

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Навчально-науковий гідрометеорологічний
інститут
Кафедра метеорології та кліматології

Кваліфікаційна робота бакалавра

на тему: Динаміка опадоутворення у Вінниці

Виконала студентка групи МКА-19
Спеціальності 103 «Науки про Землю»

Дзінюк Діана Сергіївна
(прізвище, ім'я, по батькові студента)

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

Консультант _____ - _____

Рецензент д-р геогр. наук, професор

Польовий Анатолій Миколайович

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Навчально-науковий гідрометеорологічний інститут

Кафедра метеорології та кліматології

Рівень вищої освіти бакалавр

Спеціальність 103 «Науки про Землю»

(шифр і назва)

Освітня програма Гідрометеорологія

(назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри
метеорології та кліматології

Прокоф'єв О.М.

«08» травня 2023 року

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

студентці Дзінюк Діані Сергіївні

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Динаміка опадоутворення у Вінниці

керівник роботи Семергей-Чумаченко Аліна Борисівна, канд.геогр.наук, доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ОДЕКУ від «29» квітня 2023 року № 53 - С

2. Строк подання студентом роботи 8 червня 2023 року

3. Вихідні дані до роботи 1. Дані восьми-строкових метеорологічних спостережень на АМСЦ Вінниця. 2. Дані Кліматичного кадастру України.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Огляд літературних джерел за темою дослідження. 2. Загальна характеристика режиму опадів в Україні. 3. Характеристика сучасного режиму опадів у Вінниці у порівнянні з попереднім кліматичним періодом. 4. Визначення динаміки суми опадів та кількості днів з опадами на АМСЦ Вінниця з 1961 по 2021 рр. 5. Виявлення трендів індексів екстремальних погодних умов у Вінниці.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

Рис. 1.1 – карта кількості днів з опадами на рік в Україні у 1961-1990 рр.;

Рис. 2.1-2.2 – географічне розташування та обладнання АМСЦ Вінниця;

Рис. 2.3-2.9 – характеристика динаміки утворення опадів на АМСЦ Вінниця у 1961-2021 рр.; Рис. 3.1-3.3 – 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 08 травня 2023 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Оцінка виконання етапу	
			у %	за 4-х бальною шкалою
1.	Отримання завдання та збір вихідних даних до роботи. Ознайомлення з літературними джерелами за темою кваліфікаційної роботи бакалавра.	08.05.2023 р. – 15.05.2023 р.	90	відмінно
2.	Характеристика сучасного режиму опадів на станції Вінниця	16.05.2023 р. – 21.05.2023 р.	90	відмінно
	Рубіжна атестація	22.05.2023 р.- 26.05.2023 р.	85	добре
3.	Визначення динаміки суми опадів та кількості днів з опадами на станції Вінниця з 1961 по 2021 рр.	27.05.2023 р. - 31.05.2023 р.	90	відмінно
4.	Розрахунок індексів екстремальних погодних умов та визначення їх динаміки	1.06.2023 р. – 7.06.2023 р.	95	відмінно
5.	Узагальнення отриманих результатів. Оформлення остаточної електронної версії роботи та передача її на процедуру встановлення ступеня оригінальності, відсутності ознак плагіату.	8.06.2023 р.- 9.06.2023 р.	90	відмінно
6.	Перевірка роботи на плагіат, складення протоколу і висновку керівника. Підписання авторського договору.	10.06.2023 р.- 12.06.2023 р.	-	-
7.	Підготовка презентаційного матеріалу до публічного захисту.	-	-	-
8.	Інтегральна оцінка виконання етапів календарного плану (як середня по етапам)	-	90,0	-

Студентка  Дзінюк Д.С.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи  Семергей-Чумаченко А.Б.
(підпис) (прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ОПАДИ.....	6
1.1 Визначення та види опадів.....	6
1.2 Просторово-часовий розподіл опадів в Україні у 1961-1990 рр.....	8
2 ХАРАКТЕРИСТИКА РЕЖИМУ ОПАДІВ НА АМСЦ ВІННИЦЯ	
з 1961 ПО 2021 рр.....	10
2.1 Короткий опис географічного положення та клімату пункту дослідження...	10
2.2 Історія метеорологічних спостережень на АМСЦ Вінниця.....	12
2.3 Динаміка опадоутворення у Вінниці з 1961 по 2021 рр.....	14
3 ДИНАМІКА ІНДЕКСІВ ЕКСТРЕМАЛЬНИХ ОПАДІВ.....	27
3.1 Глобальні зміни клімату та індекси екстремальних погодних умов	27
3.2 Аналіз динаміки індексів екстремальних опадів у Вінниці	
з 1961-2021 рр.....	30
ВИСНОВКИ.....	37
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	38

ВСТУП

Опади відносяться до важливої характеристики зволоження. Вони є головним джерелом поновлення водних запасів і вологи у ґрунті. Опадами називають воду в рідкому або твердому стані, що випадає з хмар або осідає з повітря на поверхню землі і/або на різні предмети (роса, іній, паморозь тощо). Опади - це одна з ланок, яка відповідає за вологообіг на земній поверхні [13]. Важливі елементи кругообігу води в природі - це випаровування і конденсація.

Визначальними характеристиками клімату є середньомісячна, сезонна, річна, багаторічна кількість опадів, а також їх розподіл по всій землі, повторюваність, річний і щоденний хід й інтенсивність. Всі ці характеристики мають величезне значення для всіх галузей народного господарства. Так, наприклад, найбільш залежними від погодних умов являються сільське та комунальне господарство, енергетичний комплекс, будівництво та всі види транспорту тощо. Сильний дощ може визвати повінь, затоплення посівів і спричинити величезний збиток сільському господарству. Особливо небезпечними являються явища погоди, що пов'язані з опадами, які досягають критеріїв небезпечних та стихійних явищ погоди.

За останні десятиріччя сучасні зміни клімату наявно проявляються через суттєві зміни режим опадів в різних регіонах світу [2, 3, 7-9, 14, 16, 18-21]. Опади значно впливають на умови життя та господарську діяльність [6, 13], а сильні опади приносять збитки сільському господарству та щороку в багатьох регіонах світу викликають надзвичайні ситуації метеорологічного характеру.

Метою кваліфікаційної роботи бакалавра є визначення сучасного режиму та динаміки утворення опадів АМСЦ Вінниця з 1961 по 2021 рр. за даними стандартних метеорологічних спостережень з ресурсу [15].

Об'єкт дослідження: опади на станції Вінниця.

Предмет дослідження – кількість днів з опадами та суми опадів на станції Вінниця.

Методи дослідження – просторово-часове узагальнення даних.

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

У вступі визначаються мета та завдання роботи.

Перший розділ складається із загальних відомостей щодо опадів та кліматичного режиму опадоутворення над Україною.

Другий розділ присвячений визначенню показників сучасного режиму опадів на АМСЦ Вінниця та встановленню динаміки суми опадів та кількості днів з опадами у пункті дослідження з 1961 по 2021 рр.

В третьому розділі визначена міжрічна динаміка кліматичних індексів RR, R1mm, R10mm, R20mm, PRCPTOT, SDII, CWD, CDD, RX1day та RX5day за даними метеорологічних спостережень у Вінниці з 1961 по 2021 рр.

У висновках представлені результати виконаної роботи.

Перелік посилань складається з 27 літературних джерел.

1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ОПАДИ

1.1 Визначення та види опадів

Опадами називають воду в рідкому або твердому стані, що випадає з хмар або осідає з повітря на поверхню землі і/або на різні предмети (роса, іній, паморозь тощо). Опади - це одна з ланок, яка відповідає за вологообіг на земній поверхні [13]. Важливі елементи кругообігу води в природі - це випаровування і конденсація. Відповідно генетичної класифікації опадів є такі види:

1. Обложні опади – це тривалі й розповсюдженні на великі площі опади середньої інтенсивності, які випадають із хмар системи у вигляді дощу або снігу, іноді мокрою.

2. Зливові опади – опади, які випадають з купчасто-дощових хмар у вигляді дощу, снігу, крупи, граду. Вони раптово починаються й закінчуються. Інтенсивність цих опадів різко змінюється за часом. Зливові опади часто супроводжуються грозами та шквалами.

3. Мрячні опади – це опади, які випадають з густих шаруватих і шарувато- купчастих хмар. Вони утворюються у стійке стратифікованих повітряних масах. При від’ємних низьких температурах такі хмари дають опади у формі льодяних кристалів.

Опади характеризуються двома величинами: кількістю й інтенсивністю. Кількість опадів вимірюють товщиною шару води в міліметрах, який міг би утворюватися після випадіння опадів на горизонтальну непроникливу поверхню. Один міліметр шару води на поверхні площею 1 м^2 відповідає масі опадів 1 кг. Інтенсивністю опадів називають кількість опадів, що випали за одиницю часу (наприклад, 1 годину або 12 годин) [6].

Величина шару опадів вимірюється в міліметрах. Іноді визначають кількість опадів, що випали при сильній зливі або при проходженні

атмосферного фронту.

Крім кількісної оцінки існує візуальна оцінка інтенсивності опадів, яка проводиться за погіршенням видимості в явищах.

В якості характеристик опадів використовуються звичайно два критерії: вид та інтенсивність. Вид опадів завжди визначається візуально, а одиницею вимірювання їх інтенсивності є величина шару опадів, що випадають за часу (як правило, за 1 год. або добу).

Значень видимості із врахуванням інтенсивності явища, приведених в [6], слід дотримуватись при консультації споживачів про фактичну і очікувану погоду. Нижче наводяться небезпечні стихійні метеорологічні явища, які обумовлюють природні надзвичайні ситуації (НС):

- сильний дощ, (сильний мокрий сніг) – кількість опадів 50 мм і більше за 12 год. і менше; в гірських, селевих, лавино- та зливо небезпечних районах – 30 мм і більше за 12 год. і менше – рівень СМЯ II.
- сильні зливи – кількість опадів 30 мм більше за 1 год і менше – рівень СМЯ II.

Випадіння сильних дощів характеризується великою плямистістю. У 63% випадків вони спостерігаються на території однієї області і у 27% - на території 2-х областей. Сильні дощі мають яскраво виражений річний хід: найбільша їх повторюваність (біля 70%) припадає на червень-серпень. У гірських районах сильні дощі можуть викликати підйом ґрунтових вод і рівня води в ріках та водосховищах. Не слід забувати, що сильний дощ звичайно випадає при сильних грозах, які супроводжуються градом, шквалами та іноді смерчами.

Сильні тривалі дощі – кількість опадів 100 мм більше за 12 годин, але менше за 48 годин (за винятком зливових районів) – рівень СМЯ II, також спричиняють значні неприємності, тим більше, що вони охоплюють територію декількох областей одночасно.

Надзвичайний дощ, надзвичайний мокрий сніг – кількість опадів

більше 80 мм менше 12 годин – рівень СМЯ ІІІ.

Надзвичайна злива – кількість опадів більше або дорівнює 50 мм менше 1 години – рівень СМЯ ІІІ.

Надзвичайні тривалі дощі – кількість опадів більше або дорівнює 150 мм більше 12 годин, але менше 48 годин – рівень СМЯ ІІІ. [6]

Хмари вертикального розвитку здатні надати сильні та інтенсивні опади. Особливо з цього боку викликають найбільший інтерес купчасто-дощові хмари, оскільки з ними пов'язані інтенсивні зливи та небезпечні конвективні атмосферні явища - шквали, грози, град, смерч.

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

Основною закономірністю просторового розподілу опадів в Україні, зумовленою загальними циркуляційними факторами, є їх зменшення з півночі і північного заходу у напрямі на південь і південний схід. Такий розподіл властивий для рівнинної території. Рельєф, що визначає регіональні особливості циркуляції, вносить істотні зміни у поле опадів.

Південна частина Степу (Одеська, Миколаївська, Херсонська області і рівнинна частина Криму) відноситься до районів недостатнього зволоження. Тут відмічається зменшення опадів у напрямі на південь (рис. 1.1). На узбережжях Чорного і Азовського морів, у Присивашші опадів випадає ще менше (380-400 мм), що пов'язано з впливом бризової циркуляції.

Велике практичне значення має інформація про добовий максимум опадів, яка використовується у гідрологічних розрахунках для проектування споруд і приладів, для вирішення багатьох завдань господарського комплексу країни, а також для проведення природоохоронних заходів.

Територія України відноситься до зливонебезпечних районів, особливо Українські Карпати і Кримські гори, де екстремальні опади, які тривають протягом декількох діб, можуть призвести до утворення паводків, селевих потоків, підтоплення. Аналізуючи розподіл добового максимуму опадів на

рівнинній території, де середній добовий максимум за рік змінюється у межах 33-48 мм, не виявлено будь-якої закономірності. В окремі роки він характеризується надто значною плямистістю (від 25 до 220 мм). Істотну роль у розподілі добового максимуму опадів відіграє орографія. В Українських Карпатах і Кримських горах спостерігається збільшення добового максимуму опадів з висотою місцевості. У Кримських горах він за рік становить 82 мм (Ай-Петрі), в Українських Карпатах дещо менший — 61 мм (Плай), 57 мм (Пожежевська).

