

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ТАРАСА  
ШЕВЧЕНКА  
ГЕОГРАФІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ  
КАФЕДРА МЕТЕОРОЛОГІЇ ТА КЛІМАТОЛОГІЇ**

На правах рукопису  
УДК 551.577.3:551.584(477.7)

**АТМОСФЕРНІ ПОСУХИ В ПІВДЕННИХ ОБЛАСТЯХ УКРАЇНИ  
НАПРИКІНЦІ ХХ - ПОЧАТКУ ХХІ СТОРІЧЧЯ**

Галузь знань *10 – Природничі науки*  
Спеціальність *103 – Науки про Землю*  
Освітня програма *Метеорологія*

Кваліфікаційна робота бакалавра  
студента 4-го курсу  
освітнього рівня бакалавр  
*Дударенка Івана Вячеславовича*  
Науковий керівник:  
*Щеглов Олександр Андрійович,*  
*к. геогр.н., ст. наук. співроб.*  
*відділу фізики атмосфери Українського*  
*гідрометеорологічного інституту*  
*ДСНС України та НАН України*

Допустити до захисту:  
Завідувач кафедри метеорології та кліматології, проф.Сергій СНІЖКО  
«\_\_»\_\_\_\_\_ 2025 р.

КИЇВ – 2025

## ЗМІСТ

ЗМІСТ .....	2
ВСТУП .....	4
РОЗДІЛ 1.ЗАГІЛЬНІ ВІДОМОСТІ .....	5
1.1. Види посух.....	5
1.2. Виникнення посух.....	6
1.3. Регіон дослідження .....	6
1.4. Характеристика режиму опадів в регіоні .....	7
1.4.1 Херсонська область.....	8
1.4.2. Одеська область .....	9
1.4.3. Миколаївська область.....	9
1.4.4. Запорізька область .....	9
1.5. Вплив зміни клімату на режим опадів.....	9
1.6. Опис ENSO подій.....	11
1.7. Вплив ENSO на Україну.....	13
2.ХАРАКТЕРИСТИКА ВХІДНИХ ДАНИХ.....	14
2.1.Індекси посух використовувані в Україні .....	14
2.2. Стандартизований індекс опадів (SPI).....	14
2.3. Опис вхідних даних .....	15
3.ОЦІНКА ПОСУШЛИВИХ ЯВИЩ НА ПІВДНІ УКРАЇНИ.....	18
3.1. Аналіз червню 1960р.-1980р. та 1980р.-2019р.....	18
3.2.Аналіз липня 1960р.-1980р. та 1980р.-2019р .....	25

3.3.Аналіз серпня 1960р.-1980р. та 1980р.-2020р .....	34
РОЗДІЛ 4. БАГАТОРІЧНИЙ ХІД ІНДЕКСУ SPI НА ПІВДНІ УКРАЇНИ ....	42
4.1. Огляд багаторічного ходу індексу SPI.....	42
4.2. Спектральний аналіз Фур’є рядів індексу SPI .....	47
Висновки .....	56
Список використаних джерел .....	58
ДОДАТКИ.....	61

## ВСТУП

Серед різноманітних екологічних проблем, що турбують людство, посухи вибиваються в особливу категорію, як одне з найбільших природних лих, що впливають на життєдіяльність людей, посухи завдають значної шкоди економіці та екології. Порівняно з іншими природними катастрофами, посухи вирізняються своєю важливістю через масштабні негативні наслідки, до яких вони призводять.

**Мета роботи** – дослідити динаміку режиму посух в південних областях України за період 1961-2020 рр. на основі показника стандартизованого індексу опадів (SPI).

**Об'єкт дослідження** – режим атмосферних опадів у південних областях України.

**Предмет дослідження** – умови посушливості, визначені на основі інформації про режим атмосферних опадів у південних областях України.

### **Завдання:**

1. Розрахувати місячні показники стандартизованого індексу опадів (SPI) для південних областей України за період 1960–2019 рр. за даними E-OBS.
2. Визначити повторюваність індексу SPI, що відповідає різній інтенсивності посухи для кліматологічних періодів 1960–1989 рр. та 1989–2019 рр. в літніх місяцях у регіоні дослідження.
3. Дослідити багаторічний хід індексу SPI в регіоні дослідження.
4. Виявити циклічність індексу SPI за допомогою спектрального аналізу (Фур'є-аналізу).

## РОЗДІЛ 1.ЗАГІЛЬНІ ВІДОМОСТІ

Результати багатьох наукових досліджень щодо виникнення посух підтверджують, що їх поява та поширення пов'язані з атмосферними циркуляційними процесами, які призводять до тривалого встановлення антициклонічної погоди. Посухи не є випадковими явищами: вони виникають і зникають на тих же територіях через складну взаємодію різноманітних природних факторів, які можуть підсилювати або знижувати їх вплив, включаючи в себе й втручання людини.

### 1.1. Види посух

Посухи поділяють на три основні види :

1. Метеорологічна – це коли протягом тривалого часу спостерігається дефіцит кількості опадів або повна їхня відсутність на додаток з високою температурою та низьким рівнем відносної вологості повітря. Також на появу метеорологічної посухи впливає загальна хмарність, кількість сонячної радіації.
2. Ґрунтова – коли рівень вологості ґрунту зменшується до рівня початку висихання коренів рослин і недостачі вологи для росту та життя посівів. Наслідком є загибель врожаю та великих втрат у економіці.
3. Гідрологічна – зменшення стоку річок та водойм, зниження рівня підземних вод та скорочення площі боліт.

## 1.2. Виникнення посух

Результати багатьох наукових досліджень щодо виникнення посух підтверджують, що їх поява та поширення пов'язані з атмосферними циркуляційними процесами, які призводять до тривалого встановлення антициклонічної погоди. Посухи не є випадковими явищами: вони виникають і зникають на тих же територіях через складну взаємодію різноманітних природних факторів, які можуть підсилювати або знижувати їх вплив, включаючи в себе й втручання людини.

На виникнення посух мають вплив різні макромасштабні атмосферні процеси, характерні для рослинного періоду, фізіологічні особливості рослин, такі як їх низька стійкість, а також відсутність атмосферних опадів та високі температури, несприятливий водний режим ґрунту і відсутність агротехніки, пристосованої до посушливих умов. Ці чинники мають різний вплив у різних природних умовах, але вони загальні для всіх областей, де відбуваються посухи.

Хоча механізми виникнення посух вже досить добре вивчені метеорологами, кліматологами та агрометеорологами, все ще залишається актуальною проблемою розробка надійних прогнозів часу, інтенсивності та тривалості посушливих періодів, що є важливим завданням для сільськогосподарських фахівців[20].

1.2.1. Опис вхідних даних. Для роботи використано географічну сітку 0,25 градусів (табл.1.1).

## 1.3. Регіон дослідження

Дослідження проводились у Південному регіону України, а саме у таких областях: Одеська, Миколаївська, Херсонська, Запорізька та АР Крим.

Весь південний регіон України охоплює зону посушливих степів (сухостеп), лише на північ Одеської області перепадає частина лісостепової зони.



Рисунок 1.1 Південний регіон на карті України[30]

#### 1.4. Характеристика режиму опадів в регіоні

Просторовий розподіл балансу опадів і випаровування нерівномірний: в південних районах він від’ємний сім місяців (з березня по вересень), а в деяких пунктах протягом усього року (Скадовськ – 33 мм/рік); в північних і західних районах річний баланс додатний, при цьому максимальних значень він сягає в районі Карпат (+ 576 мм/рік, Хуст)[24].

Для з’ясування ролі циркуляційного фактора розраховують параметр інтенсивності циркуляції  $\alpha$ .

За одиницю інтенсивності циркуляції О.О.Дроздов запропонував прийняти величину  $\alpha = 1$ , тобто інтенсивність циркуляції, при якій 10% водяної пари, яка знаходиться в стовпі атмосфери над досліджуваною територією, осідає у вигляді опадів за умови, що ефективна вологість дорівнює 100%. Ефективна вологість визначається як відношення фактичного вологовмісту до найбільшого вологовмісту при даному профілі температури в атмосфері.

Відхил від одиниці в той чи інший бік є оцінкою того, в якій мірі циркуляційні умови кожного місяця визначають випадіння опадів. В середньому за рік в Україні параметр інтенсивності циркуляції дорівнює 1,34, тобто циркуляційні умови тут сприяють утворенню опадів[25].

На півдні України  $\alpha$  змінюється від 2,27 у січні до 1,06 у вересні, тобто тут протягом року циркуляційні умови в середньому багаторічному сприяють випадінню опадів.

Суттєве зменшення  $\alpha$  спостерігається на сході і півдні країни, тобто в її степовій частині. В цьому районі, особливо на крайньому півдні України, циркуляційні умови протягом значної частини року не сприяють утворенню опадів. Значна ймовірність суттєвого зменшення опадів тут в 30 кінці літа і на початку осені: в середньому багаторічному параметр інтенсивності циркуляції досягає найменших значень (0,63 – 0,74)[25].

#### **1.4.1 Херсонська область**

Клімат помірно континентальний з м'якою малосніжною зимою та спекотним посушливим літом[22].

Опади в області різні за кількістю та розподілом. Загалом, їх обсяг коливається від 355 до 440 мм на рік. Найбільше опадів спостерігається на північному правому березі Херсонщини (400-430 мм), тоді як у прибережній зоні

кількість опадів значно менша (менше 300-325 мм на рік). Середньорічна кількість опадів становить від 300 до 420 мм [21].

#### **1.4.2. Одеська область**

Клімат вологий, помірно континентальний. У цілому клімат поєднує риси континентального і морського. Зима м'яка, малосніжна і нестійка. Загальна сума опадів 340-470 мм на рік, головним чином випадають влітку (часто у вигляді злив)[29].

#### **1.4.3. Миколаївська область**

За особливістю природних умов територія області належить до степової зони. Клімат помірно-континентальний з м'якою малосніжною зимою і жарким посушливим літом. Річна кількість опадів коливається від 330 мм на півдні до 450 мм на півночі області[28].

#### **1.4.4. Запорізька область**

Клімат помірно континентальний з м'якою малосніжною зимою та спекотним посушливим літом. Річна кількість опадів в північній половині області – 480-510мм, в південній – 430-475мм. Протягом року опади випадають нерівномірно, за рахунок сильних злив більше їх у теплий період року[27].

### **1.5. Вплив зміни клімату на режим опадів**

Спираючись на три сценарії зміни клімату :

- CFDL-30% ( м'який)[23]

- A1B (помірний)[15]
- A2 (жорсткий)[14]

За сценаріями CFDL-30% та A2 збільшення річної кількості опадів прогнозується на всій території України. Саме для південного степу найбільш сприятливими сценаріями будуть CFDL-30% та A1B, у результаті яких слід очікувати підвищення (до 61 мм) річної кількості опадів. Важливо, що збільшення буде нерівномірним за сезонами року, так для південного степу очікується зменшення кількості опадів влітку, що є загрозою для багатьох зернових культур. Для південної частини України слід очікувати зниження атмосферних опадів, що зменшить їх частку у формуванні врожаїв сільськогосподарських культур. Підвищення посушливості клімату, погіршення агрокліматичних умов росту та розвитку культур в основні періоди вегетації неминуче призведе до необхідності застосування адаптаційних заходів щодо пом'якшення негативного впливу змін клімату на ведення аграрного виробництва[31].

**Порівняльна характеристика річних сум опадів на території України**

Природно-кліматична зона	Базовий період			За сценаріями змін клімату в період 2011–2030 рр.					
	I-й (1961–1990 рр.)	II-й (1986–2005 рр.)		GFDL-30%		A1B		A2	
		Сума опадів, мм	Сума опадів, мм	% від I базового періоду	Сума опадів, мм	% від II базового періоду	Сума опадів, мм	% від II базового періоду	Сума опадів, мм
Полісся	636	651	102	708	109	732	112	785	121
Лісостеп	611	600	98	705	118	665	111	723	121
Північний Степ	534	545	102	592	109	560	103	645	118
Південний Степ	450	464	103	525	113	525	113	510	110

Рисунок 1.2 Порівняльна характеристика річних сум опадів на території України[31]

## 1.6. Опис ENSO подій

ENSO (El Niño–Southern Oscillation) — це природна коливальна система, що виникає внаслідок взаємодії між тропічною атмосферою і поверхневими водами екваторіального Тихого океану. Її формує складна взаємодія між циркуляцією Уокера, пасатами, температурою поверхні моря (SST) та розподілом атмосферного тиску [12]. У північній півкулі пасати дмуть із північного сходу в напрямку екватора, спричиняючи нагромадження теплої поверхневої води поблизу західної частини Тихого океану (Індонезія, Папуа–Нова Гвінея). Це спричиняє виникнення підйому холодних вод у східній частині Тихого океану (біля узбережжя Південної Америки) — явища апвелінгу. Така ситуація супроводжується високим атмосферним тиском на сході і низьким на заході — тобто працює циркуляція Уокера [11,12].

Явище El Niño розвивається, коли східні пасати слабшають або змінюють напрям, що зумовлює зменшення апвелінгу холодної води біля узбережжя Південної Америки та переміщення теплої водної маси на схід. У результаті температура поверхні моря (SST) в центральній і східній частинах Тихого океану підвищується на 1–3 °С, що змінює розподіл конвекції і атмосферного тиску, спричиняючи порушення циркуляції Уокера [2,13].

Цей механізм ініціюється позитивним зворотним зв'язком, відомим як зворотний зв'язок Б'єркнеса (Bjerknes feedback). Зменшення східного вітру спричиняє посилення SST в центрі та на сході Тихого океану, що в свою чергу послаблює пасати ще більше. У результаті процес самопідсилюється до досягнення максимуму події El Niño [7].

Під час La Niña ситуація протилежна El Niño: пасати посилюються, підсилюючи апвелінг холодної води в східній частині Тихого океану, що призводить до зниження температури SST і посилення градієнта тиску між заходом

і сходом. Це веде до посилення циркуляції Уокера [12]. ENSO також пов'язаний з індексом Південної Осциляції (SOI), який відображає зміну атмосферного тиску між Дарвіном (Австралія) і Таїті. Під час El Niño SOI зазвичай негативний, а під час La Niña — позитивний, що корелює з фазами пасатів і розподілом SST [16].

Індекс Південної осциляції (SOI) відстежує градієнт атмосферного тиску на рівні моря між Дарвіном (Австралія) та Таїті. Цей тисковий градієнт відображає силу і фазу Південної осциляції.[10]

У межах аналізу гідрокліматичних екстремумів, важливо зазначити, що ENSO, зокрема фази El Niño і La Niña, прямо асоціюються з формуванням посушливих умов у різних регіонах світу: «посухи зумовлені природними змінами погодних режимів, такими як El Niño та La Niña» [9].

У ВМО зазначають, що Ель-Ніньйо – Південна осциляція (ENSO) є одним із найважливіших кліматичних механізмів, який зумовлює міжрічну та сезонну мінливість погодних умов у світі. ENSO пов'язаний зі змінами частоти та просторового розподілу небезпечних явищ, зокрема сильних дощів, повеней та посух.[19]

У дослідженні [18] вказується, що вплив ENSO на опади є статистично значущим у понад 70% континентальних масивів. ENSO також змінює тривалість та інтенсивність хвиль тепла, ураганів та холодних аномалій у середніх широтах.

