

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Гідрометеорологічний інститут
Кафедра метеорології та кліматології

Магістерська кваліфікаційна робота

на тему: «Сезонна мінливість супутникового вегетаційного індексу на півдні України»

Виконала студентка 2 курсу групи МЗМ-18
спеціальності 103 –«Науки про Землю»
Попова Дарина Вікторівна

Керівник к.геогр.н., доцент
Агайар Елліна Вікторівна

Рецензент д. геогр. наук, проф.
Ляшенко Галина Віталіївна

Одеса 2019 р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет гідрометеорологічний інститут
Кафедра метеорології та кліматології
Рівень вищої освіти магістр
Спеціальність 103 «Науки про Землю»
(шифр і назва)
Освітня програма Метеорологія

ЗАТВЕРДЖУЮ

в. о. зав. кафедри Прокоф'єв О. М.
«28» жовтня 2019 року

З А В Д А Н Н Я
НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Попової Дарині Вікторівна

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: «Сезонна мінливість супутникового вегетаційного індексу на півдні України»

керівник робіт к. геогр.н., доц. Агайар Елліна Вікторівна

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від №235 "С" від 18.10.2019 р

2. Строк подання студентом роботи 06 грудня 2019 року

3. Вихідні дані до роботи 1. База даних NOAA щодо вегетаційних індексів VCI (Vegetation Condition Index) за період з 1985 по 2017 рр. 2. Синоптичні карти з архіву Wetterzentrale, дані ЦГО та дані реаналізу NOAA 3. Дані моделі GFS з просторовим кроком 0,5° меридіану.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Огляд сучасних літературних джерел за темою дослідження. 2. статистична характеристика щотижневого індексу VCI по трьох південно-західних областях України у весняно-літній період 1985-2017 рр 3 Аналіз синоптичних умов виникнення посух. 4. Виявлення циркуляційних умов формування сильної посухи над півднем України у 2015 р.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень.) Рис. 1.1 – Зображення електромагнітного спектру; Рис. 1.2- характеристика кривої відбиття рослинності; Рис. 2.1- Зміна середніх значень індексу VCI; Рис. 2.2-2.3 -Карта просторового розподілу індексу вегетації VCI за даними моделі GFS; Рис. 2.4-2.6 - Швидкість зміни індексу VCI та його щорічні аномалії; Рис.3.1-3.12 – Синоптичні умов виникнення посух; Рис.3.13- дані реаналіза NOAA

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада Консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 28 жовтня 2019 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Термін виконання етапів роботи	Оцінка виконання етапу	
			у %	за 4-х бальною шкалою
1.	<i>Вивчення літературних джерел за темою дослідження</i>	29.10.2019	87	добре
2.	<i>Збір та попередня обробка вихідної інформації, складання бази даних до дослідження</i>	листопад 2019	87	добре
3.	<i>Визначення статистичних характеристик щотижневого індексу VCI по трьох південно-західних областях України у весняно-літній період 1985-2017 рр</i>	листопад 2019	87	добре
4.	<i>Аналіз просторово-часового розподілу індексу VCI за даними моделі GFS</i>	листопад 2019	87	добре
5.	<i>Аналіз метеорологічних та синоптичних умов виникнення посушливих явищ над півднем України</i>	листопад 2019	87	добре
6.	<i>Характеристика синоптичні умови виникнення сильної весняно-літній посухи 2015 р.</i>	листопад 2019	87	добре
7.	Рубіжна атестація	18-23.11 2019	87	добре
8.	<i>Підведення підсумків та підготовка рукопису до друку.</i>	25.11.2019	87	добре
9.	<i>Оформлення магістерської роботи.</i>	5.11.2019	87	добре
10.	<i>Підготовка комп'ютерної презентації та доповіді до захисту магістерської роботи.</i>	10.12.2018	87	добре
11.	<i>Перевірка на плагіат, підписання авторського договору</i>	6- 9.12.2019		
12.	<i>Попередній захист магістерської роботи.</i>	грудень 2019		
	Інтегральна оцінка виконання етапів календарного плану (як середня по етапам)		87	добре

Студент _____ Попова Д. В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ Агайар Е.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Анотація

Тема: «Сезонна мінливість супутникового вегетаційного індексу на півдні України»

Автор: Попова Дарина Вікторівна

Актуальність проблеми визначається тим що, сучасні та очікувані зміни клімату потребують постійної оперативної інформації щодо їх впливу на найбільш чутливу сферу господарської діяльності, пов'язану з продовольчою безпекою, тобто сільськогосподарським виробництвом.

Метою даної роботи є виявлення посушливих періодів на території Одеської, Миколаївської і Херсонської областей з 1985 по 2017 рр., за допомогою використання індексу умов вегетації (VCI). Аналіз сукупності синоптичних умов утворення повітряно-грунтової посухи у червні-серпні 2015 р.

Відповідно до поставленої мети було розв'язано такі **задачі**:

- визначена динаміка статистичних характеристик щотижневого індексу VCI по трьох південно-західних областях України у весняно-літній період 1985-2017 рр;
- виявлені регіональні умови виникнення сильних посух за доступний період спостережень.

Об'єкт дослідження – VCI (Vegetation Condition Index) – індекс умов росту рослинності

Предмет дослідження – просторово-часовий розподіл посушливих умов. на території Одеської, Миколаївської і Херсонської областей з 1985 по 2017 рр., за допомогою використання індексу умов вегетації (VCI).

Методи дослідження –

- Просторово-тимчасове узагальнення даних
- Синоптико-кліматичний аналіз
- Статистичний аналіз

Наукова новизна отриманих результатів.

В даній роботі *вперше* для території Південно-Західної України:

- встановлений характер змін просторово-часового розподілу індексу VCI за період 1985 – 2017 рр. на території Одеської, Миколаївської та Херсонської областей;
- виявлені синоптичні умови виникнення сильної весняно-літній посухи 2015 р.

- **Практичне значення отриманих результатів.** Використання супутникового індексу умов вегетації VCI та врахування його просторово-часового розподілу по території дає можливість поліпшити успішність моніторингу та прогнозу посушливих явищ.

- Магістерська робота в обсязі 69 сторінок складається з 3 розділів, висновків, переліку посилань з 30 джерел, трьох додатків, містить 25 рисунки та 5 таблиць.

Ключові слова: супутниковий індекс умов вегетації, посуха, стан рослинності, NDVI, MODIS

Abstract

Thesis Topic: « Seasonal variability of satellite vegetation index in southern Ukraine»

Author: Popova Daria

Relevance: problem is determined by the fact that current and expected climate change requires constant operational information on its impact on the most sensitive area of food security, that is agricultural production.

Aim of the Thesis is to identify droughts in the territories of Odessa, Mykolaiv and Kherson regions from 1985 to 2017, using the Vegetation Conditions Index (VCI). Analysis of synoptic conditions of formation of air-soil drought in June-August 2015.

In accordance with the set objective, the following **tasks** are solved:

- dynamics of statistical characteristics of the weekly VCI index for the three southwestern regions of Ukraine during the spring-summer period 1985-2017 are defined;
- regional conditions of severe drought for the available observation period are revealed;

Object of the Study: VCI -Vegetation Condition Index

Subject Matter of the Study: spatial and temporal distribution of arid conditions. in the territories of Odessa, Mykolaiv and Kherson regions from 1985 to 2017, using the Vegetation Conditions Index (VCI).

Methods of Research: space-time generalization of data, synoptic-climatic analysis and statistical analysis

Scientific Novelty of the Obtained Results

In this thesis, for *the first time* for Odessa:

- the nature of changes in the spatial and temporal distribution of the VCI index for the period 1985 - 2017 on the territory of Odessa, Mykolaiv and Kherson regions is defined;
- synoptic conditions of severe spring-summer drought 2015 are detected.

Practical Significance of the Obtained Results. Using the satellite index of VCI vegetation conditions and taking into account its spatial and temporal distribution over the territory makes it possible to improve the success of monitoring and forecasting of drought events.

The Master thesis has the volume of 69 pages, consists of 3 sections, conclusions, a list of references of 30 sources, 3 applications, contains 25 figures and 5 tables.

Keywords: Vegetation Condition Index, drought, vegetation condition, NDVI, MODIS

ЗМІСТ

Вступ.....	8
1 Принципи отримання та використання супутникових вегетаційних індексів.....	10
1.1 Загальні поняття о вегетаційних індексах.....	10
1.2 Види і методи розрахунку індексів вегетації.....	12
2 Статистичні характеристики щотижневого індексу VCI по трьох південно-західних областях України у весняно-літній період. 1985-2017 рр.....	19
2.1 Основні статистичні характеристики рядів метеорологічних даних.....	19
2.2 Аналіз статистичних характеристик індексу VCI.....	22
2.3 Швидкість зміни індексу VCI та його щорічні аномалії	29
2.4 Часовий хід аномалій індексу VCI.....	32
3 Синоптичні умови виникнення посух на території України.....	35
3.1 Характеристика баричного поля, що сприяє виникненню посух.....	35
3.2 Аналіз синоптичних умов утворення повітряно-грунтової посухи у червні-серпні 2015 р.....	38
Висновки.....	49
Перелік посилань.....	51
Додаток А.....	54
Додаток Б.....	55
Додаток В.....	64

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

EVI (Enhanced Vegetation Index) – покращений рослинний індекс.

MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer)- Спектрорадіометр середньої роздільної здатності, база даних

NDVI - (NormalizedDifferenceVegetationIndex) – нормалізований диференційний індекс рослинності.

VCI (VegetationConditionIndex) – індекс умов росту рослинності.

WSVI – (The Water Supplying Vegetation Index) – вегетаційний індекс водних запасів.

ДЗ-дистанційного зондування.

NOAA - (National Oceanic and Atmospheric Administration) - дани реаналіза американського центру дослідження

ВСТУП

Одним з найбільш перспективних напрямків моніторингу в сучасній метеорології є методи з використанням супутникової інформації. Ці методи відрізняються широким спектром дії, високою просторово-часовою роздільною здатністю та зручністю використання в оперативних умовах. Супутникова інформація використовується в дослідженні стану підстильної поверхні та рослинного покриву з метою визначення типу рослинності, умов вегетації, стану і динаміки розвитку агрокультур, оцінки продуктивності і прогнозуванні врожайності [2, 7, 11, 13].

