

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Гідрометеорологічний інститут
Кафедра агрометеорології та агроекології

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: Динаміка вологовмісту ґрунту в Північному Причорномор'ї в
період 2000-2019 рр.

Виконав студент 2 курсу групи МЗА-19
Спеціальність 103 «Науки про Землю»,
(шифр і назва)

Освітня програма «Агрометеорологія»
(назва)

Коваль Руслан Володимирович
(прізвище, ім'я, по батькові студента)

Керівник д.геогр.н., доцент
Семенова Інна Георгіївна
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ім'я, по батькові)

Консультант -
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ім'я, по батькові)

Рецензент к.геогр.н., доцент
Нажмудінова Олена Миколаївна
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ім'я, по батькові)

Одеса 2020 р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Гідрометеорологічний інститут

Кафедра агрометеорології та агроекології

Рівень вищої освіти магістр

Спеціальність 103 «Науки про Землю»

(шифр і назва)

Освітня програма Агрометеорологія

(назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

**Завідувач кафедри
агрометеорології та агроекології**

Польовий А.М.

« 26 » жовтня 2020 року

З А В Д А Н Н Я

НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Ковалю Руслану Володимировичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Динаміка вологовмісту ґрунту в Північному Причорномор'ї в період 2000-2019 рр.

керівник роботи Семенова Інна Георгіївна, д.геогр.н., доцент,

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від « 16 » жовтня 2020 року № 194 «С»

2. Строк подання студентом роботи 07 грудня 2020 року

3. Вихідні дані до роботи: Щомісячні значення вологовмісту ґрунту в шарах 0-10 см, 10-40 см, 0-100 см, за період 2000-2019 рр., осереднені по двох районах Північного Причорномор'я

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): 1. Огляд наукової літератури за темою дослідження. 2. Розрахунок щомісячного індексу SMAI. 3. Побудова графіків часового ходу індексу SMAI для кожного місяця року та аналіз часових коливань з оцінкою значущості трендів.

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

Графіки часового ходу індексу SMAI для кожного місяця року за період 2000-2019 рр. Для шарів ґрунту 0-10 см, 10-40 см, 0-100 см для двох районів Північного Причорномор'я

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання 26 жовтня 2020 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Оцінка виконання етапу	
			у %	за 4-х бальною шкалою
1	Отримання завдання. Огляд наукової літератури за темою дослідження. Формування теоретичної частини роботи.	26.10.2020 р. - 10.11.2020 р.	70	3 (задов)
2	Відбір та аналіз вихідних даних, розрахунки середньомісячних значень індексу SMAI.	11.11.2020 р. - 21.11.2020 р.	80	4(добре)
	Рубіжна атестація	16.11.2020 р. 21.11.2020 р.	75	4(добре)
3	Побудова і аналіз графіків часового ходу індексу SMAI з оцінкою трендів.	22.11.2020 р. - 30.11.2020 р.	85	4(добре)
4	Узагальнення отриманих результатів.	01.12.2020 р. - 07.12.2020 р.	85	4(добре)
5	Оформлення остаточної електронної версії роботи та передача її на процедуру встановлення ступеня оригінальності, відсутності ознак плагіату та складення протоколу і висновку керівника.	08.12.2020 р. - 11.12.2020 р.	85	4(добре)
6	Підготовка презентаційного матеріалу до публічного захисту.	12.12.2020 р. - 18.12.2020 р.	85	4(добре)
	Інтегральна оцінка виконання етапів календарного плану (як середня по етапам)		82,0	

Студент

_____ Р.В. Коваль
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ І.Г. Семенова
(підпис) (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Тема магістерської кваліфікаційної роботи «Динаміка вологовмісту ґрунту в Північному Причорномор'ї в період 2000-2019 рр.».

Автор: Коваль Руслан Володимирович.

Актуальність дослідження полягає в тому, що вологовміст ґрунту є одним із найважливіших факторів, який впливає на вегетаційний розвиток рослин. Визначення тенденцій в аномаліях вологовмісту ґрунту сприятиме ефективному плануванню сільськогосподарської діяльності в в Північному Причорномор'ї.

Мета роботи: оцінка динаміки вологовмісту ґрунту в різних шарах в Північному Причорномор'ї за період 2000-2019 рр.

Відповідно до поставленої мети розв'язано наступні **задачі:**

- за середньомісячними даними про вологовміст ґрунту в шарах 0-10 см, 10-40 см, 0-100 см розрахований індекс аномалій вологовмісту ґрунту SMAI;
- проведено аналіз часового ходу індексу SMAI та визначені тенденції у його змінах.

Об'єкт дослідження: вологовміст ґрунту та його аномалії.

Предмет дослідження: просторово-часова мінливість аномалій вологовмісту ґрунту.

Методи дослідження: статистичний аналіз, просторово-часовий аналіз даних.

Наукова новизна отриманих результатів. У роботі використані новітні дані моделювання вологовмісту ґрунту із залученням супутникової інформації за останній двадцятирічний період, які дозволили визначити аномалії вологовмісту ґрунту та оцінити їх тенденції в Північному Причорномор'ї в умовах сучасних регіональних змін клімату.

Практичне значення отриманих результатів. Виявлені тенденції у змінах вологовмісту ґрунту можуть бути використані для планування сільськогосподарської діяльності і уточнення методик прогнозування врожайності сільськогосподарських культур.

Магістерська кваліфікаційна робота в обсязі 89 сторінок складається з 3 розділів, висновків, переліку джерел посилання з 30 джерел.

Ключові слова: вологовміст ґрунту, Північне Причорномор'я, індекс аномальності вологовмісту ґрунту.

SUMMARY

Theme of master's qualification works is "Dynamics of soil moisture content in the Northern Black Sea region in the period 2000-2019".

Author: Koval Ruslan Vladimirovich.

The **relevance** of the study is that soil moisture is one of the most important factors influencing the vegetative development of plants. Identifying trends in soil moisture anomalies will lead to effective planning of agricultural activities in the Northern Black Sea region.

Objective: assessment of the dynamics of soil moisture content in different layers in the Northern Black Sea coast for the period 2000-2019.

According to the set goal the following tasks are solved:

- according to the average monthly data on soil moisture content in layers of 0-10 cm, 10-40 cm, 0-100 cm, the calculated index of anomalies of soil moisture content SMAI;
- the analysis of the time course of the SMAI index was carried out and the tendencies in its changes were determined.

Object of research: soil moisture content and its anomalies.

Subject of research: spatio-temporal variability of anomalies of soil moisture content.

Research methods: statistical analysis, spatio-temporal analysis of data.

Scientific novelty of the obtained results. The paper uses the latest modeling of soil moisture content with the use of satellite information for the last twenty years, which allowed to identify anomalies of soil moisture content and assess their trends in the Northern Black Sea region in modern regional climate change.

The practical significance of the results. The identified trends in changes in soil moisture content can be used to plan agricultural activities and refine methods for forecasting crop yields.

The master's thesis in the amount of 89 pages consists of 3 sections, conclusions, a list of reference sources from 30 sources.

Key words: soil moisture content, Northern Black Sea Coast, soil moisture content anomaly index.

ЗМІСТ

Вступ.....	7
1 Закономірності формування запасів ґрунтової вологи.....	9
1.1 Водний баланс ґрунту.....	10
1.2 Річний хід запасів продуктивної вологи в ґрунті.....	13
1.3 Вплив змін клімату на умови волого забезпечення України.....	14
1.4 Умови формування та критерії посухи.....	18
2 Вихідні дані та методи дослідження.....	27
2.1 Глобальна система асиміляції наземних даних (Global Land Data Assimilation System (GLDAS)).....	27
2.2 Отримання параметрів земної поверхні з використанням супутникових даних.....	30
2.3 Вихідні дані Giovanni та їх обробка.....	33
3 Аналіз динаміки вологовмісту ґрунту в Північному Причорномор'ї.....	38
3.1 Район південної частини Північного Причорномор'я.....	39
3.2 Район північної частини Північного Причорномор'я.....	61
Висновки.....	84
Список використаної літератури.....	86

ВСТУП

Україна агро-індустріальна країна, на території якої знаходяться світові запаси чорнозему. За даними міністерства зовнішньої торгівлі, в 2019 році Україна забезпечила продовольством близько 150 мільйонів іноземних громадян, а це приблизно на кожного українця по 3.5 іноземця. Україна має намір стати аграрною наддержавою, дійсно найбільша європейська держава з низькою густотою населення, добрим кліматом для вирощування багатьох сільськогосподарських культур та ще й зі світовими запасами чорнозему має можливість здобути цей статус.

Проблема посушливих явищ, в тому числі й ґрунтових посух, в світі на сьогодні є однією з головних не тільки в метеорологічній галузі, але й в багатьох сферах життя як окремої людини, так й цілих держав. На фоні глобального потепління та зростання народонаселення кожного року різні частини континентів світу опиняються під дією посух різної інтенсивності. Посушливі явища містять у себе такий прояв геофізичних і біологічних процесів, які у своєму поєднанні призводять до підвищеної втрати води живими організмами, внаслідок чого порушується або припиняється зовсім їх фізіологічна діяльність.

В Україні посушливі явища спостерігаються щороку в літній період та охоплюють значну територію країни. Тривалі періоди бездощів'я на фоні високих температур сприяють висушуванню верхнього шару ґрунту протягом вегетаційного періоду, що є вельми несприятливим для сільського господарства. Незважаючи на велику базу досліджень посух в Україні, питання діагностування, короткострокового та довгострокового прогнозування різних типів посух, в тому числі й ґрунтових, та їх наслідків залишається актуальним, адже є невиришеним в повній мірі.

Мета магістерської роботи – оцінити динаміку вологовмісту ґрунту в різних шарах в Північному Причорномор’ї за період 2000-2019 рр. з визначенням тенденцій у його аномаліях, в тому числі й негативних, які свідчать про ґрунтову посуху. В якості вихідного матеріалу в роботі використані сіткові дані моделювання вологовмісту ґрунту в кореневому шарі, які ґрунтуються на супутникових вимірюваннях. Методика дослідження включала до себе розрахунок та статистичний аналіз часових рядів індексу аномальності вологовмісту ґрунту SMAI для районів Північного Причорномор’я (Одеська, Миколаївська та Херсонська області).

Магістерська робота складається з 3 розділів, висновків, переліку джерел посилання. В першому та другому розділах міститься огляд літературних джерел з питань закономірностей формування запасів ґрунтової вологи в змінних кліматичних умовах, а також методів оцінки вологовмісту ґрунту з використанням модельних даних, які ґрунтуються на супутникових вимірюваннях. В третьому розділі представлений просторово-часовий аналіз аномалій вологовмісту ґрунту та їх тенденції по районах Північного Причорномор’я за період 2000-2019 рр. У висновках представлені основні результати дослідження щодо тенденцій змін вологовмісту ґрунту Північному Причорномор’ї в сучасний період.

Магістерська робота виконана на кафедрі агрометеорології та агроекології під керівництвом д.геогр.н., доцента Семенової І.Г.

1. ЗАКОНОМІРНОСТІ ФОРМУВАННЯ ЗАПАСІВ ҐРУНТОВОЇ ВОЛОГИ

Водний режим - сукупність ґрунтових процесів надходження, переміщення, збереження і витрати води. Кожен з цих процесів окремо є елементом водного режиму.

Водний режим ґрунтів складається під впливом ряду факторів: клімату, рельєфу, водно-фізичних властивостей ґрунтів, умов водного живлення, а також господарської діяльності людини. Специфіка водних режимів конкретних зональних типів ґрунтів визначається перш за все кількістю атмосферних опадів і температурними режимами.

Вода відноситься до земних факторів життя рослин, в ґрунті знаходиться в рідкій фазі у вигляді ґрунтового розчину. У ґрунті вона знаходиться в міжфазному рівновазі з ґрунтом, обмінюючись з нею мінеральними речовинами. Частина ґрунтової вологи втрачається, просочуючись в більш глибокі шари, або за рахунок випаровування або стоку з поверхні. Частина, що залишилася волога утримується ґрунтом і являє собою ґрунтовий розчин. Характеризується рядом важливих агрохімічних показників[1].

Ґрунтознавець Г.Н. Висоцький підкреслював виняткову важливість води в ґрунті, порівнюючи її з кров'ю в живих організмах.

Роль вологи в житті рослин:

- бере участь в ініціюванні ростових процесів насіння;
- є середовищем для протікання біохімічних процесів в рослинах;
- переносить мінеральні та органічні речовини по різних частинах рослин;
- бере участь у терморегуляції і тепловому балансі ґрунту;
- підтримує життєдіяльність ґрунтової біоти;

- впливає на агрофізичні показники ґрунту: щільність, липкість, опір при обробці, стиглість - утворення агрегатів і здатність до крошенню;
- визначає агрохімічні показники родючості ґрунту: кислотність ґрунтового розчину, доступність поживних речовин.

Нормальна діяльність ґрунтових мікроорганізмів можлива при достатній вологозабезпеченості. Наприклад, азотфіксуючими бактеріям (*Azotobacter*, бульбочкові бактерії) для розмноження потрібно 25% вологості ґрунту. Нестача води знижує засвоєння поживних речовин бактеріями, а надмірний надлишок призводить до кисневого голодування. Оптимальна вологість ґрунту для бактерій і рослин збігається - 60% повної вологоємності ґрунту.

Надлишок вологи в ґрунті, що складається при перевищенні найменшої польової вологоємності (НВ), гнітюче діє на ріст і розвиток рослин. Хоча деякі з них по-різному реагують на перезволоження.

У дослідженнях і практиці по землеробству і рослинництву для обліку витрати води на створення врожаю використовують коефіцієнт водоспоживання. Коефіцієнт водоспоживання - витрата води в м³ на одну тону врожаю, що включає продуктивні, тобто споживання води культурними рослинами, і непродуктивні витрати на випаровування з поверхні ґрунту.

Джерелами надходження води в ґрунт є опади, ґрунтові води, що піднімаються за рахунок капілярних сил, конденсація водяної пари від добових коливань температури, зрошувальні води[2].

1.1. Водний баланс ґрунту

Водний баланс - кількість води, що надійшла в ґрунт і її витрата.

Рівняння водного балансу ґрунту:

$$B_0 + B_{oc} + B_{op} + B_r + B_k + B_{пр} + B_б = B_{па} + B_T + B_{и} + B_{пс} + B_{бс} + B_n \quad (1.1)$$

де V_0 - вихідний запас води в ґрунті; V_{oc} - сума атмосферних опадів за конкретний період; $Z_{лодій}$ - кількість води, що надійшла з зрошувальними водами (при зрошенні); V_g - кількість води, що надійшла в ґрунт з ґрунтовими водами; V_k - кількість води, що надійшла в ґрунт за рахунок конденсації атмосферної вологи; $V_{пр}$ - кількість води, що надійшла в ґрунт за рахунок припливу по поверхні; V_b - кількість води, що надійшла в ґрунт від внутріпочвенного бокового припливом; $V_{ПА}$ - кількість води, що випарувалася з поверхні ґрунту за конкретний період; V_T - десукція, кількість води, витраченої на випаровування вологи рослинами (транспірацію); V_I - кількість води, втраченої за рахунок інфільтрації в більш глибокі шари ґрунту; $V_{ПС}$ - кількість води, втраченої за рахунок поверхневого стоку; $V_{БС}$ - кількість води, втраченої за рахунок бічного внутріпочвенного стоку; V_n - кінцевий запас води в ґрунті.

Запаси води в ґрунті B (в $m^3 / га$ або в мм водяного шару) в шарі ґрунту глибиною h , см розраховується за рівнянням:

$$B = a d_v h, \quad (1.2)$$

де a - польова вологість, %; d_v - щільність ґрунту, $г / см^3$ [3].

Відповідно до класифікації Висоцького-Роде в залежності від кількості випадних атмосферних опадів та інтенсивності їх випаровування виділяють шість типів водних режимів:

-мерзлотний;

-промивної;

-періодично промивний;

-непромивний;

-випітної;

-іригаційний.

Оптимальна вологість в кореневмісному шарі на різних етапах розвитку більшості становить 60-80% повної польової вологоємності, в період розвитку асиміляційного апарату і інтенсивного зростання - 70-80%.

До прийомів регулювання водного режиму відносяться: агротехнічні, гідромеліоративні, агро-меліоративних, лесомеліоративні і інші.

Людина почала використовувати різні прийоми регулювання водного режиму з давніх часів, ґрунтуючись на обліку біологічних особливостей культур і ґрунтово-кліматичних умов території. Для регулювання водного режиму конкретних угідь доцільно розробити і використовувати систему землеробства, що враховує особливості водного режиму, а не застосовувати окремі прийоми для його регулювання. Пухка і структурована ґрунт вбирає істотно більше кількості вологи, ніж щільна і бесструктурная. У ущільненої ґрунті за рахунок капілярних сил відбувається швидке підтягування вологи з нижніх шарів до поверхні і її посилене випаровування. Втрати при цьому в весняний період при сухій і вітряну погоду можуть досягати 50-70 т / га на незаборонованній зябу. Навіть дрібне поверхнєве розпушування, що руйнує ущільнений верхній шар, різко скорочує втрати вологи від випаровування.

Мульчування - прийом укриття поверхні ґрунту різними матеріалами (торфом, солом'яною різкою, спеціальними плівками) поверхні ґрунту для зменшення випаровування води. Як правило, цей прийом використовують на невеликих площах.

Боротьба з бур'янистої рослинність, як фактора додаткового споживання води, також грає істотну роль.

Введення в сівозміну чистих парів також можна розглядати як прийом регулювання водного режиму.

Снігозатримання - ефективний прийом накопичення вологи в ґрунті за рахунок талих вод. Втрати талих вод в районах нестійкого або недостатнього зволоження за один рік складають 50-60 млрд т, при тому, що на кожні 100 т / га води (10 мм опадів) може бути отримано додатково 200 кг / га зерна озимих

культур і 100 кг - ярих. Для снігозатримання на схилових землях, крім протиерозійних особливих прийомів оранки (обробка поперек схилу, омилювання, переривчасте боронування), влаштовують Мікролимани.

Широко використовується посів високостебельних культур (соняшник, кукурудза, гірчиця, сорго) і залишення стерні після збирання.

Крім снігозатримувальних властивостей, посадка лісових смуг уздовж ділянок забезпечує і протиерозійну захист [4].

1.2. Річний хід запасів продуктивної вологи в ґрунті

Дані українського Гідрометцентру свідчать, що за останні тридцять років середньорічна температура повітря в цілому по Україні підвищилася на 1,2оС. Встановлено, що швидкість зростання температури повітря за 1975- 2019 становить на території України від 0,61 до 0,82оС / 10 років , тоді як, в сусідніх пострадянських країнах (Росія, Молдова, Білорусь) - 0,47- 0,59оС / 10 л., А в північній півкулі і Європі - 0,34 і 0,47оС / 10 л. Відповідно. Ці дані свідчать, що швидкість підвищення температури повітря в Україні значно вище як глобальних так і європейських масштабів. Таке стрімке зростання середньорічної температури в Україні, на жаль не супроводжується значним підвищенням кількості опадів. Їх величина, як в цілому по Україні, так і в окремих її регіонах залишається практично незмінною. За оцінками кліматологів провідних світових і вітчизняних наукових установ, в майбутньому існує висока ймовірність подальшого підвищення температурного режиму як у глобальному масштабі, так і для території України.

В Інституті водних проблем і меліорації (ІВПіМ) Національної академії аграрних наук України (НААН) оцінку впливу змін клімату на умови вологозабезпечення території України виконано за величиною кліматичного водного балансу (КВБ), який характеризує різницю між величиною опадів та

потенційним сумарним випаровуванням. Розрахунки кліматичного водного балансу (КВБ) сумарно за рік, свідчать про стрімке зростання його дефіциту у всіх регіонах України. В середньому за 1991-2019 рр. позитивний водний баланс відмічається лише в деяких західних регіонах, тоді як на півночі країни його дефіцит становить 77-80 мм, в центрі – 159-222 мм, а на півдні – понад 460 мм.

1.3. Вплив змін клімату на умови вологозабезпечення України

Аналіз даних показує, що внаслідок змін клімату в Україні відбувається вкрай негативний за наслідками процес погіршення умов сумарного вологозабезпечення в результаті якого у зоні Полісся зникли території надлишкового зволоження, а на півдні розпочався процес опустелювання земель. Оцінку впливу змін клімату на умови вологозабезпечення території України на середньострокову (2050 р.) та довгострокову (2100 р.) 5 перспективу виконано з використанням даних прогнозу змін клімату за сценарієм A1B, що виконаний Українським гідрометеокліматичним інститутом. За умови реалізації даного прогнозного сценарію навіть за зростання кількості опадів загалом по країні на 8% кліматичний водний баланс території України до 2050 року може знизитись на 45-115 мм, а його дефіцит в зоні Степу становитиме 560 мм і більше. З урахуванням цього, територія країни з недостатнім рівнем зволоження збільшиться до 56% і лише 28% території будуть відповідати вологим і надмірно вологим умовам.

В довгостроковій перспективі (до кінця 2100 р.), кліматичний водний баланс території знизиться ще на 100-140 мм на заході та півночі країни, на 180-190 мм – в центральних і східних регіонах і на 265 мм на півдні. Внаслідок цього дефіцит вологозабезпечення на півдні може перевищити 700 мм, а в центральних і східних областях – 400-470 мм, що відповідатиме сучасним умовам зволоження крайніх південних регіонів, тобто аридній зоні (рис. 5). При цьому частка території країни з недостатнім рівнем зволоження може досягти 71% проти 50% в 1991-2015 рр., а з достатнім зволоженням зменшиться більше ніж у два рази (34% в сучасний період).