Загалом ENSO розглядається як результат самовідновлюваної, але внутрішньо нестійкої взаємодії океан–атмосфера. Він не є повністю періодичним процесом: хоча середній період становить 2–7 років, окремі події можуть відрізнитись за тривалістю, інтенсивністю та просторовою структурою [7].

## 1.7. Вплив ENSO на Україну

Сільське господарство є однією з найбільш вразливих галузей до змін, спричинених ENSO. Згідно з оцінками FAO, події Ель-Ніньо 1982–1983, 1997–1998, 2015–2016 років спричинили загибель врожаїв на мільйони гектарів у Південній Америці, Африці та Азії [17]. ENSO також спричиняє коливання цін на продукти харчування на світовому ринку.

У регіоні Східної Європи, зокрема в Україні, вплив ENSO менш прямий, проте статистично виявляється у роки зі значними відхиленнями температури та опадів. Наприклад, дослідження [17] демонструє, що в Україні у роки Ель-Ніньо 2007 та Ла-Ніньо 2012 відбулося зниження врожайності пшениці до 43% у південних регіонах. У той час як північний захід країни демонстрував стабільні або навіть підвищені показники врожаю. Дослідження показало, що найбільше постраждала південно-центральна частина України (області Херсонська, Миколаївська, Запорізька, Дніпропетровська), де середнє зниження врожайності у 2012 році становило 43%. У той же час північно-західні регіони, де водний дефіцит не фіксувався, продемонстрували зростання врожайності (до +16% у 2007 році).[17].

Стаття Vabirat et al. [1] є вагомим джерелом для підтвердження того, що ENSO-події здатні впливати на вологість та гідрологічний режим України, зокрема на півдні. Вона також демонструє методологію виявлення ENSO-телезв'язків, яку можна застосовувати або адаптувати для регіональних досліджень, зокрема у контексті посух.

У аналітичному звіті Міжнародної федерації Червоного Хреста і Червоного Півмісяця, щорічна кліматична мінливість в Україні зазнає впливу Південної осциляції Ель-Ніньо (ENSO): події Ель-Ніньо (тепліші та посушливіші роки) асоціюються з посухами по всій території країни.[13]

## **2.ХАРАКТЕРИСТИКА ВХІДНИХ ДАНИХ**

### **2.1.Індекси посух використовувані в Україні**

Кожні чотири роки відділ сільськогосподарської метеорології ВМО відправляє запити у гідрометеорологічні служби країн, щоб дізнатись про діяльність і сфері сільськогосподарської метеорології. І в анкеті за 2010р.-2014р. був запит на перелічення найбільш використовуваних індексів посух. В Україні найпоширенішими індексами посух є: 1. Гідротермічний коефіцієнт Селянинова; 2.Показник вологозабезпеченості Процерова; 3.Індекс аридності Педя; 4.Метеорологічний індекс продуктивності Багрова; 5. Стандартизований індекс опадів SPI[15].

### **2.2. Стандартизований індекс опадів (SPI)**

Походження: Результат досліджень і робіт, проведених в 1992 році в Університеті штату Колорадо, США. Результат їх роботи вперше був представлений на 8-й конференції з прикладної кліматології, що відбулася в січні 1993 року. Основа індексу полягає в тому, що він ґрунтується на взаємозв'язку посухи з частотою, тривалістю та часовими масштабами.

У 2009 році ВМО рекомендувала SPI як основний метеорологічний індекс посухи, який країни повинні використовувати для моніторингу та спостереження за умовами посухи. Визначивши SPI як індекс для широкого використання, ВМО надала вказівки країнам, які намагаються встановити рівень раннього попередження про посуху[15].

Посуха вказується, коли результати SPI, за будь-яку часову шкалу, що досліджується, стають постійно негативними і досягають значення -1. Вважається,

що посуха триває, поки SPI не досягне значення 0. Посуха починається при SPI -1 або менше, але стандарту немає, оскільки деякі дослідники вибирають поріг, який менше 0, але не зовсім -1, в той час як інші спочатку класифікують посуху при значеннях менше -1.

Завдяки корисності та гнучкості SPI, його можна обчислити з даними, відсутніми в періоді запису для локації. В ідеалі, часовий ряд повинен бути якомога повнішим, але розрахунки SPI забезпечать «нульове» значення, якщо даних недостатньо для обчислення значення, і SPI знову почне обчислювати вихідні дані, як тільки дані стануть доступними.

Для нашого періоду часу SPI може бути визначено у різних часових проміжках. Значення SPI за 1-3 місяці в основному використовується для моніторингу виникнення сільськогосподарської посухи[5,4].

У таблиці 2.1 показана відповідність значень індексу SPI.

Таблиця 2.1 Відповідність значень індексу SPI[4]

2,0+	Екстремально волого
1,5-1,99	Дуже волого
1,0-1,49	Помірно волого
-0,99-0,99	Близько до норми
-1,0- -1,49	Помірно сухо
-1,5- -1,99	Дуже сухо
-2,0 і менше	Екстремально сухо

### 2.3. Опис вхідних даних

Данні спостереження було взято строкові дані кількості опадів за багаторічний період з 1960р. по 2020р.

Для роботи використано ансамблеві дані, інтерпольовані в регулярну географічну сітку з просторовою роздільною здатністю 0,25 градусів з бази даних E-OBS версії 27.0e.

У межах Південного регіону України було обрано 17 точок. У таблиці 2.2 представлені координати точок спостереження.

Таблиця 2.2 Точки спостережень

№Точки	Широта	Довгота
Точка 1	46.348	32.364
Точка 2	47.461	33.227
Точка 3	46.495	34.607
Точка 4	45.976	29.423
Точка 5	46.579	30.550
Точка 6	47.924	29.629
Точка 7	46.719	31.712
Точка 8	47.515	31.304
Точка 9	48.019	31.338
Точка 10	47.070	35.117
Точка 11	47.361	36.654
Точка 12	47.942	35.435
Точка 13	45.572	33.358
Точка 14	45.233	35.724
Точка 15	44.772	34.600
Точка 16	44.516	34.239
Точка 17	45.040	35.353

Далі буде представлено рисунок 2.1 з точками спостереження на території України.

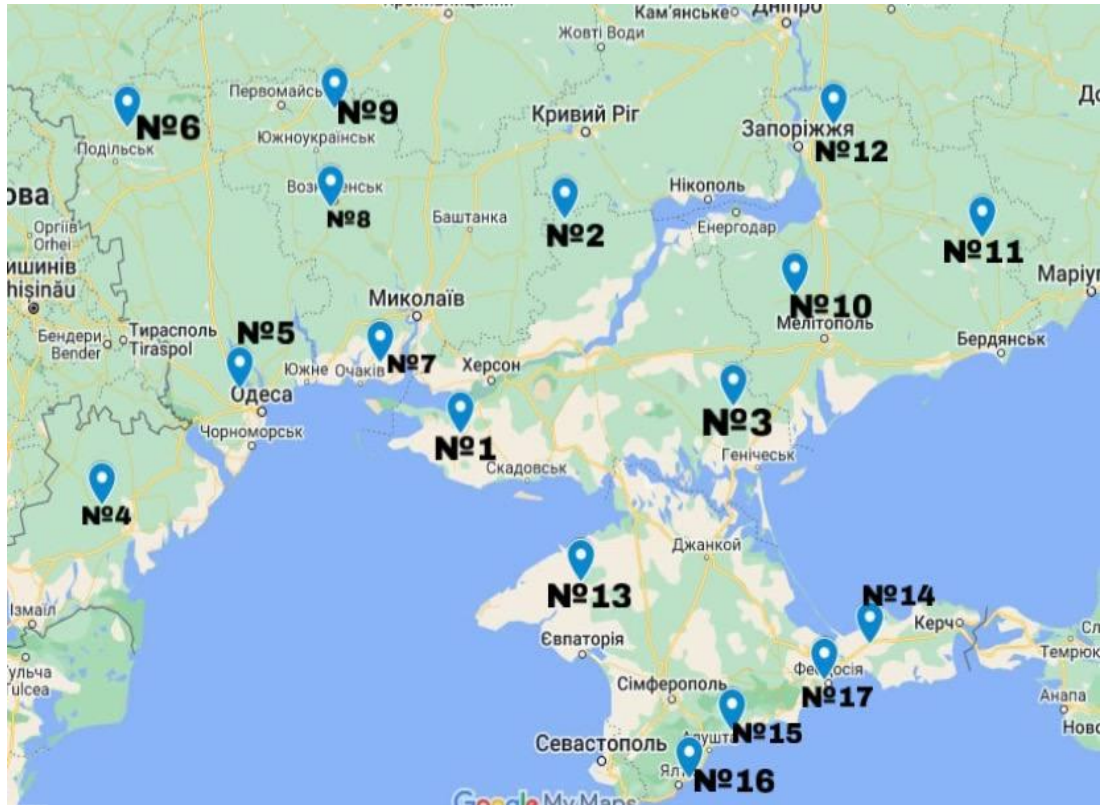


Рисунок 2.1 Карта точок спостереження

У наступному розділі буде аналіз обчислених значень SPI за три місяці літа, червень, липень, серпень відповідно. За кожен місяць пораховано кількість екстремальних посух, сильних посух та помірних посух.

### 3.ОЦІНКА ПОСУШЛИВИХ ЯВИЩ НА ПІВДНІ УКРАЇНИ

#### 3.1. Аналіз червню 1960р.-1980р. та 1980р.-2019р.

Було розраховано індекс SPI для усього періоду спостережень (1960р.-2019р.), але фокусуватись слід саме на літніх місяцях.

Таблиця. 3.1. Середні значення SPI за червень 1960р.-1980р. та за червень 1980р.-2019р.

	Червень	Червень
Період	1960-1989	1980-2019
Точка 1	0,5429675	0,0477493
Точка 2	0,6617157	0,3108771
Точка 3	0,3232865	0,1524086
Точка 4	0,7423837	0,1225936
Точка 5	0,5650741	0,3017388
Точка 6	0,9906717	0,6231638
Точка 7	0,5992855	0,207731
Точка 8	0,7994067	0,4276427
Точка 9	0,8089132	0,5346392
Точка 10	0,4597854	0,1227124
Точка 11	0,5429675	0,0477493
Точка 12	0,472724	0,1418857
Точка 13	0,0940086	-0,088219
Точка 14	-0,287129	0,0197818
Точка 15	0,2195581	-0,21224
Точка 16	0,1246455	-0,267806
Точка 17	-0,268641	0,0466863

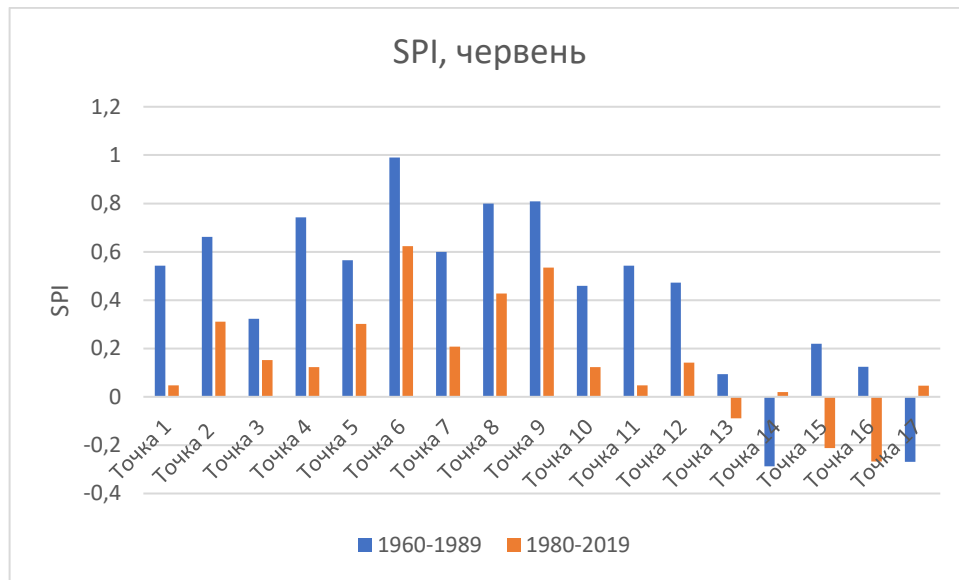


Рисунок 3.1 Середні значення SPI за червень 1960р.-1989р. та за червень 1989р.-2019р.

На Рисунку 3.1 наведено середнє значення стандартизованого індексу опадів SPI за червень 1960р.-1989р. та за червень 1989р.-2019р. Можна спостерігати відсутність посушливих явищ на усіх точках спостережень. Найменше значення - 0,287 за період 1960р.-1989р. у точці 14 (Схід Криму), що входить у діапазон від 0,99 до -0,99 і відповідає значенню близького до норми.

Найбільше значення у 0,99 за період 1989р.-2019р спостерігається на півночі Одеської області. Можна сказати, що він відповідає значенню “помірно волого”. Цікаво тут те, що саме ця точка (точка 6) знаходиться на території лісостепової зони України.

Загалом, спостерігається тенденція зменшення SPI у другому періоді (1989р.-2019р.) порівняно з першим періодом(1960р.-1989р.).

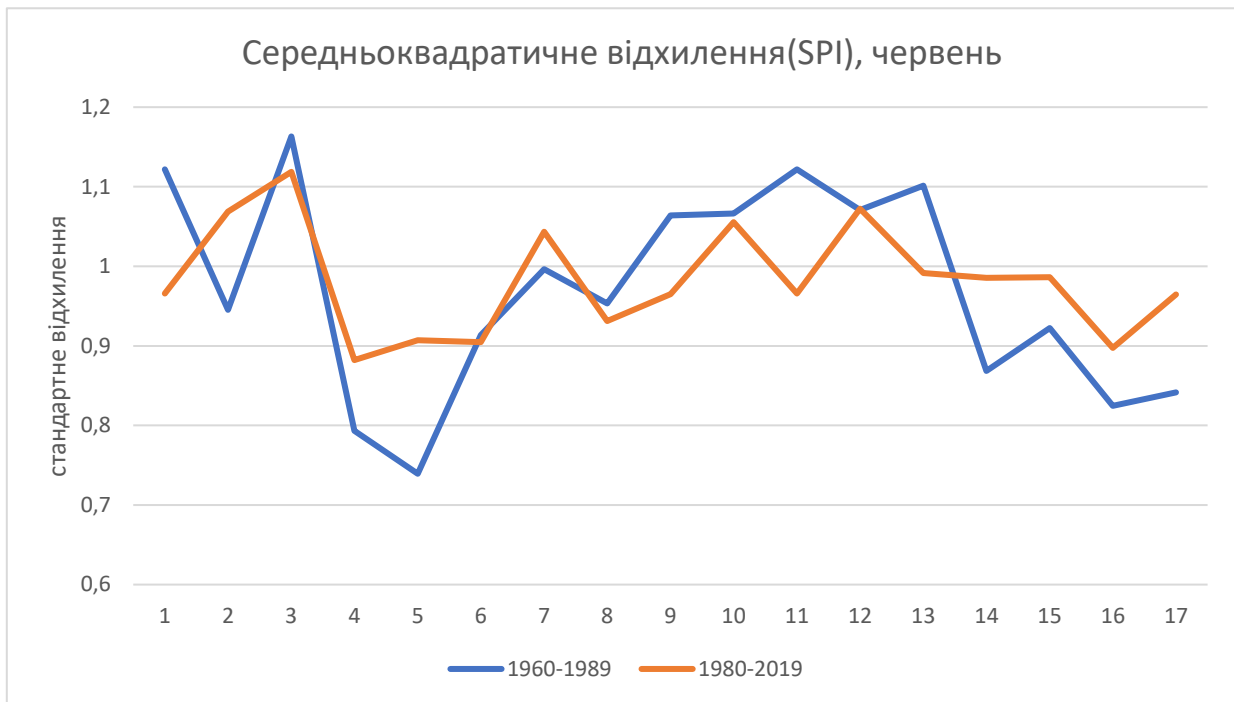


Рисунок 3.2 Середньоквадратичне відхилення SPI за червень 1960р.-1989р. та за червень 1989р.-2020р.