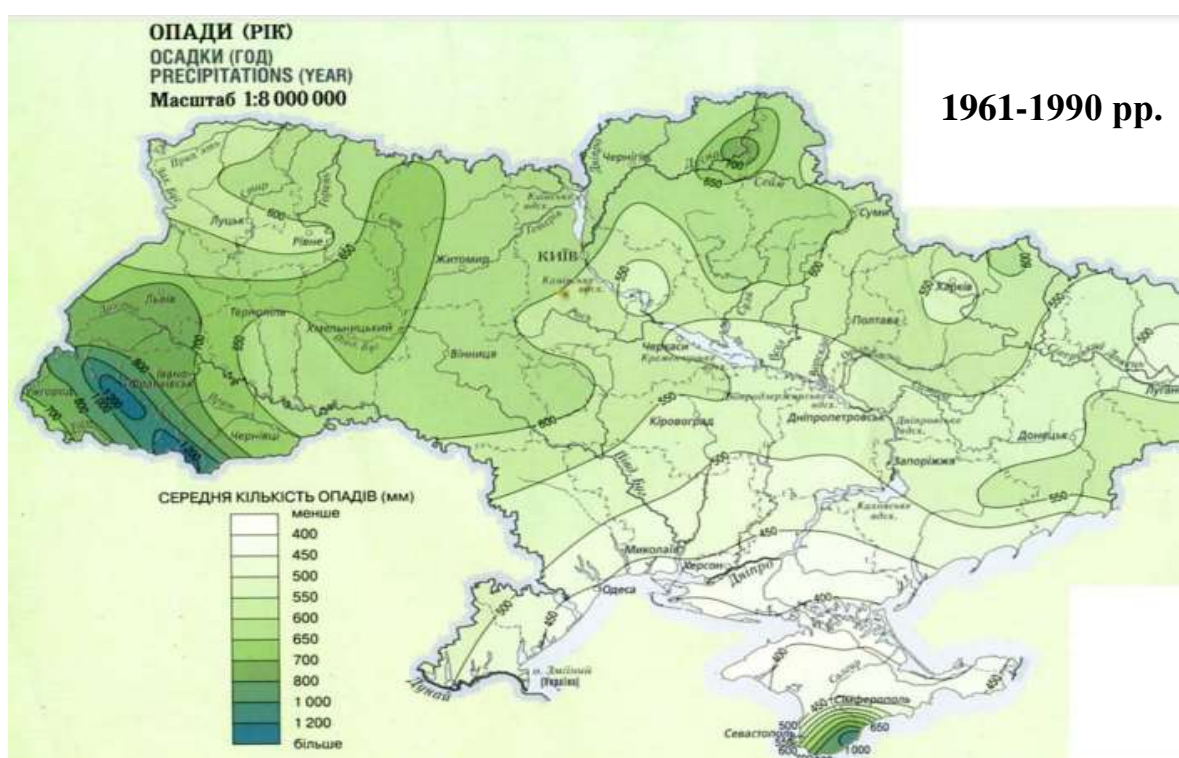


Рисунок 1.1 - Середня кількість опадів за рік (мм) в Україні [4]

Внаслідок значної плямистості опадів добовий максимум не завжди може бути відмічений існуючою мережею метеорологічних станцій і постів, завдати значних збитків життєдіяльності людини і навіть призвести до катастрофічних наслідків. Найчастіше найбільший добовий максимум опадів припадає на літні місяці (липень 22 %) [5], але в окремі роки він може відмічатися взимку (1 %) та навесні (7-10 %).

2 ХАРАКТЕРИСТИКА РЕЖИМУ ОПАДІВ НА АМСЦ ВІННИЦЯ З 1961 ПО 2021 рр.

2.1 Короткий опис географічного положення та клімату пункту дослідження

Вінниця лежить за 200 км від столиці України. Відстань залізницею до Києва становить 221 км, автошляхами — понад 265 км. До столиці можна дістатися швидким поїздом за 2 години, простим — за 2,5-3 години, автомобілем — за 3,5—4 години (автошлях Е50, із котрим збігаються Е583 та Р17) [27].

Місто стоїть на річці Південний Буг, яка перетинає Вінницю з півночі на південь. У місті нараховують ще 64 малих річок, загальна протяжність яких у сім разів перевищує довжину Південного Бугу в межах Вінниці.

Місто розташоване у смузі лісостепу, у межах Волинсько-Подільського кристалічного масиву, прикритого четвертинними відкладеннями пісків, глин, вапняків і мергелів. Перемішуючись із залишками рослинного світу, вони утворили родючі чорноземні ґрунти. Основа цього масиву складається з найдавніших порід — цінних будівельних матеріалів: гранітів, гнейсів, сієнітів, що в деяких місцях виходять на поверхню.

28 січня 2022 року Вінницька міська рада проголосила Зелений курс Вінниці шляхом підписання Декларації і затвердження Дорожньої карти заходів для впровадження його принципів та підходів в межах громади. Громада взяла на себе зобов'язання з досягнення зеленого переходу і кліматичної нейтральності та визначила завдання, відповідальних і терміни реалізації у таких сферах: запобігання змінам клімату та адаптація до них, стала та розумна мобільність, біорізноманіття, відходи, промислова політика, стале харчування і зелене сільське господарство, енергетика та енергоефективність, нульове забруднення.



Рисунок 2.1 - Географічне розташування, аерофотозйомка та сучасний герб м. Вінниця [27]

Таблиця 2.1 – Кліматичні показники АМСЦ Вінниця [27]

Показник	Клімат Вінниці												[сховати]
	Січ.	Лют.	Бер.	Квіт.	Трав.	Черв.	Лип.	Серп.	Вер.	Жовт.	Лист.	Груд.	Рік
Абсолютний максимум, °С	11,6	17,3	22,3	29,4	32,2	35,0	37,8	36,5	31,5	28,6	19,9	15,4	37,8
Середній максимум, °С	-1,4	-0,3	5,2	13,4	20,1	22,7	24,8	24,3	18,7	12,4	4,7	-0,4	12,0
Середня температура, °С	-4,1	-3,3	1,2	8,3	14,5	17,4	19,2	18,6	13,4	7,8	1,7	-2,8	7,7
Середній мінімум, °С	-6,7	-6,1	-2,2	3,7	9,1	12,3	14,1	13,4	8,9	4,0	-0,8	-5,2	3,7
Абсолютний мінімум, °С	-35,5	-33,6	-24,2	-12,7	-2,8	2,5	5,2	1,5	-4,5	-11,4	-24,6	-27,2	-35,5
Годин сонячного сяйва	58,9	70,6	114,7	171,0	248,0	255,0	266,6	260,4	195,0	133,3	57,0	40,3	1870,8
Норма опадів, мм	29	28	30	45	50	94	83	66	64	30	37	35	591
Днів з дощем	7	6	9	13	14	15	15	11	12	11	12	9	134
Днів зі снігом	13	12	8	1	0	0	0	0	0	1	5	10	50
Вологість повітря, %	85	83	78	68	66	72	72	71	76	80	86	88	77,1

Місто розташоване в помірному кліматичному поясі. Для міста властиве тривале неспекотне, досить вологе літо та порівняно коротка м'яка зима. Середня температура січня $-5,8$ °С, липня $+18,3$ °С. Річна кількість опадів 638 мм. 3 несприятливих кліматичних явищ на території міста спостерігаються

хуртовини (від 6 до 20 днів на рік), тумани в холодний період року (37-60 днів), грози з градом (3-5 днів). Тривалість світлового дня коливається від 8 до 16,5 годин.

2.2 Історія метеорологічних спостережень на АМСЦ Вінниця

Метеорологічні спостереження в місті Вінниця розпочате в 1891 році за програмою дощомірного поста, а за програмою станції II розряду — при реальному училищі в 1908 р. Період роботи станції: 1908-1915 рр. з перервами у 1922-1941 і 1944-1964 рр. Після закриття станцій 10 квітня 1964 р. основні метеорологічні спостереження передані раніше існуючої АМСЦ Вінниця (що проводила метеоспостереження виключно для оперативних цілей), де триває дотепер. У 1908-1915 та 1922-1941 рр. станція працювала за програмою II розряду; при відновленні в 1944 році їй присвоєно шістнадцятий тип [1].

Станція кілька разів переносилася, при цьому змінювалися її назва, координати і висота. При поновленні спостережень з травня 1922 року станція перебувала при Подільському відділенні УКРМЕТ, в 0,5 км на північний схід від попереднього місця (1915 р), 1 січня 1927 року спостереження передані станції в селі Шереметка, нині село Пирогова, яка перебувала в 4,5 км до заходу-північно-заходу від цієї станції і носило назву по найменуванню села Шереметка. Відомо, що спостереження за опадами в селі Шереметці розпочаті ще в 1885 році і що по 1901 рік дощомір без захисту знаходився на висоті 2,8 м. 28 січня 1940 року станцію знову перенесено на 4,2 км на північний схід, на західну околицю міста Вінниці, назва її стала «Гідрометеостанція Вінниця», а з 1947 року – «ГМБ Вінниця».

З 15 квітня 1954 року, на базі діючої станції, була відкрита авіаційна метеорологічна станція першого розряду. Починаючи з січня 1947 року станцію було перетворено в гідрометеобюро та метеорологічні спостереження проводилися за програмою третього розряду; на АМСГ спостереження

проводиться знову за програмою другого розряду. Після передачі основних метеорологічних спостережень з 10 квітня 1964 на АМСГ, розташованої в 9 км на схід від попереднього місця, станція стала називатися «Вінниця АМСГ».



Рисунок 2.2 - Світлини метеорологічного майданчика та терміналу міжнародного аеропорту Вінниця

У 1926 р. станція мала англійську будку, термограф, флюгер з двома дошками, встановлений на водонапірній вежі висотою 45 м, на відстані 0,5 км від станції; вітер в ранковий час спостерігали у вежі, днем — зі станції в бінокль, а ввечері візуально. У 1935 р. встановлено пльовіограф, в 1940 р. геліограф Величко. 22 травня 1947 р. — відновлені спостереження за термографом та гідрографом. 27 вересня 1949 року встановлено ожеледний верстат. У 1950 році розпочато спостереження за геліографом універсальної моделі, в червні цього року — по витяжним термометрам, а з 27 вересня по опадоміру Третьякова, дані якого прийнято за основні з 1 січня 1953, а дощомір знятий. 9 жовтня 1957 року встановлено флюгер з важкою дошкою. Одночасно з описуваної станції, в період 1923-1929 рр., в іншій частині Вінниці на Замості працював метеорологічний пост, а з листопада 1926 року, в 3,5 км на схід станція другого розряду при агротехнікумі.

З 24 лютого 2022 року метеорологічна станція тимчасово призупинила свою роботу.

2.3 Динаміка опадоутворення у Вінниці з 1961 по 2021 рр.

Для характеристики режиму опадів на АМСЦ Вінниця обраний період 1961-2021 рр., а у якості вихідної інформації залучені дані метеорологічних спостережень [15] з 1 січня 1961 по 31 грудня 2021 рр.

Вінниця відноситься до територій з континентальним типом річного ходу опадів, при якому сума опадів теплого періоду переважає над сумою опадів холодного періоду. Річний хід опадів має свої особливості. Відрізняється за значеннями максимуму та мінімуму, за амплітудою коливання та мінливістю у межах року. У лютому та березні випадає найменша кількість опадів (28-33 мм) [4, 27]. У липні та серпні випадає максимальна за рік кількість опадів (127 мм). На липень припадає річний максимум опадів (92 мм).

В ході дослідження були розраховані кількість днів з опадами, річні та середні місячні суми опадів у період дослідження та визначені тренди її значення.

Виявилося, що найбільші значення місячної суми опадів спостерігалися у липні 1972 р. та у серпні 2004 р. і становили 245,7 та 244,1 мм, відповідно (табл. 2.2). Найменші значення цього показника, а саме 0,6 мм, спостерігалося вересні 1979 р. Жодного разу на місяць опади не випадали за 60 років лише двічі - у березні 1969 та квітні 2004 р.

Практично завжди (91%) місячні суми опадів не перевищували 100 мм, а у 62 % випадків сума опадів за місяць не досягала 50 мм. Частка місяців з сумою опадів більше 100 мм становила лише 2,6 % або 19 випадків, переважно влітку, а значення у 200 мм місячні суми опадів подолали лише тричі - липень 1972 та 1997 рр. і серпень 2004 р.

Як видно з рис. 2.3, значення середньомісячних сум опадів від 1961 по 2021 рр. переважно не перевищує 100 мм (сірий та синій колір).