Для дослідження рослинного покриву використовують зв'язок спектральної відбивної здатності в різних діапазонах електромагнітного випромінювання зі структурою та станом рослинності. На основі цих спектральних залежностей будуються так звані вегетаційні індекси, за якими, як мінімум, можна відрізнити рослинний покрив від підстильної поверхні та встановлювати стан рослинності в залежності від її водності, пігментації, фотосинтетичної активності тощо. Оскільки стан рослинності напрямки залежить від погодних умов, вегетаційні індекси можна вважати об'єктивними критеріями посушливості і використовувати для моніторингу посух [1,23].

Актуальність проблеми визначається тим що, сучасні та очікувані зміни клімату потребують постійної оперативної інформації щодо їх впливу на найбільш чутливу сферу господарської діяльності, пов'язаною з продовольчою безпекою, тобто сільськогосподарським виробництвом. Особливо актуальним в цьому відношенні є космічні дані, які стосуються структури агроландшафтів і систем землекористування, структури агрофітоценозів, сівозмін, забезпечення вологою, використання зрошуваних земель, просторового розповсюдження критичних явищ, в т. ч. посушливих.

Метою магістерської роботи є виявлення посушливих періодів на території Одеської, Миколаївської і Херсонської областей з 1985 по 2017 рр., за допомогою використання індексу умов вегетації (VCI). Аналіз сукупності синоптичних умов утворення повітряно-грунтової посухи у червні-серпні 2015 р.

Вихідна інформація за період з 1985 по 2017 рр. одержана з бази даних NOAA щодо вегетаційних індексів VCI (Vegetation Condition Index) – індекс умов росту рослинності) [30]. Для дослідження синоптичних умов, які сприяли виникненню посухи в Південно-Західному Причорномор'ї у червні-серпні 2015 р., використані карти погоди за відповідні дні і строки за допомогою архіву Wetterzentrale [28] та даними ЦГО [29].

Об'єкт дослідження – VCI (Vegetation Condition Index) – індекс умов росту рослинності

Предмет дослідження - просторово-часовий розподіл посушливих умов. на території Одеської, Миколаївської і Херсонської областей з 1985 по 2017 рр., за допомогою використання індексу умов вегетації (VCI).

Методи дослідження – просторово-тимчасове узагальнення даних, синоптико-кліматичний аналіз та статистичний аналіз.

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

У вступі формулюються мета та завдання роботи.

Перший розділ містить в собі загальну інформацію щодо принципів отримання та використання супутникових вегетаційних індексів

Другий розділ присвячений аналізу. статистичних характеристик щотижневого індексу VCI по областях південного-заходу України у весняно-літній період 1985-2017 рр

Третій розділ з складається з характеристиці синоптичних умов утворення посушливих явищ на території Одеської, Миколаївської і Херсонської областей .

У висновках представлені результати виконаної роботи.

Перелік посилань складається з 30 літературних джерел.

У додатках наведені допоміжні матеріали.

Кваліфікаційна магістерська робота виконана на кафедрі метеорології та кліматології ОДЕКУ під керівництвом к.геогр.н., доц.. Агайар Е. В. у рамках науково-дослідницької роботи «Прогнозування небезпечних метеорологічних явищ над південними районами України» (2015-2019 рр., ДР № 0115U006532)

1 ПРИНЦИПИ ОТРИМАННЯ ТА ВИКОРИСТАННЯ СУПУТНИКОВИХ ВЕГЕТАЦІЙНИХ ІНДЕКСІВ

1.1 Загальні поняття о вегетаційних індексах

Дослідники використовують супутники для збирання інформації про поверхню і атмосферу Землі [4,11,14,17-21]. Із супутників отримують інформацію про електромагнітне випромінювання, яке може включати в себе гама-промені, ультрафіолетове випромінювання, видиме світло, інфрачервоне випромінювання і радіохвилі (рис 1.1).

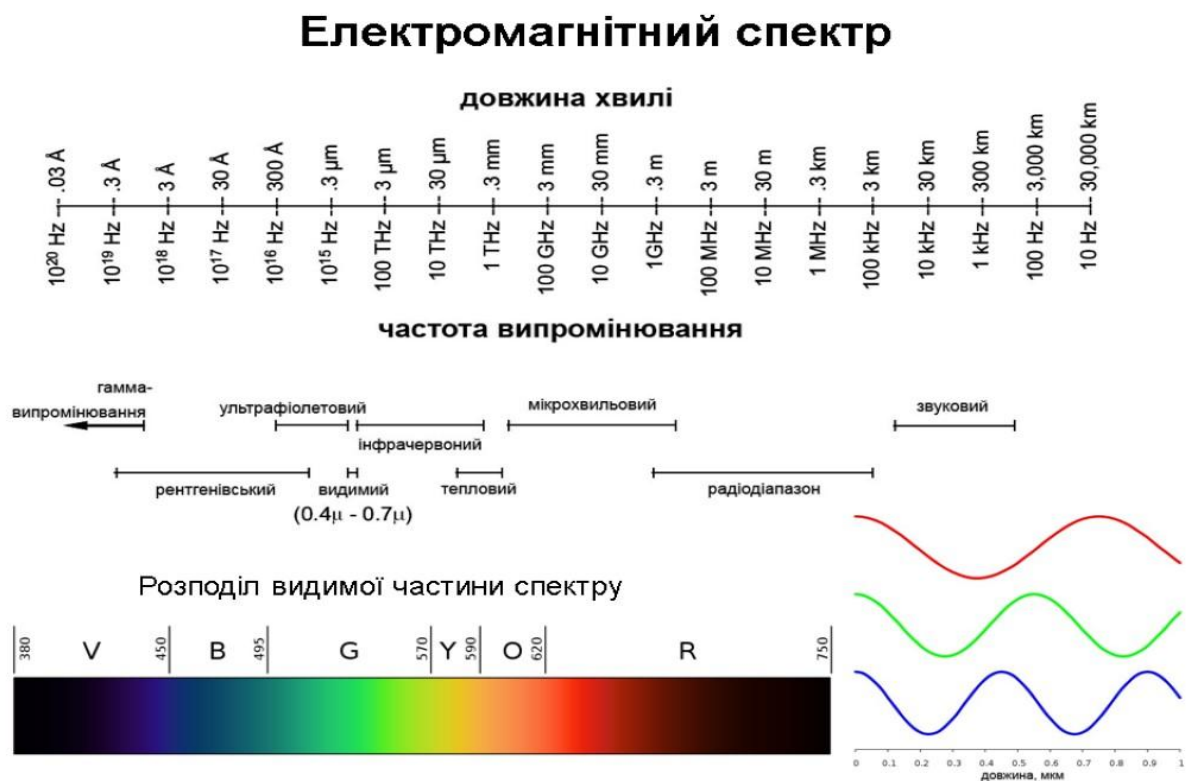


Рис.1.1. Електромагнітний спектр

Зйомка з космосу ведеться через товщу атмосфери, що викликає ускладнення різного характеру: вплив хмарності, яка екранує, поглинання променів певних довжин хвиль атмосферою, розсіювання променів, вплив атмосферного шлейфу тощо. Після взаємодії з об'єктом відбите випромінювання

повинно пройти крізь атмосферу вдруге, щоб досягти супутника. Відбите випромінювання характеризує здатність об'єкту відбивати його, яка представлена значеннями спектральної платності енергетичної яскравості, яку вимірюють за допомогою дистанційного датчика. Отримані в результаті величини переводяться в дискретні безрозмірні цифрові значення, що відповідають характеристикам відбивної здатності, які називають коефіцієнтом спектральної яскравості — коротше спектральною яскравістю.

Кожен об'єкт в ландшафті має свою спектральну яскравість. Було запропоновано [3,9] розділи вусі природні об'єкти на 4 класи, кожен з яких відрізняється кривою спектральної яскравості:

1 клас - гірські породи та ґрунти – характеризуються збільшенням спектральних яскравостей по мірі наближення до червоної області спектру.

2 клас - рослинний покрив - максимум відбивної здатності у зеленому, мінімум - у червоному діапазоні.

3 клас - водні поверхні - характеризуються монотонним зменшенням відбивної здатності від синьо-фіолетової та червоної зон спектру, оскільки зі збільшенням довжини хвилі вони сильніше поглинаються водою.

4 клас - снігові поверхні та близькі до них хмари - мають найбільш високі значення спектральної яскравості з невеликим їх зниженням в ближній ІЧ зоні.

Вегетаційний індекс – це показник, розрахований за даними спектральних каналів космічного знімку і який має відношення до параметрів рослинності або ґрунту. На теперішній час існує близько 160 варіантів вегетаційних індексів. Їх розробляють, виходячи, головним чином, з особливості спектральної відбивної здатності рослинності або ґрунту [3,17]. Вегетаційний індекс – це комбінація відбивної здатності поверхні на двох або більше довжинах хвиль, які призначені для виділення певної властивості рослинності (наприклад: наявність зеленого листя). Отримання індексів базується на властивостях рослинності відбивати сонячне проміння. Кожен з вегетаційних індексів призначений для аналізу певної властивості рослинності [12]. Вегетаційні індекси використовують для отримання нових зображень, які дають змогу, на підставі зміненого спектрального образу ефективніше інтерпретувати об'єкти земної поверхні [9].

1.2 Види і методи розрахунку індексів вегетації

Веgetаційний індекс (BI) - це показник, що розраховується в результаті операцій з різними спектральними діапазонами (каналами) ДДЗ, і має відношення до параметрів рослинності в даному пікселі знімка. Ефективність BI визначається особливостями відображення; ці індекси виведено, головним чином, емпірично [1,3].

Виділяють дві групи індексів:

Перша - це просте арифметичне співвідношення, засноване на контрасті між спектральним відгуком рослинності у червоному та інфрачервоному спектральних діапазонах. До цієї групи належать веgetаційні індекси: NDVI, RVI, NRVI, TVI, CTVI, TTVI та індекс співвідношення RATIO.

Друга – базується на перпендикулярному веgetаційному індексі. Головне призначення цієї групи — виключити вплив яскравості ґрунту у випадку, якщо рослинність зріджена і пікселі включають суміш зеленої рослинності та ґрунту. Індекси PVI, WDVІ, DVI зазвичай називають перпендикулярними, які вимірюють перпендикулярну відстань від ґрунтової лінії до точки RED–NIR у пікселі. Індекси SAVI, TSAVI, MSAVI, MSAVI2 зменшують вплив ґрунту

Сучасні методи визначення веgetаційних індексів базуються на використанні радіолокаційних відображень рослинності у різних спектральних діапазонах. Робочий спектральний діапазон радіолокаційних систем (РЛС) лежить у межах від кількох мегагерц до частот ультрафіолетової частини оптичного діапазону.