Отже, на середньострокову та довгострокову перспективи існує висока імовірність збільшення площ ріллі з недостатнім рівнем зволоження до 20,6 млн.га (67%) і 24,9 млн.га (80%) відповідно з одночасним зменшенням площ орних земель з достатнім зволоженням до 5,5 – 1,8 млн.га. Окрім погіршення умов природного вологозабезпечення ґрунтів, що негативно впливає на умови ведення сільськогосподарського виробництва, кліматичні зміни супроводжуються зменшенням поверхневого стоку та інфільтраційного живлення ґрунтових і підземних вод. За результатами досліджень ІВПіМ підвищення середньомісячної температури на 1оС підвищує потенційне сумарне випаровування на 9%. Сьогодні потенційне сумарне випаровування перевищує те, яке було три десятиліття тому, на 40 — 45 куб. км на рік (табл. 2). Внаслідок цього, б незважаючи на зменшення водоспоживання — з 31 куб. км в 1991 році до 9 куб. км у 2019 р. загальний обсяг води, що вилучається з території України на 20-25 км³ більше порівняно з 1990 роком.

Якщо кліматичні зміни будуть відбуватись за уже згадуваним сценарієм, то обсяги додаткового відбору (вилучення) води з території України через зростання сумарного випаровування будуть постійно збільшуватись і їх величина у 2050 році порівняно з 1990 р. зросте на 80 км³ , а у 2100 – майже на 150 км³ . Таке зменшення обсягів водонадходження спричинить подальше зневоднення території України і відповідно зменшення доступних до використання запасів повеневих та підземних вод.

Україна має один із найнижчих серед європейських країн показників забезпеченості власними водними ресурсами — лише одна тисяча кубометрів місцевого стоку на одного жителя , тоді як, наприклад, у Канаді цей показник становить 94,3 тис. куб. м, Росії — 31,0 тис. куб. м, США — 7,4 тис. куб. м, Німеччині — 1,9 тис. куб. м. ⁷ Забезпеченість місцевими водними ресурсами по окремих областях країни відрізняється майже в 60 разів: від 0,14 км³ /рік у Херсонській області до 7,92 км³ /рік – у Закарпатській.

Середньобагаторічна величина місцевого стоку України становить 52,4 км³ /рік, а в різні за водністю роки змінюється з 52,4 км³ /рік в середньоводні роки до 37,3 км³ /рік у маловодні роки і до 29,7 км³ /рік у дуже маловодні роки (табл. 3). Доступні для використання запаси поверхневих вод дуже нерівномірно розподілені по території країни. Для поліпшення водозабезпечення вододефіцитних регіонів в Україні створено понад 1160 водосховищ загальним об'ємом близько 55 км³ . Значною є також мережа магістральних каналів (понад 1,0 тис. км) і водоводів (понад 2,0 тис. км). Це дає змогу перерозподіляти по території відповідно 3 і 12 км³ води щорічно. Зарегулювання основних водотоків України дало можливість перерозподілити стік, та забезпечити потреби водоспоживачів і водокористувачів, але перетворило річки на істотно змінені водні об'єкти з поганим екологічним станом та низьким потенціалом самоочищення. В умовах змін клімату ця здатність до самоочищення буде і надалі погіршуватись, насамперед через зменшення обсягів річкового стоку. Як свідчать наявні дані спостережень зміни клімату уже зумовили значне зменшення водності річок.

Дослідженнями ІВПіМ вже зафіксовано зменшення стоку малих і середніх річок: на півночі — на 10 — 20%, а на півдні — від 20 до 50%. У 2019 році скид води через греблю Каховської ГЕС із Каховського водосховища у нижню течію Дніпра був на 11 км³ менший, ніж у середні багаторічні періоди. Згідно прогнозу Одеського державного екологічного університету, щодо стану водних ресурсів України на основі моделі «клімат-стік» на період 2030-2040 рр., водні ресурси степової зони можуть знизитись на 40-50%, а на решті території на 24-40% Зміни клімату негативно впливають не тільки на стан поверхневих водних ресурсів, але й на підземні води. Насамперед це зумовлено зменшенням, а в багатьох випадках і припиненням інфільтраційного живлення внаслідок прогресуючого зростання сумарного випаровування. Прояви цього негативного впливу уже фіксуються практично в усіх регіонах України. Так, зафіксоване в останні 6-8 років помітне зниження рівнів ґрунтових вод, що проявилось, зокрема в 2015 р., у пересиханні шахтних колодязів у багатьох населених пунктах зони Полісся, істотному

переосушенні меліорованих земель, особливо торфовищ, може розглядатись як індикатор негативного впливу змін клімату на обсяг ресурсів ґрунтових вод.

Зменшення живлення та зниження рівнів ґрунтових вод зумовило і надалі буде призводити до зниження рівнів міжпластових вод та до зменшення їхніх ресурсів, а також спричиняти обміління та пересихання багатьох невеликих річок та зневоднення ґрунтів. Ілюстрацією та підтвердженням негативного впливу змін клімату одночасно на стан підземних, ґрунтових та поверхневих вод є водноекологічна ситуація, що сформувалась в районі Шацького поозер'я у 2019 році, основним проявом якої стало істотне обміління Шацьких озер і насамперед озера Світязь. Як засвідчили виконані ІВПіМ дослідження саме внаслідок змін клімату відбулось зменшення інфільтраційного живлення напірного водоносного горизонту в крейдяних відкладах і, як наслідок, зниження напорів цього водоносного горизонту, який є гідравлічно зв'язаний з озерами та ґрунтовими водами і є значимим (до 50%) джерелом їх живлення. Саме зміни клімату, а точніше зростання температури повітря спричинили значне (до 15% порівняно з періодом 1961-1990 рр.) збільшення випаровування з водного дзеркала озер і рівня ґрунтових вод і через наявність гідравлічного зв'язку додаткові витрати напірних вод на покриття витрат води на сумарне випаровування з водної поверхні озер і з рівня ґрунтових вод і прискорило швидкість та збільшило амплітуду зниження напорів крейдяного водоносного горизонту і, відповідно, рівнів води в озерах і рівнів ґрунтових вод. З огляду на вищевикладене, на основі наявних даних та наукових досліджень, можна стверджувати, що за умови збереження змін клімату буде відбуватися подальше зменшення придатних до використання ресурсів поверхневих і підземних вод. Одним із шляхів вирішення проблеми покращення водозабезпеченості регіонів України в цих умовах є відновлення водорегулюючої ролі Полісся та залучення водних ресурсів Дунаю. При цьому залучення до використання вод річки Дунай покращить водноекологічну ситуацію у південному регіоні України, зокрема в Одеській і Миколаївській областях, та дасть змогу забезпечити прогнозовану додаткову потребу води для зрошення та с/г водопостачання у обсязі від 1,5- до 10 куб.км. Розв'язання проблеми потребує

також переходу на інтегроване управління водними ресурсами за басейновим принципом, створення відповідної організаційної структури за європейською моделлю та кращими світовими практиками, що у свою чергу повинно сприяти забезпеченню водної безпеки держави, як обов'язкової передумови її сталого розвитку, шляхом вироблення правових, інституційних, економічних механізмів для: 11 – запобігання погіршенню якості поверхневих, підземних вод та морських вод та досягнення їх «доброго» стану; – зупинення деградації водних екосистем та їх відновлення; – усунення проблеми недостатнього водозабезпечення населення якісною водою у необхідній кількості, особливо у періоди маловоддя. Таким чином в Україні назріла необхідність реформування управління водними ресурсами з метою досягнення «доброго» стану вод шляхом створення нормативно-правових, інституційних та фінансово-економічних засад впровадження інтегрованого управління водними ресурсами за басейновим принципом, рівноправного залучення всіх заінтересованих сторін до процесу управління, ефективному та виправданому застосуванні принципів «збруднювач платить» та «користувач платить». Фактично мова має йти про формування нової водної політики. Її основи пропонується зафіксувати у «Водній стратегії України на період до 2050 року». Розроблення цього документа має розпочатись негайно, а введення її в дію має здійснити Верховна Рада, надавши статус закону [5].

1.4. Умови формування та критерії посухи

Посуха - природне явище, пов'язане з дефіцитом вологи, яке спостерігається в різних кліматичних зонах і приносить величезний збиток. За даними ООН, він перевищує 20% загального збитку, що наноситься усіма стихійними лихами. Посухи, особливо в їх екстремальному прояві, надають прискорює вплив на розвиток опустелювання, основною причиною якого на території колишнього

СРСР є надмірні антропогенні навантаження, що посилюються в умовах тривалих і інтенсивних посух.

Посушливі явища визначаються як прояв різних геофізичних та біологічних процесів, які у своєму поєднанні призводять до надлишкової втрати води живими організмами, зокрема рослинами. Кліматичні умови України є сприятливими для утворення різних типів посушливих явищ, а саме: бездощових періодів, атмосферних посух, ґрунтових посух, загальних посух, фізіологічних посух, суховіїв [23,24]. За рекомендаціями Всесвітньої метеорологічної організації (ВМО) виділяють також галузеві класифікації посухи: гідрологічні, сільськогосподарські, енергетичні та ін. [25].

Бездощовий період або бездощів'я – це інтервал часу, в якому протягом десяти днів і більше не спостерігаються опади, або їх добова кількість не перевищує 1 мм.

Поняття бездощових періодів використовують для оцінки кліматичних умов сільськогосподарського виробництва на відносно невеликі часові періоди. Бездощові періоди виступають критерієм посушливості, адже характеризують тривалість періоду без ефективних опадів. Ефективність опадів оцінюється як їх кількість, яка може бути якось використана рослинами. Встановлено, що опади до 1 мм не засвоюються рослинами, а опади до 5 мм влітку лише звожують поверхневий шар ґрунту і можуть бути використані рослинами за умови, якщо ґрунт не є сухим. Однак опади до 5 мм можуть суттєво знизити температуру ґрунту, а також підвищити вологість приземного шару повітря, що навіть влітку, особливо при похмурій погоді, створює сприятливі умови для рослин. Звичайно, влітку більше 40% опадів випадають в кількості до 5 мм за добу, тому у більшості досліджень такі опади беруться як критерій ефективних опадів.

При складанні агрометеорологічних щорічників та агрокліматичних довідників бездощовим вважають період 10 діб та більше без опадів або з незначною кількістю (менше 1 мм); бездощовий період вважають перерваним, якщо опадів випало не менше 5 мм за добу, або 1,0-4,9 мм, якщо вони випадають декілька разів з перервою менше 10 днів.

Тривалість бездощових періодів визначається перш за все циркуляційними умовами атмосфери, а також умовами рельєфу місцевості. Найбільшу повторюваність та тривалість бездощових періодів забезпечують антициклонічні поля різних типів, з яких особливо виділяються стаціонарні антициклони, пов'язані з азорським максимумом, або арктичного походження. Менш тривалими є бездощові періоди в малорухомих областях або смугах підвищеного тиску. Найменшу тривалість мають бездощові періоди, пов'язані з процесами антициклогенезу західного типу завдяки перенесенню відносно вологого атлантичного повітря в цих баричних утвореннях.

Найчастіше бездощові періоди трапляються в серпні-жовтні, але можуть починатися й на початку літа. Тривалі осінні бездощові періоди спостерігаються в західних областях, а також на південному сході і центрі країни. На решті території частіше спостерігаються весняні посухи (звичайно, з березня по травень). На Південному березі Криму найбільш тривалі бездощові періоди відмічаються всередині вегетаційного періоду. При бездощових періодах переважають слабкі вітри швидкістю до 5 мс^{-1} , при різних напрямках. В степових районах при сильних вітрах розвиваються суховії та пилові бурі.

Атмосферна, або повітряна засуха, є наслідком тривалого бездощового періоду з низькою вологістю та високою температурою повітря.

Ґрунтова посуха настає при висушенні ґрунту, що посилюється, в результаті чого поступлення води до коренів рослин сповільнюється або припиняється зовсім і рослини страдають від нестачі вологи. Явище ґрунтової посухи пов'язано з недостатніми весняними запасами води в метровому шарі ґрунту, так як на протязі літніх місяців волога лише витрачається рослинами, а не поповнюється. Особливо небезпечною є ґрунтова посуха, коли дощова погода різко змінюється посушливою.

Поєднання атмосферної та ґрунтової посухи призводить до настання *загальної* посухи, при цьому вплив посухи посилюється при високих температурах повітря вночі, коли рослини не мають часу для відпочинку.

Фізіологічна посуха виникає тоді, коли рослина не здатна забезпечити себе водою, хоча її запаси в ґрунті достатні (наприклад, при пошкодженні кореневої системи при пересадці рослини). Така посуха може виникнути в умовах сполучення низької температури кореневого шару ґрунту, високою температурою та низькою вологістю повітря, або через підвищений вміст солей в ґрунті. За таких умов швидкість всмоктування вологи кореневою системою значно відстає від швидкості транспірації, тому порушується процес живлення та розвитку рослини, що призводить до зменшення її продуктивності.

За просторовими масштабами посушливі явища можуть бути поділені на місцеві, зональні, міжзональні, континентальні та глобальні. Місцеві посухи охоплюють до 10% площі однієї агро кліматичної зони та носять плямистий характер. Зональні посухи можуть займати від 10 до 100% площі агрокліматичної зони. Міжзональні посухи займають не менше двох агро кліматичних зон з охопленням від 10 до 35% площі у кожній зоні. Континентальні посушливі явища займають не менше трьох агро кліматичних зон із загальним охопленням від 30%. Глобальні посушливі явища поширюються на значну частину певної півкулі або не менше ніж на 10% території всіх суміжних континентів.

Основним чинником в утворенні посухи є циркуляційний фактор [23-24,26,27], тобто над певною територією повинні утворюватися такі макромасштабні та синоптичні процеси, які б призводили до стійкого утворення підвищеного фону температури повітря, довготривалої відсутності опадів та низької відносної вологості повітря. Посушливі явища виникають та зникають в певному місті через складний комплекс взаємо зв'язаних природних процесів, які можуть бути посилені або послаблені діяльністю людини. Відповідний вклад в цей процес вносять макромасштабні атмосферні процеси в період вегетації, властивості рослини, а саме стійкість до відсутності опадів і високим температурам, недостатній режим зволоження ґрунту та агротехніка, що не пристосована до посушливих умов.

За часом виникнення та тривалості впливу виділяють три типи посух, які важливі в агрометеорології: весняні, літні, осінні [19].

Весняна посуха характеризується зазвичай досить низькими температурами, низькою відотною вологістю повітря, посушливими вітрами. Цей тип посухи стримує сходи, послаблює кушіння та укорінення рослин, зменшує кількість закладених колосків в колосі. При достатніх запасах ґрунтової вологи навесні посуха впливає на рослини незначно.

Літня посуха характеризується низькою відотною вологістю повітря, високою температурою, великою випаровуваністю. Призупиняється накопичення вегетативної маси, приріст коренів, може виникнути щуплість зерна. Звичайно до моменту виникнення літньої посухи в степових та лісостепових районах бувають недостатні запаси вологи в орному шарі, тому літня посуха значно більше негативно впливає на сільськогосподарські культури, ніж весняна.

Осіня посуха є небезпечною для озимих та пізньостиглих культур. Не зважаючи на зниження температури повітря верхній шар ґрунту може бути значно висушений до початку посіву озимини через відсутність опадів у попередні літні місяці, особливо у серпні. Тому якщо сівба проходить у таких умовах, сходи, що з'явилися, не розвиваються, не досягають нормального кушіння та під час зимівлі більшість озимих гине від перемерзання.

В залежності від місяця настання виділяють такі типи атмосферної посухи: 1) холодна – в травні; 2) літня – в червні, 3) пізня літня – в липні-серпні, комбінована, яка переривається більш м'якими погодними умовами, 4) посухи протягом всього весняно-літнього періоду.

Сучасні зміни клімату, які вже відбулися і очікувані в XXI ст., Безсумнівно надають і будуть впливати на екстремальність клімату, в тому числі на посуху. Це зазначено в Четвертому оціночній доповіді Міжурядової групи експертів по зміні клімату (МГЕЗК) (Climate Change 2007, 2007б), а також у вітчизняному оціночній доповіді (Оціночний доповідь ..., 2008). В цьому розділі, поряд власне з концепцією засух як природного явища, розглядається методологічна база оцінки впливу зміни клімату на повторюваність, тривалість та інтенсивність посух.

Посуха - комплексне явище, яке може розглядатися з декількох точок зору. Центральне місце в визначеннях посухи займає поняття дефіциту вологи. Труднощі у визначенні посухи пов'язані з необхідністю розгляду різних компонентів гідрологічного циклу, а також періодів часу і середовищ, відповідно коли і де дефіцит вологи проявляється. Ситуація, коли одночасно виникають тривалий недолік вологи в ґрунті на великій глибині і короткостроковий її надлишок в верхньому шарі, відображає складність, пов'язану з визначенням і ідентифікацією посух [6].

ГТК Селянинова. Е. К. Зоїдзе запропонував для оцінки інтенсивності атмосферних посух використовувати гідротермічний коефіцієнт (ГТК) Селянинова за травень - липень. При цьому розглядалися 5 категорій інтенсивності атмосферних посух: дуже сильна (ГТКV-VI < 0,19), сильна (ГТКV-VI = 0,20-0,39), середня (ГТКV-VI = 0,40-0,60), слабка (ГТКV-VI = 0,61-0,75), а також варіант з відсутністю посухи (ГТКV-VI < 0,75) [7, 8].

КУ Шашко. Відповідно до запропонованим Д. І. Шашко агрокліматичних районуванням, на основі показника річного зволоження (КУ), Саратовська область розташована в зоні недостатнього і незначного зволоження. Виходячи з розрахованих показників КУ, на території можна виділити такі зони зволоження:

- напіввологу зону з $KУ > 0,41$ (відсутність посухи);
- напівпосушливими зону з $KУ = 0,40-0,31$ (Слабка посуха);
- посушливу зону з $KУ = 0,30-0,20$ (середня посуха);
- дуже посушливу зону з $KУ = 0,19-0,10$ (Сильна посуха);
- напівсуху напівпустельну зону $СКУ < 0,09$ (Дуже сильна посуха).

Формула для даного коефіцієнта розраховується за весь рік і виглядає так: $KУ = \Sigma P / \Sigma d$, де ΣP - сума опадів у мм, а Σd – сума дефіцитів в гПа [9, 10].

Коефіцієнт Кабанова. Техніка визначення сухих і вологих днів за коефіцієнтом Кабанова полягає в наступному. Для кожного дня за емпіричною

формулою $V = 0.4 \cdot \Sigma D$ визначається випаровуваність. отримані величини випаровуваності по днях зіставляються з сумою фактично випали за кожен день опадів. Ті дні, коли опади перевищують випаровуваність або потреба в воді на випаровування, вважалися вологими. Сума опадів понад випаровуваності за даний день ставилася до наступного дня як невикористаний резерв від випав за попередній день дощу. перевершує резерв підсумовувати з опадами, що випали за наступну добу (якщо наступної доби був дощ), і з отриманої суми віднімалася випаровуваність за інший день. І таким чином підрахунок тривав до тих пір, поки різниця вирахування не доходила до нуля або негативної величини. Усі дні, коли опади і перехідні резерви води покривали випаровуваність, вважалися вологими, а решта - сухими [11].

Узагальненим критерієм всіх видів засух вважається рівень зниження врожайності. так, слабкі посухи характеризуються зниженням врожайності на 10-15%, середні - на 25%, сильні - на 50%, дуже сильні - більш ніж на 50% від середнього багаторічного значення [8].

ВМО для моніторингу посух запропонувала до використання національними метеорологічними службами так званий стандартизований індекс опадів (the Standardized Precipitation index, SPI), який наразі широко використовується в зарубіжних дослідженнях та базується на оцінці режиму опадів в певні проміжки часу.

Стандартизований індекс опадів (SPI) обчислюється в наступній послідовності [30]. Щомісячний набір даних по опадах підбирається для періоду m -місяців, причому ідеальний безперервний період становить як мінімум 30 років. Набір періодів для усереднювання вибирається для масштабів часу j , який складає 3, 6, 12, 24, або 48 місяців. Вони представляють довільні, але типові масштаби часу для дефіцитів опадів, аби впливати на п'ять видів використовуваних водних джерел. Ряд даних формується таким чином, що кожний місяць є новим значенням, яке визначається попередні i -ми місяцями. До кожного з рядів даних застосовується функція гамма-розподілу для визначення взаємозв'язку вірогідності до опадів. Як тільки взаємозв'язок вірогідності до опадів встановлений з історичних записів,

вірогідність будь-яких спостережуваних опадів в пункті обчислюється і використовується разом з оцінкою зворотного нормального розподілу, обчисленого як відхилення опадів від щільності нормального розподілу з середнім нульовим значенням стандартного середньоквадратичного відхилення.

Обчислені додатні значення SPI вказують на більшу, ніж в середньому, кількість опадів, від'ємні значення – навпаки. Часовий крок (масштаб часу) в один місяць (SPI1) означає, що для розрахунку використовуються дані по опадах лише за один місяць, тому часовий розподіл SPI1 має схожість з розподілом місячних сум опадів та є корисним для оцінки атмосферних посух. SPI, обчислений таким чином, має наступні особливості.