Таблиця 2.2 – Місячні суми опадів на АМСЦ Вінниця у 1961-2021 рр.

Рік	Місяці											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1961	25,9	13,7	15,1	32,7	108,4	19,2	89,5	124,8	15,6	38	39,2	21,5
1962	17,5	65,8	69,3	42,8	76,3	106,9	61,7	51,4	35,2	9,3	70,5	19,9
1963	38,4	28,4	24,7	29,9	35,4	52	58,5	53,8	22,2	10,5	29,4	45,6
1964	10,5	49,8	46,1	38	28	13,2	109,7	67,4	102,8	70,2	26,8	64,4
1965	44,1	59,5	11,1	51,3	54,6	86,2	143,6	68,6	8,3	10,8	58,7	36,6
1966	150	40,1	83,1	29,9	63,5	28,4	116,8	93,6	9,8	73,2	73,8	42
1967	60,3	32,8	41,2	27,3	123,3	86,6	12,7	58,4	18	19,9	23	55,7
1968	60	57,5	34	15,1	61,6	26,3	110,6	47,3	147,1	81,7	19	40,9
1969	30,6	91,8	0	37,7	35,7	85,7	82,7	52,8	9,5	26	38,8	72,5
1970	48,9	77,3	47,9	82,2	69,3	84,6	59,3	123,8	22,3	62,7	78,8	73,1
1971	38,3	32,3	56,1	40,5	48,7	152,3	94,9	34,2	75,2	16,8	45,8	79,5
1972	40,6	7,1	10,6	78	66,7	62,6	245,7	35	51,5	57,3	46,6	6,9
1973	9,1	72,1	25	10,1	134,5	41,7	82,5	42	22,7	20,4	23,7	60,2
1974	19,7	13	1,9	10,1	68,9	112,9	152,9	94,8	64,3	77,9	69,5	41,5
1975	24,9	16,1	9,1	99,7	58,1	140	97,9	28,4	5,7	40,7	14,4	26,3
1976	65,1	7,7	43,6	48,3	39,3	36,7	31,2	109,7	106,1	15,4	35,8	38,8
1977	26,8	68,8	21,9	120,5	78,8	66,6	83,2	94,3	46,3	4,9	65,3	12,8
1978	33,2	67,9	33,1	73,2	52,9	114,6	131,1	24,4	81,8	10	3,1	47,8
1979	76,0	9,5	55,2	71,3	46,6	13,6	50,3	82,4	0,6	36,1	44,4	42,7
1980	43,8	17,5	82,0	35,3	55,4	193,4	171,4	40,5	33,1	61,6	59,9	65,0
1981	43,5	32,0	49,8	23,8	39,8	74,8	61,6	15,7	28,1	61,7	63,7	57,9
1982	14,0	22,0	6,3	111,2	14,3	102,5	169,5	42,3	6,6	22,4	24,4	14,4
1983	34,3	13,5	32,4	50,9	133,1	82,4	61,3	53,9	52,8	25,2	26,0	44,2
1984	34,3	61,7	32,9	22,0	64,6	76,3	88,8	32,1	85,0	30,0	17,2	42,3
1985	43,4	38,7	8,7	71,2	52,9	175,3	68,3	27,9	62,1	6,1	70,2	37,2
1986	58,0	20,1	9,5	38,8	12,8	64,4	59,9	112,8	11,5	19,0	18,1	27,1
1987	48,8	15,6	28,2	15,9	64,7	94,2	78,1	111,6	33,7	32,5	61,8	27,7
1988	21,8	23,4	46,4	40,6	67,0	161,5	95,7	68,6	10,3	9,8	26,5	46,8
1989	9,7	18,2	42,7	36,8	58,7	119,3	57,7	180,9	152,6	36,8	23,6	23,4
1990	12,1	26,6	9,7	65,6	44,0	120,1	46,7	40,9	46,2	12,9	38,6	65,9
1991	14,5	26,8	8,3	63,0	77,5	109,2	178,7	124,2	16,9	37,0	8,8	13,6
1992	15,3	18,1	56,3	57,5	34,9	45,3	41,5	11,7	48,7	46,3	72,9	19,6
1993	15,7	44,7	42,8	69,5	44,4	82,9	72,5	47,6	108,3	5,8	36,8	46,6
1994	37,4	16,7	20,4	22,2	53,5	66,8	30,8	88,7	28,7	17,9	18,6	44,3
1995	39,0	4,0	22,9	37,7	50,4	128,9	11,6	70,3	136,7	6,2	22,7	36,5
1996	31,7	35,6	19,2	84,1	39,1	70,4	67,5	22,7	180,7	32,4	76,4	30,6
1997	7,0	16,2	20,2	36,2	37,2	134,1	205,3	53,0	52,2	30,7	33,9	53,0
1998	22,0	12,5	41,5	31,9	42,6	41,1	129,1	55,8	45,0	99,8	23,5	13,7
1999	26,8	35,8	34,5	30,4	36,6	16,2	50,4	55,8	39,5	50,4	69,8	53,7
2000	23,7	29,7	49,7	42,9	46,8	91,8	134,3	15,7	127,6	2,7	26,5	29,3
2001	34,5	21,2	55,8	41,5	43,5	155,4	42,3	20,9	77,0	21,3	55,3	23,1
2002	10,9	29,7	16,1	38,9	73,5	143,7	76,4	117,3	101,0	36,9	30,1	11,2
2003	33,0	20,5	28,7	11,6	29,7	27,7	164,1	52,6	33,9	81,7	34,5	25,1
2004	43,0	39,0	12,3	22,1	31,3	28,1	89,6	244,1	59,6	16,0	35,2	22,2
2005	38,6	39,6	31,4	61,5	71,7	57,5	35,4	76,4	1,7	40,5	31,1	50,0
2006	15,0	21,6	50,8	48,8	58,9	183,8	46,7	94,3	53,5	25,0	23,4	7,6
2007	31,6	40,6	8,3	33,1	19,8	38,5	81,2	112,4	99,6	10,7	42,7	28,0
2008	18,3	16,4	36,0	86,9	41,2	44,9	92,4	48,3	135,7	12,3	24,7	54,0
2009	19,4	46,2	57,0	0,0	40,0	110,1	46,3	7,0	19,2	32,8	18,6	57,3
2010	59,4	32,1	12,0	36,4	76,8	182,0	101,9	14,1	48,6	38,7	63,2	48,5
2011	22,6	37,5	6,4	20,0	45,6	134,7	78,3	20,7	14,8	43,0	2,3	14,1
2012	21,9	48,9	26,5	67,8	23,1	71,8	54,3	48,4	11,7	42,9	24,0	66,6
2013	43,4	29,0	65,0	16,1	61,4	127,5	22,0	60,7	121,8	12,5	45,7	10,2
2014	31,7	22,6	17,5	47,8	134,6	53,7	71,2	46,5	32,0	29,9	43,0	19,9
2015	32,4	19,0	42,2	37,2	34,1	35,7	15,1	4,0	34,9	46,3	54,0	13,7
2016	35,1	50,1	18,8	29,5	54,4	52,8	43,2	31,1	2,9	63,0	50,9	36,2
2017	27,0	38,6	63,0	39,6	27,7	20,5	50,2	36,6	90,5	30,0	27,5	87,9
2018	14,4	37,0	56,8	14,5	13,6	186,8	86,8	23,3	38,9	30,9	18,6	48,2
2019	58,7	28,1	19,5	37,3	143,3	88,4	38,3	9,0	27,5	24,0	20,5	36,7
2020	15,3	30,8	17,8	32,0	134,2	67,0	27,9	12,5	47,5	75,4	26,6	38,4
2021	64,0	48,1	63,7	34,4	102,4	83,3	35,4	53,1	21,8	1,5	12,1	60,4
Середнє	31,2	28,7	33,1	42,2	55,3	92,1	75,1	57,9	55,4	32,5	36,0	37,1

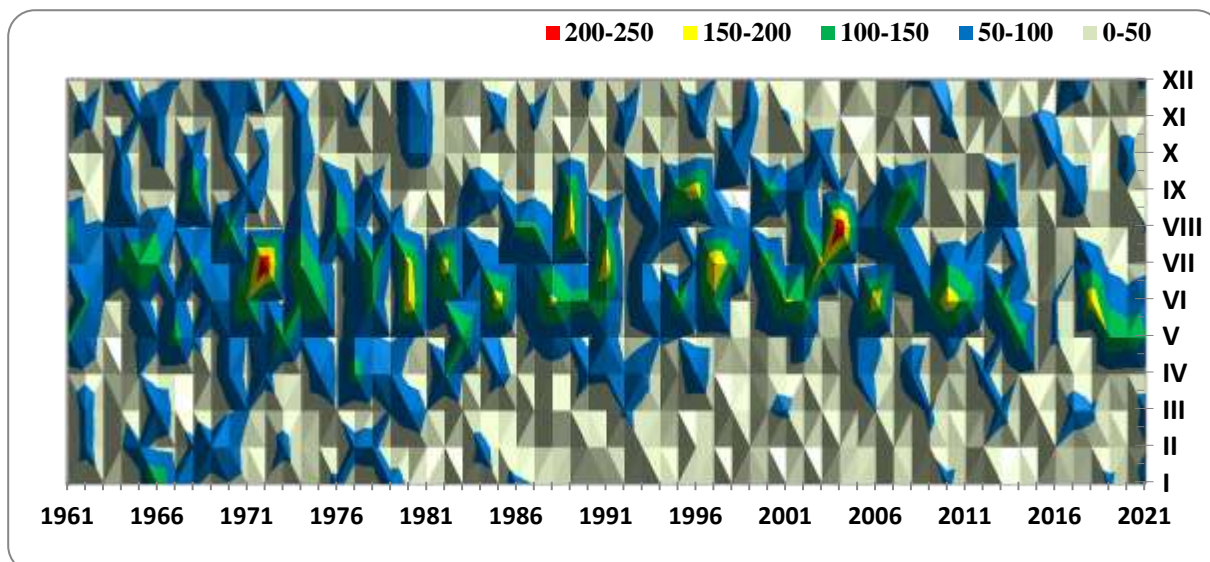


Рисунок 2.3 - Суми опадів (мм) з 1961 по 2021 рр. на АМСЦ Вінниця

Градації 100-150, 150-200 та 200-250 мм спостерігаються переважно у тепле півріччя, але з року в рік в межах періоду дослідження їх площа зменшується. Найбільш «сухими» роками виявилися 1992-1994 та 2016-2017рр., а найбільш «дощовими» 1961-1966 рр.

Далі були визначені характер річного ходу та його амплітуда (рис. 2.4) впродовж періоду 1961-2021 рр. Виявилось, що у середньому амплітуда річного ходу, тобто різниця між максимальною та мінімальною місячною сумою опадів, становила 121 мм і її значення коливалося від 40 до 239 мм. Найбільша амплітуда спостерігалася у 1972 і 2004 - 239 та 232 мм, відповідно, через сильні конвективні опади влітку. Міжрічний розподіл амплітуди характеризується нульовим лінійним трендом.

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 44 мм при мінімумі 19 мм (2012 р.) і максимумі 112 мм (1972 р.) Можна виділити також максимуми цього показника у 60-70-ті роки ХХ століття (1961 – 70 мм, 1972 - 112 мм, 1982 – 91 мм), у 1989 (83мм), 2018 (77мм), 2006 і 1995 (69 і 66 мм).