У моєму випадку середньоквадратичне відхилення характеризує мінливість режиму опадів. Чим менше значення, тим менший розкид значень за період спостережень.

У червні значення відхилення, можна сказати, майже, тотожні. Простежується незначна мінливість режиму опадів між I та II періодом досліджень.

Далі у таблиці 3.2 буде представлено загальну кількість випадків трьох видів посух за червень та за відповідні періоди.

Таблиця.3.2 Кількість випадків посух

Пе ріод	Сильні та екстремаль ні посухи, червень	Сильні та екстремаль ні посухи, червень	Сильні посухи, червень	Сильні посухи, червень	Помірні посухи, червень	Помірні посухи, червень
	1960-1989	1980-2019	1960-1989	1980-2019	1960-1989	1980-2019
Точка 1	5	27	35	53	53	87
Точка 2	0	51	17	28	31	88
Точка 3	28	47	46	45	86	102
Точка 4	4	6	4	23	8	78
Точка 5	0	4	4	32	11	45
Точка 6	5	0	4	3	12	26
Точка 7	5	30	7	48	50	59
Точка 8	2	4	21	20	15	33
Точка 9	5	4	10	15	52	50
Точка 10	3	43	44	56	59	79
Точка 11	5	27	35	53	53	87
Точка 12	6	48	41	31	43	104
Точка 13	4	5	80	85	95	58
Точка 14	0	0	109	85	85	66
Точка 15	7	89	22	25	72	139
Точка 16	0	53	16	42	48	150
Точка 17	0	0	93	78	80	67

У таблиці 3.2 відображена загальна кількість випадків екстремальних, сильних та помірних посух.

Нижче на рисунку 3.3 можна побачити візуалізацію таблиці 3.2.

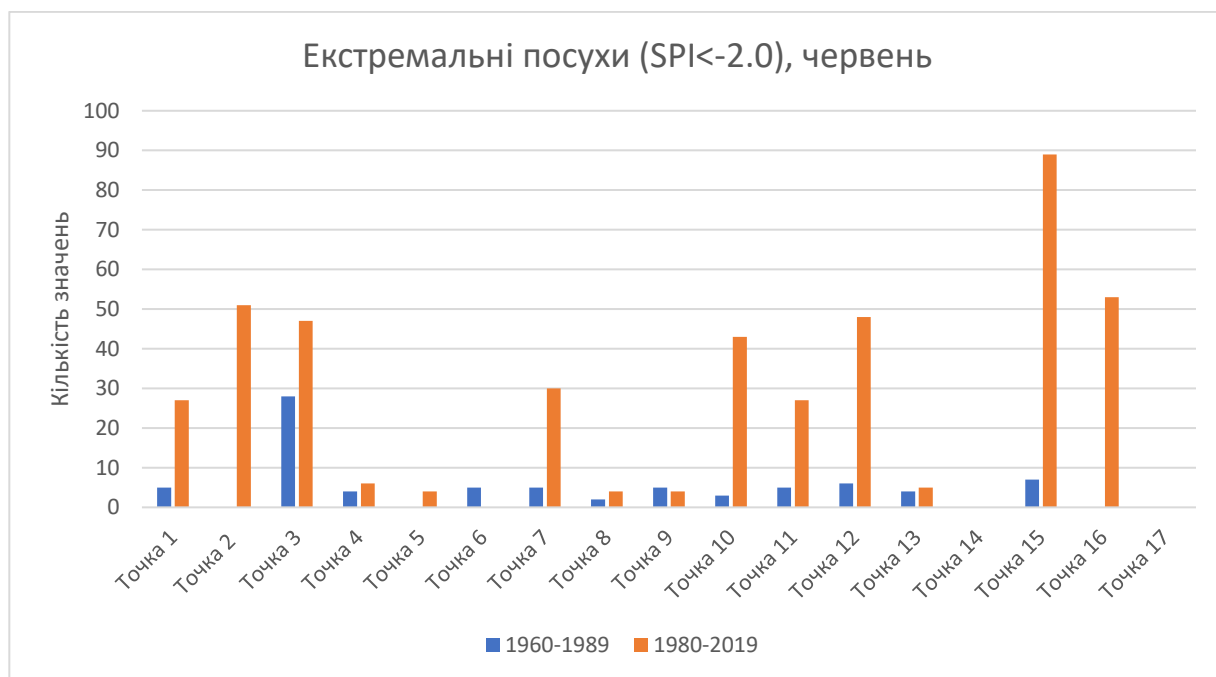


Рисунок 3.3 Кількість екстремальних посух за червень 1960р.-1989р. та за червень 1989р.-2019р.

Загальна кількість випадків значення індексу SPI<-2.0 за I період – 79, в той час як за II – 438 випадків. Збільшення прояву посушливих явищ майже в 6 разів. Також варто звернути увагу на контраст I та II періоду в точці 15(Південний берег Криму), різниця значень 82 випадки.

У точці 16(Південний берег Криму) загалом протягом I періоду не спостерігалось зменшення значення SPI нижче -2.0, а вже за другий період відбулось 53 випадки екстремальних посух. Така ж сама ситуація у точці 2(Північ Херсонської області).

Помітним є контраст у точках на південному узбережжі Криму (точки 15 і 16), де раніше подібні явища майже не фіксувалися, тоді як у новітній період вони стали регулярними. Аналогічна тенденція простежується і на півночі Херсонської області (точка 2), що свідчить про суттєве посилення екстремальних проявів аридизації на всій території дослідження.

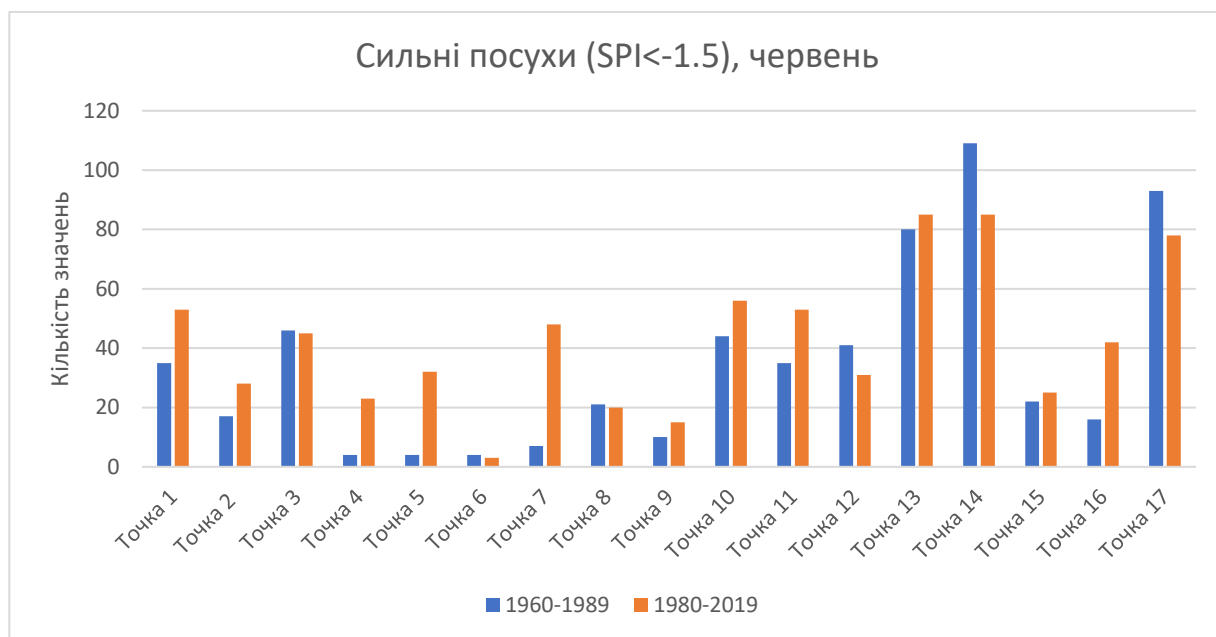


Рисунок 3.4 Кількість сильних посух за червень 1960р.-1989р. та за червень 1989р.-2019р.

Загальна кількість випадків значення індексу  $SPI < -1.5$  за I період – 588, в той час як за II – 722 випадків. За II період кількість посушливих явищ збільшилась на 134 випадки, тобто на 20%. Цікавими точками для розгляду можна виділити точки 4(Південь Одеської області), 5(околиці міста Одеса) та 7(Північ Миколаївщини), в яких спостерігається збільшення посушливих явищ у 5, 8, та 7 разів відповідно. Також цікавим є зменшення кількості посушливих днів на сході Криму (точка 17 та 14) у II періоді.

Спостерігається підвищення вразливості Одеської та Миколаївської областей до літнього дефіциту вологи. Водночас, на сході Криму (точки 14 і 17) зафіксовано зменшення кількості таких подій, що може свідчити про локальні особливості циркуляції або вплив орографічних факторів у даному регіоні.

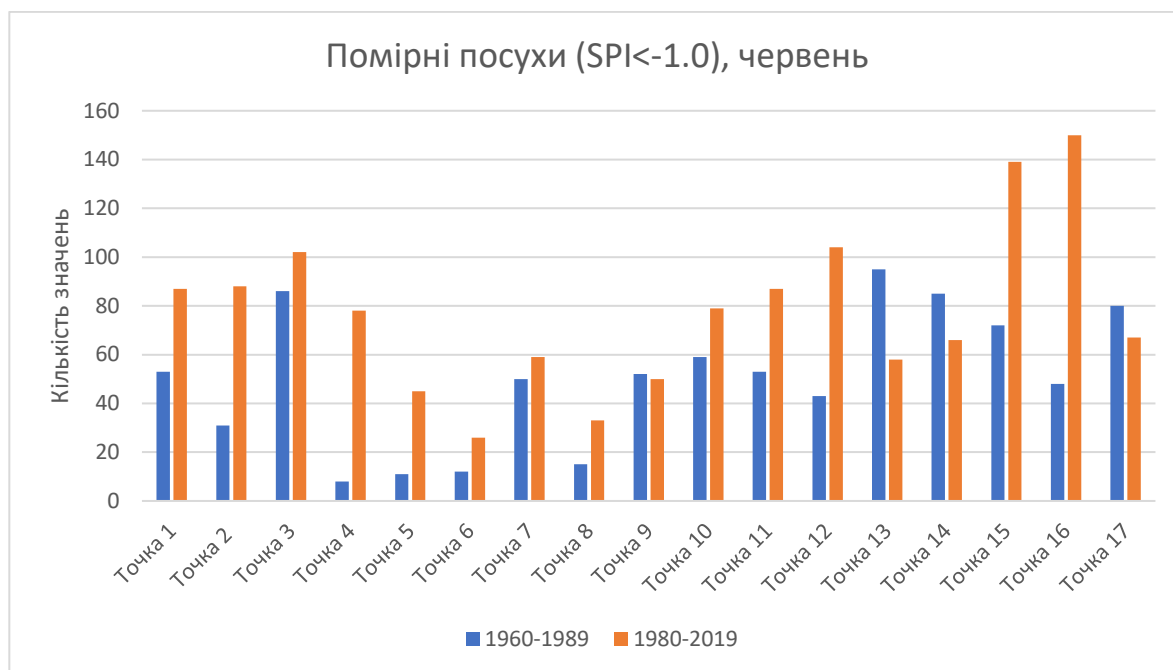


Рисунок 3.5 Кількість помірних посух за червень 1960р.-1989р. та за червень 1989р.-2019р.

Загальна кількість випадків значення індексу  $SPI < -1.0$  за I період – 853, за II період – 1318 випадків. За II період кількість посушливих явищ збільшилась на 465 випадків, тобто на 54%. Точки 7(Південь Миколаївщини) та 9(Північ Миколаївщини) майже не відрізняються кількістю випадків за I та II період. Найбільша кількість днів з значенням  $SPI < -1.0$  спостерігається у точці 16(Північний берег Криму) загальна кількість випадків за два періоди 198 (I – 48, II – 150). Ріст кількості посух у три рази.

Оцінка індексу  $SPI$  за червень у південному регіоні України засвідчила суттєве зростання посушливих явищ у другому кліматичному періоді (1989–2019 рр.) порівняно з першим (1960–1989 рр.). Особливо помітним є збільшення кількості екстремальних посух ( $SPI < -2.0$ ). Найбільш значущі зміни спостерігалися на південному сході Криму, півночі Херсонщини та в Одеській області, що свідчить про загальну тенденцію до аридизації клімату в літній сезон.

### 3.2. Аналіз липня 1960р.-1980р. та 1980р.-2019р

Таблиця. 3.3 Середні значення SPI за липень 1960р.-1980р. та за липень 1980р.-2019р.

Період	1960-1989	1980-2019
Точка 1	0,035202	-0,60308
Точка 2	0,122184	-0,51697
Точка 3	-0,1106	-0,44294
Точка 4	0,275047	-0,39936
Точка 5	0,058903	-0,16447
Точка 6	0,51117	-0,02943
Точка 7	0,048631	-0,39156
Точка 8	0,267312	-0,22377
Точка 9	0,386647	-0,13972
Точка 10	-0,00153	-0,52566
Точка 11	0,035202	-0,60308
Точка 12	0,040608	-0,46197
Точка 13	-0,23336	-0,6448
Точка 14	-0,51726	-0,23148
Точка 15	-0,30359	-0,62285
Точка 16	-0,29435	-0,7212
Точка 17	-0,51833	-0,25263

Далі буде візуалізація та опис значень стандартизованого індексу опадів за липень протягом усього періоду.

