресурс]

5. Паламарчук Л.В., Гнатюк Н.В., Краковська С.В., Шедеменко І.П., Дюкель Г.О. Сезонні зміни клімату в Україні в ХХІ столітті. Наукові праці Українського науково-дослідного гідрометеорологічного інституту. 2010. Вип. 259. С.104-120.

6. Семергей-Чумаченко А. Б., Слободяник К. Л. Просторово-часовий розподіл сильних опадів над Україною протягом 1979-2019 рр. за даними реаналізу ERA5 // Український гідрометеорологічний журнал, 2020, № 26.

7. Семергей-Чумаченко А. Б., Озимко Р. Р. Розподіл стихійних дощів в Закарпатській області за останнє двадцятиріччя (1999-2018 рр.) Український географічний журнал, 2019, № 4. С.11-17.

8. Стихійні метеорологічні явища на території України за останнє двадцятиріччя (1986-2005 рр.) / За ред. В.М. Ліпінського, В.І. Осадчого, В.М. Бабіченко. Київ: Ніка- Центр, 2006. 312 с.

9. Шевченко О. Г. Оцінка вразливості до зміни клімату: Україна. Кліматичний форум східного партнерства (КФСП) та Робоча група громадських організацій зі зміни клімату (РГ НУО ЗК). 2014.

10. Хохлов В. М., Боровська Г. О., Уманська О. В., Тенетко М. С. Зміна погодних умов на території України в умовах зміни клімату. Український гідрометеорологічний журнал. 2016. № 17. С. 31-37.

11. <https://uk.wikipedia.org/wiki/Могилів-Подільський> (дата звернення 10.11.2023 р.).

12. Archive of meteorological data. Retrieved from: <https://meteopost.com/weather/archive/> (дата звернення: 31.10.2023).

13. Bohushenko A., Khomenko I., Stepanenko S. Climate variability, trends and extreme events in Ukraine. EGU General Assembly 2023, <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu23-12175>

14. Borovska Halyna, Khokhlov Valeriy. Climate data for Odesa, Ukraine in 2021–2050 based on EURO-CORDEX simulations // Geoscience Data Journal, 2023, 00. p. 1-12. <https://doi.org/10.1002/gdj3.197>

15. Climate Change Mohyliv-Podilskyi, Ukraine, https://www.meteoblue.com/en/weather/historyclimate/change/mohyliv-podilskyi_ukraine_700918?month=12 (дата звернення 22.11.2023 р.)

16. <https://climate-scenarios.canada.ca/?page=climdex-indices> (дата звернення: 25.05.2023).

17. Climate Change. The Physical Science Basis Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the IPCC 2007 Hardback; 978 0521 70596-7.

18. Christidis N., Stott P. A. Attribution analyses of temperature extremes using a set of 16 indices. Weather and Climate Extremes. 2016. Vol. 14. P. 24-35.

19. Copernicus: European State of the Climate 2022 Unprecedented extreme heat and widespread drought mark European climate in 2022. Retrieved from: <https://climate.copernicus.eu/copernicus-european-state-climate-2022-unprecedented-extreme-heat-and-widespread-drought-mark>.

20. Donat et al. Updated analyses of temperature and precipitation extreme indices since the beginning of the twentieth century: the HadEX2 dataset. *Journal of Geophysical Research*. 2013. Vol. 118. P. 2098-2118.

21. Emilio Palacios-Hernández, Jorge Manuel Montes-Aréchiga, Luis Brito-Castillo, Laura Carrillo, Sergio Julián-Caballero, David Avalos-Cueva. Interannual Variability in the Coastal Zones of the Gulf of California // *Climate* 2023, 11(6), 132; <https://doi.org/10.3390/cli11060132>.

22. Impacts of Europe's changing climate – 2008 indicator-based assessment, joint EEA-JRC-WHO report, EEA report No. 4, JRC Reference Report JRC 47756.

23. Indices of extremes. <https://www.ecad.eu/indicesextremes/> (дата звернення: 25.11.2023).

24. Khomenko, I. and Tootoonchi, R.: A Study on Heavy Rainfall and Flash Floods Using Different Climate Toolboxes, EGU General Assembly 2022, Vienna, Austria, 23–27 May 2022, EGU22-12534, <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu22-12534> , 2022.

25. Klein Tank, A.M.G. Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD), European Climate Assessment & Dataset (ECA&D) project document, version 5. 2008. 39 p.

26. Klein Tank A.M.G., Wijngaard J., Engelen A. Climate of Europe; Assessment of observed daily temperature and precipitation extremes. KNMI, De Bilt, the Netherlands. 2002. 36 p.

27. Krakovska S., Palamarchuk L., Gnatiuk N., Shpytal O. Projections of air temperature and relative humidity in Ukraine regions to the middle of the 21st century based on regional climate model ensembles // *Geoinformatika*, 2018, 3(67), p. 62–77.

Додаток А

Довідка

кафедри метеорології та кліматології
на кваліфікаційну роботу магістра II курсу гр. МЗМ-22
Навчально-наукового гідрометеорологічного інституту ОДЕКУ

Ветушинської Олени Вячеславівни

Тема магістерської кваліфікаційної роботи:

«Характеристика опадоутворення на станції Могилів-Подільський»

Кваліфікаційна робота магістра робота виконана в рамках науково-дослідної роботи «Розробка та вдосконалення методів прогнозу небезпечних та стихійних метеорологічних явищ над Україною» (2020-2024 рр.) ДР № 0120U100487).

Завідувач кафедри
метеорології та кліматології



доц. Прокоф'єв О.М.