- SPI унікально пов'язаний з ймовірністю.
- Опади, що використані для обчислення SPI, можуть бути використані для обчислення дефіциту опадів в поточний період.
- Опади, використані в SPI, можуть бути використані для обчислення поточного відсотка від середньої кількості опадів протягом періоду часу і місяців.
- SPI має нормальний розподіл, тому може бути використаний для моніторингу як сухих, та і вологих періодів.
- SPI нормалізований таким чином, що вологий і сухий клімат буде представлений однаково.

Методика розрахунку і застосування SPI передбачає прийняття, принаймні, двох припущень. По-перше, мінливість опадів вважається значно більшою, ніж інших величин (наприклад, температури або евапотранспірації), які впливають на утворення посухи. По-друге, інші величини стаціонарні, тобто не мають часового тренду. Оскільки посуху як комплексне явище, формує не лише режим опадів, але й температурний режим, врахування цього чинника повинно істотно підвищити якість такого індексу, як SPI. Тому в роботах Вісенте-Серрано С.М. та ін. [21] був запропонований новий індекс, який враховує випаровуваність за допомогою показника евапотранспірації. Так званий стандартизований індекс опадів-евапотранспірації SPEI (the Standardized Precipitation Evapotranspiration index) розраховується за процедурою, аналогічною розрахунку SPI. Проте, замість опадів

для обчислення SPEI використовуються різниці (D) місячних сум опадів (R) і потенційної евапотранспірації (PET). Даний вираз відображує в спрощеному вигляді схему водного балансу вертикального стовпа ґрунту від її поверхні до глибини, де припиняється волого обмін. Хоча вираз не враховує вологообмін поверхні ґрунту з нижче розташованими шарами, він виявився задовільним для врахування впливу температурного режиму на сумарну зволоженість. Для визначення PET використовується метод Торнтвейта, який враховує температуру повітря.

Значення індексу SPEI, як і SPI, стандартизуються для можливості порівняння з іншими величинами в різних географічних пунктах і на різних проміжках часу. Критерії для визначення посушливих або вологих умов за індексами SPI та SPEI представлені у табл. 1.1. Подія посухи для масштабу часу визначається як період, в якому SPI або SPEI – безперервно негативний і досягає значення $-1,0$ або менше. Посуха починається, коли SPI або SPEI вперше знижується нижче за нуль і закінчується з позитивним значенням SPI (SPEI), наступним за значенням $-1,0$ або менше.

Таблиця 1.1 – Критерії для визначення інтенсивності посух та вологих періодів за індексами SPI, SPEI

Значення SPI, SPEI	Категорія
$\geq 2,00$	Екстремально вологий період
1,50 – 1,99	Дуже вологий період
1,00 – 1,49	Помірно вологий період
0,00 – 0,99	Зволоження близько норми
-0,99 – 0,00	М'яка посуха
-1,49 – -1,00	Помірна посуха
-1,99 – -1,50	Сильна посуха
$\leq -2,00$	Екстремальна посуха

2. ВИХІДНІ ДАНІ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1. Глобальна система асиміляції наземних даних (Global Land Data Assimilation System (GLDAS))

Температура поверхні землі та умови вологості впливають зазнають впливу численних кліматологічних, метеорологічних, екологічних та геофізичних явищ. Тому точні оцінки наземних сховищ води та енергії з високою роздільною здатністю є цінний для прогнозування кліматичних змін, погоди, біологічної та сільськогосподарської продуктивності та контролю повені, і для проведення широкого спектру досліджень в ширші біогеонауки. Зокрема, наземний запаси енергії та води модулюють потоки між землі та атмосфери та проявляють наполегливість на добові, сезонні та міжрічні часові шкали. Крім того, оскільки вологість ґрунту, температура та сніг - це інтегровані стани, упередження у приземленні поверхні суші дані та параметризації накопичуються як помилки у представництвах цих держав в оперативному числовий прогноз погоди та кліматичні моделі та пов'язані з ними системи асиміляції даних.

Це призводить до неправильного розподілу поверхневої води та енергії, а отже, і до неточних прогнозів. Реініціалізація стану поверхні суші могла б пом'якшити ця проблема, якщо поля земельної поверхні були надійними і доступні у всьому світі, з високою просторовою роздільною здатністю, та майже в реальному часі Глобальна система асиміляції земельних даних (GLDAS) була розроблена спільно вченими в Національне управління аеронавтики та космосу (NASA) Центр космічних польотів Годдарда (GSFC) і Національне управління з питань океану та атмосфери (NOAA) Національні центри екології Прогнозування (NCEP) для створення таких полів. GLDAS використовує нове покоління наземних та космічних систем спостереження, які забезпечують дані для обмеження модельованих станів поверхні суші. Обмеження застосовуються двома способами.

По-перше, шляхом примусу моделі поверхні суші (LSM) з метеорологічними полями на основі спостережень, ухилами в атмосфері примусу на основі моделі можна уникнути. По-друге, за допомогою методів асиміляції даних, спостережень за станом поверхні суші можуть бути використані для стримування нереальних моделі станів [12].

Завдяки інноваціям і постійно вдосконалюється концептуалізації фізики, що лежить в основі процесів земної системи, LSM продовжували розвиватися і демонструвати вдосконалену здатність моделювати складні явища. Одночасно збільшується обчислювальна потужність і доступність дозволяють бути глобальним моделюванням працювати більш регулярно і з меншим часом обробки, при просторово роздільній здатності, яку можна було змоделювати лише за допомогою суперкомп'ютерів п'ять років тому. GLDAS використовує недорогу обчислювальну потужність для інтеграції даних, що базуються на спостереженнях, з безлічі джерел з високою роздільною здатністю моделі моделювання. Що робить GLDAS унікальним - об'єднання всіх якостей: це глобальний, високий дозвіл, офлайн (не пов'язане з атмосферою) наземне моделювання система, що включає супутникове та наземне базування спостереження з метою отримання оптимальних полів суші, поверхневі стани та потоки майже в реальному часі. Ця стаття описує основні аспекти GLDAS і включає зразок продукції, що випускається. Моделювання поверхні суші[13].

Підбадьорені досягненнями в розумінні динаміки ґрунтової води, фізіології рослин, мікрометеорології та контролю взаємодії атмосфери та біосфери гідросфери, було запроваджено декілька LSM розроблені за останні два десятиліття з метою реалістично моделюючи передачу маси, енергії, та імпульс між поверхнею ґрунту та рослинності та атмосферою. В даний час диски GLDAS три моделі поверхні землі: Мозаїка, Ной та Модель земель громади (CLM). Додаткові моделі заплановано на майбутнє включення, включаючи Модель змінної інфільтраційної здатності та Модель поверхневого водозбору. Для порівняння цих та інші LSM, див. результати проекту для Взаємопорівняння параметрів поверхні землі Схеми та глобальної вологості ґрунту Проект. МОЗАЇКА. Мозаїка - це усталений і

теоретично обґрунтований ЛСМ з корінням в модель простої біосфери (SiB) від Sellers et al. (1986). Основним нововведенням Mosaic було його лікування варіабельності підмереж. Він розділяє кожного моделювати клітинку сітки в мозаїку з плиток на основі розподілу рослинності типи всередині клітини [14].

Розрахунки поверхневого потоку є подібні до тих, що описані Sellers et al. (1986). CLM. CLM розробляється на низовому рівні співпраця вчених, які зацікавлені в надання загальної моделі поверхні землі доступною для громадського використання. Проект не контролюється жодною організацією чи вченим, швидше, наукою керує громада. CLM включає чудові компоненти з кожної з трьох моделей: NCAR Land Surface Model, передача біосфера-атмосфера Схема та LSM Інституту фізики атмосфери Китаю Академія наук. Обидва включені перші дві «заморожені» версії CLM в GLDAS. НОА. З 1993 року як основний проект у рамках Глобальної та експерименту з енергетичного водного циклу (GEWEX), континентальний міжнародний проект (GCIP), NCEP очолив постійну співпрацю GCIP та інших слідчих, як державних, так і приватних установи розробити сучасний ЛСМ, який буде використовуватися операції та дослідження в погоді та кліматі NCEP моделі прогнозування та їх системи засвоєння даних, а також для підтримки та розповсюдження для спільноти. The Noah LSM було покладено на ці зусилля. Ной був використовується оперативно в моделях NCEP з 1996 р., і він продовжує отримувати вигоду від постійного розвитку вдосконалення асиміляції даних про землі. Модельні передбачення та спостереження недосконалі, і вони містять різні типи інформації. Спостереження можуть бути дуже точними в дискретних точках у просторі та часі, але вони схильні до відмов приладів, дрейфу вимірювань, даних переривання потоку, питання просторової репрезентативності та недоліки в алгоритмах, що використовуються для виведення корисної величини від вимірюваних сигналів. Моделі синтезують усі наші знання про фізичні процеси та виконати тисячі обчислень, необхідних для імітують шматок земної системи, але вони обмежені надмірними спрощеннями та непорозуміннями безліч процесів та механізмів зворотного зв'язку, які активні в реальному світі, а також через помилки в дані, що використовуються для форсування моделей.

Засвоєння даних об'єднує вимірювання з передбаченнями моделі, с мета максимізації просторового та часового охоплення, послідовності, роздільної здатності та точності. Кілька підходи до асиміляції даних перевіряються на включення до GLDAS, включаючи як ансамбль, так і розширені фільтри Калмана (Kalman 1960; Walker і Houser 2001), оптимальна інтерполяція та гібрид техніки вставки. Північноамериканський LDAS. GLDAS має свою основу в Північноамериканська система асиміляції земельних даних Проект (NLDAS) (Mitchell et al. 1999; Cosgrove et al. 2003). NLDAS було започатковано в 1998 році як багатоінституційне співробітництво під керівництвом NCEP з метою виробляти поверхневі стани суші та потоки через незчеплену систему лише суші, яка якомога більше спиралася на примусові поля на основі спостережень, щоб уникати відомих упереджень в атмосферних модельних полях примусу. Досліджуваний регіон для NLDAS охоплює суміжні США та частини Мексики та Канада. Четверо LSM управляються учасниками, що вносять вклад групи з роздільною здатністю $0,125^\circ$ і поширюються на те саме примусових полів, що дозволяє однозначно порівнювати моделювання LSM. Моделі NLDAS виконуються в режимі реального часу на NCEP і, ретроспективно, на NASA GSFC, Принстонський університет, Університет Росії Вашингтон та Управління гідрологічного розвитку NOAA. Стани NLDAS, потоки та форсингу є перевіряється дослідниками з університету Рутгерса і Університет штату Меріленд, а також вищезазначені установи. Багато код драйвера GLDAS був отриманий з драйвера NLDAS GSFC коду та багатьох проектів цілі подібні, хоча і в різних просторових областях. [15].

2.2. Отримання параметрів земної поверхні з використанням супутникових даних

Під час бурхливого розвитку космічних технологій виникла супутникова метеорологія. Це один з розділів науки про погоду - метеорології, що вивчає

фізичний стан атмосфери і метеорологічні явища за допомогою штучних супутників Землі. Супутникова метеорологія - досить молода наукова дисципліна, яка розвинулася в третій чверті ХХ-го століття. Створення її стало можливим після появи нового, який опинився дуже перспективним, засоби дослідження атмосфери і космічного простору - штучного супутника Землі. Вперше він був виведений на орбіту навколо Землі радянськими вченими 4 жовтня 1957 р.

Супутникова метеорологія - розділ метеорології, який розробляє методи отримання та використання метеорологічної інформації за допомогою апаратури, встановленої на метеорологічних супутниках. Телевізійна й інфрачервона апаратура дає можливість отримувати вдень і вночі зображення Землі, які дозволяють вивчати особливості структури та розподілу її хмарного покриву, а також визначати температуру підстильної поверхні або верхньої межі хмар. Типізація великомасштабних структур хмарного покриву і встановлення їх зв'язку з погодообразуючих процесами створили основу для супутникового аналізу хмарності (нефаналіза), що складається в дешифрування зображень хмарності в цілях визначення синоптичної ситуації (цим значно доповнюється інформація про стан атмосфери, що отримується з наземних станцій, особливо над океанами і в тропіках, що покращує якість прогнозів погоди). Особливо важлива роль супутникової інформації для своєчасного розпізнавання, простеження і прогнозу тропічних штормів і ураганів; супутникові зображення підстильної поверхні дозволяють отримувати і цінні відомості про крижаному і сніжному покривах.

Посуха - природне кліматологічне явище, яке виникає через дефіцит кількості опадів. В контексті сільського господарства, це проявляється у вигляді недостатнього забезпечення водою для задоволення потреб у воді врожаю як від опадів, так і від зрошення. Після негативного відхилення опадів від норми, посуха починає проявлятися спочатку у вигляді дефіциту вологості ґрунту і, як наслідок, рослинний стрес, що призводить до його в'янення. Посуха має просторові та часові прояви. Обов'язково потрібно розуміти просторовий прояв посухи та її вплив на вологість ґрунту та посіви, забезпечити продовольчу безпеку, а також стійку сільськогосподарську діяльність через страхування врожаю. Правильна

оцінка річних та сезонних посух необхідна для розвитку інформаційної системи управління посівами. Кілька досліджень розробили індекси для оцінки величини, тривалості та простору масштабів посухи [16].

Інтенсивність та ступінь посухи залежать від кліматичних умов характеристики поряд з величиною дефіциту опадів та вологи ґрунту. Використовуються індекси для виявлення та охарактеризування посухи, такі як індекс тяжкості посухи Палмера, індекс посухи Бальме та Мулі, стандартний індекс опадів та більш пізнього індексу, стандартизованих опадів індекс евапотранспірації використовується або одиничний, або комбінація кліматичних елементів для ідентифікації та кількісного визначення характеристики посухи. Використання цих індексів є обмежена наявністю кліматичних даних протягом розумного періоду в околицях цікавої зони. Ці обмеження є перевершено появою оптичного супутникового дистанційного зондування де періодичні супутникові знімки доступні постійно відстежувати початок посухи та її розвиток.

Перший помітний прояв посухи у рослинності виявляється в сільському господарстві сільськогосподарські культури, де здоров'я врожаю погіршується, як наслідок знижена фотосинтетична активність, яка легко вловлюється мультиспектральні супутникові знімки. Таким чином, супутникове дистанційне зондування має широко використовувались для оцінки цих сільськогосподарських вод стреси та посуха. Моніторинг посухи також можна проводити за допомогою супутникових знімків та шляхом отримання відповідних індексів.

Перевага супутникового дистанційного зондування полягає в тому, що посуха може бути визначена та оцінена заздалегідь, ніж визначені за допомогою звичайних методів. Посуха посилюється як і коли висока атмосферна температура одночасно переважає з низьким ґрунтом умови вологи. У таких ситуаціях здоров'я рослинності зумовлене до атмосферної температури можна ефективно проаналізувати за допомогою супутникові знімки. Існує багато сільського господарства на основі супутників індекси оцінки посухи, що розробляються на основі супутникове дистанційне зондування. Індекс здоров'я рослинності (VHI)

становить найбільш широко використовуваний супутниковий індекс на основі моніторингу посухи та характеристики [17].

2.3 Вихідні дані Giovanni та їх обробка

Набори просторово-прив'язаних геофізичних даних (бази метеорологічних даних, результатів моделювання і реаналіза, супутникових знімків, і ін.) Активно використовуються в численних додатках, що включають, зокрема, прогноз, моделювання інтерпретацію кліматичних і екосистемних змін на різних просторових і часових масштабах. При проведенні геофізичних, і, зокрема, кліматичних досліджень, знаходять широке застосування традиційні методи математичної статистики для опису поведінки і зміни параметрів, оцінки лінійних взаємозв'язків, визначення екстремальних станів клімату. Методи дослідження кліматичних процесів широко представлені у вітчизняній і зарубіжних літературі, починаючи з простих оцінок кліматичних середніх і дисперсій, і закінчуються статистичними методологіями, які формують базу діагностичних обчислень динаміки кліматичних систем. Перед усім за все, для якісного вивчення клімату необхідні ряди багаторічних систематичних спостережень метеорологічних величин, які можуть бути отримані з мережі синоптичних станцій, а також за результатами роботи метеорологічних моделей. Так, при дослідженні рядів станцій спостережень слід враховувати вплив на них не кліматичних факторів, таких як зміщення в просторі станцій, зміни в локальній навколишньому середовищі (зростання міст), зміни в приладах і методиках збору спостережень. Приклади змодельованих наборів даних, часто використовуваних при проведенні кліматичних досліджень, служать архіви геофізичних даних, створені центрами атмосферних досліджень і прогнозів погоди країн Європи і Азії [18].

З метою дослідження змін клімату з екстремальних значень метеорологічних величин використовують індекси, розглянуті і відібрані Групою експертів з

виявлення, моніторингу та індекси змінення клімату комісії з кліматології Всесвітньої метеорологічної організації (ВМО). Індекси, що характеризують екстремальні значення щодобового температури і кількості опадів, представлені, порогові значення, а також індекси тривалості періоду до заданих умов, які покривають багато аспектів глобальної зміни клімату. На сьогоднішній день велика кількість методів статистичних розрахунків і різноманітність методів графічної інтерпретації результатів, може бути реалізовано за допомогою, як різних програмних пакетів, таких як Excel, Statistica, ArcGis і т. д., так і ряду інформаційно-обчислювальних систем (KNMIClimate explorer, ECA & D, NASA GES DISC Interactive Online Visualization ANd aNalysis Infrastructure (GIOVANNI), CLIMVIS та ін.), що дозволяють виконувати основні статистичні процедури на основі даних моделювання і спостережень метеорологічних станцій. Також існує ряд програмних пакетів, що реалізують автоматичне обчислення екстремальних індексів ВМО [20].

Одним з них є ПЗ RClimDex, що представляє собою програмне забезпечення для статистичних обчислень індексів зміни клімату і візуалізації результатів. Слід відзначити початкову різноманітність наборів даних, отриманих від різних джерел, яка ускладнює не тільки обмін даними і результатами, але також значно ускладнює їх порівняння, що зменшує вірогідність виконаного аналізу. Таким чином, однією з важливих завдань інформаційної підтримки інтегрованих наукових досліджень в галузі наук про Землю є створення заснованої на сучасних інформаційно-телекомунікаційних технологіях програмної інфраструктури для комплексного використання наборів просторово-прив'язаних геофізичних даних. Сучасні технології обробки геофізичних даних дозволяють інтегрувати різні технологічні рішення для організації таких інформаційних ресурсів, в тому числі даних дистанційного зондування [19].

Giovanni - це веб-інтерфейс, який дозволяє користувачам аналізувати дані НАСА з координатної прив'язкою з різних супутникових і наземних спостережень. Джованні дозволяє дослідникам вивчати дані про хімію атмосфери, температури атмосфери, водяній парі та хмарах, атмосферних аерозолях, опадах, хлорофілі

океану і температурі поверхні. Первинні дані складаються з глобальних наборів даних з координатної сіткою зі зниженим просторовим дозволом. Основні аналітичні функції, що їх Джованні, виконуються Системою аналізу і відображення сітки (GrADS). Джованні - це аббревіатура від GES-DISC Interactive Online Visualization AND aNalysis Infrastructure. Він забезпечує доступ до даних з декількох віддалених сайтів, підтримує кілька форматів даних, включаючи ієрархічний формат даних (HDF), HDF-EOS, мережеву загальну форму даних (netCDF), двійковий GRIdded (GRIB) і двійковий, а також кілька типів графіків, включаючи площа, час, ховмоллер, і анімація зображень. Джованні (метеорологія) [21].

На початку грудня 2020 року необхідно використовувати ім'я користувача та пароль для входу до Earthdata, щоб отримати доступ до повної функціональності Джованні та зберігання даних. До початку січня 2019 року всі візуалізації Джованні можна було генерувати за допомогою повного архіву даних, але для завантаження даних потрібно було увійти в Earthdata. Вибір змінних за допомогою інтерфейсу Джованні може бути здійснений двома різними методами. Перший метод - Гранчастий пошук. Для Гранчастого пошуку відображаються параметри ліворуч від інтерфейсу, багато варіантів перераховані в розділі «Вимірювання». Для цього прикладу було обрано СН4 (метан).

Більшість служб Джованні обчислюють сукупні статистичні дані за одним або кількома вимірами у часі та просторі. Середнє та стандартне відхилення. За винятком статистики для графіку гістограми, обидві ці статистичні дані використовують вагові коефіцієнти. Ваги - це косинус центральної широти точки зважування даних. У разі фігур ваги додатково регулюються, як описано в "Використання фігур для визначення областей". Формула, яка використовується для обчислення середнього значення:

$$\bar{x} = \frac{\sum w_i x_i}{\sum w_i}$$

де w являє собою вагові коефіцієнти, x являє собою точки даних, а i - індекс за всіма точками даних, які усереднюються. Формула, яка використовується для розрахунку стандартного відхилення:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum w_i (x_i - \bar{x})^2}{\sum w_i}}$$

Кількість, мінімум та максимум Ці статистичні дані обчислюються для всіх дійсних точок даних у вибраній області (тобто значення заповнення виключаються). Для областей, зазначених як обмежувальні рамки, включаються всі точки даних, центр сітки яких знаходиться в межах обмежувального поля. Для фігур включені всі точки даних, які хоча б частково перекривають фігуру. Лічильник є загальна кількість включених точок даних, то мінімальне є найменшим значенням з включених точок даних, а максимальне це найбільше значення з включених точок даних [22].