При цьому відношення крайніх частот складає $10^9:1$, що є достатнім для визначення веgetаційних індексів сільськогосподарських культур.

Найпоширенішим веgetаційним індексом є нормалізований індекс відмінностей рослинного покриву. NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) – нормалізований диференційний індекс рослинності – кількісний показник фотосинтетичних властивостей активної біомаси. NDVI часто називається веgetаційним індексом. NDVI є одним із найпоширеніших і використовуваних індексів для вирішення завдань, кількісної оцінки рослинного покриву. Обчислюється NDVI за формулою:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (1.1)$$

NIR – амплітуда відбиття в ближній інфрачервоній області;

RED – амплітуда відбиття в червоній області спектра [6].

Відповідно до формули визначення індексу, щільні рослинності (NDVI) в певній точці зображення дорівнює різниці інтенсивностей відбитого світла в інфрачервоному та червоному діапазоні, поділений на суму їх інтенсивностей.

Розрахунок NDVI базується на двох найстабільніших (які не залежать від інших чинників) ділянках спектральної кривої відбиття судинних рослин. У червоній області спектра (0,6 – 0,7 мкм) лежить максимум поглинання сонячної радіації хлорофілом вищих судинних рослин, а в інфрачервоній області (0,7 – 0,10 мкм) знаходиться область максимального відбиття клітинних структур листа. Тобто, висока фотосинтетична активність веде до меншого відбиття в червоній області спектра і більшого в інфрачервоній. Відношення цих показників дає можливість чітко відокремлювати і аналізувати рослинні від інших природних об'єктів. При цьому використання не просто відношення, а нормалізованої різниці між максимумом і мінімумом відображень збільшує точність вимірювання, дає можливість зменшити вплив таких явищ, як відмінності в освітленості знімка, хмарності, задимлення, поглинання радіації атмосферою тощо (рис.1.2).

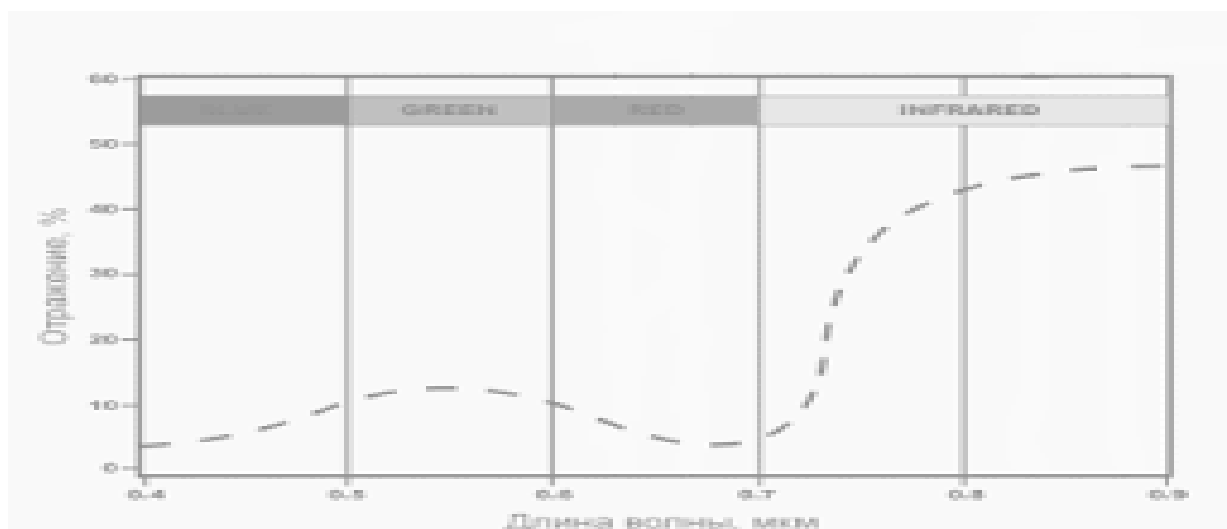


Рис.1.2. Ділянки характеристичної кривої відбиття рослинності, що використовуються для розрахунку NDVI за допомогою даних MODIS.[3]

NDVI може бути розрахований на основі будь-яких знімків високої, середньої або низької роздільної здатності, що мають спектральні канали в червоному (0,55 – 0,75 мкм) та інфрачервоному (0,75 – 1,0 мкм) діапазонах. Алгоритм розрахунку NDVI вбудований практично в усі поширені пакети програмного забезпечення, пов'язаного з обробкою даних дистанційного зондування (Arc View Image Analysis, ERDAS Imagine, ENVI, ErdMapper, Scanex MODIS Processor, Scan View, тощо) [3]. Визначено критерії розпізнавання стану рослинності за значенням NDVI (табл. 1.1).

Таблиця 1.1- Критерії розпізнавання стану рослинності за значенням NDVI

Значення NDVI	Стан рослинності
0,71-1,00	Дуже добрий
0,56-0,70	Добрий
0,41-0,55	Задовільний
0,31-0,40	Поганий
0,21-0,30	Пригнічений

З часу розробки алгоритму для розрахунку NDVI з'явилося досить багато модифікацій, призначених для зменшення впливу різних перешкоджаючих факторів, таких, наприклад, як поглинання аерозолями атмосфери (ARVI–Atmospheric Resistant Vegetation Index або індекс рослинності атмосферного опору), відбиття від ґрунтового шару (SAVI – Soil Adjusted Vegetation Index – індекс пристосований для рослинності) та ряд інших.

Для розрахунку цих індексів використовують формули, що враховують відношення між, відбивною здатністю різних природних об'єктів і рослинністю інших діапазонів, окрім червоного та інфрачервоного, що робить їх більш складними в застосуванні. Існують також індекси, засновані на NDVI, які коректують відразу декілька перешкоджаючих факторів, таких, наприклад, як EVI (Enhanced Vegetation Index – покращений рослинний індекс). В таблиці 1.2 представлено шкалу значень NDVI.

Таблиця 1.2 - Шкала значень NDVI

Тип об'єкта	Відбиття в червоній області спектра	Відбиття в інфрачервоній області спектра	Значення NDVI
Густа рослинність	0,1	0,5	0,7
Розріджена росл.	0,1	0,3	0,5
Відкритий ґрунт	0,25	0,3	0,025
Хмари	0,25	0,25	0
Сніг і лід	0,375	0,35	- 0,05
Вода	0,02	0,01	- 0,25
Штучні матеріали (асфальт, бетон)	0,3	0,1	- 0,5

VCI (Vegetation Condition Index) – індекс умов росту рослинності, запропонував F. Kogan [3]. Цей індекс розраховується за наступною формулою:

$$VCI_j = [(NDVI_j - NDVI_{min}) / (NDVI_{max} - NDVI_{min})] * 100\% \quad (1.2)$$

де: VCI_j – значення індексу умов росту рослинності для дати j ;

$NDVI_j$ – зображення NDVI значень для дати j ;

$NDVI_{max}$ – зображення максимальних NDVI значень усередині всього набору даних;

$NDVI_{min}$ - зображення мінімальних NDVI значень усередині всього набору даних.

Тобто, VCI_j – це відсоткове відношення значень NDVI за час j стосовно максимальної амплітуди змін значень NDVI за розглянутий період часу. VCI використовують, як показник умов росту рослинності в окремо взятому регіоні.

Kogan [23] успішно застосував цей індекс для моніторингу посухи та оцінки умов рослинності, як у США, так і в інших країнах. Він з'ясував, що якщо використовувати цей індекс протягом багатьох років, то можливо

оцінити потенційну здатність даного регіону для одержання врожаїв сільськогосподарських культур. Індекс VCI зменшує вплив природних факторів, дозволяє порівнювати між собою відлік NDVI у різних природних зонах, різних ландшафтах і при різних погодних умовах. Значення VCI, що змінюються від 0 до 100 %, відображають зміни погодних умов вегетації від сухих до вологих. Умови вважаються вологими та сприятливими для рослинності на даній території при значенні індексу більше 70%. Зміни VCI у діапазоні 30-70% відображають близькі до норми умови зволоження. Стресовий стан рослинності настає при значенні індексу менше 30% .

Lui і Kogan [23,24] визначили, що індекс VCI має високу кореляцію з водним дефіцитом та опадами. Також, вони запропонували використовувати VCI для місяця або сезону, що розглядається. Цей індекс було названо – «Сезонний індекс умов росту рослин» - The monthly vegetation condition index–MCVI. Для місяця січня він має такий вигляд:

$$MCVI_{j, Jan} = [(NDVI_{j, Jan} - NDVI_{min, Jan}) / (NDVI_{max, Jan} - NDVI_{min, Jan})] * 100\% \quad (1.3)$$

де: $MCVI_{j, Jan}$ – значення сезонного індексу умов росту рослинності для дати і січня місяця;

$NDVI_{j, Jan}$ – зображення з NDVI значень для дати і січня місяця;

$NDVI_{max, Jan}$ – зображення максимальних NDVI значень усього січня;

$NDVI_{min, Jan}$ – зображення мінімальних NDVI значень усього січня.

TCI – індекс температурного режиму, що може бути обчислений з довгострокових серій денних AVHRRданих температури земної поверхні:

$$TCI_j = [(T_{max} - T_{sj}) / (T_{max} - T_{min})] \quad (1.4)$$

де: TCI_j – індекс температурного режиму для j-ой дати;

T_{sj} – температура земної поверхні для j-ой дати;

T_{max} – це максимальна температура земної поверхні із всіх знімків;

T_{min} – це мінімальна температура земної поверхні по всіх датах.

Використання теплових методів зйомки збільшує точність моніторингу посухи, допомагає пояснити температурний внесок для аналізу виникнення посухи, а так само забезпечує корисну інформацію для моніторингу

рослинного стресу, обумовленого ґрунтовими умовами. Відчутна перевага цього методу полягає в тому, що для обчислень потрібні тільки дані дистанційного зондування, тобто серії денних знімків у тепловому діапазоні. Недоліком є те, що на денні виміри впливають метеорологічні умови, щоденні коливання яких важко враховувати.