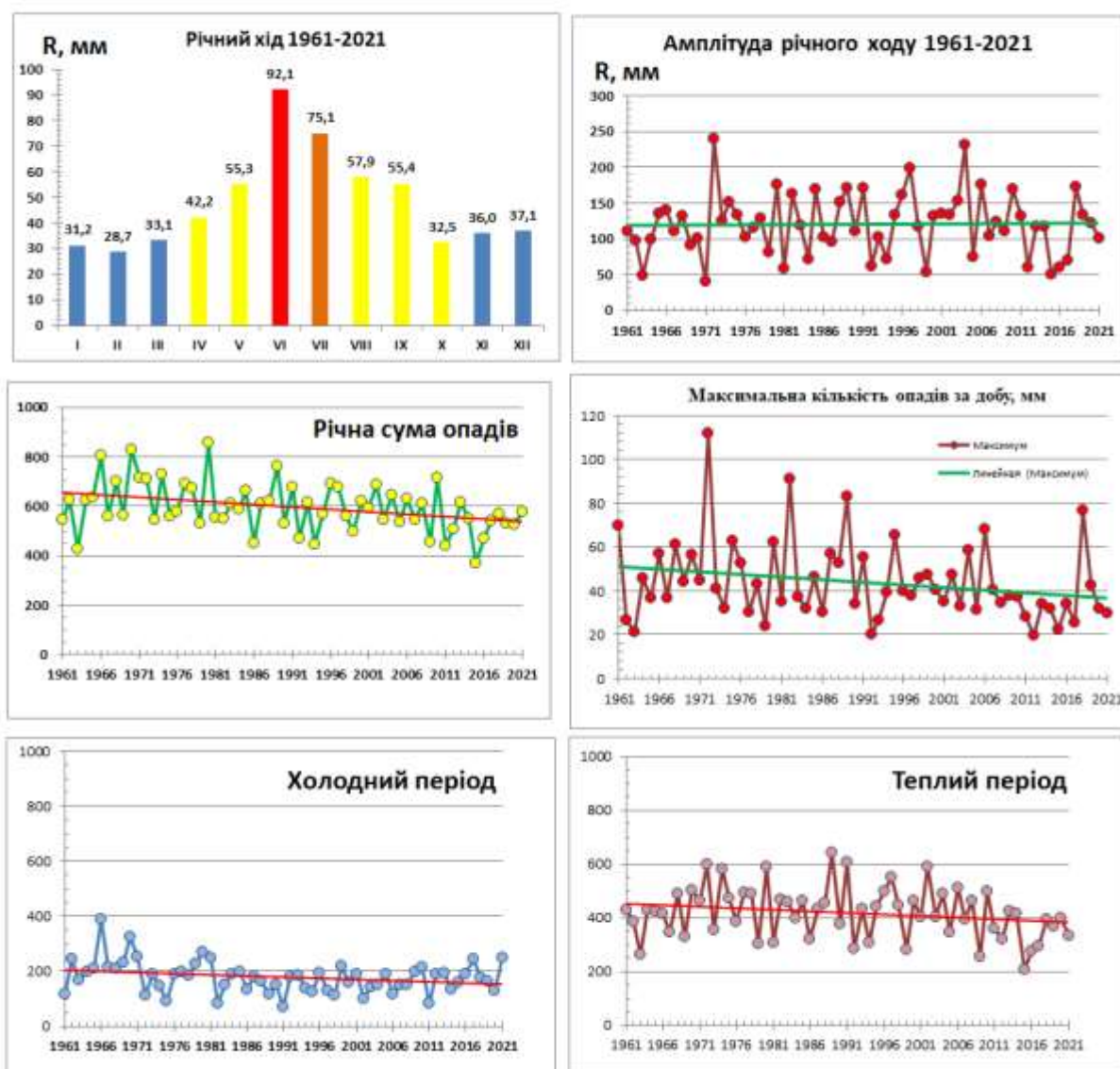


Рисунок 2.4 - Графік річної суми опадів, її тренд та річний хід з амплітудою на АМСЦ Вінниця з 1961 по 2021 рр., міжрічна мінливість суми опадів у теплий і холодний періоди та її максимальне значення на рік

Річна сума опадів у середньому за весь період складає 595 мм (рис. 2.4) та коливається від 369 мм (2015 р.) до 859 мм (1980 р.) Даний параметр впродовж періоду дослідження поступово знижувався та лінійний тренд виявився від'ємним.

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 51,8 мм при мінімумі 16,5 мм і максимумі 134 мм у 2015

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).

Оскільки Вінницька область відноситься до територій з континентальним типом річного ходу опадів [4], то сума опадів теплого періоду переважає над сумою опадів холодного періоду. Річний хід опадів має свої особливості та може відрізняється за значеннями максимуму та мінімуму, за амплітудою коливання та мінливістю у межах року. Так, з 1961 по 2021 рр. у лютому на АМСЦ Вінниця випадала найменша кількість опадів (28,7 мм), а у червні та липні спостерігалася максимальна за рік кількість опадів –167,2 мм, тобто 29 % від річної суми опадів. На червень припадає річний максимум кількості опадів – 92,1 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 2021 рр. менш інтенсивне – з 200 до 160 мм проти з 500 до 350 мм.

У холодний період відносно більшою кількістю опадів була у 60-ті роки з максимумами у 1966 та 1970 рр. (389 та 326 мм), а відносно меншою у першу половину 90-х років ХХ століття та у 2014-2019 рр. Теплий період характеризувався відносно значними сумами опадів у 70-ті та 2000-ні, а максимумами припадали на 1989 та 1991 рр. досягаючи 642,8 та 606,5 мм відповідно. Також сума опадів за тепле півріччя становила майже 600 мм у 1972, 1974, 1980 та 2002 рр. (597, 582, 591 та 588 мм відповідно). Після 2006 р. жодного разу піврічна сума опадів на перевищувала 500 мм.

Аналіз динаміки середньомісячної суми опадів та її лінійних на АМСЦ Вінниця з 1961 по 2021 рр. по місяцях виявив, що у зимові місяці спостерігалася поступове зниження активності опадоутворення, причому відносно сильніше у січні, можливо через наявність максимуму у 1966 р. (150 мм). У лютому (рис. 2.5) був слабкий від'ємний тренд з періодом максимумів з 1969 по 1978 рр., коли місячна сума опадів досягала 91 та 70 мм. Вказані максимуми були не щорічними та перемежались мінімумами (7,1 та

7,7 мм у 1972 та 1976 рр.). Період з 2007 по 2012 рр. характеризувався збільшенням опадів, але на загальну тенденцію це не впливає. Міжрічна динаміка опадоутворення у грудні схожа на лютий, але у грудні відносно менше наявних максимумів, а пік припадає на 2017 р. та становить 87,9 мм.

Весною ми спостерігаємо майже нульові тренди у травні та березні і від'ємний у квітні. У березні при середньомісячному значенні 33,1 мм кількість опадів на місяць коливалася від 0 (1969 р.) до 82 мм (1980 р.), але переважно (78 %) не перевищувала 50 мм. У квітні при середньомісячному значенні 42,2 мм кількість опадів на місяць коливалася від 0 (2009 р.) до 121 мм (1977 р.). Тричі місячна сума опадів досягала 100 мм – 1975, 1977 та 1982 рр. (100, 121 та 111 мм). Можна визначити три періоди з піками міжрічної активності – 1970-1982, 1990-1996 та 2008 рр., які й формують від'ємний тренд. У травні при середньомісячному значенні 55,3 мм кількість опадів на місяць коливалася від 12,8 (1986 р.) до 143 мм (2019 р.), П'ять разів місячна сума опадів перевищила 130 мм – 1973, 1983, 2014, 2019 та 2020 рр. (135, 133, 135, 143 та 134 мм). Причому з 1984 по 2013 рр. жодного разу кількість не досягала 100 мм, а наявність піків у 2014 та 2019-2021 рр. визначила від'ємний лінійний тренд у травні 1961-2021 рр..

Влітку виявився додатній тренд у червні і від'ємні у липні та серпні. У червні при середньомісячному значенні 92,1 мм кількість опадів на місяць коливалася від 13,6 (1979 р.) до 193,4 мм (1980 р.). 8 разів місячна сума опадів перевищувала 150 мм – 1971, 1980, 1985, 1988, 2001, 2006, 2010 та 2018 рр. (152, 193, 175, 162, 155, 184, 182 та 187 мм). Можна визначити два періоди зростання активності опадоутворення – 1971-1980 та , 1995-2010 рр., які й формують додатній тренд.

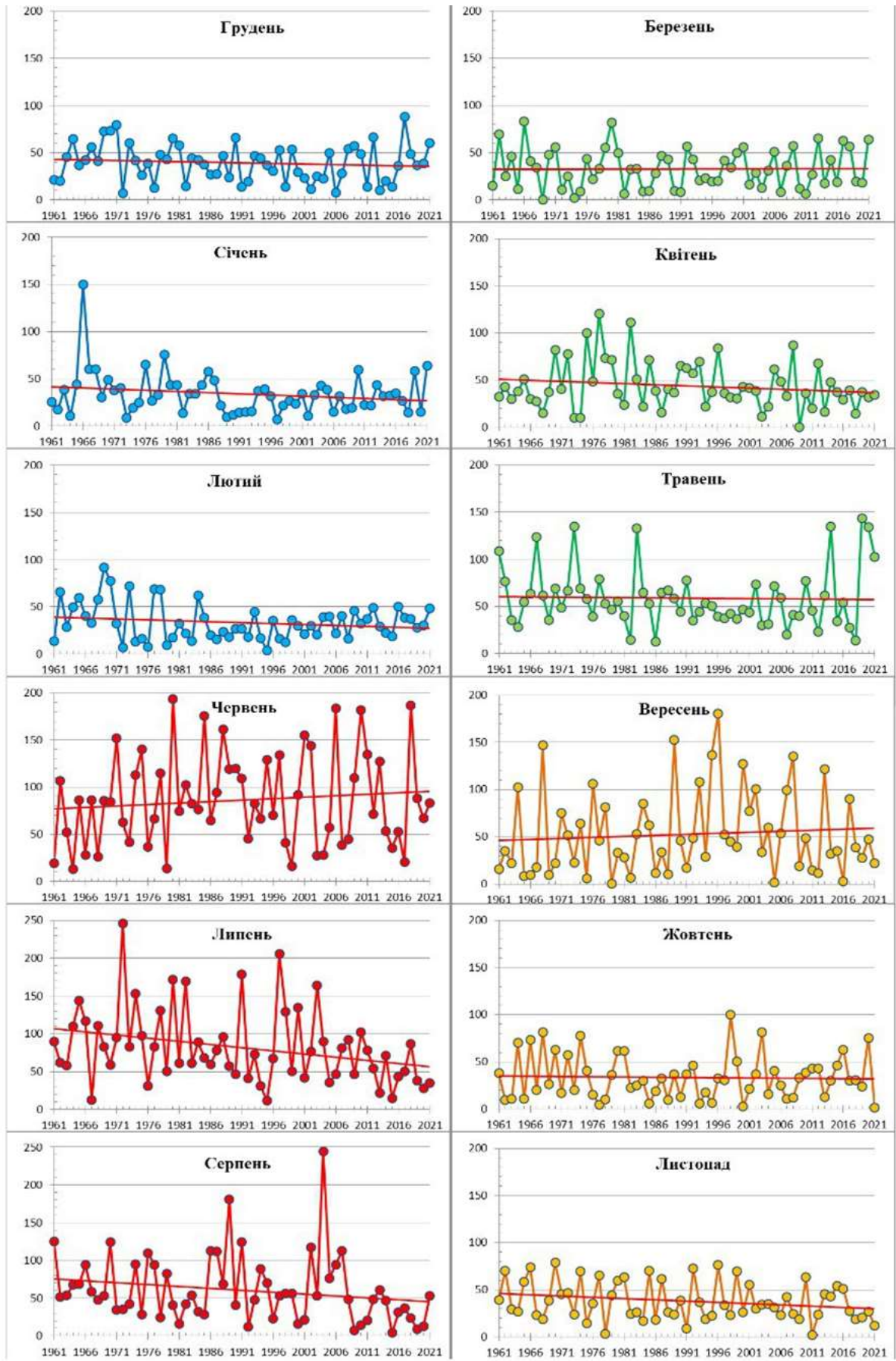


Рисунок 2.5 – Динаміка середньомісячної суми опадів та її лінійні тренди на АМСЦ Вінниця з 1961 по 2021 рр. по місяцях.

У липні при середньомісячному значенні 75,1 мм кількість опадів на місяць коливалася від 11,6 (1995 р.) до 245,7 мм (1972 р.). Двічі у 1972 та 1997 рр. місячна сума опадів перевищувала 200 мм та чотири рази досягала градації 150-200 мм – 1974, 1980, 1982 та 2003 р. (171, 170, 179 та 164 мм). Починаючи з 1997 р. можна визначити наявний період зниження активності опадоутворення. У серпні при середньомісячному значенні 57,9 мм кількість опадів на місяць коливалася від 4 (2015 р.) до 244,1 мм (2004 р.). Наприкінці літа кількість та значення максимумів суттєво зменшується, та лише одного разу місячна сума опадів перевищувала 150 мм та досягали 181 мм у 1989 р. Можна визначити три періоди зниження активності опадоутворення – 1970-1981, 1989-2000 та 2004-2019, які визначили загальний від’ємний тренд для серпня.

Восени додатний тренд виявився лише у вересні, у листопаді та жовтні він був від’ємним. У вересні при середньомісячному значенні 55,4 мм кількість опадів на місяць коливалася від 0,6 (1979 р.) до 180,7 мм (1996 р.). Двічі місячна сума опадів перевищувала 150 мм, а саме у 1989 та 1996 рр. досягаючи 153 та 181 мм відповідно. у 1989 р. Можна визначити три періоди підвищеної активності опадоутворення – 1968-1978, 1989-1996 та 2008-2017 рр., які визначили загальний додатний тренд для вересня. У жовтні при середньомісячному значенні 32,5 мм кількість опадів на місяць коливалася від 2,7 (2000 р.) до 99,8 мм (1998 р.). Жодного разу місячна сума опадів не перевищувала 100 мм, але є піки відносної активності опадоутворення у 1998, 2003 та 2020 рр. (99, 82 та 75 мм відповідно). Можливо ці максимуми зменшили величини від’ємного тренду, але не змогли змінити його знак. У листопаді при середньомісячному значенні 36,0 мм кількість опадів на місяць коливалася від 2,3 (2011 р.) до 76,4 мм (1996 р.). У цьому місяці неможливо визначити наявні піки активності опадоутворення, але її тренд 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 річної суми опадів (рис. 2.6), 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 1970 до 1985 рр., далі до 2000 року цей параметр не змінюється, а з 2000 року починає знов зменшуватися.