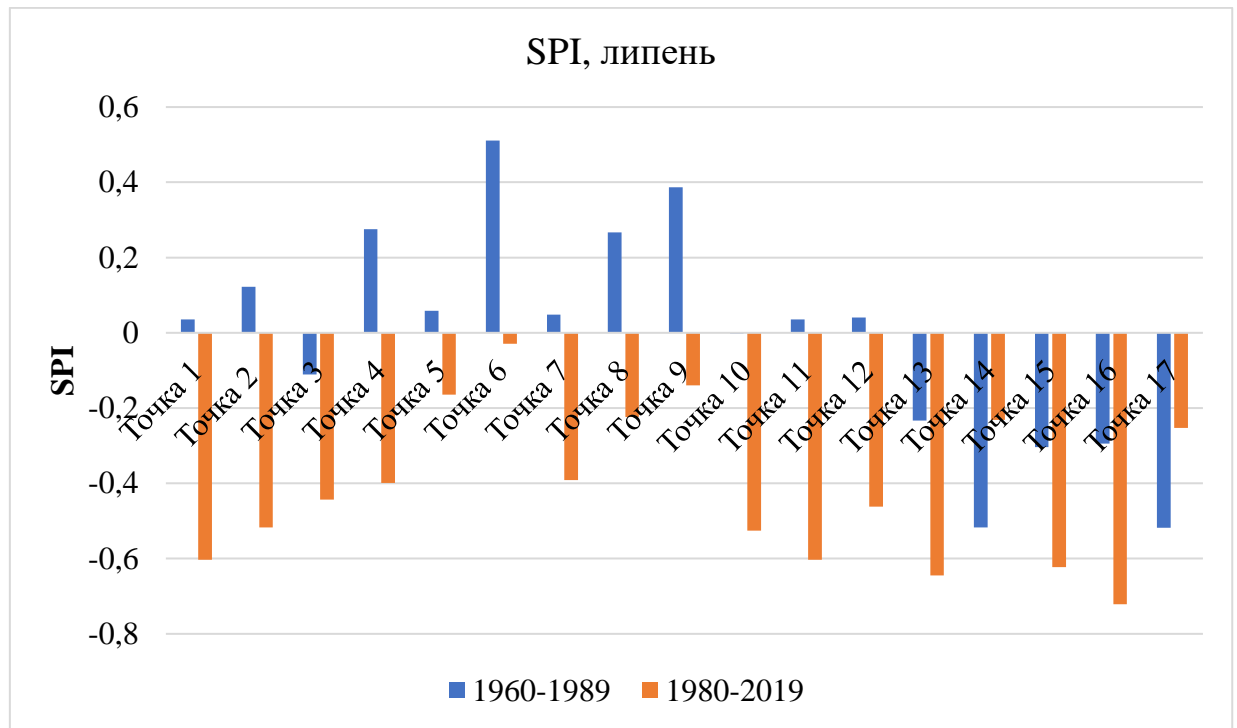


Рисунок 3.6 Середні значення SPI за липень 1960р.-1989р. та за липень 1989р.-2020р.

На Рисунку 3.6 показано середні значення стандартизованого індексу опадів SPI за липень 1960р.-1989р. та за липень 1989р.-2020р. Знову таки, найбільше значення у 0,51, спостерігається у точці 6(Північ Одеської області) на території лісостепової зони України. Найменше значення у точці 16(Північний берег Криму) і відповідає воно -0,72. Значення SPI від -0,99 до 0,99 означає наближення до норми значення посухи.

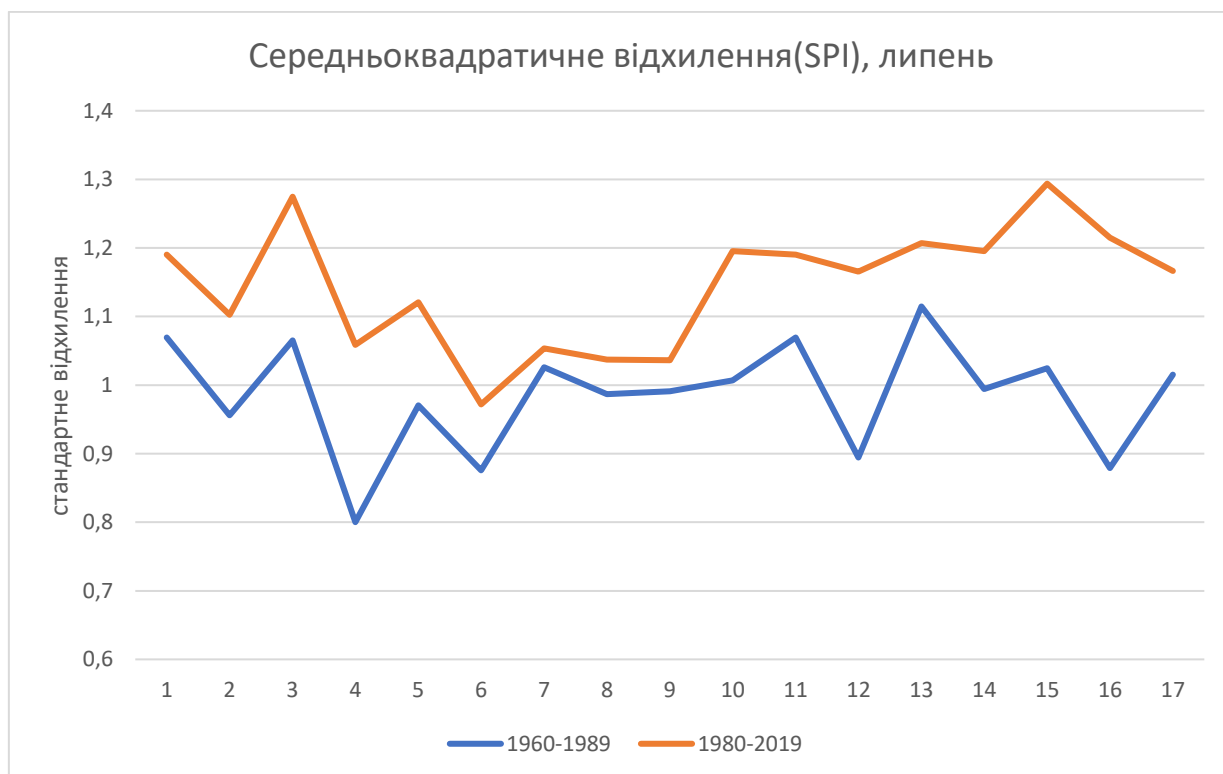


Рисунок 3.7 Середньоквадратичне відхилення SPI за липень 1960р.-1989р. та за липень 1989р.-2020р.

Можемо зробити висновок, що дані за II період завжди, на всіх точках, більш розсіяні у порівнянні з I періодом. Найменше значення за період 1960р.-1989р. спостерігається у точці 4(Південь Одеської області), а за період 1989р.-2020р. у точці 6(Північ Одеської області).

Найбільш розсіяні дані за період 1960р.-1989р у точці 13(Північ Криму), за 1989р.-2020р у точці 15(Південний берег Криму).

Це свідчить про підвищення варіабельності атмосферних опадів у липні впродовж останніх десятиліть, що може бути пов'язано як із загальною нестабільністю кліматичних умов, так і з посиленням проявів екстремальних погодних явищ.

Таблиця 3.4 Кількість випадків помірних посух за липень 1960р.-1989р. та за липень 1989р.-2020р.

Період	Помірні посухи, липень	Помірні посухи, липень
Точка 1	1960-1989	1980-2019
Точка 2	92	307
Точка 3	115	201
Точка 4	118	251
Точка 5	61	176
Точка 6	96	144
Точка 7	26	125
Точка 8	61	194
Точка 9	45	127
Точка 10	46	130
Точка 11	90	272
Точка 12	92	307
Точка 13	81	205
Точка 14	72	90
Точка 15	133	82
Точка 16	156	294
Точка 17	159	327

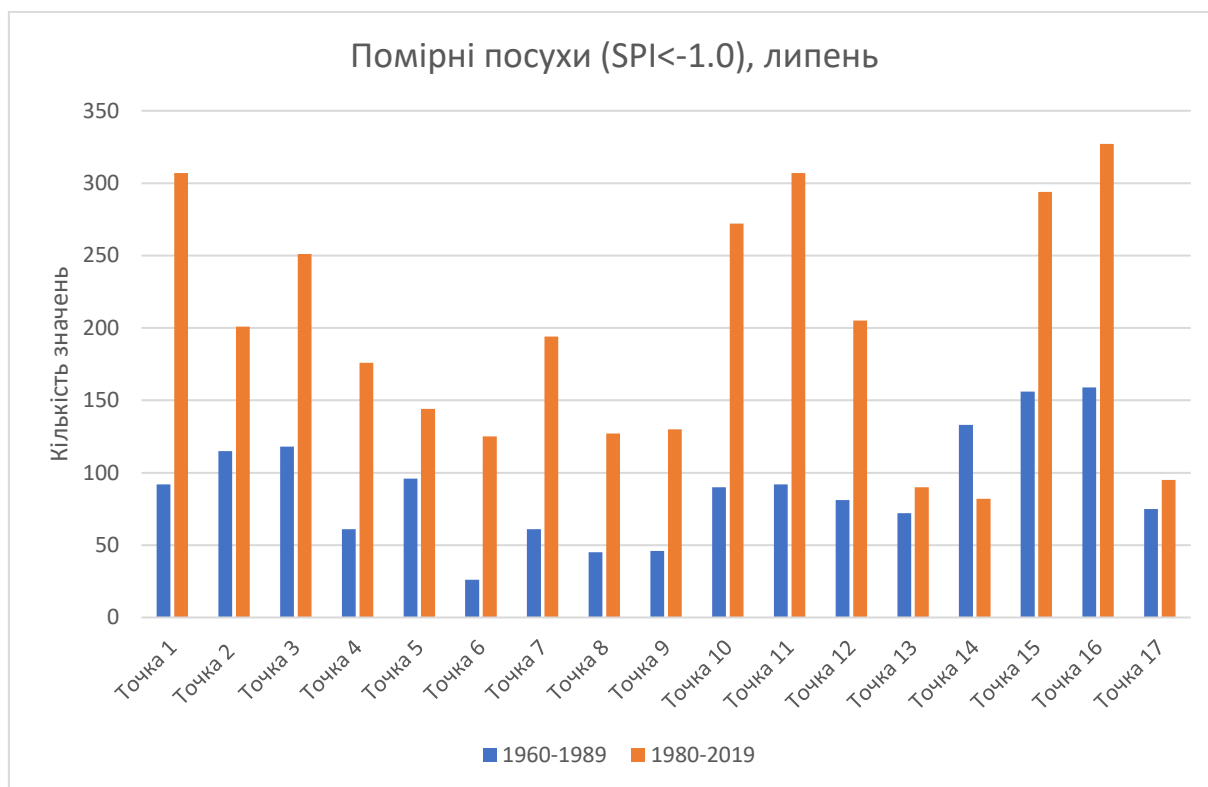


Рисунок 3.8 Кількість помірних посух за липень 1960р.-1989р. та за липень 1989р.-2020р.

Загальна кількість випадків значення індексу SPI<-1.0 за I період – 1518, за II період – 3327 випадків. За II період кількість посушливих явищ збільшилась на 1809 випадків, тобто на 219%, тобто більше ніж в два рази.

Одразу три точки перейшли межу в більше 300 випадків помірної посухи у липні – це точка 1(захід Херсонської області), 11(Схід Запорізької області) та 16(Північний берег Криму). Точку 15, яка теж відноситься до Північного берега Криму, із значення 294, можна винести до лідерів за показниками.

Отримані результати підтверджують посилення літньої аридизації та збільшення кліматичних ризиків у досліджуваному регіоні.

Таблиця 3.5 Кількість випадків сильних посух за липень 1960р.-1989р. та за липень 1989р.-2020р.

Період	Сильні посухи, липень	Сильні посухи, липень
Точка 1	1960-1989	1980-2019
Точка 2	45	101
Точка 3	20	101
Точка 4	65	98
Точка 5	14	91
Точка 6	45	58
Точка 7	20	16
Точка 8	63	53
Точка 9	37	73
Точка 10	20	69
Точка 11	45	99
Точка 12	45	101
Точка 13	26	106
Точка 14	153	320
Точка 15	182	177
Точка 16	77	99
Точка 17	59	124

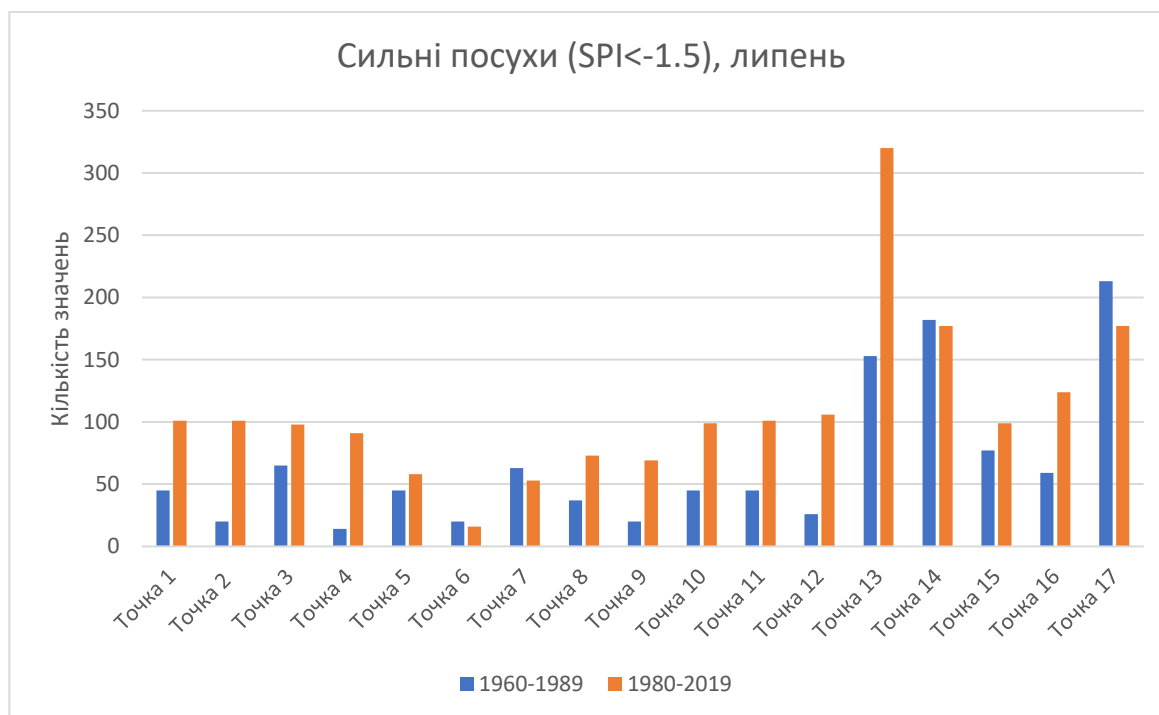


Рисунок 3.9 Кількість сильних посух за липень 1960р.-1989р. та за липень 1989р.-2020р.

Загальна кількість випадків значення індексу SPI<-1.5 за I період – 1129, за II період – 1863 випадків. За II період кількість посушливих явищ збільшилась на 734 випадки, тобто на 65%. Цікавими точками для розгляду є 7(Південь Миколаївщини), 13(Північ Криму),14(Схід Криму) та 17(Точка поблизу Феодосії). На півночі Криму збільшення кількості сильних посух у II періоді більше ніж у два рази (2,09), порівняно з I періодом. На сході Криму, Півночі Миколаївщини та поблизу Феодосії кількість сильних посух майже не змінилась з 1960р.

На усіх інших точках простежується значне збільшення випадків сильних посух.

Зростання кількості сильних посух спостерігається майже на всій території дослідження, що вказує на загальну тенденцію до аридизації регіону. Водночас в окремих точках — зокрема, на сході Криму та півночі Миколаївщини — зміни були незначними, що може свідчити про стабільніші локальні кліматичні умови.