Для того, щоб оцінити міжрічну мінливість показників вологості ґрунту та загальні тенденції їх зміни в районі дослідження, був використаний показник аномальності вологовмісту ґрунту - індекс SMAI. Згідно [31], цей індекс розраховується за даними про вологовміст ґрунту W , за формулою:

$$SMAI = \frac{W - \bar{W}}{\sigma_w},$$

де \bar{W} -

середнє значення вологовмісту за тривалий проміжок часу (в даному дослідженні середнє місячне за період 2000-2019 рр.)

σ_w - стандартне відхилення W .

Якщо індекс приймає позитивні значення ($SMAI > 0$), це означає, що умови зволоження даного шару ґрунту в даному місяці були вищі за норму (середнє багаторічне значення); якщо індекс негативний ($SMAI < 0$), це означає дефіцит вологовмісту ґрунту порівняно з нормою і може свідчити про наявність ґрунтової посухи, для цього зазвичай розглядається індекс $SMAI < -1$. Якщо $SMAI = 0$, це

свідчить про умови зволоження ґрунту, які близькі до середнього багаторічного значення.

За розрахованими середньомісячними значеннями індексу SMAI були побудовані графіки часового ходу для двох районів Північного Причорномор'я, аналіз яких наводиться у наступному розділі.

3 АНАЛІЗ ДИНАМІКИ ВОЛОГОСТІ ҐРУНТУ В ПІВНІЧНОМУ ПРИЧОРНОМОР'І

Північне Причорномор'я - історично-географічний район на півдні України в межах Одеської, Миколаївської, Херсонської областей та Автономної республіки Крим. Тут знаходяться степова та лісостепові зони, які гранують з Чорним та Азовським морями. Клімат півдня України зволожений, помірно континентальний. Клімат поєднує риси континентального та океанічного, в південній частині (АР Крим) має ознаки субтропічного.

Зима м'яка, малосніжна і нестійка; середня температура січня від 0°C до -4°C на півночі. Можливі короткочасні, від 7 до 16 днів, морози приблизно -25°C - -31°C . Сильні вітри, 8-16 м / с, особливо в лютому в південній частині регіону. Для весни характерні похмура погода, тумани в зв'язку з значним впливом моря.

Літо як правило жарке, сухе; середня температура липня від 22°C на північному заході до 24°C на півдні; максимум до $36-39^{\circ}\text{C}$ (в останні роки і більше). Осінь доволі тривала, тепліше від весни, в основному хмарна. Середня температура за рік коливається від $8,2^{\circ}\text{C}$ на півночі до $10,9^{\circ}\text{C}$ на півдні області. Загальна сума опадів 330-480 мм на рік, головним чином випадають влітку (часто у вигляді злив). Число годин сонячного сяйва близько 2300 на рік. Тривалість вегетаційного періоду 168-210 діб із загальною сумою температур від 28 до 35°C .

Взимку переважають північні і південно-західні вітри, влітку - північно-західні і північні. Регіон дуже схильний до засух, пилові бурі, суховії [23].

Нами було проаналізовані дані по Північному Причорномор'ї, оскільки воно має не правильну форму, були використанні данні по його південній і північній частині. До південної частини належать південна половина Одеської області (район с координатами 28.375° схід.д., 45.375° півн.ш., 30.125° схід.д., 46.375° півн.ш.); до північної частини належать - північ Одеської області, Миколаївська та Херсонська

області (район з координатами 29.375° схід.д., 46.125° півн.ш., 33.625° схід.д., 47.875° півн.ш.).

3.1 Район південної частини Північного Причорномор'я

Розглянемо часовий хід середньомісячних значень індексу SMAI в шарі ґрунту 0-10 см, в південній частині Північного Причорномор'я протягом 2000-2019 рр.

У січні (рис. 3.1) мінімальний SMAI спостерігався в 2019 році і дорівнював -1,73. Максимальне значення SMAI спостерігалось в 2012 році та становило 2,0. У період 2000-2010 рр. міжрічні коливання індексу були невеликі, окрім мінімуму у 2006 р. В наступні десять років спостерігалися значні міжрічні коливання індексу від додатних до негативних значень. Протягом періоду дослідження спостерігалось поступове зменшення середньомісячних значень індексу, але тренд виявився незначущий.

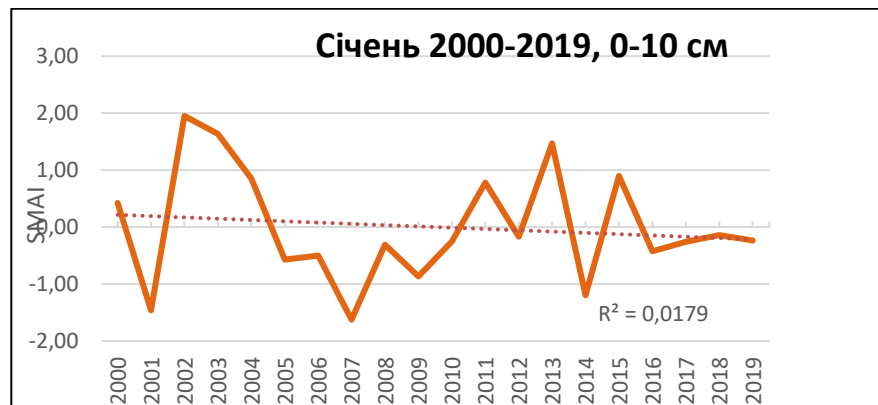


Рисунок 3.1 - Часовий хід індексу SMAI в в південній частині Північного Причорномор'я у січні за період 2000-2019 р. у шарі ґрунту 0-10 см

У лютому (рис. 3.2) мінімальний SMAI спостерігався в 2008 році і дорівнював -1,26. Максимальне значення SMAI спостерігалось в 2012 році та становило 1,25. У період 2000-2010 рр. міжрічні коливання індексу були невеликі.

Весь період спостерігалися значні міжрічні коливання індексу від додатних до негативних значень. Протягом періоду дослідження спостерігалось поступове зменшення середньомісячних значень індексу, але тренд виявився незначущий.

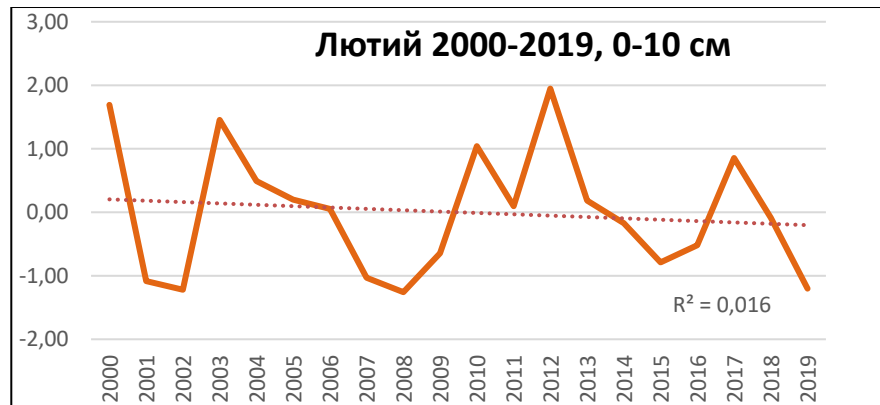


Рисунок 3.2 - Часовий хід індексу SMAI в в південній частині Північного Причорномор'я у лютому за період 2000-2019 р. у шарі ґрунту 0-10 см

У березні (рис. 3.3) мінімальний SMAI спостерігався в 2019 році і дорівнював -2,67. Максимальне значення SMAI спостерігалось в 2018 році та становило 1,70. У період 2000-2010 рр. міжрічні коливання індексу були невеликі. Весь період спостерігалися значні міжрічні коливання індексу від додатних до негативних значень. Протягом періоду дослідження спостерігалось поступове зменшення середньомісячних значень індексу, але тренд виявився незначущий.



Рисунок 3.3 - Часовий хід індексу SMAI в в південній частині Північного Причорномор'я у березні за період 2000-2019 р. у шарі ґрунту 0-10 см

У квітні (рис. 3.3) мінімальний SMAI спостерігався в 2008 році і дорівнював -1,26. Максимальне значення SMAI спостерігалось в 2012 році та становило 1,25. У

період 2000-2010 рр. міжрічні коливання індексу були невеликі. Весь період спостерігалися значні міжрічні коливання індексу від додатних до негативних значень. Протягом періоду дослідження спостерігалось поступове зменшення середньомісячних значень індексу, але тренд виявився незначущій.



Рисунок 3.4 - Часовий хід індексу SMAI в в південній частині Північного Причорномор'я у квітні за період 2000-2019 р. у шарі ґрунту 0-10 см

У травні (рис. 3.5) мінімальний SMAI спостерігався в 2007 році і дорівнював -1,85. Максимальне значення SMAI спостерігалось в 2005 році та становило 1,81. У період 2000-2010 рр. міжрічні коливання індексу були невеликі, окрім мінімуму в 2007 році. Весь період спостерігалися значні міжрічні коливання індексу від додатних до негативних значень. Протягом періоду дослідження спостерігалось поступове зменшення середньомісячних значень індексу, але тренд виявився незначущій.

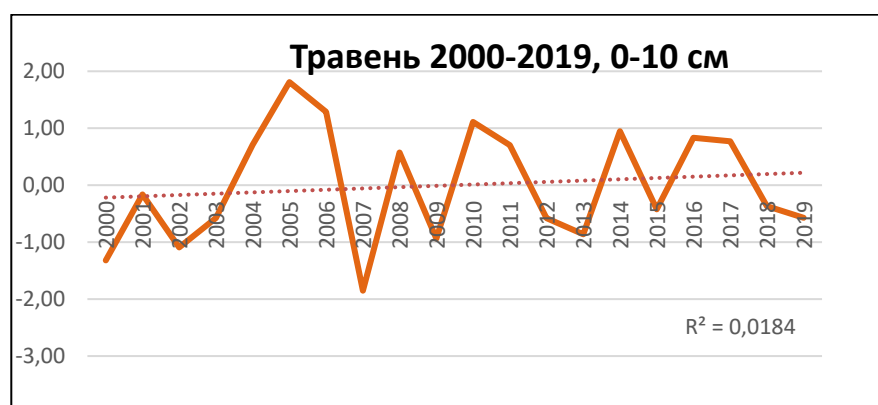


Рисунок 3.5 - Часовий хід індексу SMAI в в південній частині Північного Причорномор'я у травні за період 2000-2019 р. у шарі ґрунту 0-10 см

У червні (рис. 3.6) мінімальний SMAI спостерігався в 2007 році і дорівнював -1,98. Максимальне значення SMAI спостерігалось в 2005 році та становило 1,43. У період 2000-2010 рр. міжрічні коливання індексу були невеликі, окрім мінімуму в 2007 році. Весь період спостерігалися значні міжрічні коливання індексу від додатних до негативних значень. Протягом періоду дослідження спостерігалось поступове збільшення середньомісячних значень індексу, але тренд виявився незначущий.

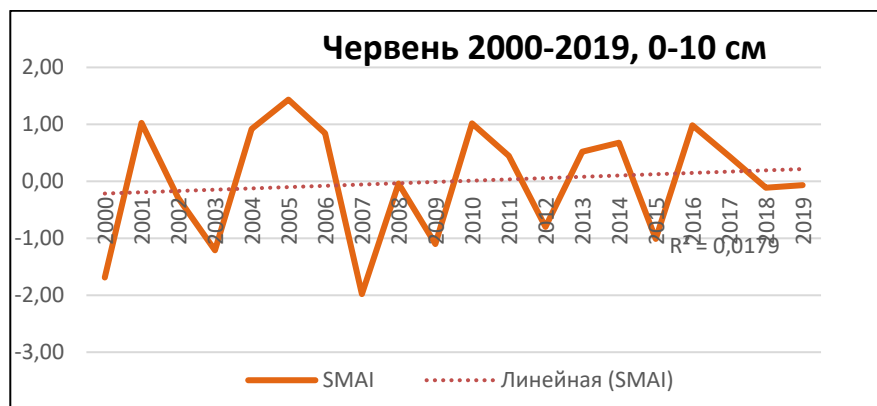


Рисунок 3.6 - Часовий хід індексу SMAI в в південній частині Північного Причорномор'я у червні за період 2000-2019 р. у шарі ґрунту 0-10 см

У липні (рис. 3.7) мінімальний SMAI спостерігався в 2007 році і дорівнював 2,20. Максимальне значення SMAI спостерігалось в 2005 році та становило 2,20. У період 2000-2010 рр. міжрічні коливання індексу були невеликі, окрім мінімуму в 2007 році. Весь період спостерігалися значні міжрічні коливання індексу від додатних до негативних значень. Протягом періоду дослідження спостерігалось поступове зменшення середньомісячних значень індексу, але тренд незначущий.

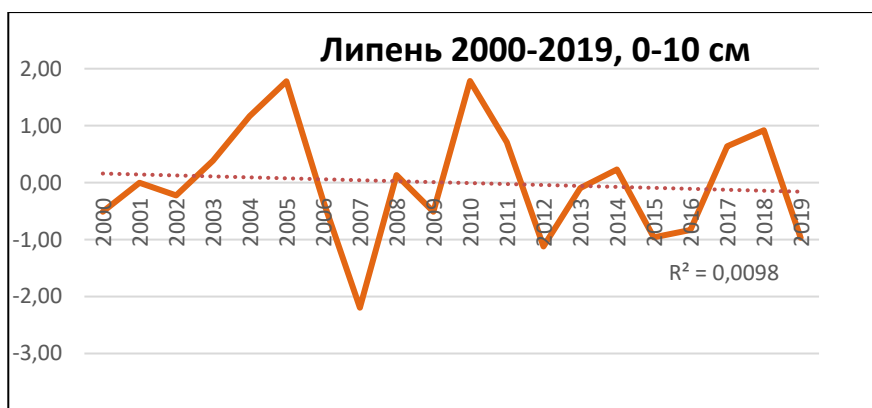


Рисунок 3.7 - Часовий хід індексу SMAI в в південній частині Північного Причорномор'я у липні за період 2000-2019 р. у шарі ґрунту 0-10 см

У серпні (рис. 3.8) мінімальний SMAI спостерігався в 2007 році і дорівнював -1,02. Максимальне значення SMAI спостерігалось в 2005 році та становило 2,32. У період 2000-2010 рр. міжрічні коливання індексу були невеликі. Весь період спостерігалися значні міжрічні коливання індексу від додатних до негативних значень. Протягом періоду дослідження спостерігалось поступове зменшення середньомісячних значень індексу, але тренд незначущий.

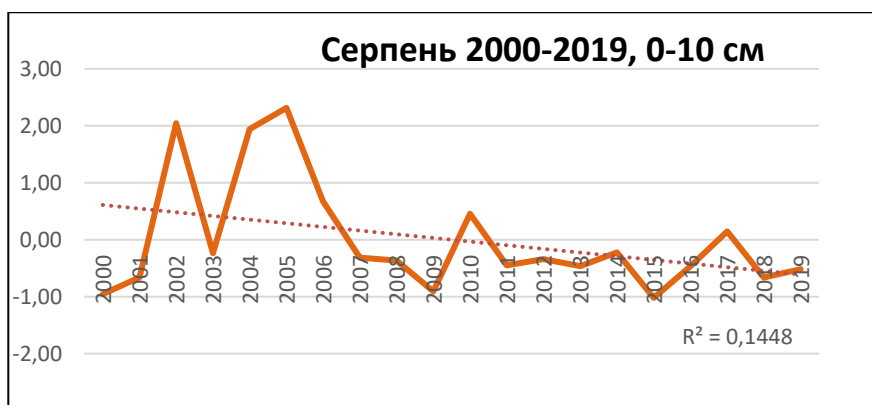


Рисунок 3.8 - Часовий хід індексу SMAI в в південній частині Північного Причорномор'я у серпні за період 2000-2019 р. у шарі ґрунту 0-10 см

У вересні (рис. 3.9) мінімальний SMAI спостерігався в 2011 році і дорівнював -1,43. Максимальне значення SMAI спостерігалось в 2000 році та становило 1,65. У період 2000-2010 рр. міжрічні коливання індексу були невеликі, окрім максимуму в 2012 році. Весь період спостерігалися значні міжрічні коливання індексу від додатних до негативних значень. Протягом періоду дослідження спостерігалось поступове зменшення середньомісячних значень індексу, але тренд незначущий.

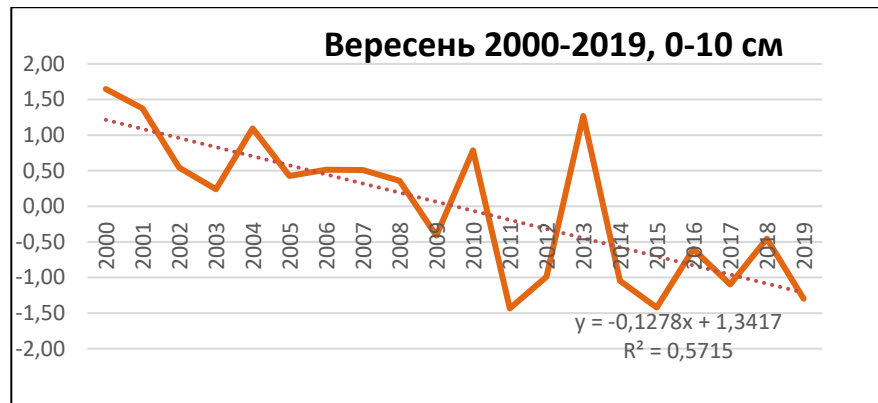


Рисунок 3.9 - Часовий хід індексу SMAI в в південній частині Північного Причорномор'я у вересні за період 2000-2019 р. у шарі ґрунту 0-10 см

У вересні (рис. 3.9) мінімальний SMAI спостерігався в 2018 році і дорівнював -1,96. Максимальне значення SMAI спостерігалось в 2016 році та становило 1,86. У період 2000-2010 рр. міжрічні коливання індексу були невеликі, окрім мінімуму в 2018 році. Весь період спостерігалися значні міжрічні коливання індексу від додатних до негативних значень. Протягом періоду дослідження спостерігалось поступове зменшення середньомісячних значень індексу, тренд виявився значущим.

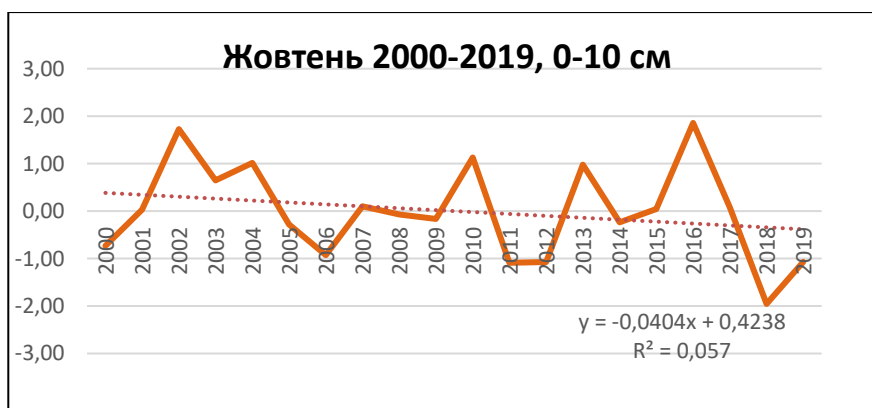


Рисунок 3.10 - Часовий хід індексу SMAI в в південній частині Північного Причорномор'я у жовтні за період 2000-2019 р. у шарі ґрунту 0-10 см

У листопаді (рис. 3.11) мінімальний SMAI спостерігався в 2018 році і дорівнював -2,17. Максимальне значення SMAI спостерігалось в 2002 році та становило 1,87. У період 2000-2010 рр. міжрічні коливання індексу були невеликі, окрім мінімуму в 2011 році. Весь період спостерігалися значні міжрічні коливання індексу від додатних до негативних значень. Протягом періоду дослідження спостерігалось поступове зменшення середньомісячних значень індексу, але тренд незначущий.

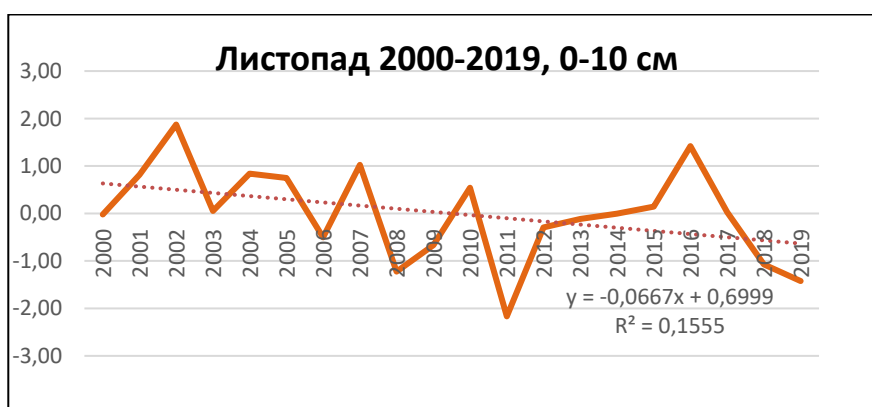


Рисунок 3.11 - Часовий хід індексу SMAI в в південній частині Північного Причорномор'я у листопаді за період 2000-2019 р. у шарі ґрунту 0-10 см

У грудні (рис. 3.12) мінімальний SMAI спостерігався в 2019 році і дорівнював -1,73. Максимальне значення SMAI спостерігалось в 2012 році та

становило 2,0. У період 2000-2010 рр. міжрічні коливання індексу були невеликі, окрім мінімуму в 206 році. Весь період спостерігалися значні міжрічні коливання індексу від додатних до негативних значень. Протягом періоду дослідження спостерігалось поступове зменшення середньомісячних значень індексу, але тренд незначущий.