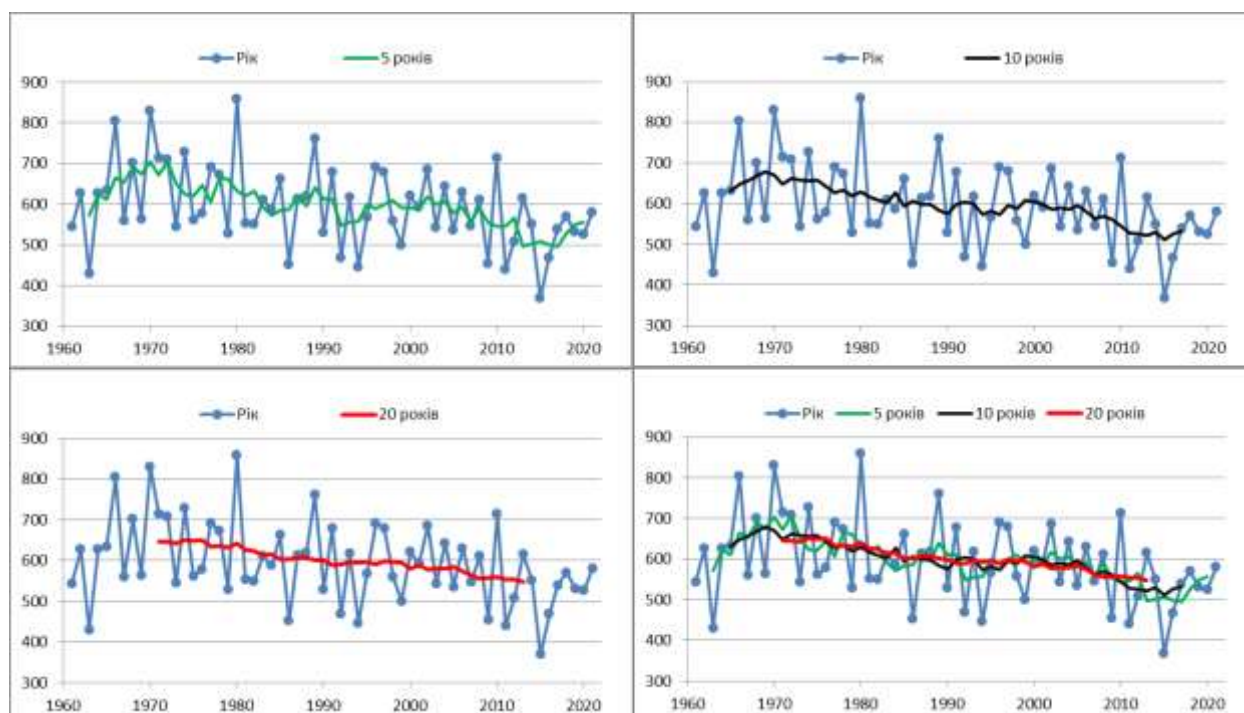


Рисунок 2.6 – Міжрічна динаміка річної суми опадів (мм) та графіки ковзної середньої (5, 10 та 20 років) річної суми опадів на АМСЦ Вінниця з 1961 по 2021 рр.

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 кінцю 80-х років ХХ століття (рис. 2.7). Далі з 1990 по 2000 рр. не спостерігається змін суми опадів за 20-річним осередненням, а ковзне середнє з періодом 5 та 10 років демонструє незначні коливання. Але після 2003 р. піврічна сума потрохи зростає на 15 мм.

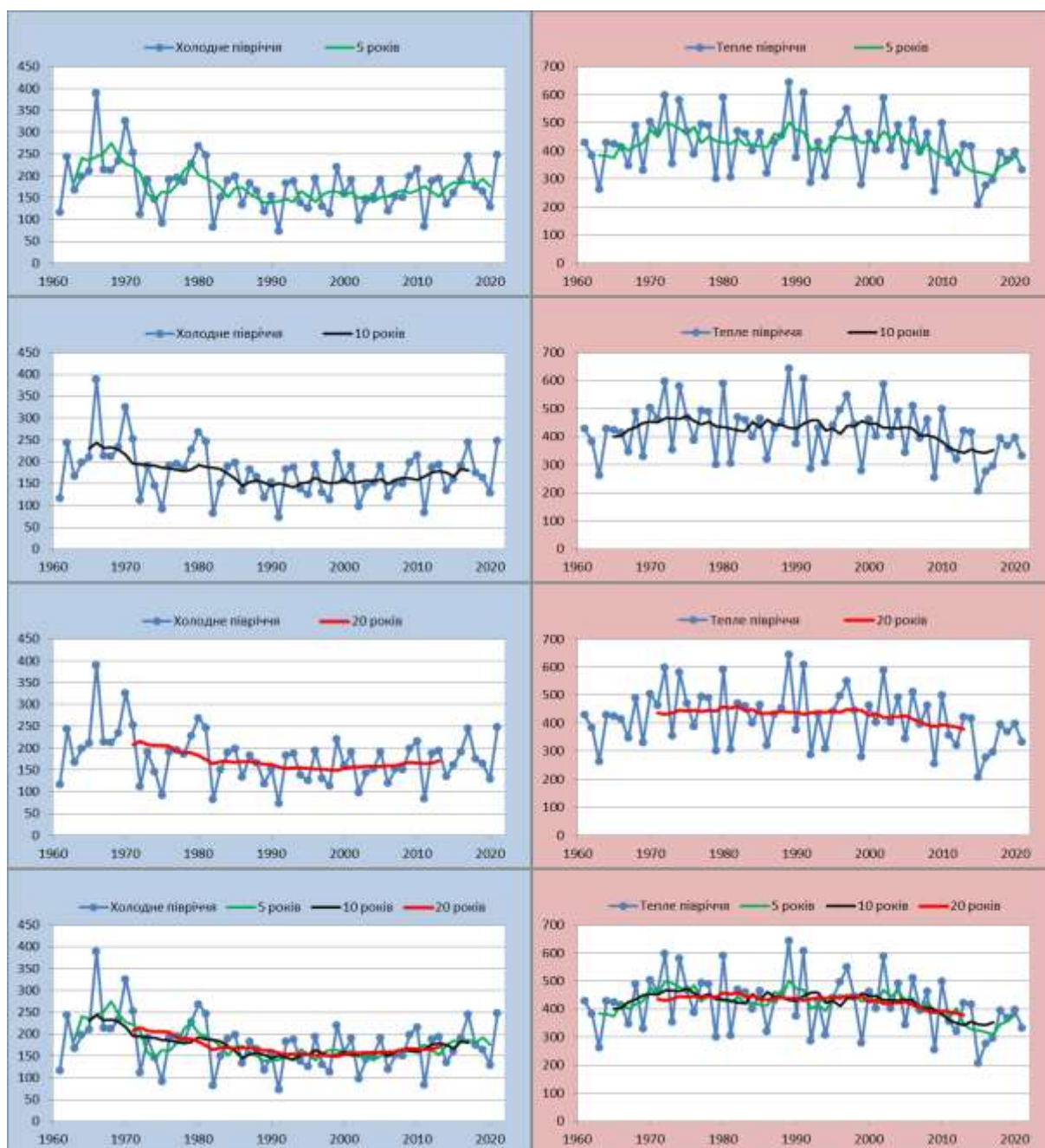


Рисунок 2.7 – Міжрічна динаміка суми опадів (мм) теплого та холодного періодів і графіки ковзної середньої (5, 10 та 20 років) суми опадів на АМСЦ Вінниця з 1961 по 2021 рр.

Розрахунок ковзного середнього з періодами 5, 10 та 20 років для теплого періоду (з квітня по вересень) визначив стабільну активність опадоутворення з середини 60-х років до 2000 р, але далі спостерігається зменшення річної суми опадів 80 мм, а саме з 446 до 376 мм.

Крім річних та середньомісячних сум опадів були розраховані такі показники як кількість днів з опадами та кількість днів з опадами різної інтенсивності.

В середньому кожен рік спостерігається 144 дні з опадами мінімальна кількість була у 1982 (108 днів), а максимальна у 1970 (194 днів). Отже впродовж періоду дослідження виявлений від'ємний тренд у кількості днів з опадами. Далі було залучено до аналізу кількість днів з опадами різної інтенсивності, та зі рис. 2.8 видно що, частіше за все спостерігаються опади від 10 до 20 мм та їх кількість знижувалася з 1961 по 2021 р. Також є слабкий від'ємний тренд у всіх наступних градаціях.

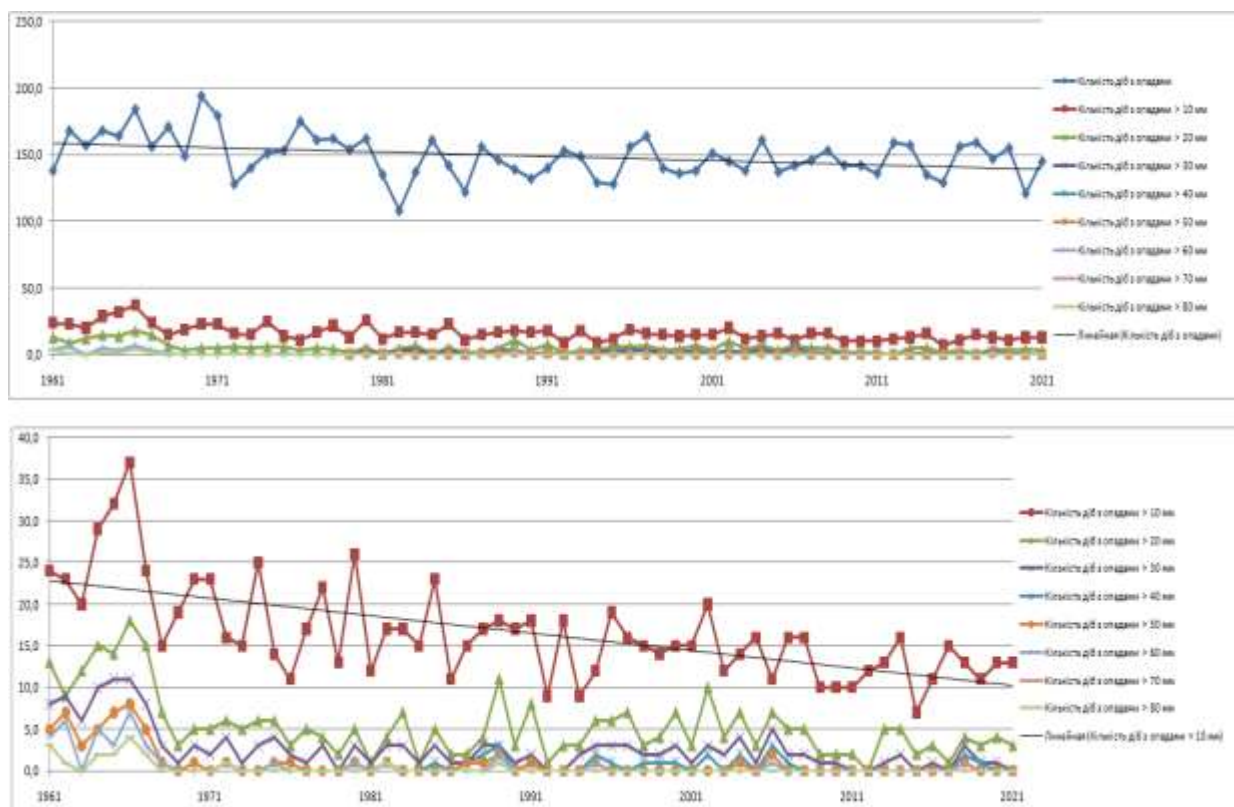


Рисунок 2.8 - Графік кількості опадів різної інтенсивності на АМСЦ Вінниця у період з 1961 по 2021 рр.

В табл. 2.3 та на рис. 2.9 представлені результати розрахунків середньорічної кількості днів з опадами за десятирічні періоди та значення середньорічної суми опадів.