Індекс WSVI – The Water Supplying Vegetation Index – вегетаційний індекс водних запасів. Він показує вплив посухи на сільськогосподарські культури, що дозволяє картувати посуху на великих ділянках. Індекс WSVI являє собою відношення NDVI до поверхневої температури, за даними 4-го спектрального каналу AVHRR, тобто:

$$WSVI = NDVI / T_s \quad (1.5)$$

Оцінка можливості автоматизованого виділення окремих складових частин із сукупності різних родів рослин, що ростуть поряд є одним із завдань, які намагаються розв'язати за допомогою високоточних безконтактних дистанційних вимірювань. Однією із таких досліджень була спроба німецьких вчених використати цей метод, з метою встановлення пропорції бобових (конюшини та люцерни) у бобово-злакових травосумішках, вирощених у вегетаційних умовах. У цьому експерименті застосовувались методи регресії та вегетаційні індекси SR, NDVI, EVI, REP, розраховані зі спектрів відбиття різних варіантів травостоїв, отриманих спектрометром Field Spec ProJR [17].

Третій напрям використання наземних гіперспектральних даних відбиття рослинності – зіставлення їх з інформацією, отриманою з сенсорів, встановлених на борту космічних апаратів. Застосування методики й техніки високоточного спектрометрування дозволяє перевірити, наскільки взаємоузгоджуються індекси, розраховані на основі гіперспектральних даних наземного оптичного дистанційного зондування (ДЗ) та аналогічні індекси, обчислені на підставі даних відбиття з порівняно ширших каналів космічних сенсорів. З них варто виділити вегетаційні індекси в області червоного краю (660-780 нм), за допомогою яких можна неруйнівними методами оцінити різноманітні параметри і культурної, і природної рослинності [18]. В зоні червоного краю (680-780 нм) спектри відбиття рослин характеризуються

високими значеннями коефіцієнтів відбиття та різкою швидкістю зростання цих показників [18, 21].

REP – the Red Edge Position– належить до вегетаційних індексів червоного краю. Цей індекс залежить від сумарного вмісту хлорофілу, який є показником функціонального стану рослин.

TCI – terrestrial chlorophyll index – другий індекс, що характеризує вміст хлорофілу в рослинному покриві. Його було визначено англійськими вченими для даних сенсора MERIS, як мерісівський наземний хлорофільний індекс MTCI (the MERIS terrestrial chlorophyll index) [18].

NDVI₇₀₅ – третій індекс, який характеризує зміни спектрального відбиття в зоні червоного краю залежно від вмісту хлорофілу - модифікований нормалізований різцевий індекс червоного краю [20].

$$VCI=(SMN-NDVI_{min})/(NDVI_{max}-NDVI_{min}) *100 \quad (1.6)$$

$$TCI=(T_{max}-SMT)/(T_{max}-T_{min}) *100 \quad (1.7)$$

де: NDVI_{max} та NDVI_{min} багаторічні максимальні та мінімальні значення NDVI для одного пікселя;

T_{max} та T_{min} багаторічні максимальні та мінімальні значення температури поверхні для одного пікселя.

Малі значення VCI говорять про розрідженість вегетаційного покриву. Високі значення VCI говорять про достатність зволоження. Чим менше значення, тим сухіша поверхня.

Отже, одним з важливих методичних питань дистанційного зондування є точність ідентифікації досліджуваних посівів на супутниковому зображенні і збіжності результатів відновлення спектральних відбивних характеристик об'єктів, знімання з даними підсупутникових вимірів. Його вирішення дозволить оцінити можливості використання розроблених раніше методик аерофотометричних обстежень стану посівів основних аграрних культур в Україні, для визначення оцінки їх стану і прогнозу урожайності за даними багатоспектрального супутникового знімання. Запропонований алгоритм розрахунку індексів NDVI можна використовувати для оцінки стану сільськогосподарських культур і прогнозу їх урожайності. Стан можна відслідкувати в інтервалі від 4 до 7 днів (середня поява нового знімку).

2 СТАТИСТИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЩОТИЖНЕВОГО ІНДЕКСУ VCI ПО ТРЬОХ ОБЛАСТЯХ УКРАЇНИ У ВЕСНЯНО-ЛІТНІЙ ПЕРІОД 1985- 2017 РР.

2.1 Основні статистичні характеристики рядів метеорологічних даних

Метеорологія і кліматологія оперує даними фактичних спостережень - метеорологічними рядами - за наявний період спостережень від декількох років до 100 іноді до 150-200 років. Вважається, що ансамбль погодних умов, що описують клімат заданого моменту часу, залишається практично незмінним протягом 30-50 років (в середньому близько 40 років), а між суміжними 40-літтями може вже істотно відрізнятися, обумовлюючи мінливість клімату. Тому, різного роду багаторічні середні, звані кліматичними нормами, зазвичай розраховуються за період 30 років і більше.

Статистиками положення центру розподілу випадкової величини є наступні характеристики - середня, мода, медіана [8,16]. Однією з найважливіших узагальнюючих характеристик метеорологічного ряду є середня величина ($\bar{X}$):

- для несгрупованих вибірки:

$$\bar{X} = (x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n) / n = \sum x_i / n, \quad (2.1)$$

- для згрупованої вибірки

$$\bar{X} = 1 / n \sum x_i \text{ ср. } m_i \quad (2.2)$$

де n - сума членів в ряду, i - номер члена в ряду; x_i - середина i -того класу згрупованої вибірки, m_i - обсяг класу.

Значення середньої полягає в її властивості нівелювати індивідуальні відмінності, в результаті чого виступає більш-менш стійка числова характеристика ознаки. Середня величина характеризує групові властивості і є центром розподілу. У багатьох випадках в якості узагальнюючих

характеристик сукупності виявляються корисними так звані структурні середні, які займають особливе місце в ряду розподілу.

До структурних середнім зазвичай відносять медіану (Me), моду (Mo). Медианою називається значення випадкової величини (Me), яке ділить розподіл навпіл по накопиченій частоті або ймовірності, тобто так, що зліва і праворуч від неї лежить 50% обсягу розподілу. Медіана - це значення метеорологічної величини, накопичена частота якої дорівнює 50%. Медіана знаходиться в центрі рангового ряду, який розташований в порядку убутання або зростання значень x_i . При цьому число одиниць сукупності з великим або меншим, ніж медіана значенням ряду однаково. Якщо всім одиницям ряду надати порядкові номери, то номер медіани в ряду з непарним числом членів « n » визначається як $(n + 1) / 2$. Медіану рекомендується визначати на додаток до середньої арифметичної при асиметричних розподілах. Медіанний інтервал, визначається по нагромадженім частотам. У середині інтервалу медіана знаходиться за формулою:

$$Me = x_n + k * (\sum m / 2 - \sum mn-1) / m_{me} \quad (2.3)$$

де Me - медіана, x_n - нижня межа медіанного інтервалу,

k - величина інтервалу (градації),

$\sum m$ - сума частот,

$\sum m / 2$ - номер медіани в ряду,

$\sum mn-1$ - накопичена частота для кінця інтервалу, що передуює медіанного,

m_{me} - частота медіанного інтервалу.

З високою точністю Me визначається графічно по інтегральній кривій розподілення як 50 – відсоткова квантиль, або значення метеорологічної величини, накопичувана повторюваність якої складає 0,5.

Медіану рекомендується визначати в доповнення до середньої арифметичної при асиметричних розподіленнях. Особливо корисна медіана в тих випадках, коли не можна ручатися за краї розподілення. При не точних крайніх значеннях вивчаємого елемента (наприклад, велика швидкість вітру на висотах) середнє арифметичне стає ненадійним, в той час, як медіана від величини крайніх значень ряду при умові його ранжирування не залежить. Перцентілі - це значення ознаки, що ділять ранжированих ряд на

100 рівних частин. Розрізняють 99 перцентілей. Розрахунок перцентілей для дискретного ряду:

1. Визначаємо номер перцентіля по формулі:

$$N_{P_j} = \frac{j * (n + 1)}{100} \quad (2.4)$$

2. Якщо номер перцентіля – ціле число, то значення перцентіля буде рівне величині елементного ряду, яке володіє накопиченою частотою рівній номеру перцентіля. Наприклад, якщо номер перцентіля дорівнює 20, його значення буде дорівнює значенню ознаки з $S = 20$ (накопиченої частотою рівною 20).

3. Якщо номер перцентіля – є нецілим число, то перцентиль потрапляє між двома спостереженнями.

4. Значенням перцентіля буде сума, що складається з значення елемента, для якого накопичена частота дорівнює цілому значенням номера перцентіля, і зазначеної частини (неціла частина номера перцентіля) різниці між значенням цього елемента і значенням наступного елемента.

Розрахунок перцентілей для інтервального ряду

1. Визначаємо номер перцентіля по формулі:

$$N_{P_j} = \frac{j * (n + 1)}{100} \quad (2.5)$$

2. Визначаємо перцентільний інтервал по накопиченій частоті. Це перший інтервал, для якого накопичена частота буде більшою, або рівна номеру перцентіля.

3. Визначаємо значення перцентіля по формулі:

$$P_j = x_{n_{P_j}} + i_{P_j} * \frac{\frac{j}{100} * \sum f_i - S_{P_j-1}}{f_{P_j}} \quad (2.6)$$

P_j – значення j-го перцентіля,

$x_{n_{P_j}}$ - нижня границя перцентільного інтервала;

i_{P_j} - ширина перцентільного інтервала;

$\sum f_i$ – сума всіх частот,

$S_{P,-1}$ – накоплена частота інтервала, попереднього перцентильному;

f_{P_i} – частота перцентильного інтервала.

номер 95-го перцентіля по формулі: $N_{P95} = 95 * \frac{n+1}{100}$

номер 90-го перцентіля по формулі: $N_{P90} = 90 * \frac{n+1}{100}$

номер 80-го перцентіля по формулі: $N_{P80} = 80 * \frac{n+1}{100}$

номер 20-го перцентіля по формулі: $N_{P20} = 20 * \frac{n+1}{100}$

2.2 Аналіз статистичних характеристик індексу VCI

В якості вихідних даних в роботі використані дані NOAA щодо вегетаційних індексів VCI (Vegetation Condition Index) – індекс умов росту рослинності), з 1985 по 2018 pp. (сайт STAR NESDIS NOAA – Satellite Applications and Research of NOAA’s National Environmental Satellite Data Information Services – Центру використання супутників і досліджень Національної служби супутникових даних та інформації Національного управління по дослідженням океану та атмосфери США [30]. Для дослідження зміни сезонного показника посухи, були розраховані статистичні характеристики VCI в трьох областях Південно-Західної України - Одеської, Херсонської та Миколаївської (табл. 2.1-2.3).