Таблиця 3.6 Кількість випадків екстремальних посух за липень 1960р.-1989р. та за липень 1989р.-2020р.

Період	Сильні та екстремальні посухи, липень	Сильні та екстремальні посухи, липень
Точка 1	1960-1989	1980-2019
Точка 2	28	153
Точка 3	28	127
Точка 4	36	150
Точка 5	7	55
Точка 6	8	65
Точка 7	5	27
Точка 8	18	90
Точка 9	20	36
Точка 10	23	34
Точка 11	37	153
Точка 12	28	153
Точка 13	25	114
Точка 14	10	22
Точка 15	0	0
Точка 16	58	165
Точка 17	33	167



Рисунок 3.10 Кількість екстремальних посух за липень 1960р.-1989р. та за липень 1989р.-2020р

Загальна кількість випадків значення індексу SPI<-2.0 за I період – 364, за II період – 1511 випадків. Збільшення кількості екстремальних посух більше ніж в 4 рази, а саме на 415%.

Північ Одеської області, Схід та Північ Криму мають найменше зростання у II періоді. Усі інші точки підверглися величезному зростанню посух.

Аналіз екстремальних посух у липні показує різке зростання їхньої інтенсивності та поширеності у другому кліматичному періоді. Майже на всій території спостереження відбулося багаторазове збільшення кількості випадків з надзвичайно низькими значеннями SPI, що свідчить про загострення кліматичної нестабільності. Лише окремі райони - північ Одеської області, схід і північ Криму - демонструють відносно стримане зростання

### 3.3. Аналіз серпня 1960р.-1980р. та 1980р.-2020р

Таблиця. 3.7 Середні значення SPI за серпень 1960р.-1980р. та за серпень 1980р.-2019р.

Період	1960-1989	1980-2019
Точка 1	-0,13084	-0,32802
Точка 2	-0,02357	-0,19552
Точка 3	-0,15013	-0,09618
Точка 4	0,093169	-0,00203
Точка 5	-0,08205	0,070125
Точка 6	0,099027	0,127309
Точка 7	0,091335	-0,04167
Точка 8	0,160284	0,025853
Точка 9	0,125684	0,029307
Точка 10	-0,15852	-0,24103
Точка 11	-0,13084	-0,32802
Точка 12	-0,13595	-0,31347
Точка 13	-0,01393	-0,08892
Точка 14	-0,34601	0,133258
Точка 15	-0,22795	-0,23589
Точка 16	-0,23386	-0,34302
Точка 17	-0,40798	0,142897

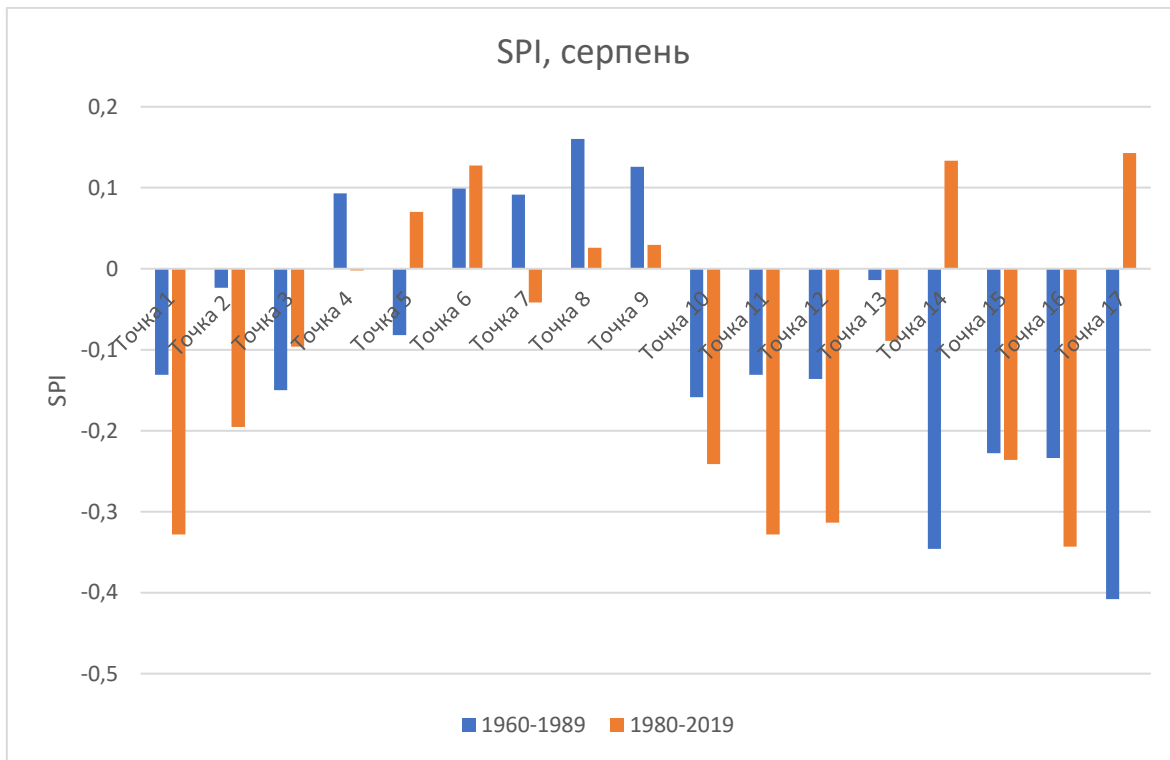


Рисунок 3.11 Середні значення SPI за серпень 1960р.-1989р. та за серпень 1989р.-2020р.

На Рисунку 3.3.1. показано середні значення стандартизованого індексу опадів SPI за серпень 1960р.-1989р. та за серпень 1989р.-2020р. Усі значення знаходяться в діапазоні від -0,99 до 0,99, тобто відповідають значенню “близьке до норми”. Цікавими точками є 14(Схід Криму) та 17(точка поблизу Феодосії) так, як мають найбільшу зміну між періодами. Схід Криму у I періоді відповідає значенню -0,34, у другому – 0,13. У точці 17 значення змінюється від -0,40 до 0,14.



Рисунок 3.12 Середньоквадратичне відхилення SPI за серпень 1960р.-1990р. та за серпень 1991р.-2020р.

На рисунку 3.12 зображено порівняння середньоквадратичного відхилення індексу SPI за серпень у двох кліматичних періодах — 1960–1990 рр. і 1991–2020 рр. Графіки для обох періодів демонструють схожий характер коливань, що свідчить про відносну сталість варіабельності опадів у серпні протягом понад шістдесяти років.

Коливання обох кривих залишаються в межах одного діапазону (близько 1.0–1.3), без різких відхилень чи зрушень тренду в одному з періодів. Це може свідчити про відсутність істотних змін у метеорологічних умовах серпня.

Таблиця 3.8 Кількість випадків помірних посух за серпень 1960р.-1989р. та за серпень 1989р.-2020р.

Період	Помірні посухи, серпень	Помірні посухи, серпень
Точка 1	1960-1989	1980-2019
Точка 2	152	204
Точка 3	135	115
Точка 4	132	148
Точка 5	121	113
Точка 6	161	109
Точка 7	113	84
Точка 8	123	164
Точка 9	103	97
Точка 10	111	97
Точка 11	184	173
Точка 12	152	204
Точка 13	162	215
Точка 14	71	124
Точка 15	176	91
Точка 16	143	188
Точка 17	190	243

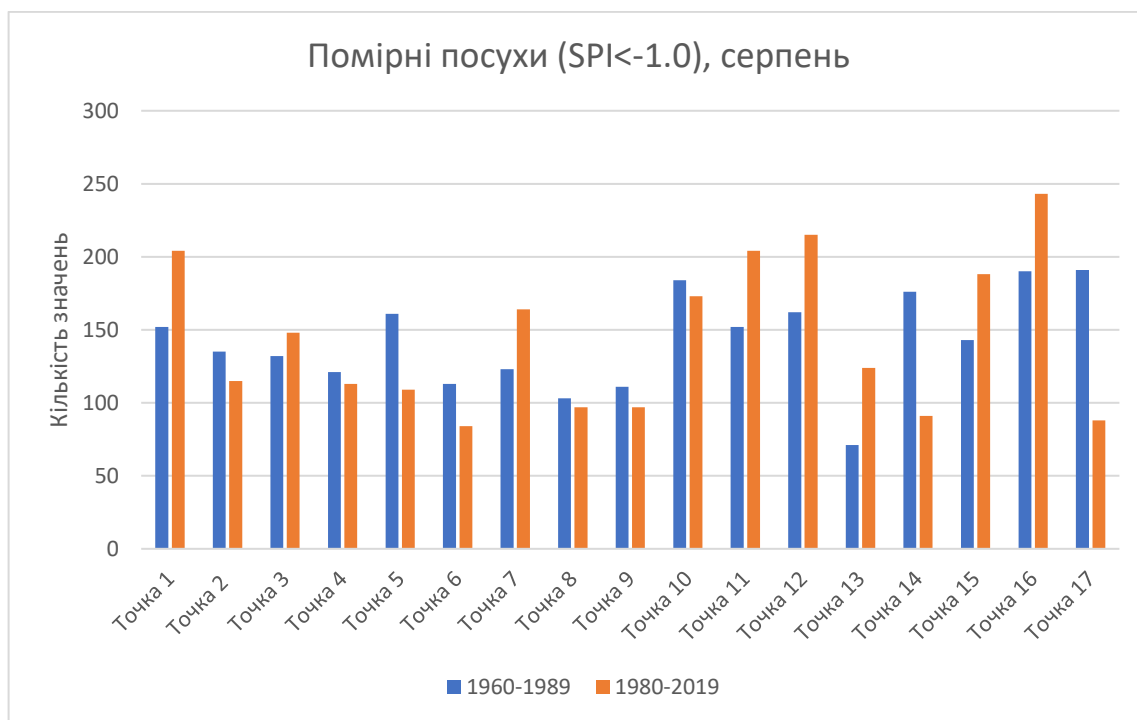


Рисунок 3.13 Кількість помірних посух за серпень 1960р.-1990р. та за серпень 1991р.-2020р.

Загальна кількість випадків значення індексу SPI<-1.0 за I період – 2420, за II період – 2457. Ситуація в серпні, як можна бачити, вирівнюється. Кількість випадків майже 1 к 1, рівна. У червні було зростання у II періоді на 54%, а у липні різниця була більше ніж у 2 рази.

У серпні 1960р.-1990р. спостерігається найбільша кількість помірних посух, в той час як, для періоду 1991р.-2020р. найбільш посушливим місяцем у сезону є липень.

Цікаво, що в першому періоді саме серпень був найбільш посушливим, тоді як у другому цю роль перейняв липень. Така динаміка вказує на зсув піку літньої аридності на більш ранній етап сезону, що може мати важливі наслідки для сільського господарства та водних ресурсів регіону.

Таблиця 3.9 Кількість сильних посух за серпень 1960р.-1989р. та за серпень 1989р.-2020р.

Період	Сильні посухи, серпень	Сильні посухи, серпень
Точка 1	1960-1989	1980-2019
Точка 2	40	71
Точка 3	49	113
Точка 4	68	72
Точка 5	50	47
Точка 6	47	56
Точка 7	43	54
Точка 8	63	51
Точка 9	53	81
Точка 10	58	64
Точка 11	60	94
Точка 12	40	71
Точка 13	64	75
Точка 14	117	125
Точка 15	146	79
Точка 16	74	69
Точка 17	57	50

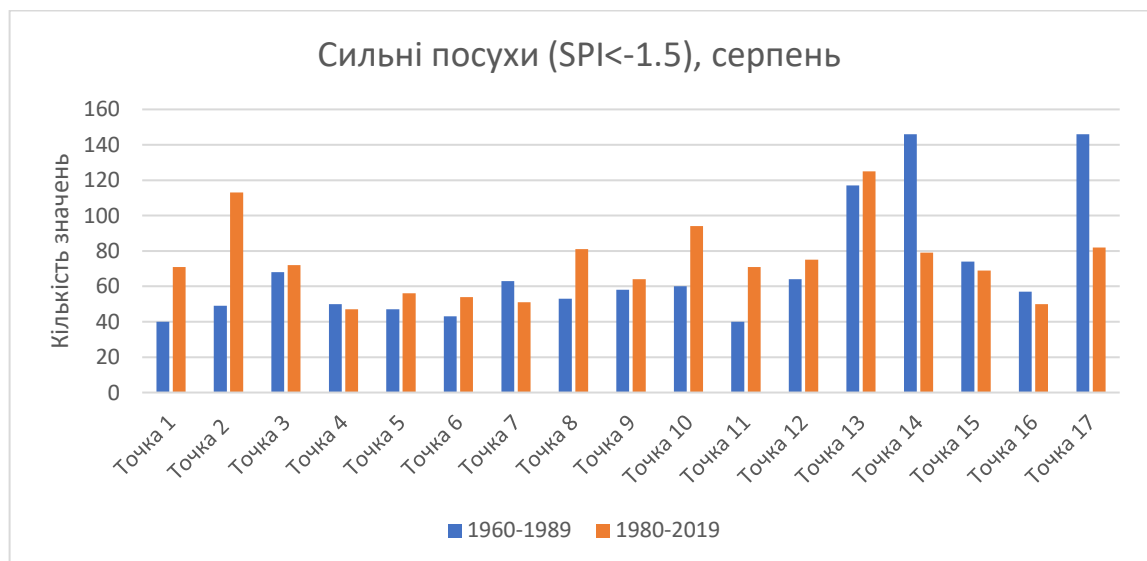


Рисунок 3.14 Кількість сильних посух за серпень 1960р.-1989р. та за серпень 1989р.-2020р.

Загальна кількість випадків значення індексу SPI<-1.5 за I період – 1175, за II період – 1254 випадків. У другому періоді кількість днів з сильною посухою збільшилась на 79 днів, тобто різниця мінімальна. Порівняно з різницею періодів у червні та липні, різниця у серпні менша у 10 разів. Найбільша амплітуда між періодами спостерігається у точка 14(Схід Криму) та 17(точка поблизу Феодосії).

Таблиця 3.10 Кількість екстремальних посух за серпень 1960р.-1989р. та за серпень 1989р.-2020р.