Таблиця 2.3 – Середня сума опадів (РР, мм) та кількість днів з опадами і їх аномалії на АМСЦ Вінниця для різних періодів

Період, рр.	Середня сума опадів (РР), мм		Середня кількість днів з опадами	
	РР _{10 р.} , мм	РР _{10 р.} - РР ₁₉₆₁ ²⁰²⁰	N _{10 р.}	N _{10 р.} - N ₁₉₆₁ ²⁰²⁰
1961-1970	631,8	36,3	164,9	-16
1971-1980	658,4	62,9	156,5	-7,6
1981-1990	593,4	-2,1	137,8	11,1
1991-2000	582,5	-13	143,3	5,6
2001-2010	595,3	-0,2	145,7	3,2
2011-2020	511,5	-84,0	145,4	35,0
1961-1990	629,5	34,0	153,1	-4,2
1991-2020	559,1	-36,4	144,8	4,1
1961-2020	595,5		148,9	

Виявлено, що найбільш активне опадоутворення спостерігалось у 1961-1970 та 1971-1980 рр., коли середня кількість днів з опадами становила 164,9 та 156,5 відповідно. У наступне десятиріччя, тобто у 80-ті роки, опади стали виникати значно менше, а саме кількість днів з опадами зменшилася на 30 днів. Далі, у 1991-2000 рр., відбулося незначне зростання кількості днів з опадами проти 1981-1990 рр. – на 6 днів. Перше десятиріччя XXI століття характеризувалося подібною тенденцією – кількість днів з опадами зросла також на 2 дні. Останнє десятиріччя періоду дослідження (2011-2020 рр.) відзначилося незначним зменшенням кількості днів з опадами.

Якщо залучити до аналізу річну суму опадів за вказані десятиліття, то на рис. 2.9 та табл. 2.3 видно, що вона досягала найбільшого значення також у 60-ті та 70-ті роки (631,8 та 658,4 мм), далі значно (на 65 мм) знижувалася. Потім у 1991-2000 роки зниження сповільнилося та становило 10,9 мм, а у

2001-2010 рр. середня річна сума опадів навіть зросла на 13 мм. Але в останнє десятиріччя середньорічна сума опадів становила 511,9 мм, тобто знизилася на 83 мм відносно попереднього десятиріччя.

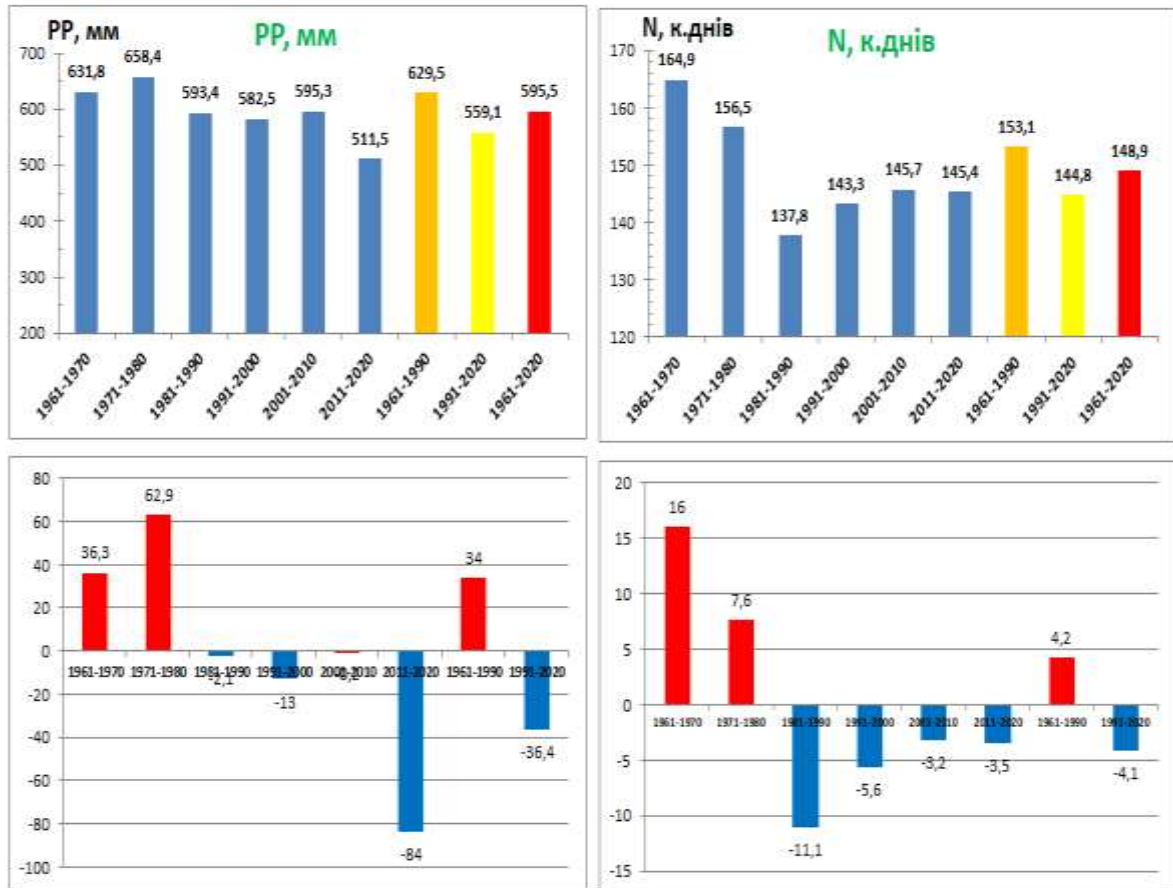


Рисунок 2.9 - Середня сума опадів (PP, мм) та кількість днів з опадами і їх аномалії на АМСЦ Вінниця для різних періодів

Порівняння попереднього кліматичного періоду 1961-1990 рр. [5] та 1991-2020 рр. виявило значне зменшення процесів опадоутворення - зменшилася на 70,4 мм річна сума опадів (з 629,5 до 559,1 мм) та на 8 днів (з 153 на 145) зменшилася їх кількість.

Відносно всього періоду дослідження найбільша від'ємна аномалія виявилася у 2011-2020 рр. для річної суми опадів та у 1981-1990 рр. для кількості днів з опадами, а додатні аномалії для обох параметрів припадають на 60 та 70 –ті роки ХХ століття.

3 ДИНАМІКА ІНДЕКСІВ ЕКСТРЕМАЛЬНИХ ОПАДІВ

3.1 Глобальні зміни клімату та індекси екстремальних погодних умов

Однією з найбільш серйозних екологічних проблем сучасності є зміна клімату внаслідок збільшення концентрації парникових газів у атмосфері, таких як вуглекислий газ, метан, оксиди азоту та інші. Головним джерелом цих газів є використання копалин, спалювання вугілля, нафти та природного газу, а також зміни використання землі, включаючи вирубку лісів

Зміна клімату має різноманітні наслідки. Зокрема, вона сприяє підвищенню середньої температури планети (глобальне потепління), збільшенню інтенсивності та частоти природних катастроф, таких як урагани, повені, посухи та лісові пожежі. Зміни клімату також впливають на гідрологічний цикл, морський рівень, екосистеми, аграрний сектор, здоров'я людей та багато інших аспектів життя.

Соціально-економічні наслідки зміни клімату включають збитки в сільському господарстві, втрату житлових інфраструктур, економічні втрати в результаті природних катастроф, міжнародні конфлікти через змагання за ресурси та масові міграції людей, що шукають кращих умов проживання.

Зміна клімату може призводити до збільшення вологості деяких регіонів, але розподіл опадів неоднаковий і може спостерігатись засушливість у деяких інших регіонах. Загальна зміна клімату включає в себе більш складні процеси, ніж просте збільшення або зменшення опадів, але в цілому клімат на планеті стає більш вологішим [18, 25]. В регіонах, які і так у теперішній час отримують достатню кількість опадів, їхнє випадіння стає інтенсивнішим, а в регіонах з недостатнім зволоженням частішають засушливі періоди [9-12, 16, 20, 26]

Ось декілька прикладів регіонів, де за різних умов зміна клімату може призвести до збільшення опадів:

1. Тропічні області: У тропічних областях, зокрема в Південній Америці, Південній і Південно-Східній Азії та Африці, збільшення паростановки та випаровування, спричинене зміною клімату, може призвести до збільшення опадів. Це може бути пов'язано зі змінами мусонних систем або збільшенням кількості зливових дощів.

2. Високогір'я: В деяких високогірних регіонах, таких як Гімалаї, Анди та Альпи, зміна клімату може призвести до збільшення опадів через збільшення випаровування на висотах і залежності від підніжних водних джерел.

3. Прибережні області: Зміна клімату може призводити до збільшення опадів у прибережних областях через зміни в паттернах вітрів та впливу океанічних циркуляційних систем.

Клімат України протягом останніх десятиліть [7, 11] вже почав змінюватися (температура та деякі інші метеорологічні параметри відрізняються від значень кліматичної норми) і згідно з результатами моделювання [12], для території України в майбутньому продовжуватиметься зростання температури повітря (хоча величина змін дещо відрізняється за різними прогнозними моделями) та відбуватиметься зміна кількості опадів протягом року.

Оскільки екстремальні погодні явища по всій планеті частішають та посилюються завдаючи великі збитки глобальній економіці, то останніми роками з'явилися нові методики та механізми для аналізу та прогнозу змін клімату та їх впливу на життєдіяльність суспільства [22].

Для виявлення та оцінки наявних змін клімату в кліматології традиційно використовувалися кліматологічні показники, представлені середньорічними, середньосезонними або середньомісячними значеннями кліматологічних елементів – температури повітря, атмосферних опадів, швидкості і напрямку вітру та інших, що розраховуються з використанням даних спостережень на опорній метеорологічній мережі. Аналіз багаторічної динаміки таких показників є основою виявлення змін клімату та їх оцінки в звітах

Міжурядової групи експертів зі зміни клімату (IPCC), що з 1988 року функціонує під егідою Всесвітньої метеорологічної організації та Програми Організації Об'єднаних Націй з навколишнього середовища (UNEP), в Щорічних заявах Всесвітньої метеорологічної організації про стан глобального клімату.

В кінці ХХ – на початку ХХІ століття на додаток до звичних кліматичних показників (середнім річним сезонним значенням основних кліматичних елементів) була розроблена система кількісних показників для моніторингу, аналізу та оцінки зміни екстремальних кліматичних показників, заснованих на добових даних метеорологічних спостережень, які отримали назву «екстремальні індекси» [23]. Запропонована система екстремальних індексів дозволяє дати детальніший аналіз і оцінку змін клімату, розкрити «внутрішню» структуру цих змін. Експертною групою з виявлення змін клімату і кліматичним індексам проекту Програми по мінливості і передбачуваності клімату (CLIVAR), що розробляється під егідою Комісії з кліматології (CCl) і Всесвітньої програми дослідження клімату (WCRP) Всесвітньої метеорологічної організації розроблений базовий набір з 27 екстремальних індексів, що включає показники термічного режиму і режиму зволоження. В даний час кількість індексів значно збільшилася і вони включають показники, що характеризують і інші елементи клімату. На сайті Проекту Європейської оцінки клімату та кліматичних даних (European Climate Assessment & Data, ECA & D) [23] наводиться характеристика 75 «екстремальних» індексів, що включають крім 27 базових ще 49 індексів, розроблених спеціально для Європи. У число цих індексів крім показників, що характеризують термічний режим і режим зволоження, входять також показники, що характеризують сонячну радіацію, атмосферний тиск, хмарність та деякі інші елементи клімату. У зв'язку з істотним збільшенням кількості індексів, включення до їх складу не тільки екстремальних показників клімату, доцільно називати їх «кліматичними індексами» або «індексами зміни клімату».

Умовно всі кліматичні індекси можна поділити на прості, які розраховуються за одним параметром, і складні або комплексні, для розрахунків яких використовуються кілька характеристик. Також серед простих можна виділити індекси спеки, холоду, тиску, вітрового режиму, снігового покриву, режиму зволоження, посухи, хмарності та інші. Як правило, розраховуються кліматичні індекси за добовими середніми та екстремальними даними, а використовуються місячні або річні величини, усереднені за кілька десятиліть, або їх багаторічний хід. У різних географічних районах кліматичні екстремуми проявляються по різному. В один і той же час в одних регіонах можна спостерігати найсильнішу посуху, тоді як в інших - рясні опади. І навіть у межах одного регіону кліматичні зміни проявляють себе по різному в різні сезони року.

3.2 Аналіз динаміки індексів екстремальних опадів у Вінниці з 1961-2021 рр.

Останнім часом кліматичні індекси широко використовуються для оцінки як глобальних, так і регіональних змін клімату [14, 17, 19, 20, 25, 26]. Наприклад, у [16] 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), максимальної кількості послідовних вологих днів (CWD), рясних та дуже рясних опадів, зменшення максимальної кількості послідовних посушливих днів (CDD).

В роботі були розраховані такі кліматичні індекси (табл. 3.1), а результати розрахунків представлені у табл. 3.2 та на рис. 3.1-3.3.