Анализ даних показав, що мінімальні значення VCI в Одеській області коливаються від 1,08% в квітні до 26,98% в липні, в Миколаївській області від 0,21% у квітні до 17,65% в серпні, і в Херсонській області від 0,34% в квітні до 24,96% в серпні. Загалом, найменші значення VCI спостерігаються у квітні по всіх областях.

Максимальні значення VCI в Одеській області змінювалися від 81,97% в червні до 95,26% у серпні, в Миколаївській області від 83,86% в травні до 95,58% в квітні, і в Херсонській області від 81,23% в червні до 93,36% в травні.

Середні значення індексу вегетації VCI по всьому північному заходу України перебували в діапазоні 47,59 – 61,84 (Миколаївська область – квітень, Одеська область – липень, відповідно). Такі показники індексу VCI

Таблиця 2.1 – Статистичні характеристики індексу VCI в Одеській області за період 1985-2018 рр.

тиждень	сер. VCI	медіана	σ_x^2	max VCI	min VCI	персентіль			
						20	80	90	95
13	49,73	57,20	27,97	91,54	1,10	19,72	77,72	80,30	85,97
14	50,88	58,89	26,95	93,50	1,08	22,88	74,46	81,52	85,22
15	53,81	60,66	24,95	94,28	3,77	28,56	75,67	83,79	84,77
16	55,17	60,41	23,92	94,81	5,14	32,26	77,55	83,04	83,71
17	56,36	59,03	23,12	95,26	6,22	34,64	78,19	81,95	83,02
18	57,85	59,81	22,33	94,95	6,04	37,42	78,97	81,49	83,25
19	58,64	59,67	21,78	94,88	7,73	39,97	78,79	81,89	83,23
20	59,64	61,30	20,97	92,27	11,04	40,48	77,93	81,83	84,66
21	60,28	61,91	20,29	91,36	15,30	41,96	78,08	83,35	84,73
22	60,76	61,13	19,52	90,48	21,20	39,22	77,12	82,73	85,50
23	61,82	65,90	19,01	87,34	26,98	39,82	77,32	84,67	85,87
24	61,84	67,00	18,31	84,90	26,18	45,78	77,96	81,39	83,78
25	60,65	65,39	18,19	83,84	20,05	48,28	76,56	79,47	81,01
26	58,59	61,15	17,93	82,90	15,25	44,33	74,47	77,57	80,07
27	56,63	58,88	17,80	81,97	12,24	40,83	72,26	75,80	77,93
28	55,27	58,56	17,79	82,09	10,19	40,44	69,12	73,54	78,61
29	53,60	54,92	18,23	84,04	9,24	37,36	67,91	73,85	77,78
30	52,97	51,83	18,48	85,60	9,43	38,36	69,42	71,97	78,03
31	52,02	49,09	18,72	84,71	10,23	36,42	70,35	72,60	78,01
32	51,28	49,40	18,92	82,93	12,39	33,35	70,44	74,72	78,01

Таблиця 2.2 – Статистичні характеристики індексу VCI в
Миколаївській області за період 1985-2018 рр.

тиждень	сер. VCI	медіана	σ_x^2	max VCI	min VCI	персентіль			
						20	80	90	95
13	47,59	48,86	26,27	91,47	0,55	26,17	72,51	78,33	86,80
14	50,29	51,51	25,27	91,19	0,21	29,32	73,13	78,57	86,86
15	52,51	53,03	23,60	93,72	0,55	32,38	73,86	77,70	82,78
16	54,11	54,44	22,33	95,02	0,75	35,06	73,09	76,83	82,72
17	55,80	56,67	21,20	95,58	0,66	40,90	74,17	77,55	82,91
18	57,51	59,23	20,19	95,27	0,60	45,63	73,51	79,41	83,46
19	57,15	59,47	19,82	94,85	1,04	44,72	70,16	79,37	83,70
20	56,33	59,83	19,46	89,73	2,21	43,96	67,47	78,19	84,85
21	56,62	59,28	19,46	88,87	4,70	39,79	70,29	76,38	84,99
22	57,15	62,41	19,20	89,33	11,16	38,83	71,32	73,06	82,80
23	58,68	65,02	19,38	87,25	14,60	41,12	72,43	76,46	82,07
24	59,34	64,48	19,23	83,86	10,81	43,77	74,65	80,58	82,80
25	59,63	63,89	18,96	86,17	9,41	44,97	75,69	80,06	83,83
26	58,69	62,28	18,83	86,86	9,56	47,75	73,91	77,86	84,26
27	56,84	60,45	19,02	88,82	10,48	43,96	72,89	77,16	82,50
28	54,83	58,89	19,06	90,53	11,75	40,34	70,26	75,12	79,24
29	53,60	57,11	19,24	90,94	14,19	35,60	69,52	74,76	77,73
30	53,70	55,11	19,33	90,92	17,65	36,14	69,62	75,23	80,34
31	54,10	57,75	19,57	89,30	17,20	36,82	68,60	77,26	82,92
32	54,20	56,01	19,64	91,16	14,73	37,57	69,81	78,32	82,16

Таблиця 2.3 – Статистичні характеристики індексу VCI в Херсонській області за період 1985-2018 рр.

тиждень	сер. VCI	медіана	σ_x^2	max VCI	min VCI	персентіль			
						20	80	90	95
13	51,08	53,74	23,14	93,36	0,34	30,16	72,82	77,48	80,49
14	53,21	55,25	22,42	90,47	0,37	32,20	74,12	79,69	82,30
15	55,24	56,09	21,43	86,86	0,78	37,68	74,31	82,41	83,45
16	56,65	58,40	20,66	84,74	1,16	41,69	74,82	81,83	83,63
17	57,27	60,94	19,90	84,86	1,62	42,71	75,33	78,52	82,29
18	57,53	60,09	19,17	84,03	2,28	43,42	73,96	80,24	81,03
19	56,28	59,05	18,59	83,13	3,93	45,28	70,04	79,27	80,63
20	55,06	57,62	17,67	82,63	6,24	46,12	65,69	76,65	78,54
21	55,16	58,51	17,09	84,01	8,98	47,08	67,66	72,31	77,45
22	55,02	54,71	16,58	83,98	14,66	45,34	67,55	72,87	78,58
23	55,42	54,19	16,38	83,10	22,35	43,26	69,08	78,12	80,21
24	55,31	52,89	16,11	84,37	21,39	44,51	69,87	77,74	79,80
25	54,95	53,16	16,35	86,58	21,90	44,85	72,17	75,57	79,38
26	53,24	50,11	16,30	85,26	22,38	40,83	67,83	74,84	78,72
27	51,34	48,47	16,66	81,23	22,75	37,94	64,37	77,22	80,22
28	50,05	46,29	16,87	83,81	22,77	34,70	65,69	75,49	78,73
29	48,64	44,89	16,52	85,63	21,94	32,73	64,69	69,06	75,19
30	49,85	45,14	17,28	85,74	23,39	32,59	67,45	72,46	76,46
31	50,26	44,36	17,35	84,65	24,05	33,64	67,50	73,07	76,69
32	50,26	43,98	17,44	83,96	24,96	34,14	69,53	71,95	78,22

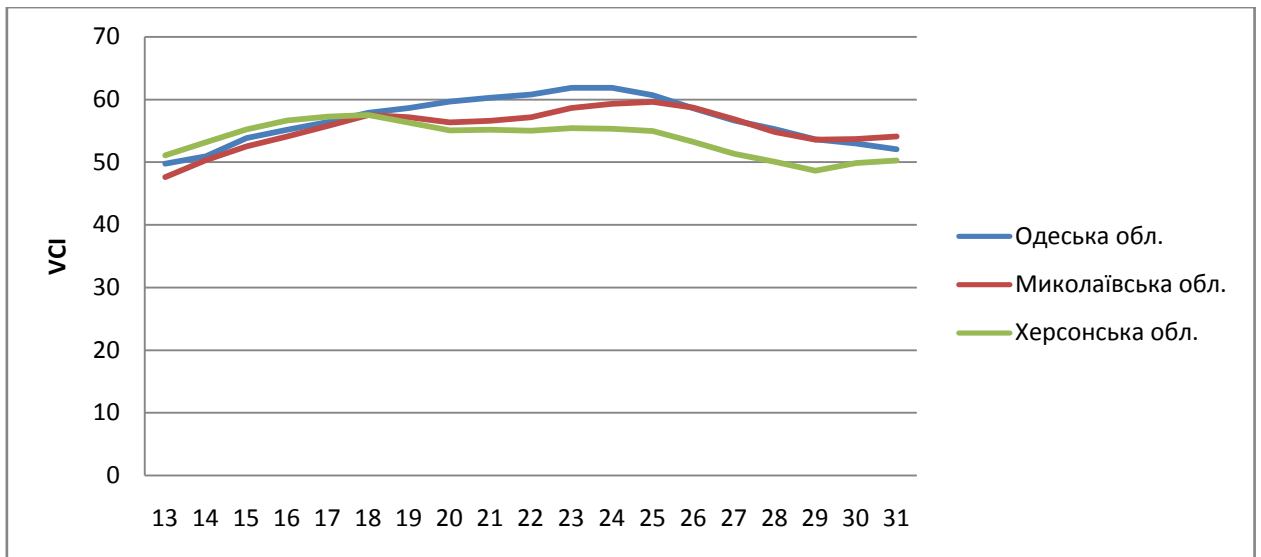


Рис. 2.1 Зміна середніх значень індексу VCI за період 1985-2018 рр.

говорять о середніх умовах вегетації для всього розглянутого регіону (рис.21.1). У квітні відзначалися практично однакові умови вегетації в усіх областях, але вже у травні середні значення індексу VCI найзначніше розходилися в сторону зменшення в Херсонській області.

Значення середньоквадратичного відхилення варіюють від 16,11 в червні місяці в Херсонській області до 27,97 в квітні в Одеській області. В цілому, найбільші значення σ_x^2 спостерігалися в період активної вегетації (квітень - травень), найменші в серпні. Показники σ_x^2 в 2,0 рази менш ніж середні значення VCI, що вказує на незначну асиметрію розподілу індексу вегетації.

Для аналізу просторового розподілу індексу вегетації за допомогою програмного забезпечення Surfer побудовані карти розподілу VCI по кожному місяцю вегетаційного періоду (квітень-серпень). Для побудови карт тижневі значення VCI осереднювалися для кожного місяця (рис. 2.2-2.3).