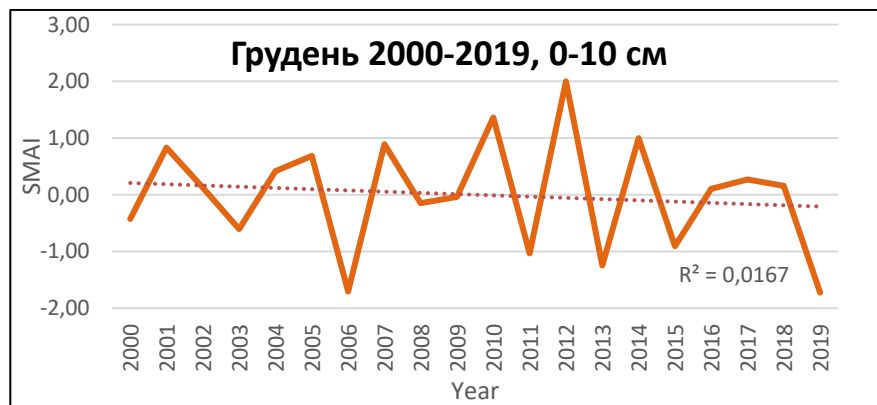


Рисунок 3.12 - Часовий хід індексу SMAI в південній частині Північного Причорномор'я у грудні за період 2000-2019 рр. у шарі ґрунту 0-10

Розглянемо часовий хід середньомісячних значень індексу SMAI в шарі ґрунту 0-10 см, в південній частині Північного Причорномор'я протягом 2000-2019 рр. У січні (рис. 3.12) мінімальний SMAI спостерігався в 2008 році і дорівнював -1,73. Максимальне значення SMAI спостерігалось в 2015 році та становило 2,3. У період 2000-2010 рр. міжрічні коливання індексу були невеликі, окрім мінімуму в 2008 році. Весь період спостерігалися значні міжрічні коливання індексу від додатних до негативних значень. Протягом періоду дослідження спостерігалось поступове зменшення середньомісячних значень індексу, але тренд незначущий.

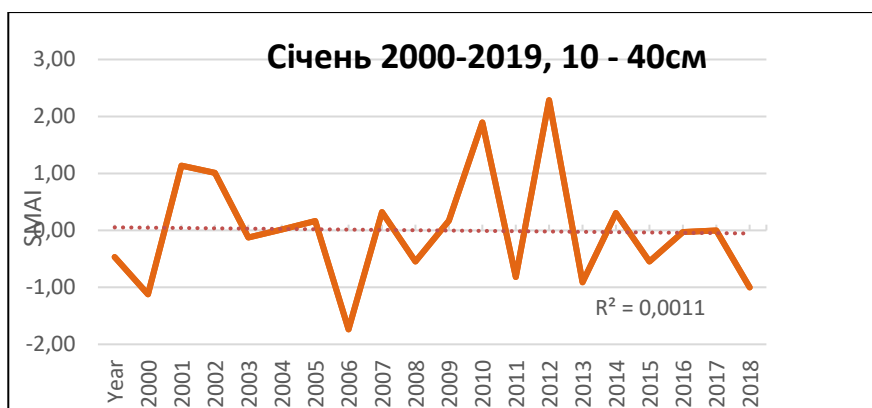


Рисунок 3.13 - Часовий хід індексу SMAI в в південній частині Північного Причорномор'я у січні за період 2000-2019 р. у шарі ґрунту 10-40 см

У лютому (рис. 3.14) мінімальний SMAI спостерігався в 2008 році і дорівнював -1,0. Максимальне значення SMAI спостерігалось в 2002 році та становило 3,7. У період 2000-2010 рр. міжрічні коливання індексу були невеликі, окрім мінімуму в 2008 році. Весь період спостерігалися значні міжрічні коливання індексу від додатних до негативних значень. Протягом періоду дослідження спостерігалось поступове зменшення середньомісячних значень індексу, але тренд незначущий.



Рисунок 3.14 - Часовий хід індексу SMAI в в південній частині Північного Причорномор'я у лютому за період 2000-2019 р. у шарі ґрунту 10-40 см

У березні (рис. 3.14) мінімальний SMAI спостерігався в 2019 році і дорівнював -1,73. Максимальне значення SMAI спостерігалось в 2005 році та становило 3,9. У період 2000-2010 рр. міжрічні коливання індексу були невеликі, окрім мінімуму в 2019 році. Весь період спостерігалися значні міжрічні коливання індексу від додатних до негативних значень. Протягом періоду дослідження спостерігалось поступове зменшення середньомісячних значень індексу, але тренд незначущий.

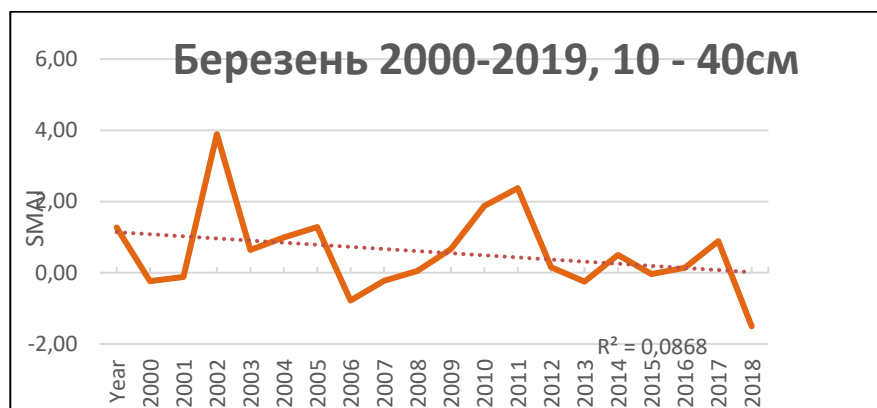


Рисунок 3.15 - Часовий хід індексу SMAI в в південній частині Північного Причорномор'я у березні за період 2000-2019 р. у шарі ґрунту 10-40 см

У квітні (рис. 3.15) мінімальний SMAI спостерігався в 2019 році і дорівнював -1,74. Максимальне значення SMAI спостерігалось в 2005 році та становило 0,75. У період 2000-2010 рр. міжрічні коливання індексу були невеликі, окрім мінімуму в 2019 році. Весь період спостерігалися значні міжрічні коливання індексу від додатних до негативних значень. Протягом періоду дослідження спостерігалось поступове зменшення середньомісячних значень індексу, але тренд незначущий.

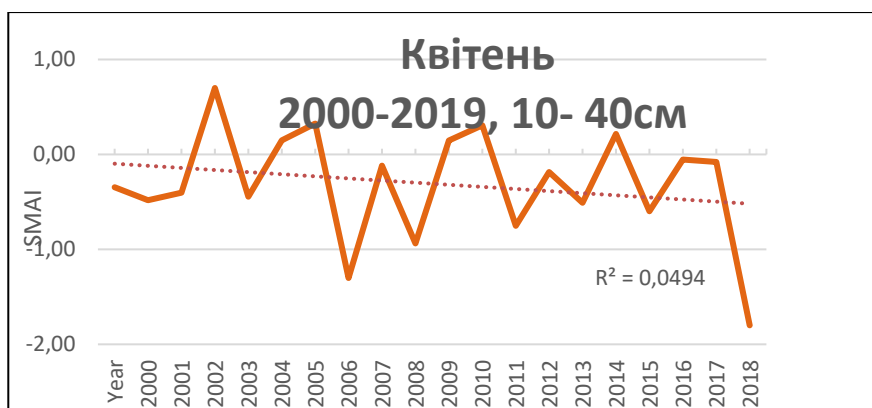


Рисунок 3.16 - Часовий хід індексу SMAI в в південній частині Північного Причорномор'я у квітні за період 2000-2019 р. у шарі ґрунту 10-40 см

У травні (рис. 3.16) мінімальний SMAI спостерігався в 2007 році і дорівнював -2,63. Максимальне значення SMAI спостерігалось в 2007 році та становило 0,0. У період 2000-2010 рр. міжрічні коливання індексу були невеликі, окрім мінімуму в 2007 році. Весь період спостерігалися значні міжрічні коливання індексу від нуля до негативних значень. Протягом періоду дослідження спостерігалось поступове збільшення середньомісячних значень індексу, але тренд незначущий.



Рисунок 3.17 - Часовий хід індексу SMAI в в південній частині Північного Причорномор'я у травні за період 2000-2019 р. у шарі ґрунту 10-40 см

У червні (рис. 3.17) мінімальний SMAI спостерігався в 2007 році і дорівнював -4,50. Максимальне значення SMAI спостерігалось в 2005 році та становило -0,75. У період 2000-2010 рр. міжрічні коливання індексу були невеликі, окрім мінімуму в 2007 році. Весь період спостерігалися значні міжрічні коливання індексу серед негативних значень. Протягом періоду дослідження спостерігалось поступове збільшення середньомісячних значень індексу, але тренд незначущий.



Рисунок 3.18 - Часовий хід індексу SMAI в південній частині Північного Причорномор'я у червні за період 2000-2019 р. у шарі ґрунту 10-40 см

У липні (рис. 3.18) мінімальний SMAI спостерігався в 2007 році і дорівнював -5,0. Максимальне значення SMAI спостерігалось в 2012 році та становило -1,0. У період 2000-2010 рр. міжрічні коливання індексу були невеликі, окрім мінімуму в 2007 році. Весь період спостерігалися значні міжрічні коливання індексу серед негативних значень. Протягом періоду дослідження спостерігалось поступове збільшення середньомісячних значень індексу, але тренд незначущий.



Рисунок 3.19 - Часовий хід індексу SMAI в в південній частині Північного Причорномор'я у липні за період 2000-2019 р. у шарі ґрунту 10-40 см

У серпні (рис. 3.19) мінімальний SMAI спостерігався в 2007 році і дорівнював -5,2. Максимальне значення SMAI спостерігалось в 2005 році та становило -1,75. У період 2000-2010 рр. міжрічні коливання індексу були невеликі, окрім максимуму в 2007 році. Весь період спостерігалися значні міжрічні коливання індексу серед негативних значень. Протягом періоду дослідження спостерігалось поступове зменшення середньомісячних значень індексу, але тренд незначущий.



Рисунок 3.20 - Часовий хід індексу SMAI в в південній частині Північного Причорномор'я у грудні за період 2000-2019 р. у шарі ґрунту 10-40 см

У вересні (рис. 3.20) мінімальний SMAI спостерігався в 2004 році і дорівнював -5,3. Максимальне значення SMAI спостерігалось в 2006 році та становило -2,0. У період 2000-2010 рр. міжрічні коливання індексу були невеликі. Весь період спостерігалися значні міжрічні коливання індексу від додатних до негативних значень. Протягом періоду дослідження спостерігалось поступове зменшення середньомісячних значень індексу, але тренд незначущий.

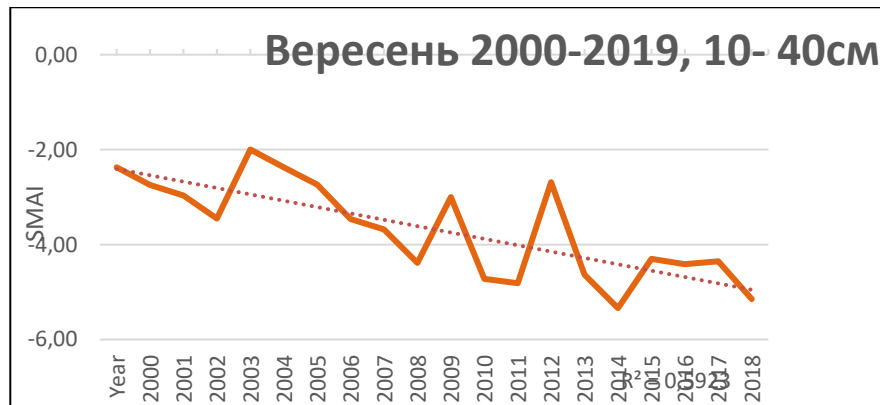


Рисунок 3.21 - Часовий хід індексу SMAI в південній частині Північного Причорномор'я у грудні за період 2000-2019 рр. у шарі ґрунту 10-40 см

У жовтні (рис. 3.21) мінімальний SMAI спостерігався в 2018 році і дорівнював -4,3. Максимальне значення SMAI спостерігалось в 2017 році та становило 1,3. У період 2000-2010 рр. міжрічні коливання індексу були великі. Весь період спостерігалися значні міжрічні коливання індексу серед негативних значень. Протягом періоду дослідження спостерігалось поступове зменшення середньомісячних значень індексу, тренд значущий.



Рисунок 3.22 - Часовий хід індексу SMAI в в південній частині Північного Причорномор'я у жовтні за період 2000-2019 р. у шарі ґрунту 10-40 см

У листопаді (рис. 3.23) мінімальний SMAI спостерігався в 2018 році і дорівнював -3,73. Максимальне значення SMAI спостерігалось в 2003 році та становило -0,2. У період 2000-2010 рр. міжрічні коливання індексу були невеликі, окрім максимуму в 2017 році. Весь період спостерігалися значні міжрічні коливання індексу серед негативних значень. Протягом періоду дослідження спостерігалось поступове зменшення середньомісячних значень індексу, тренд значущий.



Рисунок 3.23 - Часовий хід індексу SMAI в в південній частині Північного Причорномор'я у грудні за період 2000-2019 р. у шарі ґрунту 10-40 см

У грудні (рис. 3.22) мінімальний SMAI спостерігався в 2018 році і дорівнював -3,73. Максимальне значення SMAI спостерігалось в 2003 році та становило -0,2. У період 2000-2010 рр. міжрічні коливання індексу були невеликі, окрім максимуму в 2017 році. Весь період спостерігалися значні міжрічні коливання індексу серед негативних значень. Протягом періоду дослідження спостерігалось поступове зменшення середньомісячних значень індексу, тренд значущий.

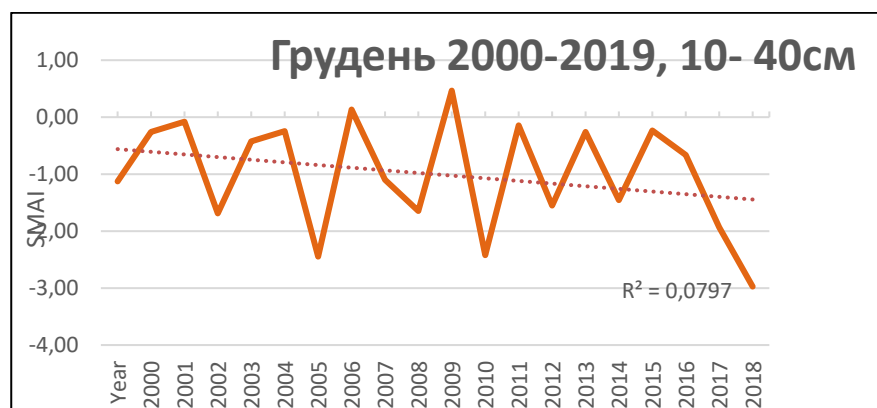


Рисунок 3.24 - Часовий хід індексу SMAI в в південній частині Північного Причорномор'я у грудні за період 2000-2019 р. у шарі ґрунту 10-40 см

Розглянемо часовий хід середньомісячних значень індексу SMAI в шарі ґрунту 0-100 см, в південній частині Північного Причорномор'я протягом 2000-2019 рр.

У січні (рис. 3.24) мінімальний SMAI спостерігався в 2007 році і дорівнював -1,73. Максимальне значення SMAI спостерігалось в 2012 році та становило 1,8. У період 2000-2010 рр. міжрічні коливання індексу були невеликі. В наступні десять років спостерігалися значні міжрічні коливання індексу від додатних до негативних значень. Протягом періоду дослідження спостерігалось поступове зменшення середньомісячних значень індексу, але тренд виявився незначущий.



Рисунок 3.24 - Часовий хід індексу SMAI в в південній частині Північного Причорномор'я у січні за період 2000-2019 р. у шарі ґрунту 0-100 см

У лютому (рис. 3.25) мінімальний SMAI спостерігався в 2007 році і дорівнював -0,8. Максимальне значення SMAI спостерігалось в 2003 році та становило 2,5. У період 2000-2010 рр. міжрічні коливання індексу були невеликі, окрім мінімуму у 2007 р. В наступні десять років спостерігалися значні міжрічні коливання індексу від додатних до негативних значень. Протягом періоду дослідження спостерігалось поступове зменшення середньомісячних значень індексу, але тренд виявився незначущий.

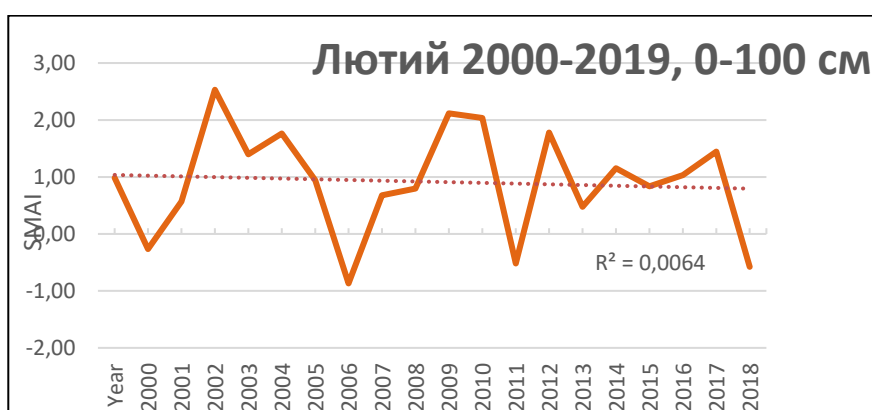


Рисунок 3.25 - Часовий хід індексу SMAI в в південній частині Північного Причорномор'я у грудні за період 2000-2019 р. у шарі ґрунту 0-100 см

У березні (рис. 3.26) мінімальний SMAI спостерігався в 2019 році і дорівнював -0,6. Максимальне значення SMAI спостерігалось в 2003 році та становило 2,8. У період 2000-2010 рр. міжрічні коливання індексу були невеликі, окрім мінімуму у 2019 р. В наступні десять років спостерігалися значні міжрічні коливання індексу від додатних до негативних значень. Протягом періоду дослідження спостерігалось поступове зменшення середньомісячних значень індексу, але тренд виявився незначущий.



Рисунок 3.26 - Часовий хід індексу SMAI в в південній частині Північного Причорномор'я у грудні за період 2000-2019 р. у шарі ґрунту 0-100 см

У квітні (рис. 3.27) мінімальний SMAI спостерігався в 2019 році і дорівнював -0,9. Максимальне значення SMAI спостерігалось в 2003 році та становило 1,9. У період 2000-2010 рр. міжрічні коливання індексу були невеликі, окрім мінімуму у 2019 р. В наступні десять років спостерігалися значні міжрічні коливання індексу від додатних до негативних значень. Протягом періоду дослідження спостерігалось поступове зменшення середньомісячних значень індексу, але тренд виявився незначущий.



Рисунок 3.27 - Часовий хід індексу SMAI в в південній частині Північного Причорномор'я у квітні за період 2000-2019 р. у шарі ґрунту 0-100 см

У травні (рис. 3.28) мінімальний SMAI спостерігався в 2007 році і дорівнював -1,74. Максимальне значення SMAI спостерігалось в 2004 році та становило 0,9. У період 2000-2010 рр. міжрічні коливання індексу були невеликі, окрім мінімуму у 2007 р. В наступні десять років спостерігалися значні міжрічні коливання індексу від додатних до негативних значень. Протягом періоду дослідження спостерігалось поступове зростання середньомісячних значень індексу, але тренд виявився незначущий.

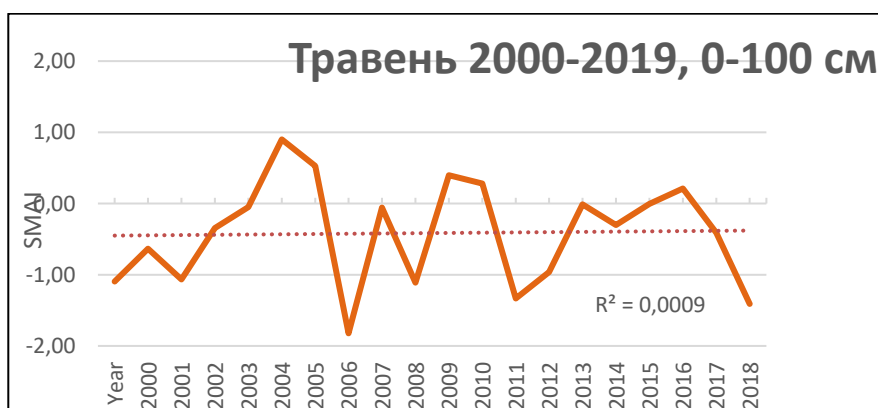


Рисунок 3.28 - Часовий хід індексу SMAI в в південній частині Північного Причорномор'я у травні за період 2000-2019 р. у шарі ґрунту 0-100 см

У червні (рис. 3.29) мінімальний SMAI спостерігався в 2007 році і дорівнював -3,63. Максимальне значення SMAI спостерігалось в 2012 році та становило 0,1. У період 2000-2010 рр. міжрічні коливання індексу були невеликі, окрім мінімуму у 2007 р. В наступні десять років спостерігалися значні міжрічні коливання індексу від додатних до негативних значень. Протягом періоду дослідження спостерігалось поступове збільшення середньомісячних значень індексу, але тренд виявився незначущий.