Таблиця 3.1 – Кліматичні індекси екстремальних явищ погоди

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 мм	days
R20mm	Number of very heavy precipitation days	Кількість днів на рік, коли добова кількість опадів ≥ 20 мм	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
CWD	Consecutive wet days	Максимальна тривалість дощового періоду з опадами > 1мм ^a (тобто коли $RR_{ij} \geq 1$ мм) ^a	days
CDD	Consecutive dry days	Максимальна тривалість посушливого періоду з опадами < 1мм (тобто коли $RR_{ij} < 1$ мм) ^a	days
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

Річна сума опадів (RR) незалежно від їх інтенсивності у середньому за весь період складає 595 мм (рис. 3.1) та коливається від 369 мм (2015 р.) до 859 мм (1980 р.). Цей індекс впродовж періоду дослідження поступово знижувався та лінійний тренд виявився від'ємним. Якщо визначити роки з річною сумою опадів вище середньої за період, то видно, що кількість таких років була найбільшою 60-70-ті роки, далі поступово знижувалася, а з 2014 р. жодного разу не перевищувала 595 мм.

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 567 мм коливаючись від 345 до 836 мм. Міжрічна динаміка обох індексів повністю подібна.

Таблиця 3.2 – Кліматичні індекси у Вінниці з 1961 по 2021 рр.

Роки	RR	R1mm	R10mm	R20mm	PRCPTOT	SDII	CWD	CDD	RX1day	RX5day
	мм	к.днів	к.днів	к.днів	мм	мм / к.днів	к.днів	к.днів	мм	мм
1961	543,6	65	24	13	516,4	8,4	4	25	70,1	80,7
1962	626,6	109	23	9	603,3	5,7	6	19	26,4	39,7
1963	428,8	87	20	12	405,4	4,9	4	23	21,4	27,2
1964	626,9	83	29	15	599,7	7,6	5	27	46	70,1
1965	633,4	84	32	14	605,5	7,5	6	32	36,8	52
1966	804,2	102	37	18	769,3	7,9	11	16	56,8	72
1967	559,2	91	24	15	529,8	6,1	6	21	36,7	49,8
1968	701,1	96	15	7	666,3	7,3	5	29	61,2	105,8
1969	563,8	87	19	3	566,6	6,5	4	22	44	67,3
1970	830,2	130	23	5	800,5	6,4	6	11	56,6	65,1
1971	714,6	106	23	5	677,7	6,7	10	18	44,9	81,8
1972	708,6	84	16	6	688,2	8,4	5	21	112	125,7
1973	544,0	75	15	5	514,2	7,3	4	27	40,9	89,2
1974	727,4	94	25	6	698,3	7,7	7	62	31,9	64,3
1975	561,3	70	14	6	523,5	8,0	5	19	62,8	89,2
1976	577,7	103	11	3	544,4	5,6	8	17	52,9	79,9
1977	690,2	109	17	5	662,8	6,3	8	31	30,6	60,5
1978	673,1	98	22	4	640,9	6,9	5	28	43,2	98,4
1979	528,7	97	13	2	499,8	5,5	6	37	24,2	42,4
1980	858,9	119	26	5	835,9	7,2	6	14	62,4	78,6
1981	552,4	92	12	1	531	6,0	4	17	35,2	39
1982	549,9	65	17	4	527,4	8,5	3	33	91,4	133,8
1983	610,0	85	17	7	587,9	7,2	4	23	37,5	57,1
1984	587,2	112	15	1	565,4	5,2	7	16	32,1	46
1985	662,0	94	23	5	639,3	7,0	5	20	46,2	53
1986	452,0	71	11	2	427,5	6,4	5	23	30,5	48,9
1987	612,8	92	15	2	581,3	6,7	5	16	57,2	75,9
1988	618,4	95	17	4	591,3	6,5	7	40	52,9	91,8
1989	760,4	82	18	11	729,1	9,3	7	23	83,1	114,6
1990	529,3	86	17	3	506,3	6,2	5	29	34,1	78
1991	678,5	86	18	8	653,3	7,9	8	30	55,7	111,7
1992	468,1	89	9	1	438,5	5,3	7	23	20,4	35,5
1993	617,6	96	18	3	586	6,4	6	20	26,9	39,2
1994	446,0	72	9	3	419,9	6,2	4	21	39,6	64,4
1995	566,9	77	12	6	542,7	7,4	4	24	65,5	116
1996	690,4	107	19	6	665,8	6,5	6	20	40,2	79
1997	679,0	95	16	7	645	7,1	5	32	38	64,1
1998	558,5	80	15	3	527,3	7,0	4	36	45,6	85,2
1999	499,9	83	14	4	475,5	6,0	4	20	47,2	62,4
2000	620,7	92	15	7	596,4	6,7	5	35	40,5	62,7
2001	591,8	94	15	3	564,2	6,3	9	20	35,1	61,8
2002	685,7	86	20	10	657,2	8,0	7	22	47,4	85,4
2003	543,1	84	12	4	514,9	6,5	5	19	33,3	78,8
2004	642,5	95	14	7	613,7	6,8	6	22	58,7	76
2005	535,4	89	16	3	516,1	6,0	8	27	31,5	46,9
2006	629,4	84	11	7	601,5	7,5	4	25	68,5	80,7
2007	546,5	83	16	5	516,9	6,6	4	17	40,3	67,5
2008	611,1	92	16	5	580,1	6,6	10	16	34,4	97,2
2009	453,9	84	10	2	426,5	5,4	5	41	38,1	54,9
2010	713,7	91	10	2	690,6	7,8	6	34	37,5	68
2011	440,0	70	10	2	413,1	6,3	9	51	28,3	74
2012	507,9	90	12	0	480,3	5,6	8	18	19,5	41,4
2013	615,3	96	13	5	587,4	5,5	6	29	34	68
2014	550,4	72	16	5	521,1	7,6	4	25	32,2	69
2015	368,6	76	7	2	344,7	4,9	4	20	22,4	42,9
2016	468,0	94	11	3	439,6	5,0	5	28	33,9	39,6
2017	539,1	98	15	1	510,2	5,5	7	13	25,5	62,8
2018	569,8	79	13	4	538,2	7,2	4	20	76,7	85,4
2019	531,3	81	11	3	495,6	6,6	6	39	42,9	57,9
2020	525,5	76	13	4	502,08	6,9	10	23	32	39,6
2021	580,2	91	13	3	543,32	6,4	9	20	30	43,21

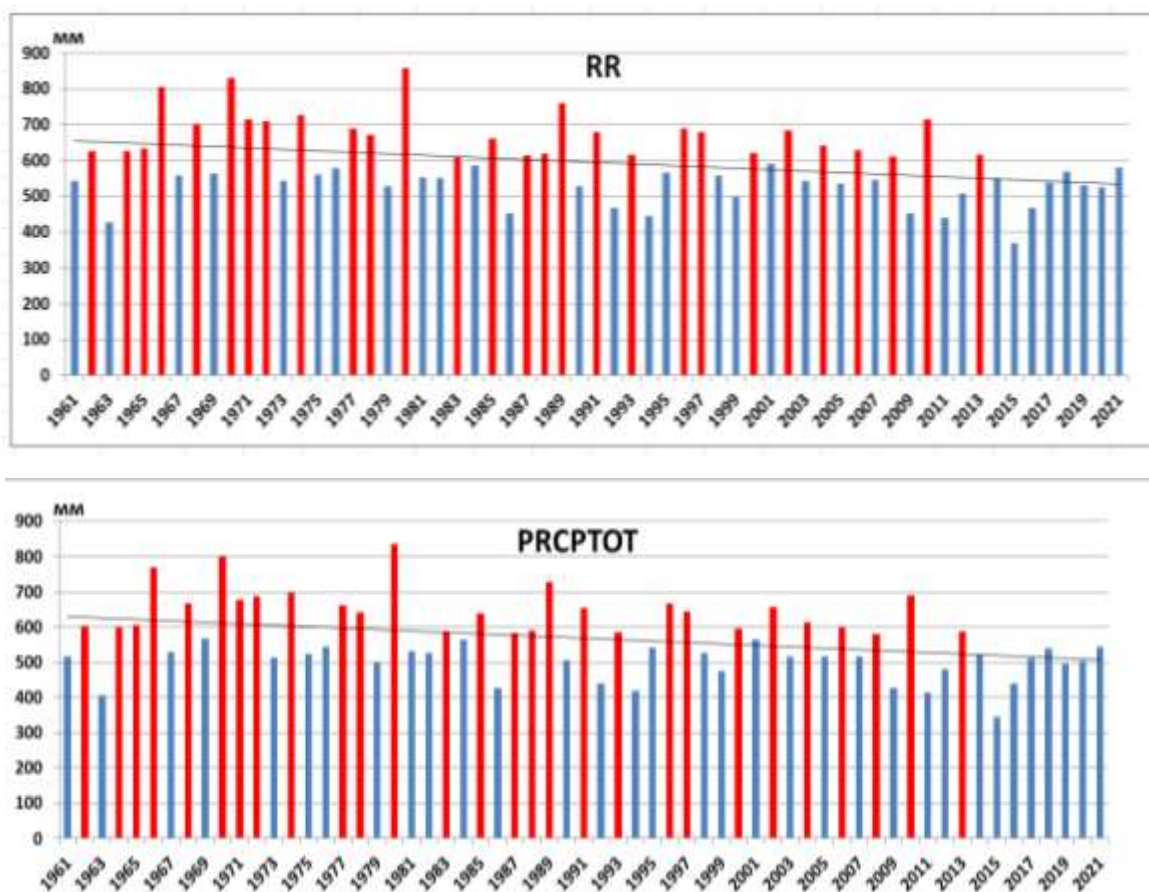


Рисунок 3.1 - Значення індексів RR (мм) та PRCPTOT (мм) на АМСЦ Вінниця з 1961 по 2021 рр.

За результатом розрахунку індексу R1mm виявлено, що в середньому кожен рік спостерігається 89 вологих днів (рис. 3.2), а їх мінімальна кількість була у 1982 (65 днів), а максимальна у 1970 (130 днів). Впродовж періоду дослідження виявлений слабкий від'ємний тренд у кількості «вологих днів», але їх максимуми (1962, 1970, 1980, 1984 та 1996 рр.) переважно спостерігалися у 60-80-ті роки ХХ століття.

Далі було залучено до аналізу індекси R10mm та R20mm, тобто кількість днів з опадами різної інтенсивності, а саме 10 та 20 мм за добу. Виявилося, що опади з добовою сумою більш ніж 10 мм спостерігалися у Вінниці в середньому 16,5 днів на рік з максимумом у 1966 р. (37 днів) та мінімумом у 2015 р. (7 днів). Впродовж періоду дослідження індекс R10mm

продемонстрував від’ємний тренд, а основні максимуми були у 1964-1966 рр., коли значення цього індексу становило 29-37 днів на рік.