Аналіз розподілу середньомісячних значень вегетаційного індексу VCI по території трьох південних областей України відображає наростання посушливості із заходу на схід. Так в квітні більш сприятливі умови для вегетації спостерігалися в Херсонській області, показник VCI досягав значення 54,04 %. Найменше значення - в Миколаївській області – 51,12 %. У Степовій зоні Північно-Західного Причорномор'я з травня по серпень індекс вегетації зменшувався зонально, від Одеської в сторону Херсонської області. Мінімальне значення VCI відзначено в Херсонській області в серпні - 49,75 %, максимальне в Одеській в червні - 61,17 %.

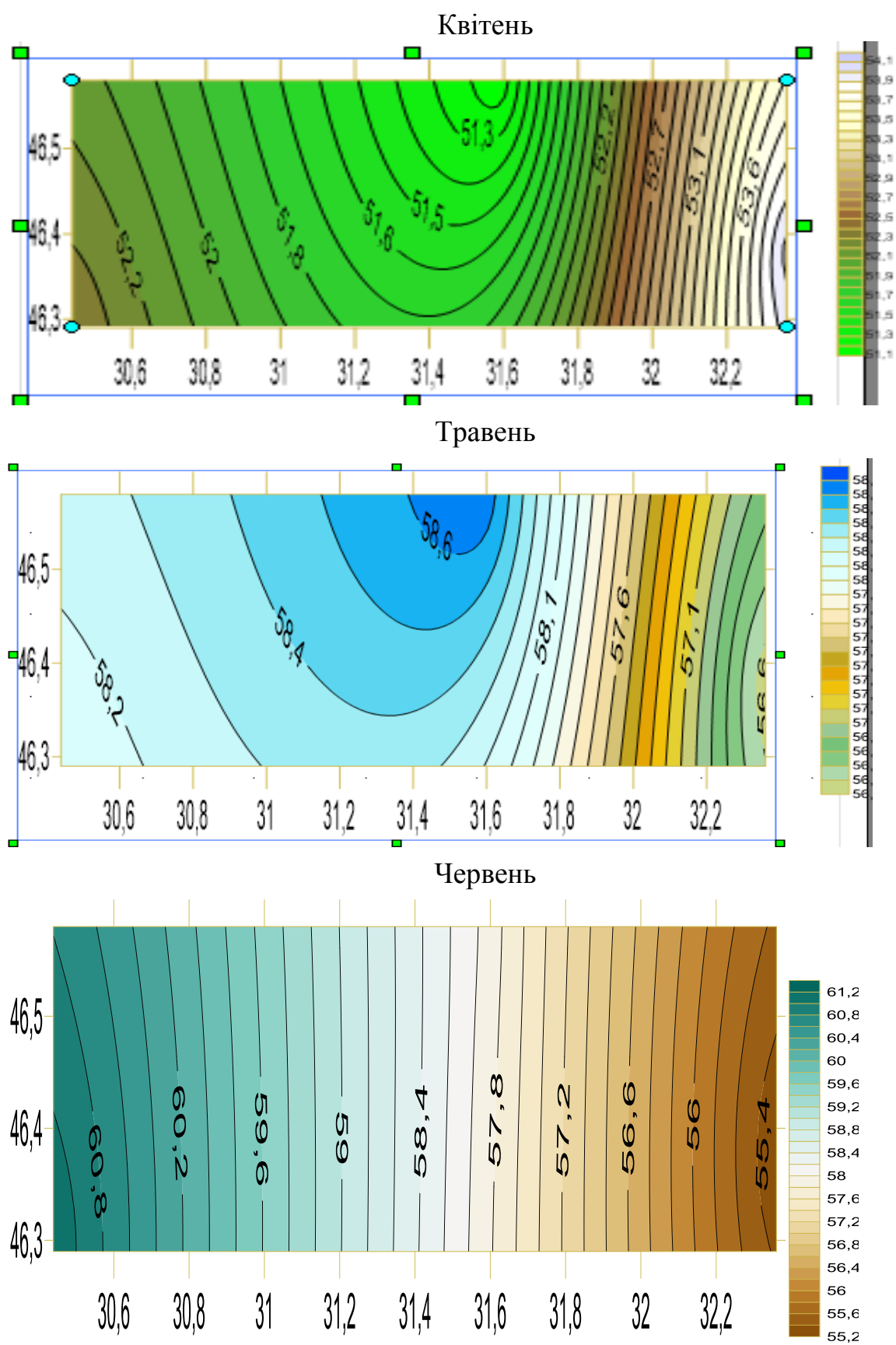


Рис. 2.2. Карта просторового розподілу індексу вегетації VCI на території Південно-Західної України. 1985-2018 рр.

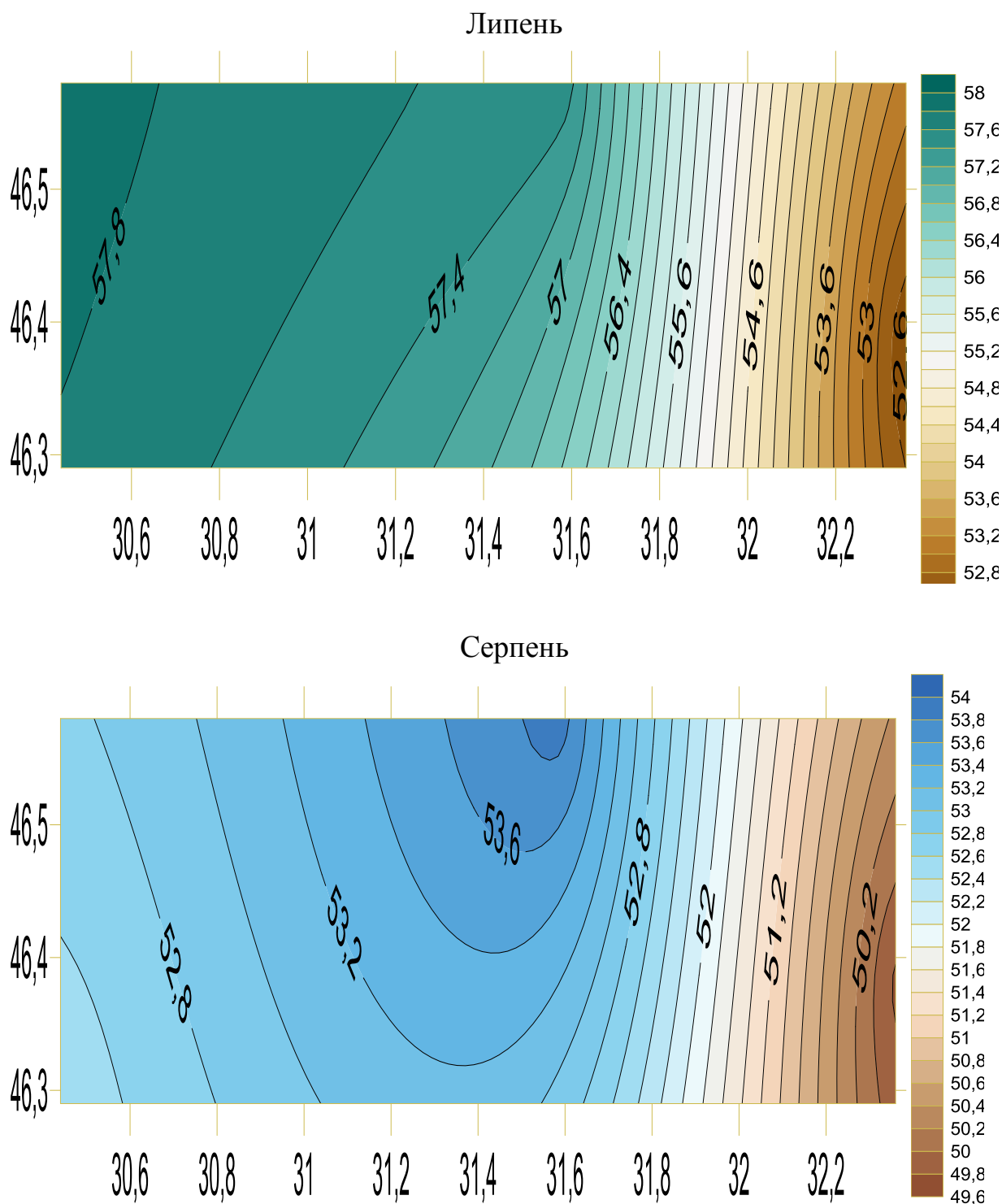


Рис. 2.3. на території Південно-Західної України. 1985-2017 рр.

У сезонному ході, в якому, починаючи з березня, відбувається швидке наростання значень вегетаційного індексу, яке уповільнюється в травні, а в червні в більшості областей, за винятком Херсонській області, спостерігається максимум. На Херсонщині максимум VCI відзначається на місяць раніше, а саме в травні.

Таким чином очевидно, що найменша зволоженість ґрунту за досліджуваний період з 1985 по 2017 роки спостерігалася в Херсонській області. Однак, отримані осереднені за 33 роки показники нормованого вегетаційного індексу по Одеській, Миколаївській та Херсонській областях близькі до 50%, що відображає середні умови для розвитку рослинності.

2.3 Швидкість зміни індексу VCI та його щорічні аномалії

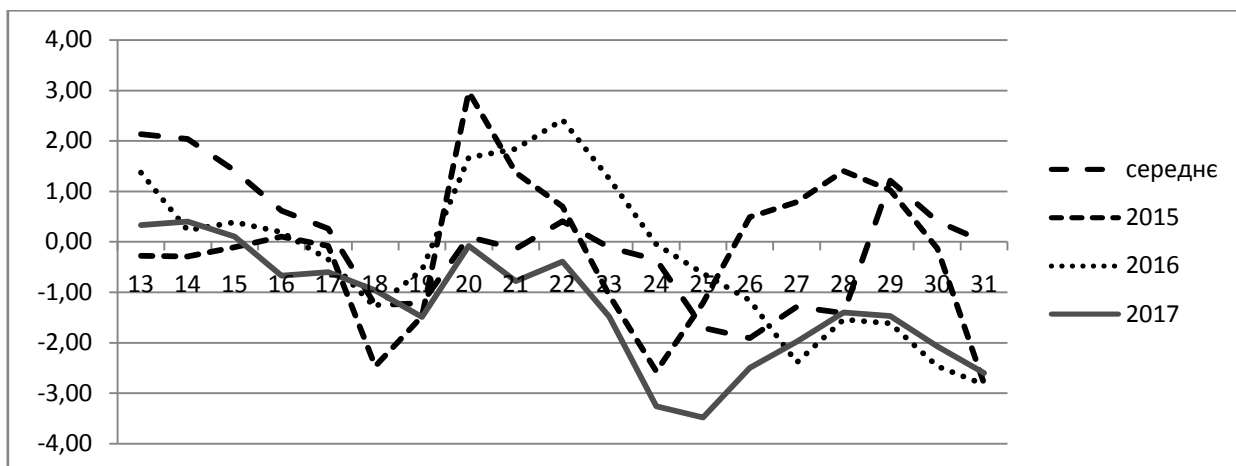
Для того, щоб виявити посушливі періоди, більш детально розглянуті щорічні аномалії та швидкість зміни індексу вегетації у всіх досліджуваних областях.