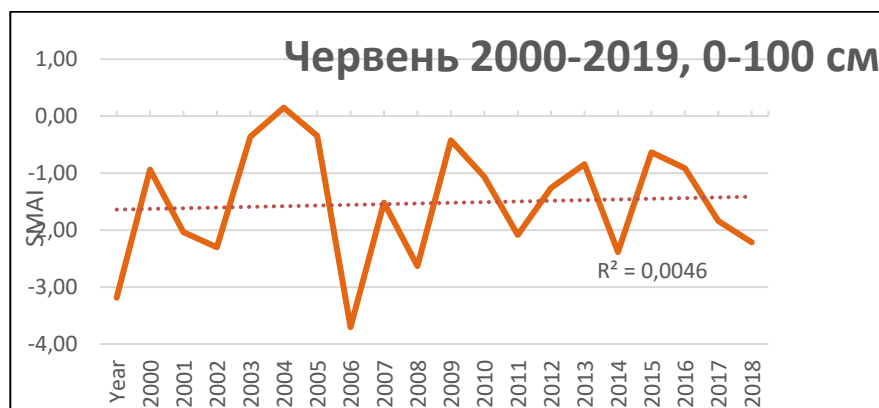


Рисунок 3.29 - Часовий хід індексу SMAI в в південній частині Північного Причорномор'я у червні за період 2000-2019 р. у шарі ґрунту 0-100 см

У липні (рис. 3.30) мінімальний SMAI спостерігався в 2007 році і дорівнював -4,50. Максимальне значення SMAI спостерігалось в 2005 році та становило -0,3. У період 2000-2010 рр. міжрічні коливання індексу були невеликі, окрім мінімуму у 2007 р. В наступні десять років спостерігалися значні міжрічні коливання індексу серед негативних значень. Протягом періоду дослідження не спостерігалось змін середньомісячних значень індексу, але тренд виявився незначущий.



Рисунок 3.30 - Часовий хід індексу SMAI в в південній частині Північного Причорномор'я у липні за період 2000-2019 р. у шарі ґрунту 0-100 см

У серпні (рис. 3.31) мінімальний SMAI спостерігався в 2007 році і дорівнював -4,6. Максимальне значення SMAI спостерігалось в 2005 році та становило -1,0. У період 2000-2010 рр. міжрічні коливання індексу були невеликі, окрім максимуму у 2005 р. В наступні десять років спостерігалися значні міжрічні коливання індексу серед негативних значень. Протягом періоду дослідження спостерігалось поступове зменшення середньомісячних значень індексу, але тренд виявився незначущий.



Рисунок 3.31 - Часовий хід індексу SMAI в в південній частині Північного Причорномор'я у грудні за період 2000-2019 р. у шарі ґрунту 0-100 см

У вересні (рис. 3.32) мінімальний SMAI спостерігався в 2015 році і дорівнював -4,53. Максимальне значення SMAI спостерігалось в 2004 році та становило -1,50. У період 2000-2010 рр. міжрічні коливання індексу були невеликі, окрім максимуму у 2004 р. В наступні десять років спостерігалися значні міжрічні коливання індексу серед негативних значень. Протягом періоду дослідження спостерігалось поступове зменшення середньомісячних значень індексу, тренд виявився незначущій.



Рисунок 3.32 - Часовий хід індексу SMAI в в південній частині Північного Причорномор'я у вересні за період 2000-2019 р. у шарі ґрунту 0-100 см

У жовтні (рис. 3.33) мінімальний SMAI спостерігався в 2012 році і дорівнював -4,1. Максимальне значення SMAI спостерігалось в 2004 році та становило -1,1. У період 2000-2010 рр. міжрічні коливання індексу були невеликі, окрім мінімуму у 2012 р. В наступні десять років спостерігалися значні міжрічні коливання індексу серед негативних значень. Протягом періоду дослідження спостерігалось поступове зменшення середньомісячних значень індексу, але тренд виявився значущим.

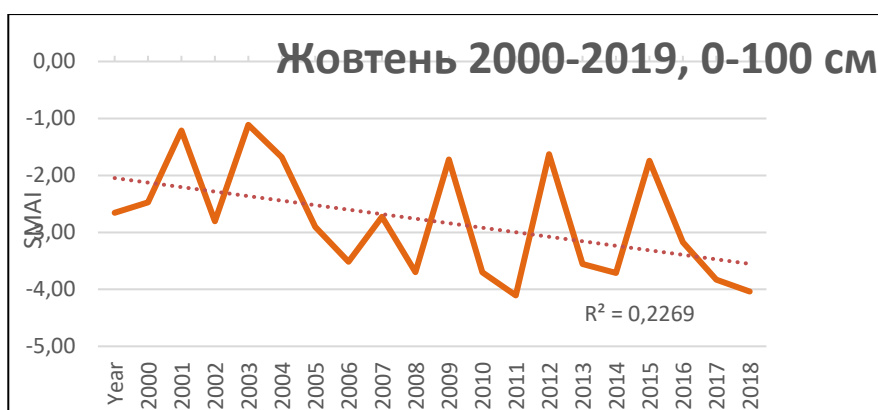


Рисунок 3.33 - Часовий хід індексу SMAI в в південній частині Північного Причорномор'я у жовтні за період 2000-2019 р. у шарі ґрунту 0-100 см

У листопаді (рис. 3.34) мінімальний SMAI спостерігався в 2019 році і дорівнював -3,8. Максимальне значення SMAI спостерігалось в 2002 році та становило 0,50. У період 2000-2010 рр. міжрічні коливання індексу були невеликі, окрім 2016 р. В наступні десять років спостерігалися значні міжрічні коливання індексу від додатних до негативних значень. Протягом періоду дослідження спостерігалось поступове зменшення середньомісячних значень індексу, але тренд виявився незначущій.



Рисунок 3.34 - Часовий хід індексу SMAI в в південній частині Північного Причорномор'я у грудні за період 2000-2019 р. у шарі ґрунту 0-100 см

У грудні (рис. 3.35) мінімальний SMAI спостерігався в 2019 році і дорівнював -3,50. Максимальне значення SMAI спостерігалось в 2012 році та становило 0,9. У період 2000-2010 рр. міжрічні коливання індексу були невеликі, окрім мінімуму у 2019 р. В наступні десять років спостерігалися значні міжрічні коливання індексу від додатних до негативних значень. Протягом періоду дослідження спостерігалось поступове зменшення середньомісячних значень індексу, але тренд виявився незначущий.

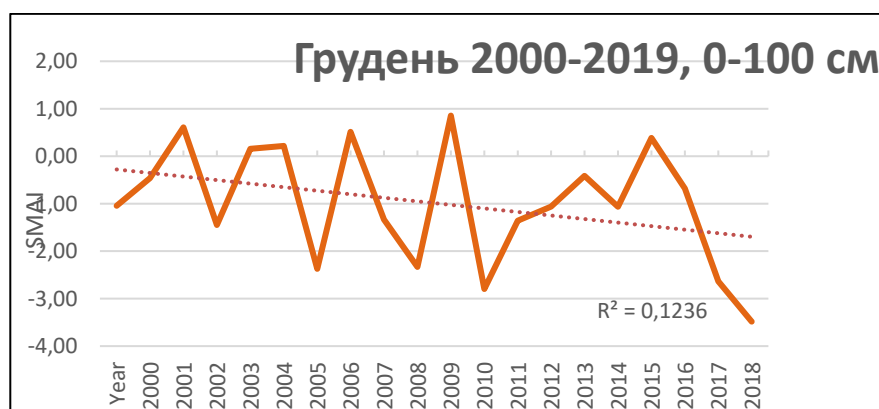


Рисунок 3.35 - Часовий хід індексу SMAI в південній частині Північного Причорномор'я у грудні за період 2000-2019 р. у шарі ґрунту 0-100 см

3.2 Район північної частини Північного Причорномор'я

Розглянемо часовий хід середньомісячних значень індексу SMAI в шарі ґрунту 0-10 см, в північній частині Північного Причорномор'я протягом 2000-2019 рр.

У січні (рис. 3.36) мінімальний SMAI спостерігався в 2014 році і дорівнював -1,63. Максимальне значення SMAI спостерігалось в 2002 році та становило 1,49. У період 2000-2010 рр. міжрічні коливання індексу були невеликі, окрім 2007 року.

Весь період спостерігалися значні міжрічні коливання індексу від додатних до негативних значень. Протягом періоду дослідження спостерігалось поступове зростання середньомісячних значень індексу, але тренд незначущій.

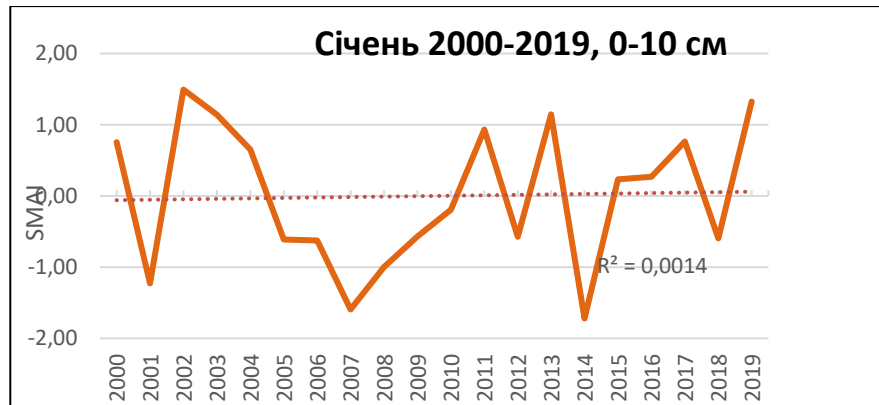


Рисунок 3.36 - Часовий хід індексу SMAI в в північній частині Північного Причорномор'я у сiчнi за період 2000-2019 р. у шарі ґрунту 0-10 см

У лютому (рис. 3.37) мінімальний SMAI спостерігався в 2008 році і дорівнював -1,36. Максимальне значення SMAI спостерігалось в 2015 році та становило 2,3. У період 2000-2010 рр. міжрічні коливання індексу були невеликі, окрім мінімуму в 2008 році. Весь період спостерігалися значні міжрічні коливання індексу від додатних до негативних значень. Протягом періоду дослідження спостерігалось поступове зменшення середньомісячних значень індексу, але тренд незначущій.

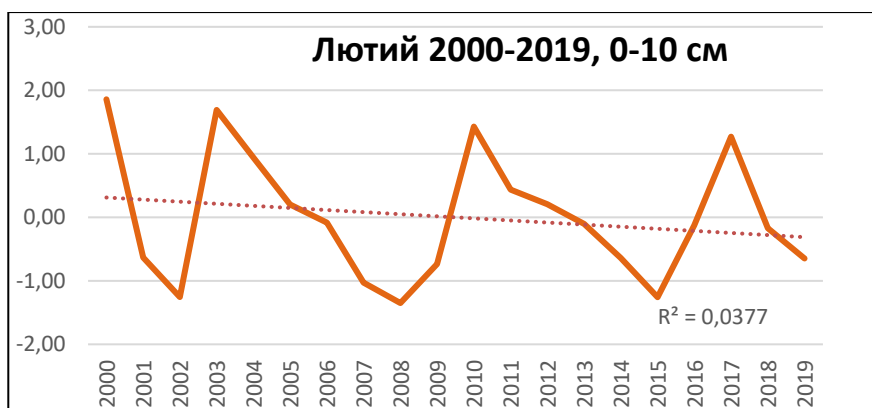


Рисунок 3.37 - Часовий хід індексу SMAI в в північній частині Північного Причорномор'я у лютому за період 2000-2019 р. у шарі ґрунту 0-10 см

У березні (рис. 3.38) мінімальний SMAI спостерігався в 2019 році і дорівнював -1,43. Максимальне значення SMAI спостерігалось в 2003 році та становило 2,6. У період 2000-2010 рр. міжрічні коливання індексу були невеликі, окрім мінімуму в 2008 році. Весь період спостерігалися значні міжрічні коливання індексу від додатних до негативних значень. Протягом періоду дослідження спостерігалось поступове зменшення середньомісячних значень індексу, але тренд незначущий.



Рисунок 3.38 - Часовий хід індексу SMAI в в північній частині Північного Причорномор'я у березні за період 2000-2019 р. у шарі ґрунту 0-10 см

У квітні (рис. 3.39) мінімальний SMAI спостерігався в 2007 році і дорівнював -1,73. Максимальне значення SMAI спостерігалось в 2010 році та становило 1,5. У період 2000-2010 рр. міжрічні коливання індексу були невеликі, окрім мінімуму в 2008 році. Весь період спостерігалися значні міжрічні коливання індексу від додатних до негативних значень. Протягом періоду дослідження спостерігалось поступове зменшення середньомісячних значень індексу, але тренд незначущий.



Рисунок. 3.39 - Часовий хід індексу SMAI в в північній частині Північного Причорномор'я у квітні за період 2000-2019 р. у шарі ґрунту 0-10 см

У травні (рис. 3.40) мінімальний SMAI спостерігався в 2007 році і дорівнював -2,0. Максимальне значення SMAI спостерігалось в 2004 році та становило 1,47. У період 2000-2010 рр. міжрічні коливання індексу були невеликі, окрім мінімуму в 2008 році. Весь період спостерігалися значні міжрічні коливання індексу від додатних до негативних значень. Протягом періоду дослідження спостерігалось поступове зменшення середньомісячних значень індексу, але тренд незначущий.

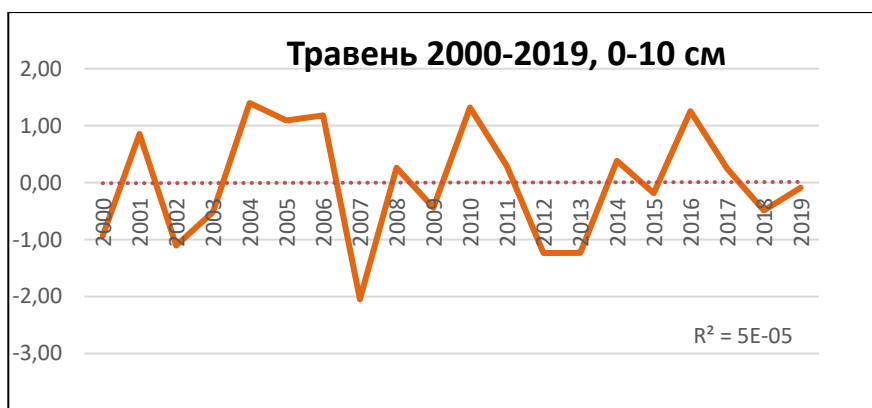


Рисунок 3.40 - Часовий хід індексу SMAI в в північній частині Північного Причорномор'я у травні за період 2000-2019 р. у шарі ґрунту 0-10 см

У червні (рис. 3.41) мінімальний SMAI спостерігався в 2007 році і дорівнював -2,1. Максимальне значення SMAI спостерігалось в 2001 році та становило 1,73. У період 2000-2010 рр. міжрічні коливання індексу були невеликі, окрім мінімуму в 2008 році. Весь період спостерігалися значні міжрічні коливання індексу від додатних до негативних значень. Протягом періоду дослідження спостерігалось поступове зменшення середньомісячних значень індексу, але тренд незначущий.

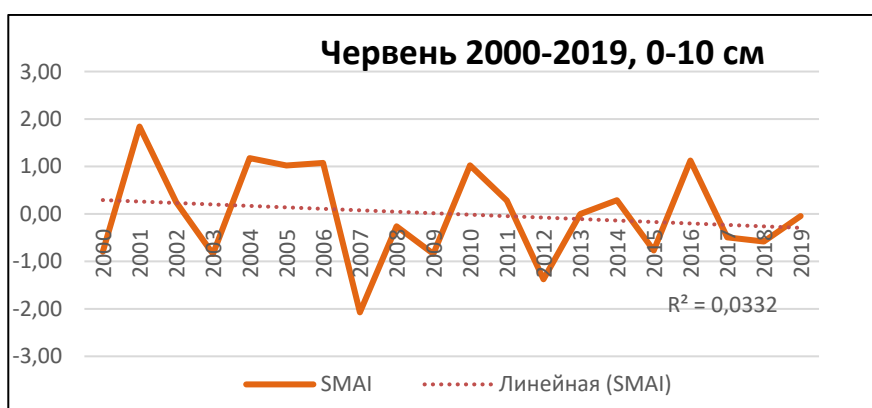


Рисунок 3.41 - Часовий хід індексу SMAI в в північній частині Північного Причорномор'я у червні за період 2000-2019 р. у шарі ґрунту 0-10 см

У липні (рис. 3.42) мінімальний SMAI спостерігався в 2007 році і дорівнював -2,3. Максимальне значення SMAI спостерігалось в 2004 році та становило 1,8. У період 2000-2010 рр. міжрічні коливання індексу були невеликі, окрім мінімуму в 2008 році. Весь період спостерігалися значні міжрічні коливання індексу від додатних до негативних значень. Протягом періоду дослідження спостерігалось поступове зменшення середньомісячних значень індексу, але тренд незначущий.

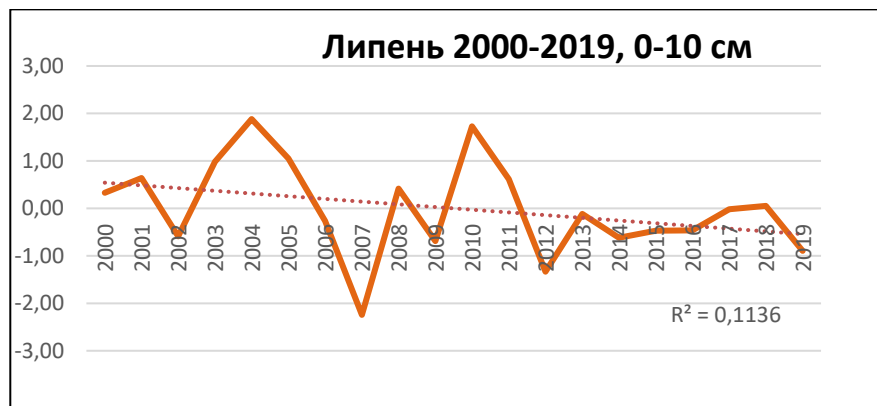


Рисунок 3.42 - Часовий хід індексу SMAI в в північній частині Північного Причорномор'я у липні за період 2000-2019 р. у шарі ґрунту 0-10 см

У вересні (рис. 3.43) мінімальний SMAI спостерігався в 2015 році і дорівнював -1,53. Максимальне значення SMAI спостерігалось в 2001 році та становило 2,0. У період 2000-2010 рр. міжрічні коливання індексу були невеликі, окрім мінімуму в 2008 році. Весь період спостерігалися значні міжрічні коливання індексу від додатних до негативних значень. Протягом періоду дослідження спостерігалось поступове зменшення середньомісячних значень індексу, але тренд незначущий.

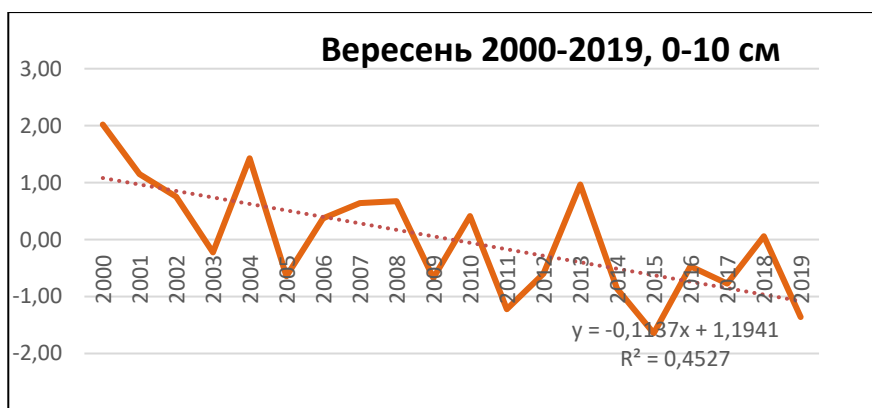


Рисунок 3.43 - Часовий хід індексу SMAI в в північній частині Північного Причорномор'я у вересні за період 2000-2019 р. у шарі ґрунту 0-10 см

У жовтні (рис. 3.44) мінімальний SMAI спостерігався в 2018 році і дорівнював -1,48. Максимальне значення SMAI спостерігалось в 2002 році та становило 1,8. У період 2000-2010 рр. міжрічні коливання індексу були невеликі, окрім мінімуму в 2008 році. Весь період спостерігалися значні міжрічні коливання індексу від додатних до негативних значень. Протягом періоду дослідження спостерігалось поступове зменшення середньомісячних значень індексу, але тренд значущий.