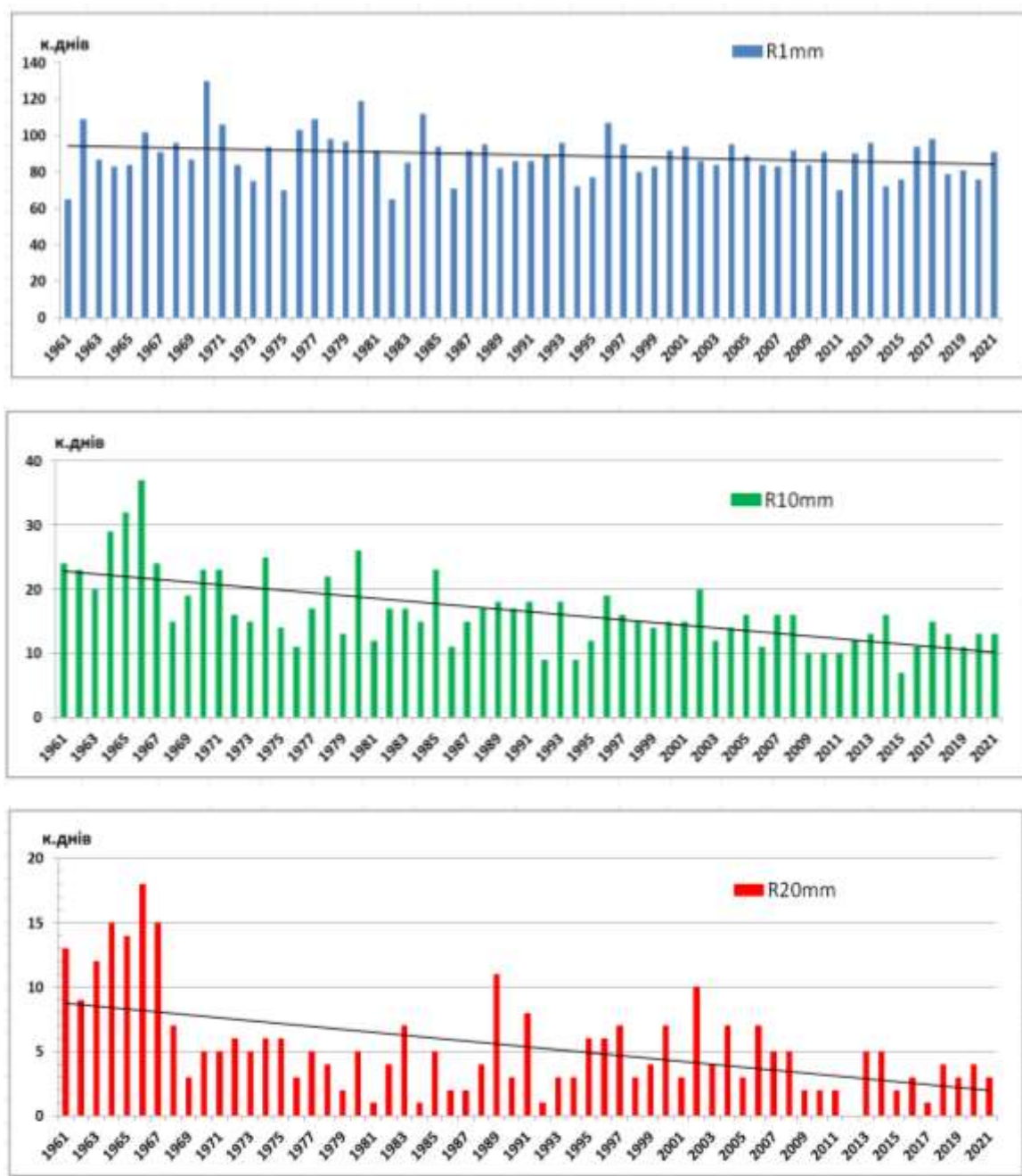


Рисунок 3.2 - Значення індексів R1mm, R10mm і R20mm (к.днів) на АМСЦ Вінниця з 1961 по 2021 рр.

Наступний індекс R20mm (рис. 3.2) приймав значення у середньому 5,3 днів на рік змінюючись від 0,0 (2012 р.) до 18 днів (1966 р.). Максимум

R20mm спостерігалися з 1963 по 1967 рр. та досягав 9-18 днів на рік. Після 2007 р. жодного разу R20mm не перевищував середнє значення для періоду 1961-2021 рр., також відносно низьким цей показник виявився з 1969 по 1982 рр. Отже індекс R20mm характеризувався від'ємним трендом аналогічно індексу R10mm.

За результатами розрахунку індексу SDП 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 мм/к. днів, а найвище значення спостерігалось у 1989 р. (9,3 мм/к. днів), також максимумами визначалися у 1982 р. (8,5 мм/к. днів) та у 1961 і 1972 рр. (по 8,4 мм/к. днів). Період з 1964 по 1975 рр. охарактеризувався відносно інтенсивними опадами, а з 1976 по 1988 рр. індекс лише тричі перевищував середнє значення, тобто 7 мм/к. днів, а також суттєво знизився після 2008 р. незважаючи на поодинокі максимумами у 2010 та 2014 рр. (7,8 та 7,6 мм/к. днів)

Дослідивши індекс CDD визначили слабкий додатній тренд, а максимальна тривалість посушливого періоду з опадами < 1 мм (тобто коли $RR_{ij} < 1$ мм) спостерігалася у 1974 році і тривала 62 дні, коли не було жодного вологого дня. В середньому індекс CDD становив 25,1 днів на рік, коливаючись у межах від 11 (1970 р.) до 62 (1972 р.) днів. Можна виділити два періоди з високими значеннями індексу CDD – 1977-1979 (28-37 днів) та 2009-2011 рр. (34-51 день). Лінійний тренд кількості безперервних сухих днів виявився слабо додатним.

Індекс CWD має нульовий тренд, тобто впродовж досліджуваного періоду суттєво не змінюється. Незначні піки максимальної тривалості безперервного дощового періоду з опадами > 1 мм (тобто коли $RR_{ij} \geq 1$ мм) спостерігалися у 1966 року (11 днів), у 1971, 2008 та 2020 року (10 днів). В середньому індекс CWD становив 5,9 днів на рік, коливаючись у межах від 3 (1982 р.) до 11 (1966 р.) днів.

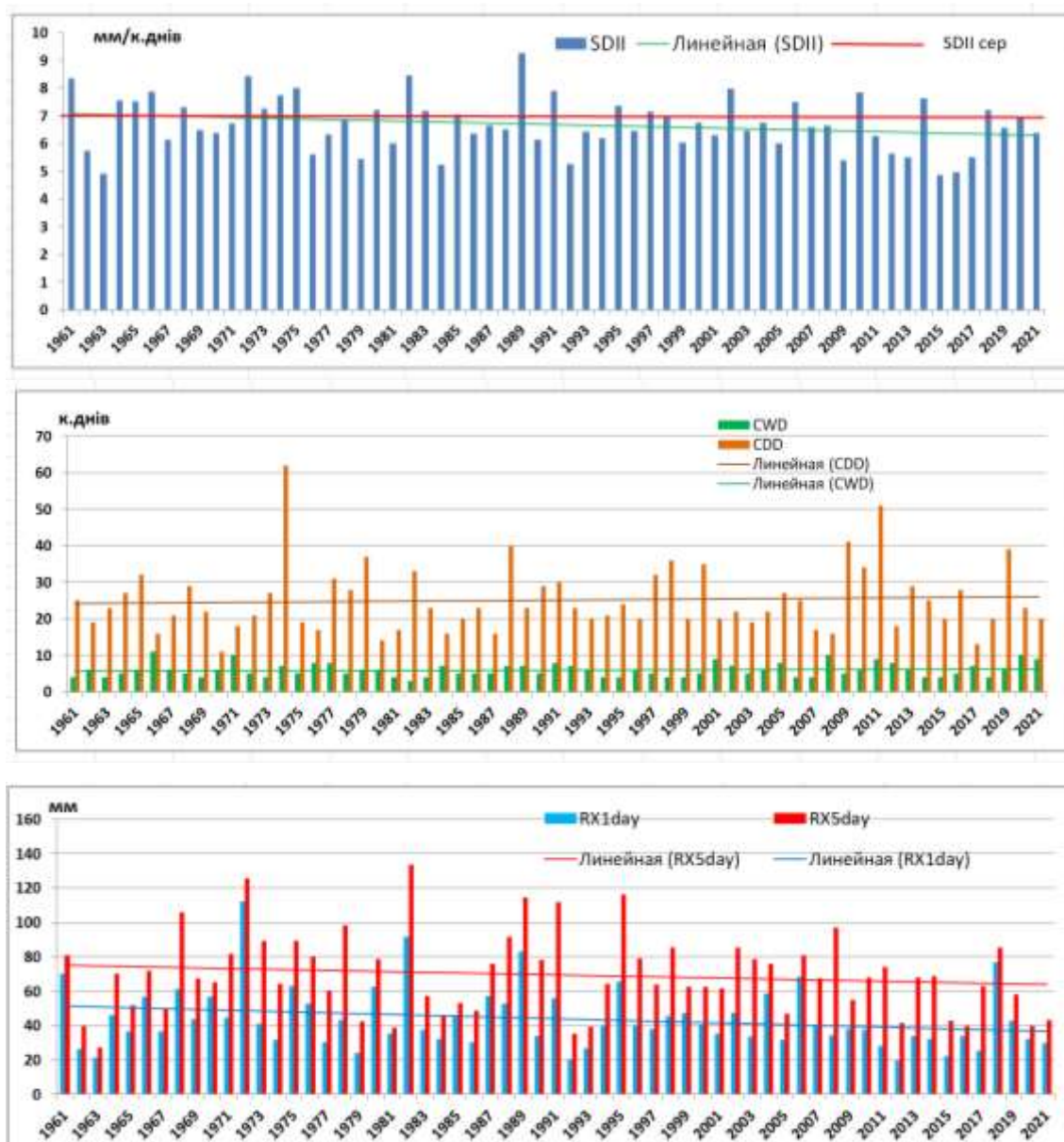


Рисунок 3.3 - Значення індексів SDII (мм/к.днів), CWD і CDD (к.днів), RX1day і RX5day (мм) на АМСЦ Вінниця з 1961 по 2021 рр.

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 1972 році (112 мм) та у 1982 (91,4 мм), а найбільші значення індексу RX5day також припали на ці роки та склали 125,7 та 133,8 мм відповідно.

ВИСНОВКИ

В результаті виконання кваліфікаційної роботи бакалавра отримані такі висновки:

1. Опади у Вінниці з 1961 по 2021 рр. спостерігалися переважно у тепле півріччя з максимумом у червні, а зниження річної суми опадів за останні 60 років відбулося переважно за рахунок зменшення кількості опадів теплого півріччя. Найбільш активне зниження місячної суми опадів виявилось липні та серпні, також вона зменшувалася взимку, у квітні та листопаді. У березні, травні та жовтні лінійний тренд буд практично рівний, а у червні та вересні – незначно додатний.

2. Виявлено, що найбільш активне зниження кількості днів з опадами у Вінниці спостерігалось на у 1981-1990 та 2011-2020 рр., а найбільш активним опадоутворенням характеризувалися 60-70-ті роки ХХ століття. Слабкий від’ємний тренд кількості днів з опадами характерний для всіх градацій інтенсивності.

3. Амплітуда річного ходу впродовж періоду дослідження суттєво не змінювалася, але виявився слабкий від’ємний тренд. Значення максимальної добової кількості опадів на рік суттєво знизилось.

4. Річна сума опадів та річна сума опадів під час вологих днів характеризувалися від’ємним трендом. Також від’ємний тренд виявився для індексів R1mm, R10mm і R20mm, причому зниження індексів R10mm та R20mm відбувалося активніше ніж R1mm.

5. Кількість днів безперервних бездощових періодів незначно зросла з 1961 по 2021 рр., а безперервних дощових періодів з опадами > 1 мм на добу суттєво не змінилася, коливаючись з року у рік.

6. Максимальна кількість опадів за 1 день та максимальна кількість опадів за 5 днів мають майже однаковий хід та характеризуються слабкими від’ємними трендами.



СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Авіаційна метеорологічна станція цивільна Вінниця
<https://meteo.vn.ua/structure/amsc>.
2. Балабух В.А., Лавриненко О.М., Ягодинець С.М., Малицька Л.В., Базалеєва Ю.О. Зміна інтенсивності, повторюваності та локалізації небезпечних явищ погоди в Україні та їх регіональні особливості. Системи контролю навколишнього середовища: Збірник наукових праць МГІ НАН України. 2013. № 19. С. 189-198.
3. 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.
4. Клімат України Під ред. В.М. Ліпінського, В.А. Дячука, В.М. Бабіченко, Київ: Вид-во Раєвського, 2003. 343 с.
5. Кліматичний кадастр України (стандартні кліматичні норми за період 1961–1990 рр.) / Державна гідрометеорологічна служба та ін. УНДГМІ–ЦГО, Київ, 2006. [Електронний ресурс]
6. Настанова з оперативного гідрометеорологічного забезпечення та обслуговування галузей національної економіки. Керівний документ УкрГМЦ. КД 52.4.1.01 06. 37 с.
7. 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.
8. 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.
9. Семергей–Чумаченко А. Б., Озимко Р. Р. Розподіл стихійних дощів в Закарпатській облас ті за останнє двадцятиріччя (1999-2018 рр.) Український

географічний журнал, 2019, № 4. С.11-17.

10. Слободяник К. Л., Семергей-Чумаченко А. Б., Веретнова В. О. Виникнення сильних опадів на станції Херсон заданими реаналізу ERA5 та метеорологічних спостережень. World Science No 11 (72), 2021, https://doi.org/10.31435/rsglobal_ws/30122021/7720

11. 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.

12. 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.

13. Шкільний Є. П. Фізика атмосфери: підручник. Одеса, 2005. 507 с.

14. Aradhana Yaduvanshi, Tiro Nkemelang, Ramkumar Bendapudi, Mark George New. Temperature and rainfall extremes change under current and future global warming levels across Indian climate zones // Climate Extremes Weather, November 2020, DOI:10.1016/j.wace.2020.100291.

15. Archive of meteorological data. Retrieved from: <https://meteopost.com/weather/archive/> (дата звернення: 20.05.2023).

16. 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>

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

18. 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.

19. 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.

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: 25.05.2023).

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

25. 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.

26. Toshiyuki Nakaegawa, Carlos Beitia, Erick Vallester, Reinhardt Pinzon. Increase In Simple Precipitation Intensity Index In Panama // *Annual Journal of Hydraulic Engineering, JSCE*, 2012, Ser. B1 (Hydraulic Engineering).

27. <https://uk.wikipedia.org/wiki/Вінниця> (дата звернення: 10.05.2023).