У Херсонській області в період 1985-1989 рр. негативні значення швидкості зміни VCI відзначалися в травні-червні в 1987 і 1989 рр. Найбільш сприятливий період для вегетації спостерігався в травні 1988 р. Наступна п'ятирічка (1990-1994 рр) відзначена позитивною тенденцією зростання швидкості індексу умов вегетації у весняний і ранній літній сезон. І різке зниження швидкості в другій половині літа. У наступному періоді (2000-2004 р) максимальні негативні значення спостерігалися в 2002 р, починаючи з 22 тижня. Однак, в липні-серпні фіксувався позитивний ріст показників швидкості зміни VCI. З 2005 по 2014 рр позитивний тренд швидкості зміни VCI припадав на кінець весни-початок літа, практично в усі роки даного періоду (Дод. Б. рис. Б.1-Б.6). У період з 2015 по 2017 рр інтересною особливістю розподілу швидкості зміни VCI в Херсонській області була наявність двох негативних піків - ранньою весною і в середині літа, а найбільш сприятливий період, виражений позитивними змінами швидкості відзначений в травні (рис. 2.4).

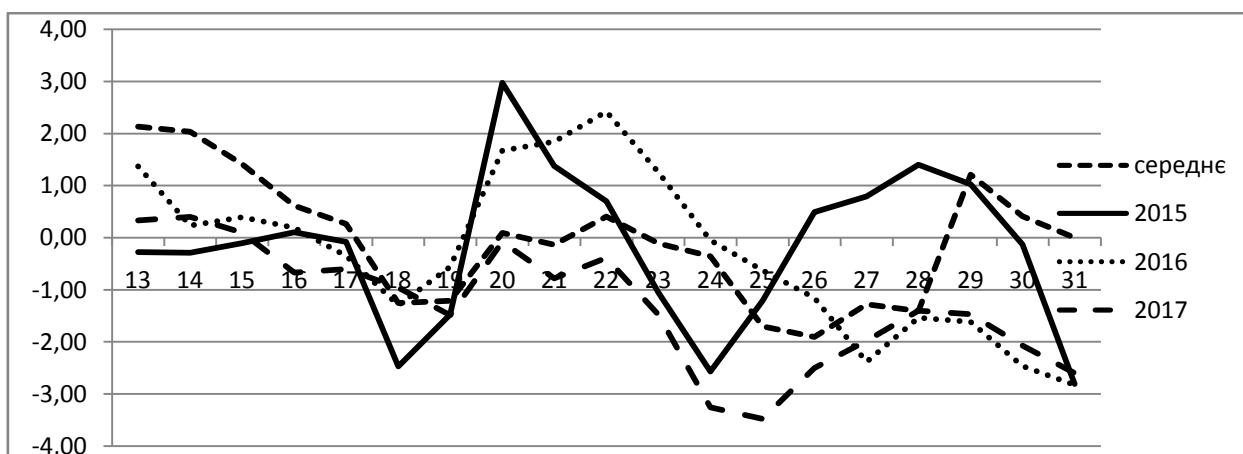
У Миколаївській області за період з 1985 по 1994 роки відзначалося два негативних екстремумів значень швидкості зміни індексу вегетації - пізно навесні весною і в середині літа. Період з 1995 по 1999 відзначався поступовим зниженням швидкості практично в усі роки починаючи з 22 тижня (кінець травня) і тривав до середини липня. У наступній п'ятирічці (2000-2004 рр) спостерігалася така ж тенденція в характері зміни значень

швидкості VCI, проте початок періоду негативних значень припало на більш ранні терміни, а саме на 19 тиждень. У період з 2005 по 2009 р умови для виникнення посушливих явищ виникали з ранньої весни і до середини літа,

Херсонська область



Миколаївська область



Одеська область

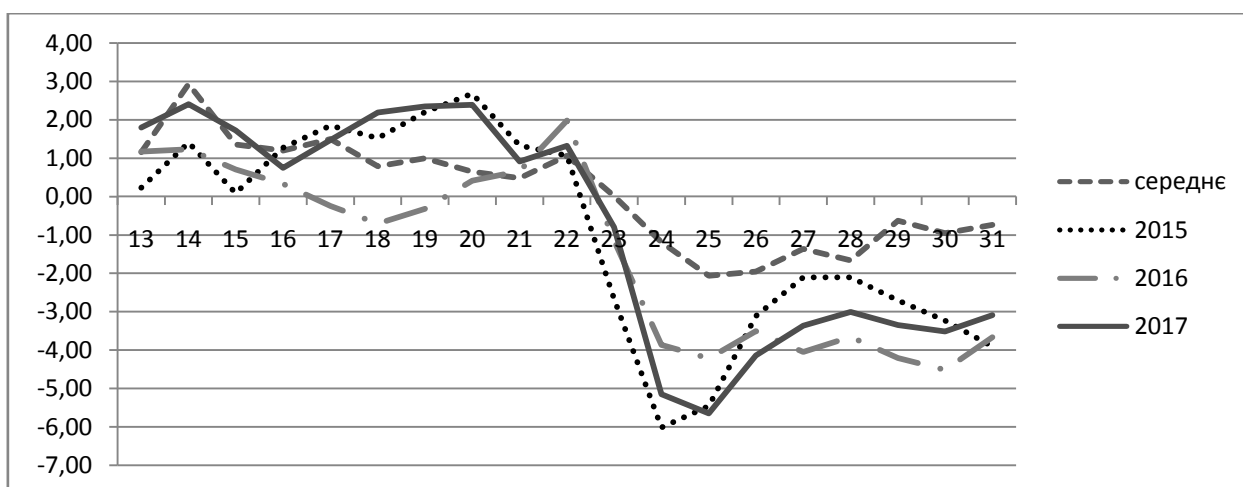


Рис.2.4. Швидкість зміни індексу VCI за період 2015-2017 рр

особливо варто відзначити 2007 р, коли зфіксовані максимальні швидкості зниження індексу вегетації. У 2010-2014 рр починаючи з квітня і до середини травня, а також з 22 по 26 тижні (червень) починається поступове зниження швидкості зміни індексу (Дод. Б. рис. Б.7-Б.12). В останні роки (2015-2017 рр) зазначалося достаточо різке зниження показника швидкості зазначене в трьох періодах - квітні, липні та серпні (рис.2.4).

В Одеській області в період з 1984-1994 рр відзначався поступове зростання показника зміни швидкості індексу умов вегетації починаючи з кінця квітня і до середини липня, досягаючи значень 6,0-9,0. У період з 1995-1999 рр відзначена тенденція до зниження швидкості зміни VCI, що починається з кінця весни, з короткочасними періодами зростання (2-3 тижні) значень швидкості зміни VCI. З 2000 по 2009 рр. починаючи з кінця весни і до середини літа спостерігалось зниження швидкості. Максимальних значень воно досягло в 2009 році і склало -10,0 на 24 тижні (середина червня). Періоди 2010-2014 і 2015-2018 рр (рис. 2.4) схожі за своїм розподілом швидкості зміни індексу вегетації. З кінця травня (21 тиждень) відзначалося поступове зменшення показників швидкості до значень - 6,00 і - 8,00 практично в усі роки, до кінця червня - початку липня. Тобто умови вегетації погіршувалися протягом шести тижнів (Дод. Б. рис. Б.13-Б.17). Періоди 2010-2014 і 2015-2019 рр схожі за своїм розподілу швидкості зміни індексу вегетації. З кінця травня (21 тиждень) відзначалося поступове зменшення показників швидкості до значень -6,00 і - 8,00 практично в усі роки, до кінця червня-початку липня. Тобто умови вегетації погіршувалися протягом шести тижнів.

Таким чином, в Миколаївській і Херсонській областях швидкість зміни вегетаційного індексу зменшувалася до негативних значень ранньою весною, що вказує на можливість виникнення ранніх засух і з кінця травня до середини липня. Значення цього показника не опускалося нижче - 4,00. Найбільш сприятливі умови для вегетації відзначалися в травні. В Одеській області позитивні значення швидкості зміни VCI спостерігалися з квітня по червень, а в наступні два місяці формувалися несприятливі умови для вегетації рослин.

2.4 Часовий хід аномалій індексу VCI

Досить інформативним параметром початку посушливого періоду або спалаху, так званої, "раптової посухи" є аномалії індексу умов вегетації –VCI, тому що VCI аномалії можуть змінити знак з позитивного на негативний під час початку спалаху посухи [10, 22, 24-26]. Розглянемо розподіл індексу VCI у період з 1985 по 2017 року на території трьох південних областей.

Так в Херсонській області посушливі періоди, що характеризуються негативною аномалією вегетативного індексу спостерігалися в 1987, 1989 рр. Період з 1990-1994 можна охарактеризувати, як посушливий крім 1991 і 1994 рр, коли значення аномалій були позитивними і досягали 22. Засуха, в основному, виникала в весняний період з 16 по 24 тижні.