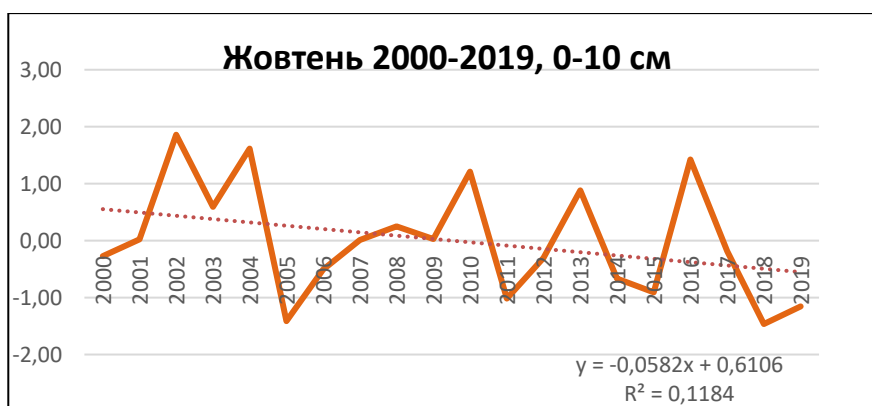


Рисунок 3.44 - Часовий хід індексу SMAI в в північній частині Північного Причорномор'я у жовтні за період 2000-2019 р. у шарі ґрунту 0-10 см

У листопаді (рис. 3.45) мінімальний SMAI спостерігався в 2011 році і дорівнював -2,3. Максимальне значення SMAI спостерігалось в 2002 році та становило 1,7. У період 2000-2010 рр. міжрічні коливання індексу були невеликі, окрім мінімуму в 2008 році. Весь період спостерігалися значні міжрічні коливання індексу від додатних до негативних значень. Протягом періоду дослідження спостерігалось поступове зменшення середньомісячних значень індексу, але тренд незначущий.

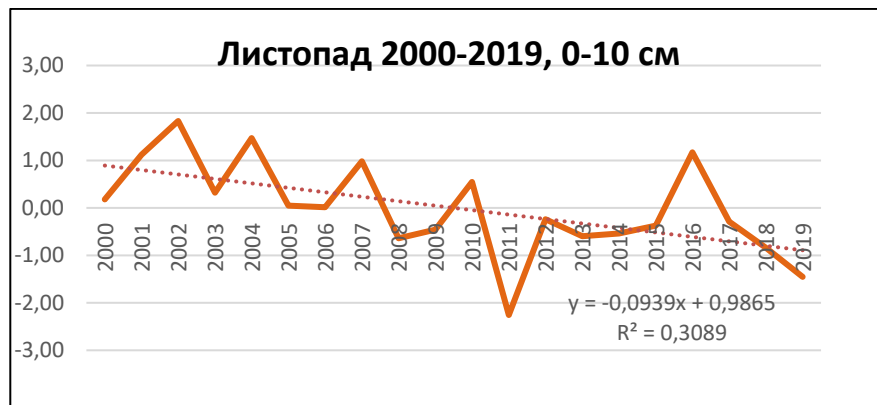


Рисунок 3.45 - Часовий хід індексу SMAI в в північній частині Північного Причорномор'я у листопаді за період 2000-2019 р. у шарі ґрунту 0-10 см

У грудні (рис. 3.46) мінімальний SMAI спостерігався в 2019 році і дорівнював -1,53. Максимальне значення SMAI спостерігалось в 2012 році та становило 1,43. У період 2000-2010 рр. міжрічні коливання індексу були невеликі, окрім мінімуму в 2008 році. Весь період спостерігалися значні міжрічні коливання індексу від додатних до негативних значень. Протягом періоду дослідження спостерігалось поступове зменшення середньомісячних значень індексу, але тренд незначущий.

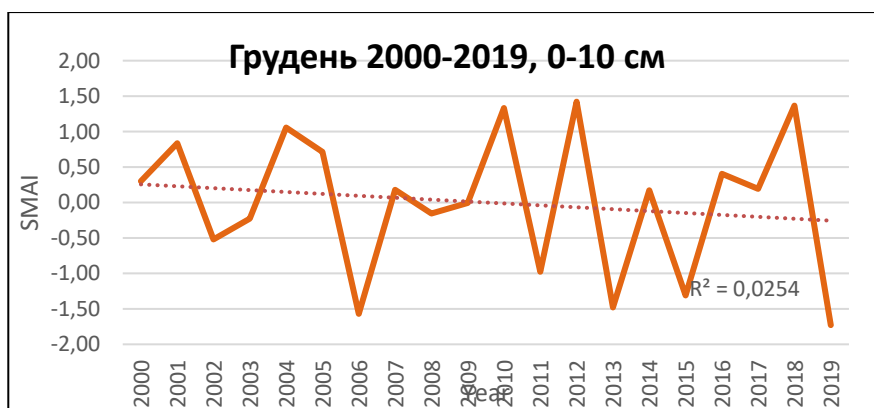


Рисунок 3.46 - Часовий хід індексу SMAI в в північній частині Північного Причорномор'я у грудні за період 2000-2019 р. у шарі ґрунту 0-10 см

Розглянемо часовий хід середньомісячних значень індексу SMAI в шарі ґрунту 10-40 см, в північній частині Північного Причорномор'я протягом 2000-2019 рр. У січні (рис. 3.47) мінімальний SMAI спостерігався в 2014 році і дорівнював -2,0. Максимальне значення SMAI спостерігалось в 2012 році та становило 2,0. У період 2000-2010 рр. міжрічні коливання індексу були невеликі, окрім мінімуму в 2008 році. Весь період спостерігалися значні міжрічні коливання індексу від додатних до негативних значень. Протягом періоду дослідження спостерігалось поступове зменшення середньомісячних значень індексу, але тренд незначущий.



Рисунок 3.47 - Часовий хід індексу SMAI в в північній частині Північного Причорномор'я у січні за період 2000-2019 р. у шарі ґрунту 10-40 см

У лютому (рис. 3.48) мінімальний SMAI спостерігався в 2007 році і дорівнював -0,35. Максимальне значення SMAI спостерігалось в 2003 році та становило 4,1. У період 2000-2010 рр. міжрічні коливання індексу були невеликі, окрім мінімуму в 2008 році. Весь період спостерігалися значні міжрічні коливання індексу від додатних до негативних значень. Протягом періоду дослідження спостерігалось поступове зменшення середньомісячних значень індексу, але тренд незначущий.

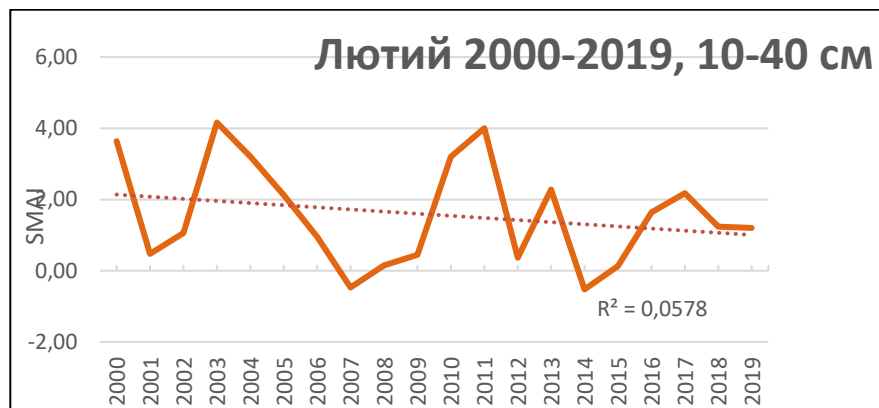


Рисунок 3.48 - Часовий хід індексу SMAI в в північній частині Північного Причорномор'я у лютому за період 2000-2019 р. у шарі ґрунту 10-40 см

У березні (рис. 3.49) мінімальний SMAI спостерігався в 2014 році і дорівнював -1,1. Максимальне значення SMAI спостерігалось в 2004 році та становило 5,3. У період 2000-2010 рр. міжрічні коливання індексу були невеликі, окрім мінімуму в 2008 році. Весь період спостерігалися значні міжрічні коливання індексу від додатних до негативних значень. Протягом періоду дослідження спостерігалось поступове зменшення середньомісячних значень індексу, але тренд незначущий.



Рисунок 3.49 - Часовий хід індексу SMAI в в північній частині Північного Причорномор'я у березні за період 2000-2019 р. у шарі ґрунту 10-40 см

У квітні (рис. 3.50) мінімальний SMAI спостерігався в 2007 році і дорівнював -1,73. Максимальне значення SMAI спостерігалось в 2003 році та становило 2,47. У період 2000-2010 рр. міжрічні коливання індексу були невеликі, окрім мінімуму в 2008 році. Весь період спостерігалися значні міжрічні коливання індексу від додатних до негативних значень. Протягом періоду дослідження спостерігалось поступове зменшення середньомісячних значень індексу, але тренд незначущий.



Рисунок 3.50 - Часовий хід індексу SMAI в в північній частині Північного Причорномор'я у квітні за період 2000-2019 р. у шарі ґрунту 10-40 см

У травні (рис. 3.51) мінімальний SMAI спостерігався в 2007 році і дорівнював -3,51. Максимальне значення SMAI спостерігалось в 2003 році та становило -0,47. У період 2000-2010 рр. міжрічні коливання індексу були невеликі, окрім мінімуму в 2008 році. Весь період спостерігалися значні міжрічні коливання індексу від додатних до негативних значень. Протягом періоду дослідження спостерігалось поступове зменшення середньомісячних значень індексу, але тренд незначущий.

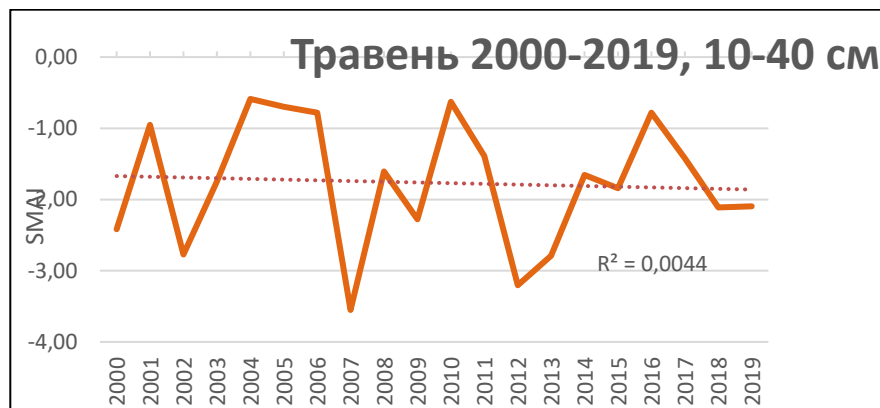


Рисунок 3.51 - Часовий хід індексу SMAI в в північній частині Північного Причорномор'я у травні за період 2000-2019 р. у шарі ґрунту 10-40 см

У червні (рис. 3.52) мінімальний SMAI спостерігався в 2007 році і дорівнював -6,73. Максимальне значення SMAI спостерігалось в 2001 році та становило -0,8. У період 2000-2010 рр. міжрічні коливання індексу були невеликі, окрім мінімуму в 2008 році. Весь період спостерігалися значні міжрічні коливання індексу від додатних до негативних значень. Протягом періоду дослідження спостерігалось поступове зменшення середньомісячних значень індексу, але тренд незначущий.

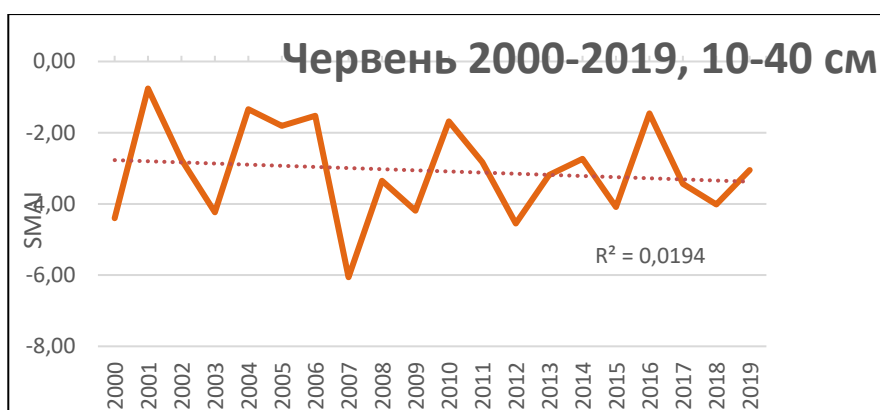


Рисунок 3.52 - Часовий хід індексу SMAI в в північній частині Північного Причорномор'я у червні за період 2000-2019 р. у шарі ґрунту 10-40 см

У липні (рис. 3.53) мінімальний SMAI спостерігався в 2007 році і дорівнював -6,1. Максимальне значення SMAI спостерігалось в 2010 році та становило -1,9. У період 2000-2010 рр. міжрічні коливання індексу були невеликі, окрім мінімуму в 2008 році. Весь період спостерігалися значні міжрічні коливання індексу від додатних до негативних значень. Протягом періоду дослідження спостерігалось поступове зменшення середньомісячних значень індексу, але тренд незначущий.



Рисунок 3.53 - Часовий хід індексу SMAI в в північній частині Північного Причорномор'я у липні за період 2000-2019 р. у шарі ґрунту 10-40 см

У серпні (рис. 3.54) мінімальний SMAI спостерігався в 2007 році і дорівнював -6,43. Максимальне значення SMAI спостерігалось в 2005 році та

становило -1,3.У період 2000-2010 рр. міжрічні коливання індексу були невеликі, окрім мінімуму в 2008 році. Весь період спостерігалися значні міжрічні коливання індексу від додатних до негативних значень. Протягом періоду дослідження спостерігалось поступове зменшення середньомісячних значень індексу, тренд значущий.

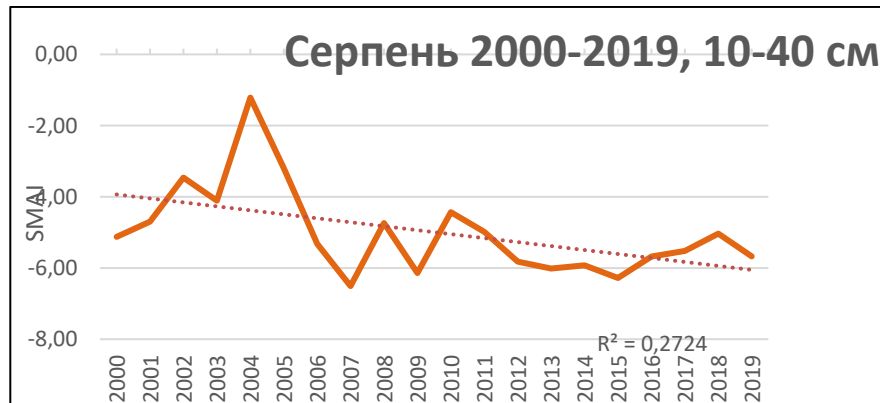


Рисунок 3.54 - Часовий хід індексу SMAI в в північній частині Північного Причорномор'я у серпні за період 2000-2019 р. у шарі ґрунту 10-40 см

У вересні (рис. 3.55) мінімальний SMAI спостерігався в 2015 році і дорівнював -6,83. Максимальне значення SMAI спостерігалось в 2004 році та становило -2,0.У період 2000-2010 рр. міжрічні коливання індексу були невеликі, окрім мінімуму в 2008 році. Весь період спостерігалися значні міжрічні коливання індексу від додатних до негативних значень. Протягом періоду дослідження спостерігалось поступове зменшення середньомісячних значень індексу, тренд значущий.



Рисунок 3.55 - Часовий хід індексу SMAI в в північній частині Північного Причорномор'я у вересні за період 2000-2019 р. у шарі ґрунту 10-40

У жовтні (рис. 3.56) мінімальний SMAI спостерігався в 2015 році і дорівнював -6,7. Максимальне значення SMAI спостерігалось в 2004 році та становило -1,3. У період 2000-2010 рр. міжрічні коливання індексу були невеликі, окрім мінімуму в 2008 році. Весь період спостерігалися значні міжрічні коливання індексу від додатних до негативних значень. Протягом періоду дослідження спостерігалось поступове зменшення середньомісячних значень індексу, але тренд незначущий.



Рисунок 3.56 - Часовий хід індексу SMAI в в північній частині Північного Причорномор'я у жовтні за період 2000-2019 р. у шарі ґрунту 10-40 см

У листопаді (рис. 3.57) мінімальний SMAI спостерігався в 2011 році і дорівнював -4,93. Максимальне значення SMAI спостерігалось в 2002 році та становило -0,3. У період 2000-2010 рр. міжрічні коливання індексу були невеликі, окрім мінімуму в 2008 році. Весь період спостерігалися значні міжрічні коливання індексу від додатних до негативних значень. Протягом періоду дослідження спостерігалось поступове зменшення середньомісячних значень індексу, але тренд незначущий.



Рисунок 3.57 - Часовий хід індексу SMAI в в північній частині Північного Причорномор'я у листопаді за період 2000-2019 р. у шарі ґрунту 10-40 см

У грудні (рис. 3.58) мінімальний SMAI спостерігався в 2019 році і дорівнював -3,59. Максимальне значення SMAI спостерігалось в 2011 році та становило 0,5. У період 2000-2010 рр. міжрічні коливання індексу були невеликі, окрім мінімуму в 2008 році. Весь період спостерігалися значні міжрічні коливання індексу від додатних до негативних значень. Протягом періоду дослідження спостерігалось поступове зменшення середньомісячних значень індексу, але тренд незначущий.

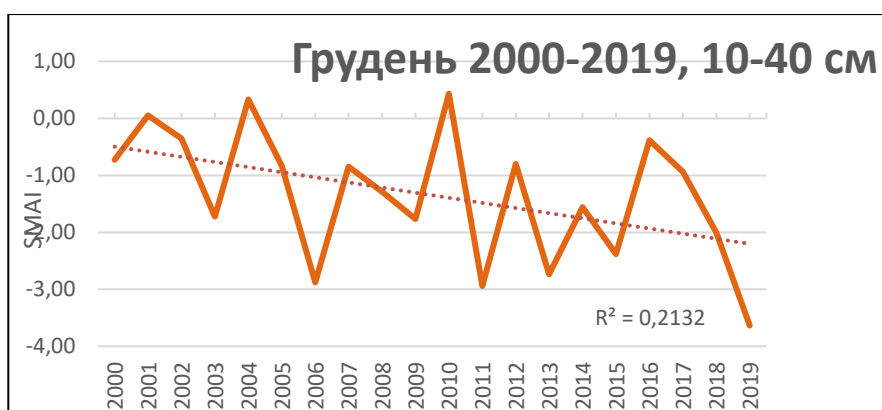


Рисунок 3.58 - Часовий хід індексу SMAI в в північній частині Північного Причорномор'я у грудні за період 2000-2019 р. у шарі ґрунту 10-40 см

Розглянемо часовий хід середньомісячних значень індексу SMAI в шарі ґрунту 0-100 см, в північній частині Північного Причорномор'я протягом 2000-2019 рр. У січні (рис. 3.59) мінімальний SMAI спостерігався в 2007 році і дорівнював -1,45. Максимальне значення SMAI спостерігалось в 2011 році та становило 1,7. У період 2000-2010 рр. міжрічні коливання індексу були невеликі, окрім мінімуму в 2008 році. Весь період спостерігалися значні міжрічні коливання індексу від додатних до негативних значень. Протягом періоду дослідження спостерігалось поступове зменшення середньомісячних значень індексу, але тренд незначущий.



Рисунок 3.59 - Часовий хід індексу SMAI в в північній частині Північного Причорномор'я у січні за період 2000-2019 р. у шарі ґрунту 0-100 см

У лютому (рис. 3.60) мінімальний SMAI спостерігався в 2019 році і дорівнював - 0,50. Максимальне значення SMAI спостерігалось в 2010 році та становило 2,7. У період 2000-2010 рр. міжрічні коливання індексу були невеликі, окрім мінімуму в 2008 році. Весь період спостерігалися значні міжрічні коливання індексу від додатних до негативних значень. Протягом періоду дослідження спостерігалось поступове зменшення середньомісячних значень індексу, але тренд незначущий.

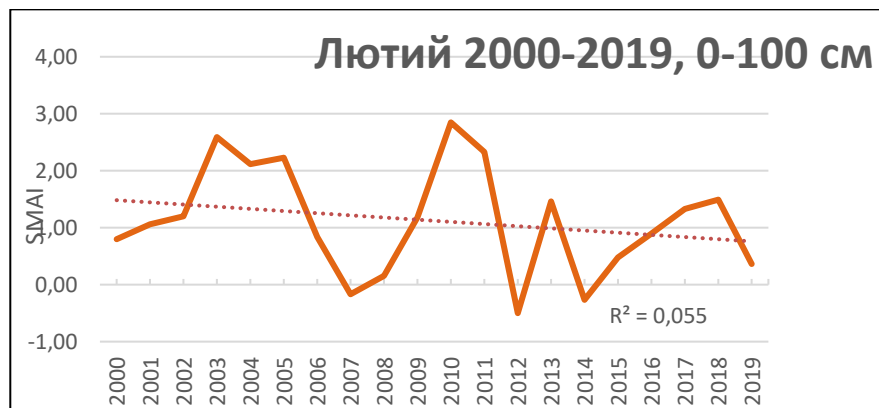


Рисунок 3.60 - Часовий хід індексу SMAI в в північній частині Північного Причорномор'я у лютому за період 2000-2019 р. у шарі ґрунту 0-100

У березні (рис. 3.61) мінімальний SMAI спостерігався в 2014 році і дорівнював - 0,0. Максимальне значення SMAI спостерігалось в 2004 році та становило 3,0. У період 2000-2010 рр. міжрічні коливання індексу були невеликі, окрім мінімуму в 2008 році. Весь період спостерігалися значні міжрічні коливання індексу від додатних до негативних значень. Протягом періоду дослідження спостерігалось поступове зменшення середньомісячних значень індексу, тренд значущий.