	Сильні та екстремальні посухи, серпень	Сильні та екстремальні посухи, серпень
Період	1960-1989	1980-2019
Точка 1	36	115
Точка 2	65	87
Точка 3	34	25
Точка 4	18	38
Точка 5	55	71
Точка 6	20	32
Точка 7	32	68
Точка 8	51	47
Точка 9	45	61
Точка 10	64	79
Точка 11	36	115
Точка 12	48	87
Точка 13	6	7
Точка 14	0	2
Точка 15	58	76
Точка 16	35	84
Точка 17	0	2

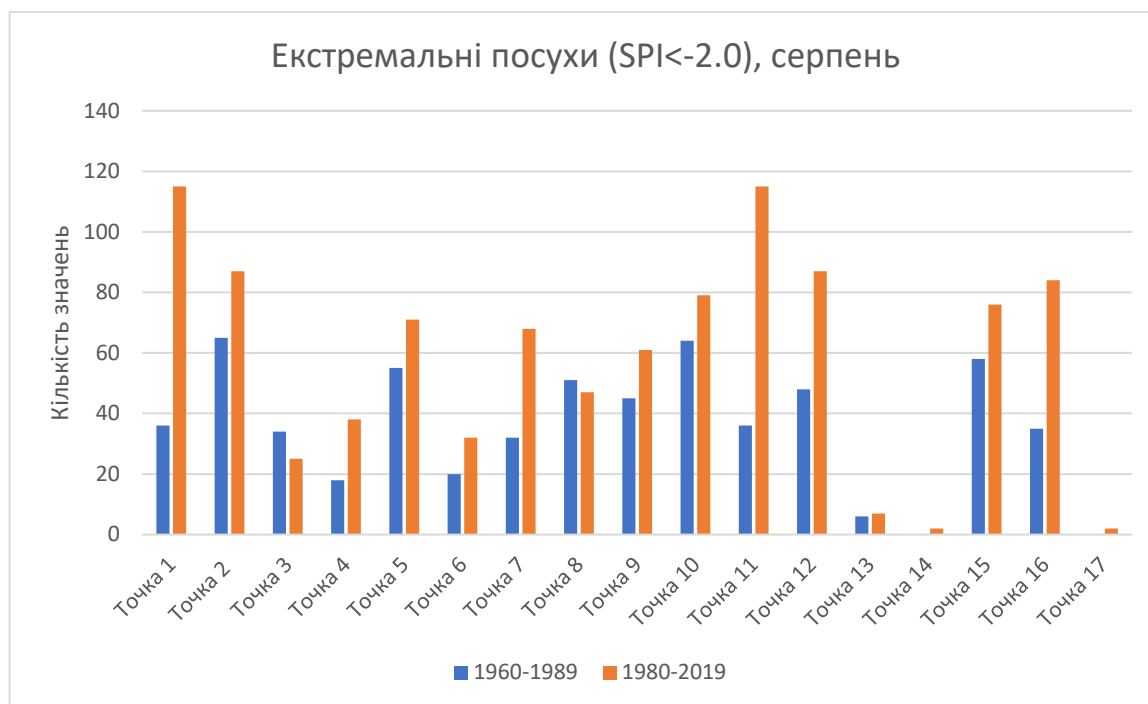


Рисунок 3.15 Кількість екстремальних посух за серпень 1960р.-1989р. та за серпень 1989р.-2020р.

Загальна кількість випадків значення індексу  $SPI < -2.0$  за I період – 603, за II період – 996 випадків. Збільшення кількості днів з екстремальними посухами у періоді 1989р.-2020р. відбулось на 393 випадки, тобто на 65%. Найбільші амплітуди спостерігаються у точках 1(Північ Херсонської області) та 11(Схід Запорізької області), 79 днів відповідно.

У серпні також фіксується помітне зростання кількості екстремальних посух у другому кліматичному періоді, хоча воно є менш різким, ніж у липні. Така динаміка вказує на збереження високого ризику появи критичних посушливих умов наприкінці літа. Найбільші просторові контрасти спостерігаються в окремих точках, що свідчить про нерівномірний розподіл екстремальних подій у межах регіону.

## РОЗДІЛ 4. БАГАТОРІЧНИЙ ХІД ІНДЕКСУ SPI НА ПІВДНІ УКРАЇНИ

### 4.1. Огляд багаторічного ходу індексу SPI

У цьому розділі представлено багаторічні ряди SPI на основі кліматичних даних за період 1948–2020 рр. для п'яти вибраних точок сітки у південному регіоні України. Застосування 12-місячного осереднення дає змогу згладити коливання й простежити загальні тенденції в частоті та тривалості посух. Побудовані графіки дозволяють виявити роки з найбільш вираженим дефіцитом атмосферних опадів, а також оцінити довгострокові зміни гідрокліматичних умов у контексті глобальних кліматичних коливань.

Розрахунок індексів і спектральний аналіз реалізовано за допомогою коду пайтон (додаток А)

Таблиця 4.1 Координати точок сітки

	Широта	Довгота
Крим	45.55	33.35
Запоріжжя	47.05	34.95
Одеса	46.55	30.55
Херсон	46.45	34.65
Миколаїв	47.55	31.35



Рисунок 4.1. Багаторічний хід індексу SPI у Криму

На рисунку 4.1 зображено хід стандартизованого індексу опадів з 1948р. по 2025р. Аналіз максимумів та мінімумів графіку показує, що найбільш позитивні аномалії SPI досягали значень близько 2,5-2,7, що за значеннями індексу, означає надмірну зволоженість. Ці аномалії спостерігались в основному у період з 1996р. по 2008р. Найбільш негативні значення на рівні -2,0, вони свідчать про наявність екстремальних посушливих явищ. Період з 1990р. по 2020р. виділяється найбільшою кількістю випадків, коли значення індексу було наближене до значення -1,5-(-2,0), тобто означаючи сильні або екстремальні посухи відповідно.

Аналіз 12-місячного осереднення свідчить про наявність фаз з зниженою та підвищеною вологістю з характерним циклом тривалістю 5-8 років у середньому.

При порівнянні двох періодів, а саме 1960-1990рр. та 1991-2020рр., можна прийти до висновків, що період 1990-2020рр. має стійку тенденцію до зниження та має вигляд домінування негативних значень індексу SPI. В той час як графік періоду 1960-1990рр. є більш симетричним та має невелике домінування позитивних значень.

Період 1960-1990рр. можна описати кліматичною нормою з окремими роками незначного зволоження. Період 1990-2020рр., з середнім значенням індексу близько -0,4, відповідає помірно-посушливим умовам.



Рисунок 4.2. Багаторічний хід індексу SPI Запорізька область

На рисунку 4.2. зображено хід індексу SPI з 1948р. по 2025р. Максимальні та мінімальні значення SPI коливались у межах від -2,0 до +2,6 одиниць. Динаміка 12-місячного осереднення вказує на наявність періодичності з характерним циклом 3-7 років, коли фаза посухи змінюється фазою відносного зволоження. Протягом періоду 1960-1990рр. майже відсутні тривалі фази інтенсивної посухи. SPI переважно перебуває у позитивних значеннях, що вказує на більш збалансовані кліматичні та гідрологічні умови порівняно з наступним періодом. Лінія 12-місячного осереднення демонструє частіші та більш тривалі негативні значення індексу. У 1991-2020рр. зберігається негативна тенденція до зростання частоти та тривалості посушливих явищ.



Рисунок 4.3. Багаторічний хід індексу SPI Херсонська область

На рисунку 4.3 зображено багаторічний хід індексу SPI для Херсонської області з 1948р. по 2025р. Проаналізувавши екстремуми можна побачити, що індекс демонструє наявність як і надзвичайно посушливі значення, так і вологих періодів. Найбільш від'ємні значення спостерігаються в окремі роки після 1990р. Після 2010р. SPI неодноразово опускався нижче  $-2,0$ , що відповідає критеріям екстремальних посух. На основі 12-місячного осереднення можна простежити циклічність індексу SPI із середньою періодичністю приблизно 5-7 років. Протягом цього циклу відбувається чергування періодів зволоження та посушливості. Рисунок періоду 1960-1990рр. показує більш симетричну амплітуду між від'ємними та додатними значеннями індексу, ніж період 1991-2020рр. у якому графік частіше опускається нижче нуля. Загалом, можна заявити, що графік демонструє тенденцію на погіршення кліматичним умов у Херсонській області в період 1991-2020рр. порівняно з попереднім періодом.

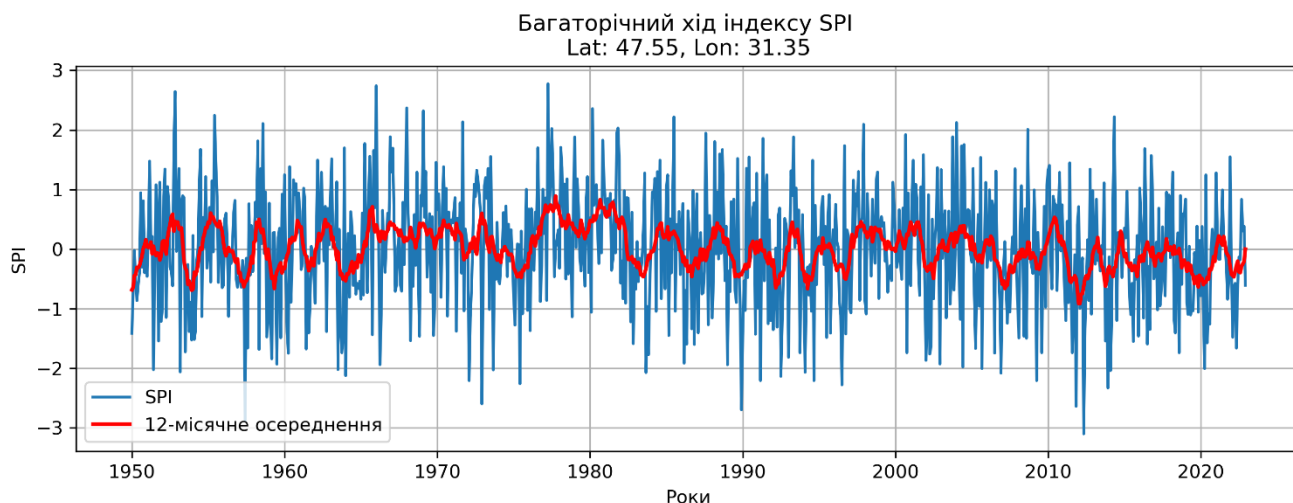


Рисунок 4.4 Багаторічний хід індексу SPI Миколаївська область

Рисунок 4.4 відображає багаторічний хід індексу SPI у Миколаївській області з 1948р. по 2025р. Діапазон коливання індексу від -3,0 до +2,6. Після аналізу максимумів та мінімумів SPI на графіку, можна побачити зменшення амплітуди коливань після 2000р., що може вказувати на зменшення континентальності клімату у точці спостереження. Так само, як і на інших графіках, простежується циклічність ходу індексу з періодичністю близько 5-7 років. Періоди вологості та посушливості чітко чергуються, особливо в період 1950-1980рр. В період 1991-2020рр. графік частіше перебуває у зоні від'ємних значень ніж періодом раніше. Особливо виділяються посушливі періоди 2007-2009рр. та 2011-2013рр. Загалом графік вказує на посилення аридних кліматичних та гідрологічних умов в Миколаївській області.

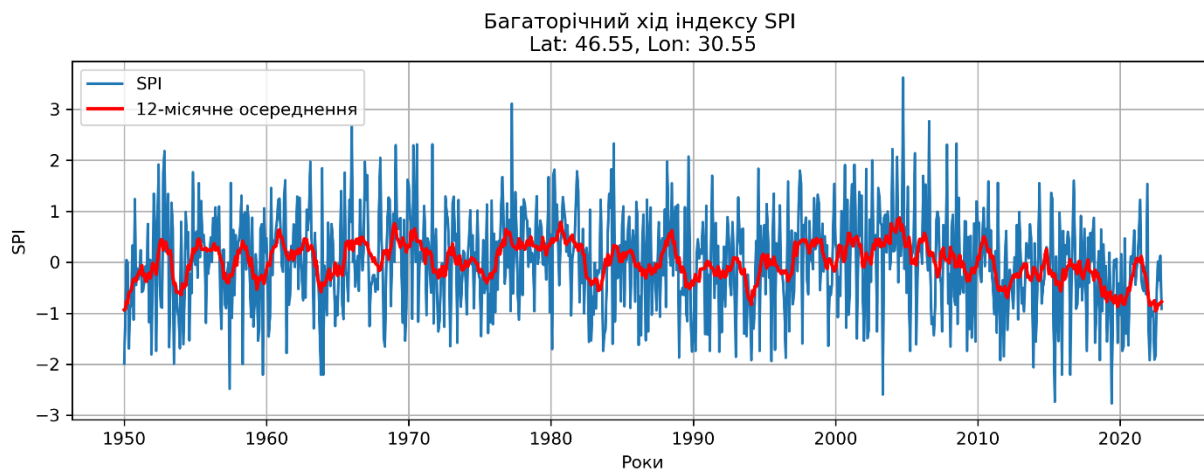


Рисунок 4.5 Багаторічний хід індексу SPI в Одеській області

На Рисунку 4.5 зображено багаторічний хід індексу SPI в Одеській області 1948-2025рр. Проаналізувавши графік можна прийти до висновків, що у періоді 1960-1990рр. показник SPI має набагато більш збалансований характер з майже рівною кількістю періодів посух та зволоження. Це вказує на відносно стабільне зволоження протягом року та на сезонну та річну зміну вологості. На частині графіку періоду 1991-2020рр. значення індексу частіше доходять до межі -1,0, а періоди посух тривають по декілька років. Позитивні значення відслідковуються рідше, вони відмічаються менш тривалими та менш вираженими. У переході між періодами зволоження та посушливості простежується циклічність у 6-8 років. Період 1960-1990рр. має вигляд регулярності періодів зволоження та посушливості, а 1990-2020рр. виглядає більш хаотично, менш регулярним з затяжними коливаннями від'ємних значень. Можливо це свідчить про регіональну аридність, поступовий перехід до клімату з нижчою кількістю обадів.

## 4.2. Спектральний аналіз Фур'є рядів індексу SPI

Для виявлення циклічних компонент у часових рядах індексу SPI було застосовано швидке перетворення Фур'є (FFT, англ. Fast Fourier Transform) —

алгоритм для ефективної реалізації дискретного перетворення Фур'є (DFT). Метод дозволяє розкласти часовий ряд на набір гармонічних коливань з різними частотами, амплітудами та фазами, що дає змогу виявити домінуючі періоди змін[3]

Розрахунок здійснювався окремо для кожної географічної точки сітки (за координатами широти та довготи). На кожен часовий ряд застосовувалося FFT-перетворення, в результаті чого було отримано спектр частот. Для кожної частоти визначалися:

- частота  $f$  — у зворотних місяцях, тобто  $f=1/T$ , де  $T$  — період;
- період ( $T$ ) у місяцях;
- амплітуда гармоніки — модуль відповідного спектрального коефіцієнта.

Для статистично обґрунтованого визначення значущих амплітуд у спектрі Фур'є індексу SPI було застосовано міжквартильний розмах (IQR) — класичний метод виявлення суттєвих відхилень від фонових коливань. Для розрахунку вираховуємо  $Q1$ (25-й центиль) та  $Q3$ (75-й центиль). Відповідно,  $Q1$  буде дорівнювати 0,035,  $Q3$  буде дорівнювати 0,079. Далі для розрахунку міжквартильного розмаху(IQR) потрібно відняти  $Q1$  від  $Q3$ , це буде дорівнювати 0,045. По формулі вираховуємо порогове значення значущості:

$$\text{Поріг} = Q3 + 1.5 \times IQR = 0.079 + 1.5 \times 0.045 = 0.146 \quad (1)$$

Таким чином, амплітуди, що перевищують цю межу, вважаються статистично значущими та відображають фізично обґрунтовану мінливість опадів.