Рисунок 3.61 - Часовий хід індексу SMAI в в північній частині Північного Причорномор'я у березні за період 2000-2019 р. у шарі ґрунту 0-100 см

У квітні (рис. 3.62) мінімальний SMAI спостерігався в 2007 році і дорівнював -0,29. Максимальне значення SMAI спостерігалось в 2003 році та становило 2,75. У період 2000-2010 рр. міжрічні коливання індексу були невеликі, окрім мінімуму в 2008 році. Весь період спостерігалися значні міжрічні коливання індексу від додатних до негативних значень. Протягом періоду дослідження спостерігалось поступове зменшення середньомісячних значень індексу, але тренд незначущий.



Рисунок 3.62 - Часовий хід індексу SMAI в в північній частині Північного Причорномор'я у квітні за період 2000-2019 р. у шарі ґрунту 0-100 см

У травні (рис. 3.63) мінімальний SMAI спостерігався в 2007 році і дорівнював -1,65. Максимальне значення SMAI спостерігалось в 2010 році та становило 0,6. У період 2000-2010 рр. міжрічні коливання індексу були невеликі, окрім мінімуму в 2008 році. Весь період спостерігалися значні міжрічні коливання індексу від додатних до негативних значень. Протягом періоду дослідження спостерігалось поступове зменшення середньомісячних значень індексу, але тренд незначущий.

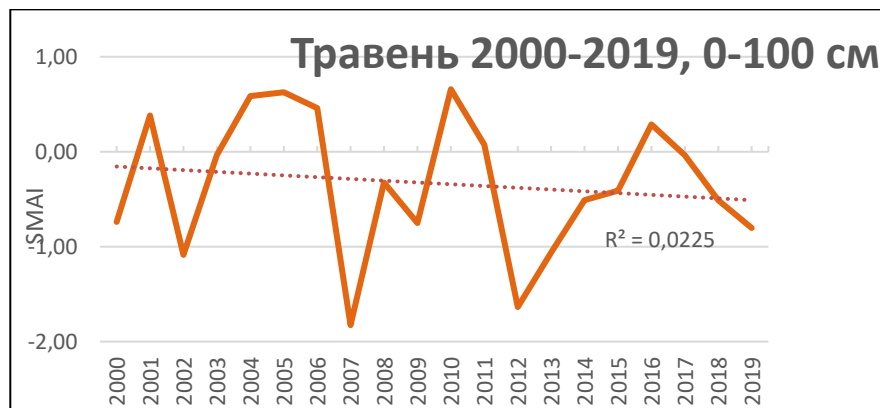


Рисунок 3.63 - Часовий хід індексу SMAI в в північній частині Північного Причорномор'я у травні за період 2000-2019 р. у шарі ґрунту 0-100 см

У червні (рис. 3.64) мінімальний SMAI спостерігався в 2007 році і дорівнював -4,0. Максимальне значення SMAI спостерігалось в 2001 році та становило 0,3. У період 2000-2010 рр. міжрічні коливання індексу були невеликі, окрім мінімуму в 2008 році. Весь період спостерігалися значні міжрічні коливання індексу від додатних до негативних значень. Протягом періоду дослідження спостерігалось поступове зменшення середньомісячних значень індексу, але тренд незначущий.

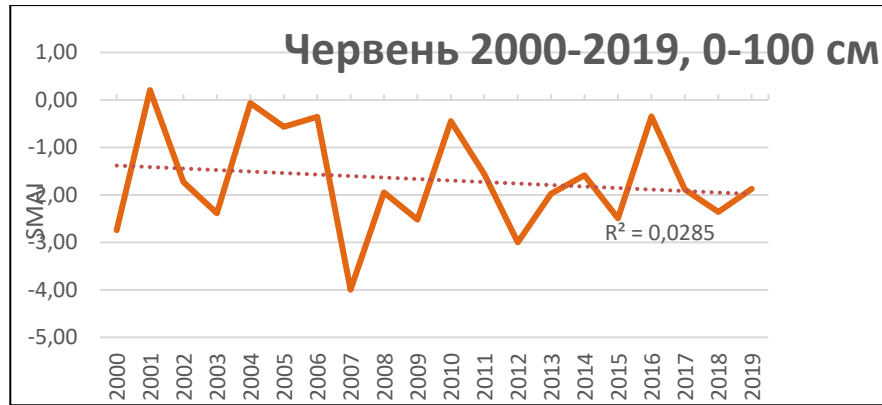


Рисунок 3.64 - Часовий хід індексу SMAI в в північній частині Північного Причорномор'я у червні за період 2000-2019 р. у шарі ґрунту 0-100 см

У липні (рис. 3.65) мінімальний SMAI спостерігався в 2007 році і дорівнював -4,50. Максимальне значення SMAI спостерігалось в 2004 році та становило -0,63. У період 2000-2010 рр. міжрічні коливання індексу були невеликі, окрім мінімуму в 2008 році. Весь період спостерігалися значні міжрічні коливання індексу від додатних до негативних значень. Протягом періоду дослідження спостерігалось поступове зменшення середньомісячних значень індексу, але тренд незначущий.



Рисунок 3.65 - Часовий хід індексу SMAI в в північній частині Північного Причорномор'я у грудні за період 2000-2019 р. у шарі ґрунту 0-100 см

У серпні (рис. 3.66) мінімальний SMAI спостерігався в 2007 році і дорівнював -4,51. Максимальне значення SMAI спостерігалось в 2004 році та становило -0,43. У період 2000-2010 рр. міжрічні коливання індексу були невеликі, окрім мінімуму в 2008 році. Весь період спостерігалися значні міжрічні коливання індексу від додатних до негативних значень. Протягом періоду дослідження спостерігалось поступове зменшення середньомісячних значень індексу, тренд значущий.

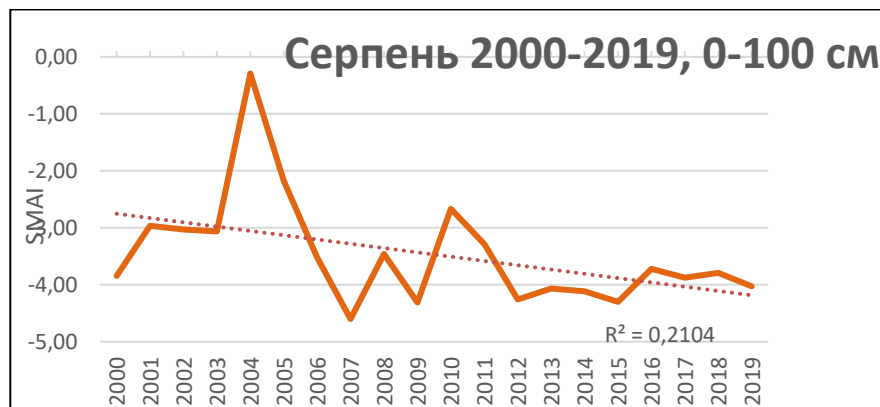


Рисунок 3.66 - Часовий хід індексу SMAI в в північній частині Північного Причорномор'я у серпні за період 2000-2019 р. у шарі ґрунту 0-100 см

У вересні (рис. 3.67) мінімальний SMAI спостерігався в 2015 році і дорівнював -4,59. Максимальне значення SMAI спостерігалось в 2004 році та становило -0,6. У період 2000-2010 рр. міжрічні коливання індексу були невеликі, окрім мінімуму в 2008 році. Весь період спостерігалися значні міжрічні коливання індексу від додатних до негативних значень. Протягом періоду дослідження спостерігалось поступове зменшення середньомісячних значень індексу, тренд значущий.

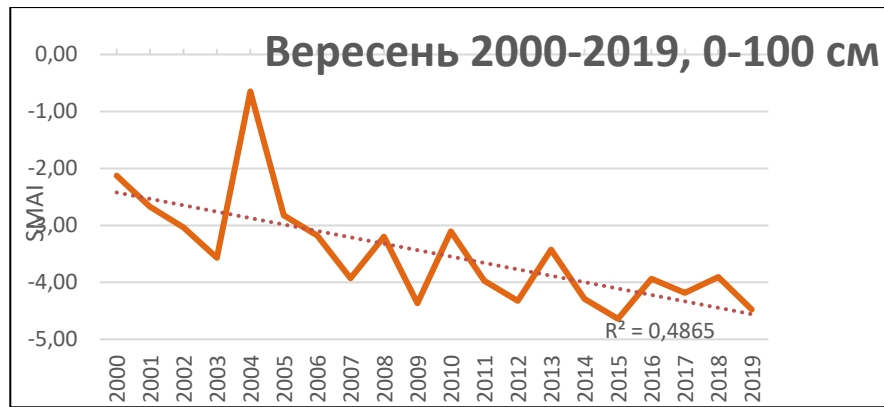


Рисунок 3.67 - Часовий хід індексу SMAI в в північній частині Північного Причорномор'я у вересні за період 2000-2019 р. у шарі ґрунту 0-100 см

У жовтні (рис. 3.68) мінімальний SMAI спостерігався в 2015 році і дорівнював -4,1. Максимальне значення SMAI спостерігалось в 2004 році та становило -0,48. У період 2000-2010 рр. міжрічні коливання індексу були невеликі, окрім мінімуму в 2008 році. Весь період спостерігалися значні міжрічні коливання індексу від додатних до негативних значень. Протягом періоду дослідження спостерігалось поступове зменшення середньомісячних значень індексу, але тренд значущий.



Рисунок 3.68 - Часовий хід індексу SMAI в в північній частині Північного Причорномор'я у жовтні за період 2000-2019 р. у шарі ґрунту 0-100 см

У листопаді (рис. 3.69) мінімальний SMAI спостерігався в 2019 році і дорівнював - 3,9. Максимальне значення SMAI спостерігалось в 2002 році та становило 0,49. У період 2000-2010 рр. міжрічні коливання індексу були невеликі, окрім мінімуму в 2008 році. Весь період спостерігалися значні міжрічні коливання індексу від додатних до негативних значень. Протягом періоду дослідження спостерігалось поступове зменшення середньомісячних значень індексу, тренд значущий.



Рисунок 3.69 - Часовий хід індексу SMAI в в північній частині Північного Причорномор'я у листопаді за період 2000-2019 р. у шарі ґрунту 0-100 см

У грудні (рис. 3.70) мінімальний SMAI спостерігався в 2019 році і дорівнював - 3,47. Максимальне значення SMAI спостерігалось в 2005 році та становило 1,0. У період 2000-2010 рр. міжрічні коливання індексу були невеликі, окрім мінімуму в 2008 році. Весь період спостерігалися значні міжрічні коливання індексу від додатних до негативних значень. Протягом періоду дослідження спостерігалось поступове зменшення середньомісячних значень індексу, тренд значущий.

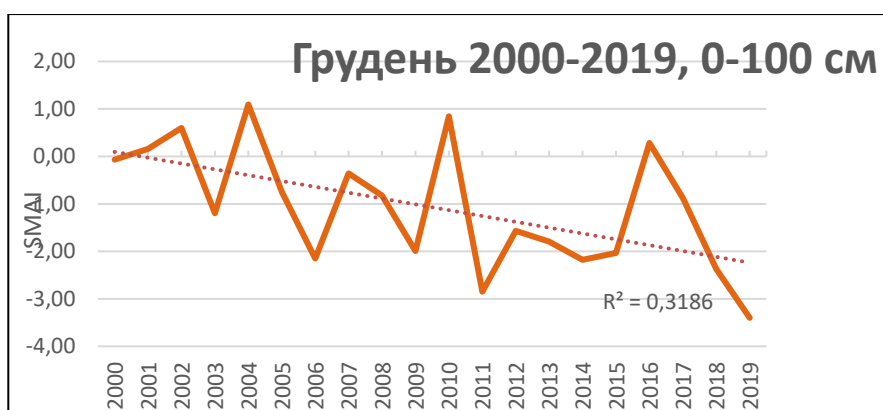


Рисунок 3.70 - Часовий хід індексу SMAI в в північній частині Північного Причорномор'я у грудні за період 2000-2019 р. у шарі ґрунту 0-100 см

ВИСНОВКИ

Під час виконання магістерського проекту було проаналізовано динаміку аномалій вологовмісту ґрунту в Північному Причорномор'ї в період 2000-2019 рр. з використанням модельних даних Глобальної системи асиміляції наземних даних (Global Land Data Assimilation System (GLDAS)), яка включає до себе супутникову інформацію.

Розглянутий часовий хід індексу аномальності вологовмісту ґрунту SMAI по окремих місяцях року в південній частині Північного Причорномор'я показав, що в усіх шарах кореневого шару ґрунту спостерігаються тенденції до зменшення вологовмісту ґрунту в осінньо-зимовий період та першу половину весни, тобто є тенденція до переважання негативних значень SMAI. Зростання вологовмісту ґрунту спостерігається в травні та червні в усіх шарах, а в більш глибоких шарах й у липні. Оцінка статистичної значущості побудованих лінійних трендів виявила, що в південній частині Північного Причорномор'я тренди є значущими у шарі 0-10 см у вересні, у шарі 10-40 см у вересні та жовтні, у шарі 0-100 см у вересні та жовтні.

В північній частині Північного Причорномор'я розглянутий часовий хід індексу аномальності вологовмісту ґрунту SMAI показав, що в усіх шарах кореневого шару ґрунту спостерігаються тенденції до зменшення вологовмісту ґрунту в другій половині року та в першу половину весни, тобто є тенденція до переважання негативних значень SMAI. Зростання вологовмісту ґрунту спостерігається в травні та червні в усіх шарах, а в 0-100 см у липні. Оцінка статистичної значущості побудованих лінійних трендів виявила, що в північній частині Північного Причорномор'я тренди є значущими у шарі 0-10 см у вересні, у шарі 10-40 см у вересні та жовтні, у шарі 0-100 см у вересні та жовтні.

Таким чином, за результатами виконаної роботи можна констатувати негативний вплив сучасних регіональних кліматичних змін на режим зволоження ґрунту в Північному Причорномор'ї, причому спостержувальні тенденції свідчать про наростання ґрунтової посухи в останні десять років у важливі для сільськогосподарського виробництва періоди року.

В південній частині Північного Причорномор'я розглянутий часовий хід індексу аномальності вологовмісту ґрунту SMAI показав, що в усіх шарах кореневого шару ґрунту спостерігаються тенденції до зменшення вологовмісту ґрунту в другій половині року та в першу половину весни, тобто є тенденція до переважання негативних значень SMAI. Зростання вологовмісту ґрунту спостерігається в травні та червні в усіх шарах, а в 0-100 см у липні. Оцінка статистичної значущості побудованих лінійних трендів виявила, що в північній частині Північного Причорномор'я тренди є значущими у шарі 0-10 см у вересні та серпні, у шарі 10-40 см у вересні та серпні, у шарі 0-100 см у березні та з серпня по грудень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНІ ЛІТЕРАТУРИ

1. Земледелие. Учебник для вузов/Г.И. Баздырев, В.Г. Лошаков, А.И. Пупонин и др. — М.: Издательство «Колос», 2000. — 551 с.
2. Основы технологии сельскохозяйственного производства. Земледелие и растениеводство. Под ред. В.С. Никляева. — М.: «Былина», 2000. — 555 с.
3. Агрохимия. Учебник/В.Г. Минеев, В.Г. Сычев, Г.П. Гамзиков и др.; под ред. В.Г. Минеева. — М.: Изд-во ВНИИА им. Д.Н. Прянишникова, 2017. — 854 с.
4. Растениеводство/П.П. Вавилов, В.В. Гриценко, В.С. Кузнецов и др.; Под ред. П.П. Вавилова. — 5-е изд., перераб. и доп. — М.: Агропромиздат, 1986. — 512 с.: ил. — (Учебник и учеб. пособия для высш. учеб. заведений).
5. Інформаційно-аналітична довідка про стан водних ресурсів держави та особливості сільськогосподарського виробництва в умовах змін клімату. URL: <http://naas.gov.ua/>
6. Андреев В.Г., 1960. Применение уравнений водного и теплового балансов к исследованию и расчету внутригодового режима стока, Труды ГГИ, вып. 7, с. 3—55.
7. Грингоф И. Г., Пасечнюк А. Д. Агрометеорология и агрометеорологические наблюдения. СПб., 2005. 552 с.
8. Зоидзе Е. К. О подходе к исследованию неблагоприятных агроклиматических явлений в условиях изменения климата // Метеорология и гидрология. 2004. Вып. 1. 96 с.
9. Шульгин А. М. Агрометеорология и агроклиматология : учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности «Метеорология». Л., 1978. 197 с.
10. Кабанов П. Г. Погода и засухи в Поволжье / Министерство сельского хозяйства РСФСР // Науч. тр. Вып. 31. 1972. 75 с.

- Бабкин В. И., Вуглинский В. С., 1982. Водный баланс речных бассейнов, Л., Гидрометеиздат, 198 с.
11. Adler, R. F., C. Kidd, G. Petty, M. Morissey, and H. M. Goodman, 2001: Intercomparison of global precipitation products: The third precipitation intercomparison project (PIP-3). *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 82, 1377-1396.
 12. Atlas, R. M., and R. Lucchesi, 2000: File Specification for GEOS-DAS Gridded Output. DAO-1001v4.3, 41 pp. <http://gmao.gsfc.nasa.gov/operations/filespec4.3.pdf>.
 13. Avissar, R., and R. Pielke, 1989: A parameterization of heterogeneous land surfaces for atmospheric numerical models and its impact on regional meteorology. *Mon. Wea. Rev.*, 117, 2113-2136.
 15. Berg, A. A., J. S. Famiglietti, J. P. Walker, and P. R. Houser, 2003: Impact of bias correction to reanalysis products on simulations of North American soil moisture and hydrological fluxes. *J. Geophys. Res.*, 108, 4490, doi: 10.1029/2002JD003334
 14. Kogan F.N., 2002. World droughts in the new millennium from AVHRR-based vegetation health indices principles of a new algorithm. *EOS TRANSACTIONS*, 83(48), pp. 3–7.
 15. McKee, T.B., Doesken, N.J., Kleist, J., 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. *Proceedings of the Eighth Conference on Applied Climatology*, Anaheim, CA. American Meteorological Society (Boston), pp.179–84.
 16. John R. Lanzante Resistant, Robust and nonparametric techniques for the analysis of climate data: Theory and examples, including applications to historical radiosonde station data, *Revision for International Journal of climatology*, 1996.
 17. J. Sillmann, E. Roegner Indices for extreme events in projections of antropogenic climate change // *ClimateChange*, 2008, 86:83 – 104, p. 83 – 104.

18. GIOVANNI: GES-DISC (Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center) Interactive Online Visualization ANd aNalysis Infrastructure. <http://daac.gsfc.nasa.gov/techlab/giovanni/>
19. JG Acker и G. Leptoukh, Онлайн-анализ расширяет возможности использования данных НАСА по наукам о Земле, EOS, 9 января 2007 г., т. 88, страницы 14 и 17 (щотижнева газета Американського геофізичного союзу Джованні (метеорологія))
20. Інструкція користувача Джованні
<https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/doc/UsersManualworkingdocument.docx.html#h.wlbft0x3lt51>
21. Опис клімату північного Причорномор'я с 202.
22. Бучинский И.Е. Засухи и суховеи. Л.: Гидрометеиздат, 1976. 214 с.
23. Барабаш М.Б., Емельянова Ж.Л. Закономерности пространственно-временного распределения засушливых условий на Украине // Труды УкрНИГМИ. 1990. Вып. 238. С. 94-101.
24. Клімат України / За ред. В.М. Ліпінського. Київ: Видавництво Раєвського, 2003. 343 с.
25. Кошеленко Н.В., Гусак Ж.К., Миронченко Г.В. Некоторые особенности циркуляции атмосферы при засухах на Украине // Труды УкрНИГМИ. 1979. Вып. 176. С. 50-61.
26. Мартазинова В.Ф., Сологуб Т.А. Атмосферная циркуляция, формирующая засушливые условия на территории Украины в конце XX столетия // Наук. праці УкрНДГМІ. 2000. Вип. 248. С. 36-47.
27. McKee T. B., Doesken N. J., Kleist J. The relationship of drought frequency and duration to time scales // Preprints, Eighth Conf. on Applied Climatology. - 1993. Anaheim, CA, Amer. Meteor. Soc., p. 179-184.

28. Vicente-Serrano S.M., Beguería S., López-Moreno J.I. A multiscalar roughness index sensitive to global warming: the standardised precipitation evapotranspiration index // *J. of Climate*. 2010. Vol. 23, No. 7. P. 1696–1718.
29. María del Pilar Jiménez-Donaire, Ana Tarquis, and Juan Vicente Giráldez. Evaluation of a combined drought indicator and its potential for agricultural drought prediction in southern Spain. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 2020, V. 20, p. 21–33, <https://doi.org/10.5194/nhess-20-21-2020>