Компоненти Фур'є представляють собою синусоїдальні хвилі з різними частотами. Використовуючи підхід частотної області, за Монтгомері, Дженнінгсом і Кулахчі [8], представлення Фур'є позначається як:

$$y_t = \sum_{k=1}^n a_k \sin\left(2\pi \frac{k}{n} t\right) + \sum_{k=1}^n b_k \cos\left(2\pi t \frac{k}{n}\right), (2)$$

Де  $a$  та  $b$  визначаються як коефіцієнти Фур'є і рахуються за формулами:

$$a_t = \frac{2}{n} \sum_{k=1}^n \cos\left(2\pi t \frac{k}{n}\right), (3)$$

та

$$b_t = \frac{2}{n} \sum_{k=1}^n \sin\left(2\pi t \frac{k}{n}\right), (4)$$

Для отримання спектральної густини коефіцієнти Фур'є позначаються як  $a$  і  $b$  у вигляді:

$$P\left(\frac{k}{n}\right) = \frac{n}{2} (a_k^2 + b_k^2), (5)$$

Далі для обчислення амплітуди має обчислити магнітуду ( $C$ ) за формулою:

$$C = \sqrt{a^2 + b^2}, (6)$$

Порахувавши магнітуду ( $C$ ) можна обчислити амплітуду ( $A_k$ ) за формулою:

$$A_k = \frac{2}{n} C_k, (7)$$

Де індекс  $k$  – це індекс для кожної з частот, на які розкладається ряд значень. А  $n$  це довжина ряду, яка дорівнює 876 (місяців).

Реконструйований часовий ряд подається за допомогою комбінації значущих гармонік(частот хвиль) і обчислюється по формулі (2), у результаті залишається певний ряд із характерних коливань.

Нижче буде представлена формула частоти гармоніки ( $f$ ), вона присутня у формулі (7), (8) та (9). Частота гармонік пов'язана із поняття періоду(в місяцях):

$$f = \frac{k}{n}$$

Ця частота і відповідає значенням періоду(місяці) на майбутніх графіках.

Далі будуть представлені графіки перетворення Фур'є для багаторічного ходу індексу SPI для п'яти областей. На рисунку 4.6 показано графік аналізу для Кримського півострова.

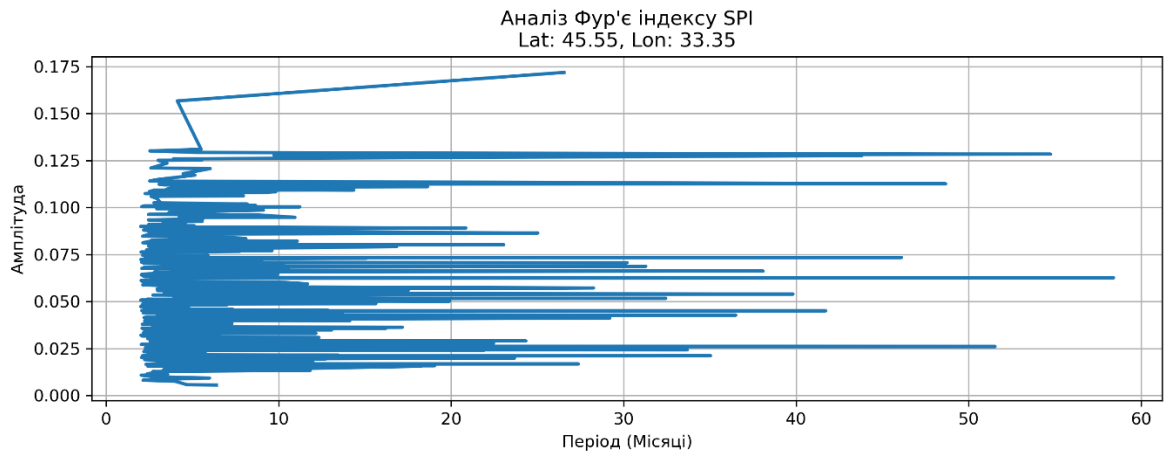


Рисунок 4.6. Аналіз Фур'є багаторічного ходу індексу SPI для Кримського півострова

На основі спектрального аналізу Фур'є було виділено 2 піки з амплітудою вище порогового рівня 0,146, що згідно міжквартильним критерієм вважається статистично значущим. Ці піки відповідають наступним періодам: 4 місяці та 26 місяців. Можна лише частково припустити потенційний зв'язок амплітуди в 26 місяців із ENSO подіями. Хоча ENSO-події мають характерні цикли від 24 до 84 місяців, період в 26 місяців припадає на лише можливі межі ENSO, але вони не є типовими. Таким чином, зв'язок з ENSO-подіями є мало ймовірним у даній точці сітки. 4-місячна амплітуда може бути пов'язана з сезонними процесами місцевості, наприклад перехід від сезону до сезону або з активністю фронтальних зон. Тобто, амплітуда відображає локальні або регіональні циркуляційні процеси.

На рисунку 4.7. нижче показано спектральний аналіз багаторічного ходу індексу SPI для Херсонської області.

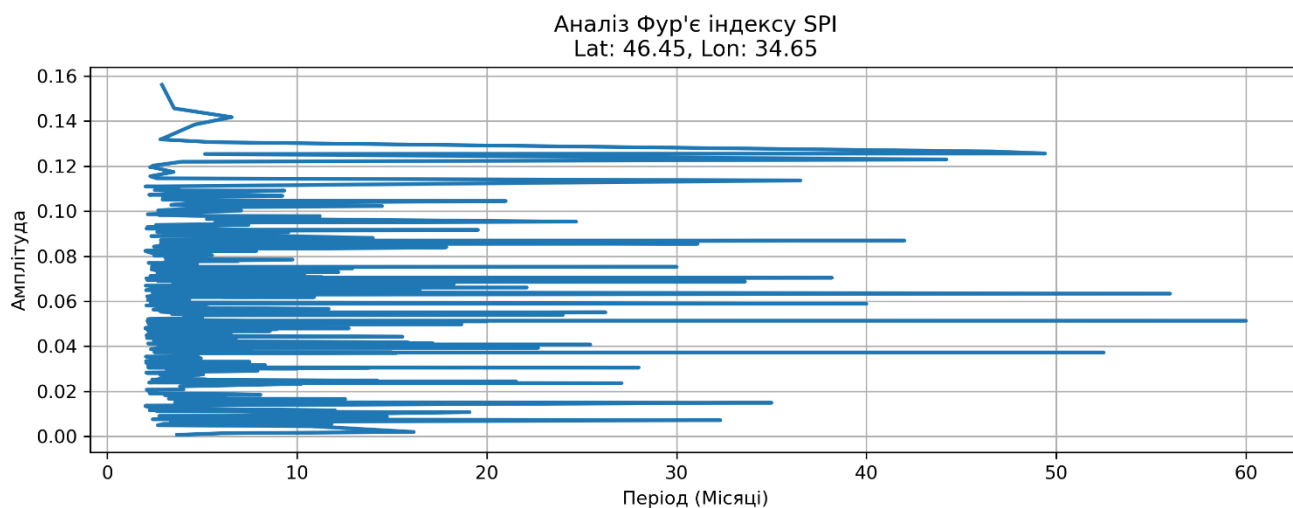


Рисунок 4.7. Спектральний аналіз багаторічного ходу індексу SPI для Херсонської області

З метою виділення фізично обґрунтованих циклічних коливань було застосовано статистичний критерій значущості, заснований на міжквартильному розмаху, де порогове значення амплітуди становить 0,146. За результатами

розрахунків всього два спектральних піки перевищують порогове значення. Перший відповідає 4 місяцям, другий 5 місяцям. Ці характерні періоди 4-5 місяців не відповідають масштабам ENSO-подій, які мають періодичність у межах 24-84 місяці. Таким чином, жодна з виявлених спектральних компонентів не свідчить про наявність Південного коливання на дослідженій точці сітки. Такі періоди відповідають короткоперіодичній мінливості індексу.

Наступним для аналізу буде графік спектрального аналізу багаторічного ходу стандартизованого індексу опадів для Одеської області на рисунку 4.8.

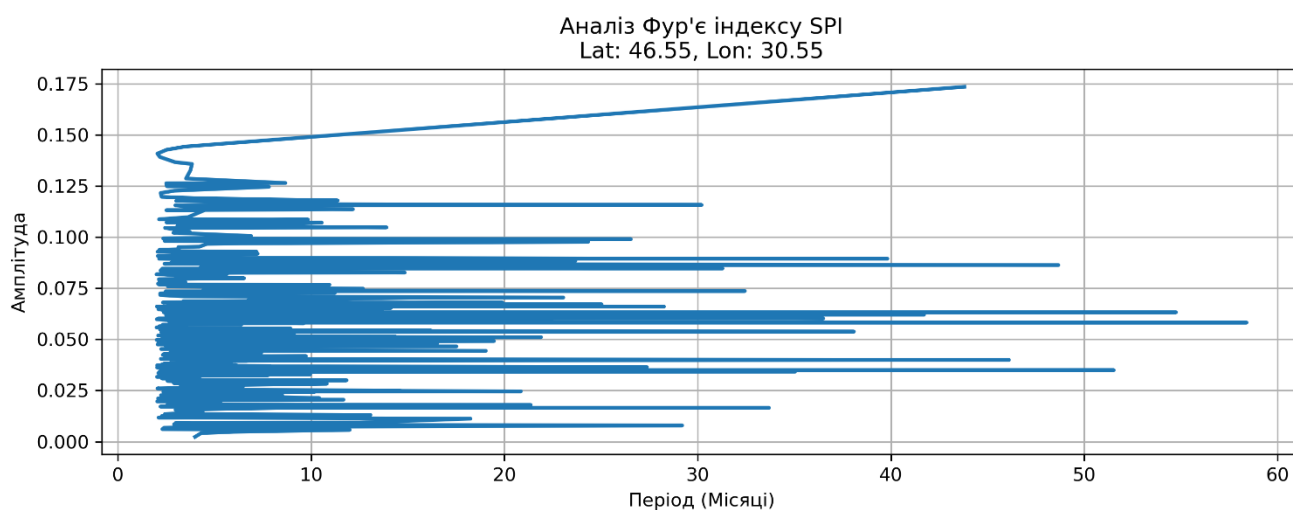


Рисунок 4.8. Спектральний аналіз багаторічного ходу індексу SPI для Одеської області

З метою виділення фізично обґрунтованих циклічних коливань було застосовано статистичний критерій значущості, заснований на міжквартильному розмаху, де порогове значення амплітуди становить 0,146. За результатами аналізу виявлено 1 спектральний пік, амплітуда якого є статистично значимою і свідчить про наявність циклічності у ході індексу. Це такий період: 43,8 місяці. Його амплітуда дорівнює 0,173.

Періоди з піком у 43 місяці, відповідає ENSO-діапазону(2-7 років). Така амплітуда може бути проявом зв'язку між тропічною циркуляцією та кліматом у Північному Причорномор'ї.

Таким чином, на відміну від попередніх точок, відповідний вузол для Одеської області має статистично значущий ENSO-подібний зв'язок, що дає підстави вважати Південну осіяцію одним із факторів мінливості опадів.

Далі буде представлено графік спектрального аналізу багаторічного ходу стандартизованого індексу опадів для Запорізької.

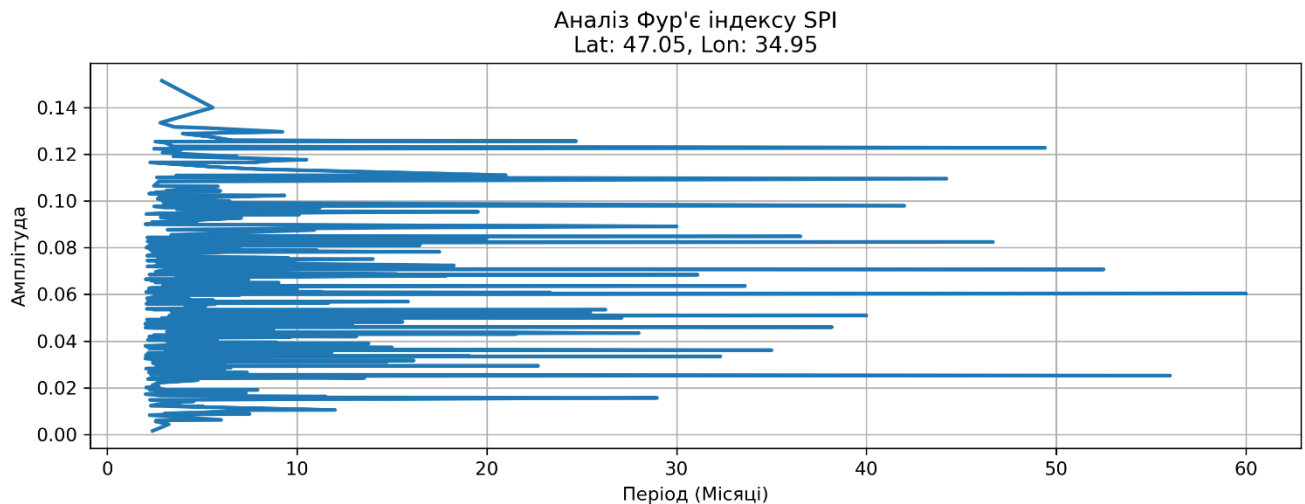


Рисунок 4.9. Графік спектрального аналізу для Запорізької області

Для виокремлення значущих складових застосовано статистичний критерій на основі міжквартильного розмаху, що дозволив установити порогове значення амплітуди на рівні 0.146. У результаті було виділено 1 спектральний пік, що перевищує поріг значущості. Параметри цього піку – період: 4 місяці, амплітуда: 0,153.

Оскільки єдиний статистично значущий пік відповідає значенню 4 місяці, він не потрапляє до характерного ENSO-інтервалу який відповідає 2-7 років. Тому, ENSO-подібний вплив не виявлено.

Останній спектральний аналіз буде представлено нижче на рисунку 4.10. для Миколаївської області

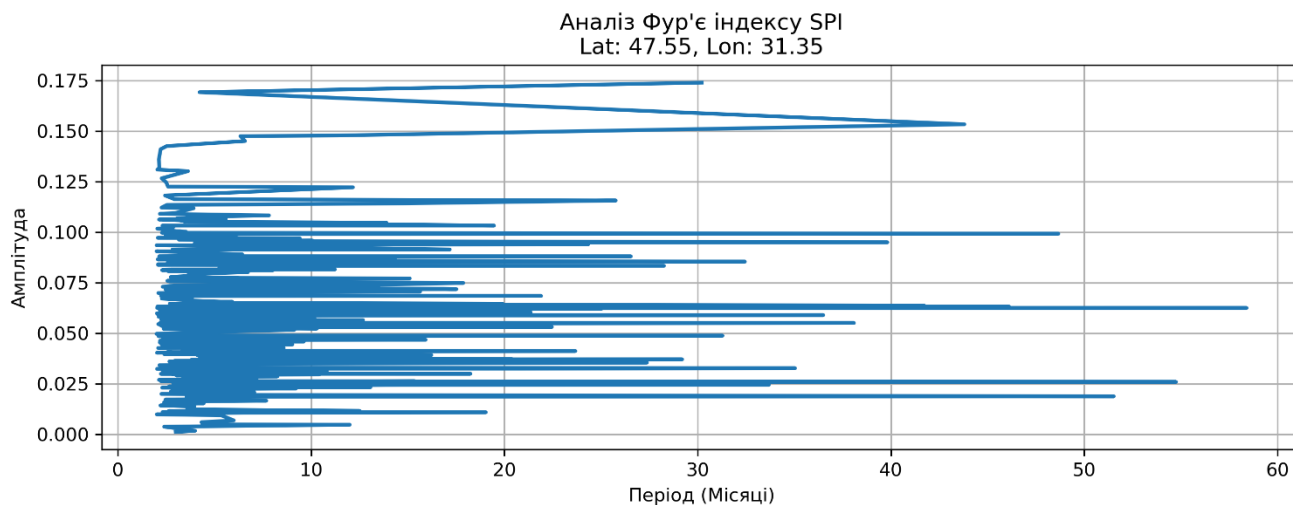


Рисунок 4.10. Графік спектрального аналізу індексу SPI для Миколаївської області

Для відбору значень амплітуди використано стандартну методику виділення домінуючих компонент на основі порогового значення амплітуди 0,146, яке було визначено за міжквартильним критерієм. У результаті виявлено 5 значень, що перевищують порогову межу та вважаються статистично значущими.

Параметри цих піків – періоди: 43, 30, 11, 6, 4 місяці та амплітуда 0,148-0,174. Найвищі значення амплітуди зафіксовано для значень 43 та 30 місяці, що може вказувати про наявність впливу ENSO-подій на режим опадів у Миколаївській області. Період 11 місяців близький до річного, найімовірніше він відображає сезонну циклічність розподілу опадів. 6 та 4 місяці – це короткі цикли, які можна пов'язати з повторюваністю фронтальних процесів, зміною циркуляції в межах сезону або активністю конвективних явищ, які характерні для півдня України.

У висновку спектральний аналіз Миколаївської області демонструє комплексну картину, яка поєднує ENSO-подібні міжрічні цикли, стійку сезонну варіацію та короткоперіодичні цикли.

## Висновки

1. Для п'яти південних регіонів України (Одеська, Миколаївська, Херсонська, Запорізька області та Крим) було здійснено розрахунок щомісячних значень індексу SPI за період 1960–2019 рр. на основі даних сіткового продукту E-OBS. У результаті розрахунку було отримано повну часову структуру змін SPI для кожного пікселя території дослідження, що стало основою для подальшого аналізу періодів посух та вологих фаз.

2. Аналіз літніх значень SPI за два кліматичні періоди (1960–1989 рр. та 1989–2019 рр.) засвідчив зростання повторюваності посушливих явищ у південному регіоні України. Для другого періоду характерне підвищення частоти появи значень SPI нижче -1, що відповідає помірній та сильній посусі, особливо у Херсонській, Миколаївській і Кримській областях. У період 1989–2019 рр. було зафіксовано не лише більшу кількість сухих місяців у літній сезон, але й посилення інтенсивності негативних аномалій опадів, що свідчить про тенденцію до аридизації клімату. У той час як у першому періоді повторюваність сильних посух була епізодичною, у другому вона стала більш сталою ознакою літніх сезонів.

3. У результаті аналізу багаторічного ходу індексу SPI на півдні України виявлено наявність чітких кліматичних змін упродовж останніх десятиліть. Дослідження охоплювало період 1948–2025 рр. для п'яти регіональних точок — Криму, Запорізької, Херсонської, Миколаївської та Одеської областей. Якщо у першому періоді переважав збалансований режим опадів з чергуванням фаз посух і зволоження, то у другому — простежується домінування негативних значень SPI, особливо в Криму, Херсонській і Миколаївській областях. Це свідчить про збільшення частоти й інтенсивності посушливих явищ, що підтверджується зростанням кількості випадків, коли SPI опускався нижче -1,5.

4. На основі спектрального (Фур'є) аналізу багаторічного ходу індексу SPI у південних регіонах України було виявлено короткоперіодичні піки (4–6 місяців), майже в усіх точках, що можуть бути пов'язані із сезонними змінами, повторюваністю атмосферних фронтів і локальними циркуляційними процесами. У Миколаївській та Одеській областях зафіксовано спектральні піки з періодами 30–43 місяці, що потрапляють у діапазон ENSO-подій (24–84 місяці), що може свідчити про можливий вплив Південного колювання на умови зволоження півдня України.

### Список використаних джерел

1. Babirat S., El Tayeh A., Petrosyan G., Nordin C. Large-scale teleconnections between El Niño/Southern Oscillation and the hydroclimate over Europe and the Mediterranean // International Multidisciplinary Forum on Innovations. – 2020. – No. 4. – P. 35–49.
2. Bjerknes, J. Atmospheric teleconnections from the equatorial Pacific. *Monthly Weather Review*, 1969, 97(3), 163–172.
3. Chatfield, C. *The Analysis of Time Series: An Introduction*. 6th ed. Chapman & Hall/CRC, 2003.
4. Drought analysis in Antakya-Kahramanmaraş Graben, Turkey. *Journal of Arid Land*, 2015, 7(6). DOI:10.1007/s40333-015-0011-6.
5. Jacob D., Van den Hurk B.J.J.M., Andre U. et al. A comprehensive model inter-comparison study investigating the water budget during the BALTEXPIDCAP period. *Meteor. Atm.*, 2001, No. 77, P. 61–73.
6. Kumar, K. K., Rajagopalan, B., Cane, M. A. On the weakening relationship between the Indian monsoon and ENSO. *Science*, 2006, 314(5796), 115–119. <https://doi.org/10.1126/science.1131542>.
7. McPhaden, M.J. et al. ENSO as an integrating concept in Earth science. *Science*, 2006, 314(5806), 1740–1745.
8. Montgomery D. C., Jennings C. L., Kulahci M. *Introduction to Time Series Analysis and Forecasting*. 2nd ed. Hoboken: Wiley, 2015. – 472 p.
9. NASA Earthdata. Droughts. NASA Earth Science Data Systems, 2025. URL: <https://www.earthdata.nasa.gov/topics/human-dimensions/droughts>.
10. National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). *Climate Variability: Ocean and Atmosphere*. URL: <https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-variability-ocean-and-atmosphere> (дата звернення: 11.06.2025).
11. Neelin, J.D. et al. ENSO theory. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 1998, 103(C7), 14261–14290.
12. Philander, S.G.H. *El Niño, La Niña, and the Southern Oscillation*. Academic Press, 1990. – 10-14 p., 29 p., 55-56 p., 293 p.
13. Red Cross Red Crescent Climate Centre. *Ukraine Country Climate Fact Sheet 2024*. The Netherlands: International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies, 2024.

– 11 p. URL: <https://www.climatecentre.org/wp-content/uploads/Ukraine-Country-Profile-2024.pdf>.

14. Roeckner E., Arpe K., Bengtsson L. et al. The atmospheric general circulation model ECHAM4: Model description and simulation of present-day climate. Max-Planck-Institute für Meteorologie, Report No. 218, 1996. – 90 p.

15. Svoboda M., Fuchs B.A. World Meteorological Organization (WMO) and Global Water Partnership (GWP), 2016: Handbook of Drought Indicators and Indices. WMO-No. 1090.

16. Trenberth, K.E. The definition of El Niño. Bulletin of the American Meteorological Society, 1997, 78(12), 2771–2777.

17. Understanding the Drought Impact of El Niño/La Niña in the Grain Production Areas in Eastern Europe and Central Asia: Russia, Ukraine and Kazakhstan. – 2-50 p.

18. Vicente-Serrano S. M., López-Moreno J. I., Gimeno L. et al. A multiscale global evaluation of the impact of ENSO on droughts. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 2011, 116, D20109. <https://doi.org/10.1029/2011JD016039>.

19. World Meteorological Organization. State of the Global Climate 2024. Geneva: WMO, 2025. – 44 p. URL: [https://wmo.int/sites/default/files/2025-03/WMO-1368-2024\\_en.pdf](https://wmo.int/sites/default/files/2025-03/WMO-1368-2024_en.pdf).

20. Адаменко Т.І. Агрокліматичне зонування території України з врахуванням зміни клімату. 2014.

21. Бойко, В. М. Херсонська область. Природа. населення, господарство. Херсон: Айлант, 2004. – 82 с.

22. Бойко, Михайло Федосійович. Природа Херсонської області. Київ: Фітосоціоцентр, 1998. – 120 с.

23. Васильченко В.В., Рапцуна М.В., Трофимова І.В. Україна та глобальний парниковий ефект. Кн. 2. Вразливість і адаптація екологічних та економічних систем до зміни клімату. Київ, 1998. – 208 с.

24. Врублевська О.О., Катеруша Г.П. Клімат України та прикладні аспекти його використання. Навчальний посібник. Одеса: ОДЕКУ, 2012. – 27 с.

25. Врублевська О.О., Катеруша Г.П. Клімат України та прикладні аспекти його використання. Навчальний посібник. Одеса: ОДЕКУ, 2012. – 29 с.

26. Кравченко В.О. Вплив Ель-Ніньйо на агрокліматичні умови в Україні. Наукові праці УкрНДГМІ, 2020. Вип. 272. – С. 45–52. URL: [https://uhmi.org.ua/pub/np/272/272\\_9.pdf](https://uhmi.org.ua/pub/np/272/272_9.pdf).
27. Міністерство довкілля України. Екологічний паспорт Запорізької області 2021. – С. 4.
28. Міністерство довкілля України. Екологічний паспорт Миколаївської області 2023. – С. 5.
29. Міністерство довкілля України. Паспорт Одеської області 2017. – С. 3.
30. Розпорядження Державного комітету України з гідрометеорології від 20.03.1997 №14 «Про термінологію територіального поділу України в прогнозах і попередженнях».
31. Степаненко С.М., Польовий А.М., Дем'янюк О.С., Дронова О.О. Зміни режиму опадів в Україні. Агроєкологічний журнал, №2, 2014. – С. 16

**ДОДАТКИ****ДОДАТОК А**

```
import xarray as xr
import pandas as pd
import numpy as np
from scipy.stats import gamma, norm

# === 1. Завантаження NetCDF із коректною інтерпретацією ===
ds = xr.open_dataset("rr_ens_mean_0.1deg_reg_v27.0e.nc", decode_cf=True)

# === 2. Перевірка напрямку координат і обрізка ===
lat_vals = ds.latitude.values
if lat_vals[0] > lat_vals[-1]:
    lat_slice = slice(48, 43)
else:
    lat_slice = slice(43, 48)

ds = ds.sel(latitude=lat_slice, longitude=slice(25, 35))

# Перевірка, чи після обрізки залишилися дані
if ds.latitude.size == 0 or ds.longitude.size == 0:
    raise ValueError("Обрізка координат повернула порожній регіон. Перевірте межі.")

# === 3. Завантаження координат користувача ===
coords_df = pd.read_csv("coordinates.csv")
```

```

coords_list = list(zip(coords_df['lat'], coords_df['lon']))
# === 4. Пошук найближчих вузлів сітки ===
def find_nearest_grid_points(lat, lon, ds_lats, ds_lons):
    if len(ds_lats) == 0 or len(ds_lons) == 0:
        raise ValueError("Latitude or longitude array is empty.")
    lat_idx = np.abs(ds_lats - lat).argmin()
    lon_idx = np.abs(ds_lons - lon).argmin()
    return ds_lats[lat_idx], ds_lons[lon_idx]

unique_points = []
ds_lats = ds.latitude.values
ds_lons = ds.longitude.values

for lat, lon in coords_list:
    nearest_lat, nearest_lon = find_nearest_grid_points(lat, lon, ds_lats, ds_lons)
    if (nearest_lat, nearest_lon) not in unique_points:
        unique_points.append((nearest_lat, nearest_lon))

# === 5. Ініціалізація зберігання результатів ===
results = []

for lat, lon in unique_points:
    point_data = ds['rr'].sel(latitude=lat, longitude=lon, method='nearest')
    point_df = point_data.to_dataframe().reset_index()
    point_df = point_df[~point_df['rr'].isna()]

```

```
if point_df.empty:
    continue

# Групування по місяцях
point_df['month'] = point_df['time'].dt.to_period('M')
monthly_sum = point_df.groupby('month')['rr'].sum().reset_index()
monthly_sum['lat'] = lat
monthly_sum['lon'] = lon

# === 6. Нормалізація SPI-подібна з урахуванням місяця ===
monthly_sum['month_num'] = monthly_sum['month'].dt.month
spi_vals = []

for m in range(1, 13):
    month_subset = monthly_sum[monthly_sum['month_num'] == m].copy()
    vals = month_subset['rr'].values

    if np.all(vals == 0) or len(vals) < 4:
        month_subset['spi_like'] = np.nan
    else:
        zero_fraction = np.sum(vals == 0) / len(vals)
        vals_nonzero = vals[vals > 0]
        if len(vals_nonzero) > 0:
            shape, loc, scale = gamma.fit(vals_nonzero, floc=0)
```

```
cdf_vals = zero_fraction + (1 - zero_fraction) * gamma.cdf(vals, shape, loc=0,  
scale=scale)
```

```

        month_subset['spi_like'] = norm.ppf(cdf_vals)
    else:
        month_subset['spi_like'] = np.nan

    spi_vals.append(month_subset)

if spi_vals:
    monthly_sum = pd.concat(spi_vals, ignore_index=True)
    results.append(monthly_sum)

# === 7. Зведення фінального результату ===
if results:
    final_df = pd.concat(results, ignore_index=True)
    final_df['month'] = final_df['month'].astype(str)

    # === 8. Збереження у файл ===
    final_df.to_csv("monthly_spi_like_by_point.csv", index=False)
    print("Готово! Файл monthly_spi_like_by_point.csv збережено.")
else:
    print("Жодна точка не містить достатньо даних для розрахунку SPI.")
> Щеглов:
import matplotlib.pyplot as plt
import seaborn as sns
import os
import pandas as pd
# === 9. Візуалізація з ковзним осередненням ===

```

```
os.makedirs("figures_by_point", exist_ok=True)

# Перетворення "month" у datetime для сортування по часу
final_df['month_dt'] = pd.to_datetime(final_df['month'])

# Групування по унікальних точках
for (lat, lon), group in final_df.groupby(['lat', 'lon']):
    group = group.sort_values('month_dt')

    # Розрахунок ковзного середнього
    group['spi_smooth'] = group['spi_like'].rolling(window=12, center=True,
min_periods=1).mean()

    plt.figure(figsize=(10, 4))

    # Основна крива без маркерів
    sns.lineplot(data=group, x='month_dt', y='spi_like', label='SPI', linewidth=1.5)

    # Ковзне осереднення (червона лінія)
    sns.lineplot(data=group, x='month_dt', y='spi_smooth', label='12-місячне
осереднення', color='red', linewidth=2)

    plt.title(f'Багаторічний хід індексу SPI \nLat: {round(lat,2)}, Lon: {round(lon,2)}")
    plt.xlabel("Роки")
    plt.ylabel("SPI")
    plt.grid(True)
```

```
plt.tight_layout()

# Збереження графіку
filename = f"figures_by_point/spi_like_lat{lat:.2f}_lon{lon:.2f}.png"
plt.savefig(filename, dpi=300)
plt.close()

print("Графіки з ковзним осередненням збережено у директорії figures_by_point/")
```