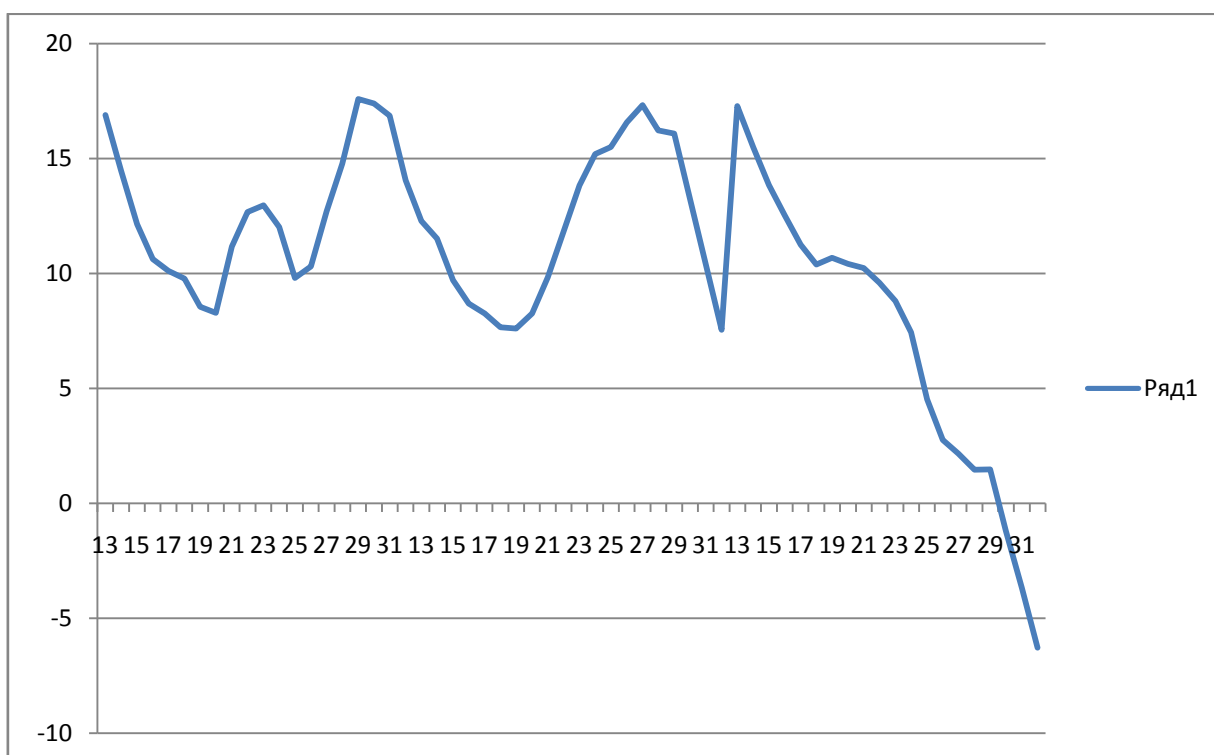
У період 1995-1999 роки виділяється 1996 р, коли значення індексу умов вегетації залишалися негативними протягом усього вегетаційного періоду, їх амплітуда коливалася від - 30 % в квітні до - 3 % в червні. Виділяються весняні посухи 2002 і 2003, з квітня по червень, коли індекс досяг значень - 40 %- (- 60 %), що говорить про виникнення екстремальної посухи в ці роки. Посушливими також були квітень-травень 2006 та 2011. У літні місяці (червень-серпень) найбільш посушливими були 2007, коли негативні аномалії індексу VCI досягали значення - 35 %, та 2013 р. (Дод.В., рис. В.1-В.6)

У період з 2015 по 2017 рр. негативних значень індексу умов вегетації не відзначено, все флуктуації VCI відбувалися в позитивному діапазоні значень (рис. 2.5).

Основною особливістю розподілу індексу вегетації VCI в Миколаївській області є посушливі весняні місяці, що переходять у літню посуху. Відрізняються досить високою тривалістю і інтенсивністю (Дод.В., рис. В.7-В.11) . Індекс VCI досягає значень: - 40 % (1992, 2001, 2007, 2012 рр.); - 60 % (1987 р). Період з 2015 по 2017 роки в Миколаївській області відзначений позитивними значеннями аномалії, що змінюється в межах 5- 20 %.

В Одеській області в досліджуваний період спостерігалися як не тривалі весняні посухи – 1986, 1987, 1996, 1998, 2003, 2004, 2006, 2012 роки, так і досить тривалі посушливі періоди в літні місяці -1986, 2007. . Негативні

Херсонська область



Миколаївська область

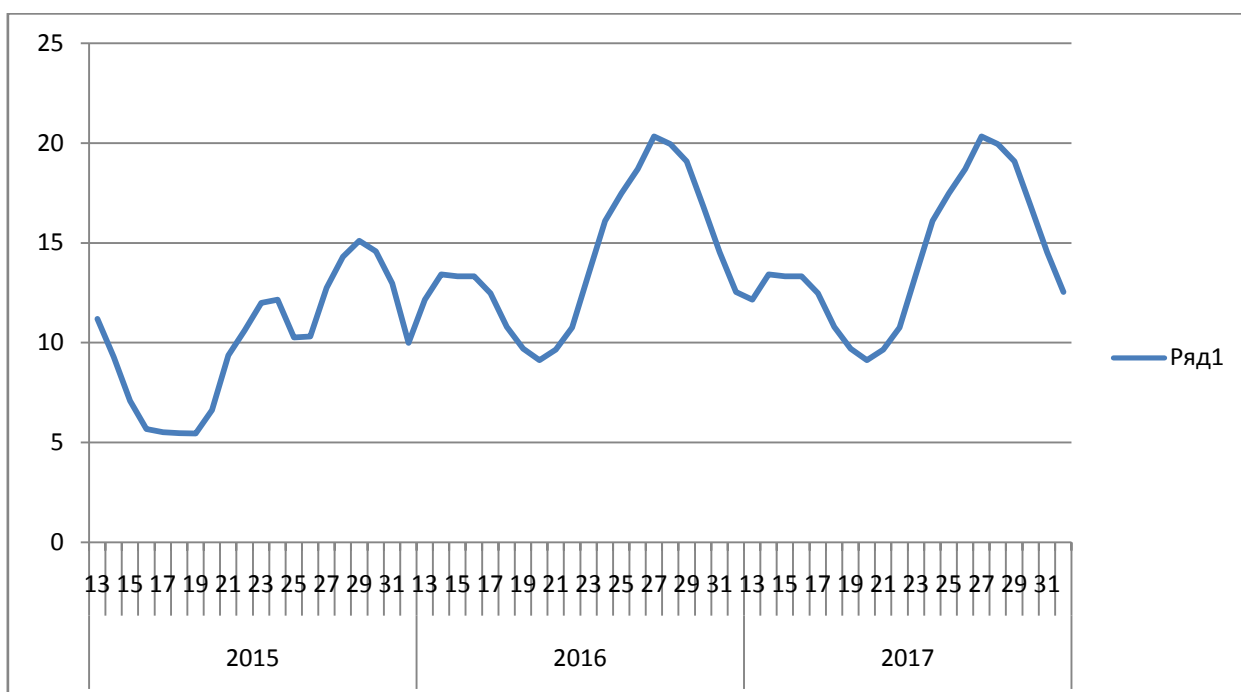


Рис. 2.5. Аномалії індексу VCI за період 2015-2017 рр

Одеська область

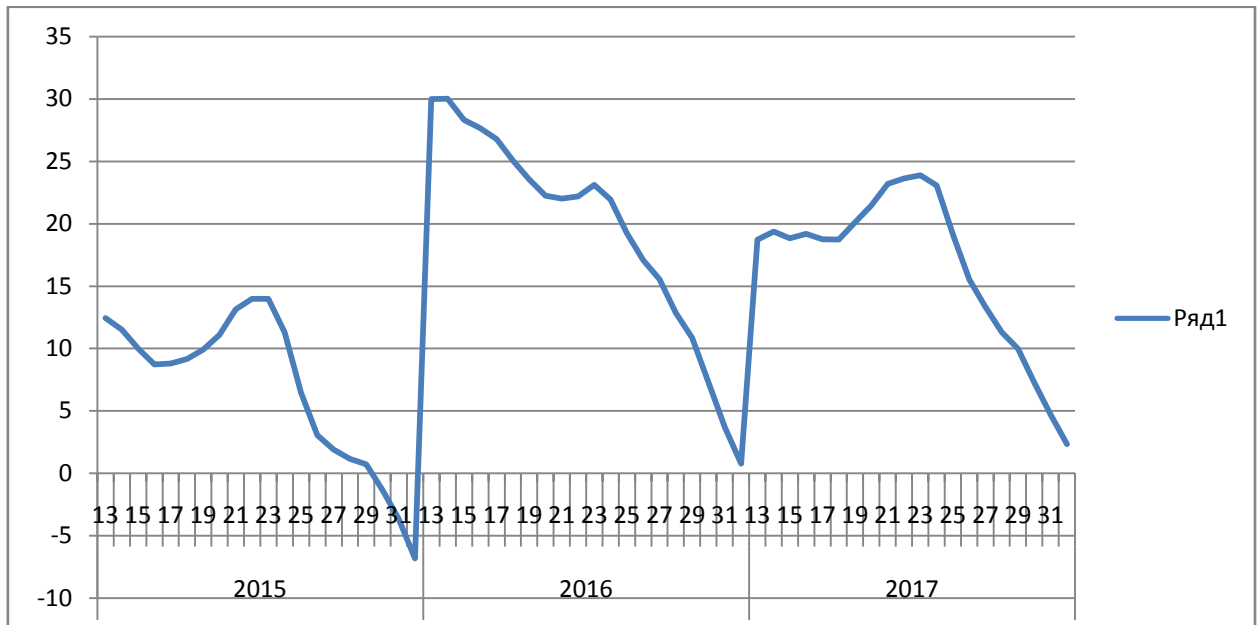


Рис. 2.6. Аномалії індексу VCI за період 2015-2017 рр.

значення аномалії індексу вегетації досягали 60 % в 2004 році і 55% в 2007 р. (Дод.В., рис. В.12-В.17). У 2015 р. негативні умови для вегетації спостерігалися в кінці липня-початку серпня (рис. 2.5), вони носили короткочасний характер (2 тижні) і відрізнялися слабкою інтенсивністю (-7%).

Узагальнюючи особливості просторово-часового розподілу індексу вегетаційних умов на території Південно-Західної України, які були визначені для виявлення посушливих періодів на досліджуваній території, можна зробити висновок, що у всіх трьох областях спостерігалися короткочасні весняні посухи і тривалі літні посухи. Такий розподіл є характерним для зони Степу. Мінімальних значень індекс VCI досягав у Херсонській області, що характеризує його, як найбільш посушливим не тільки на півдні, але й на всій території України.

3 СИНОПТИЧНІ УМОВИ ВИНИКНЕННЯ ПОСУХ НА ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ

3.1 Характеристика баричного поля, що сприяє виникненню посух

Посухи на Україні обумовлюються синоптичними процесами, які можна звести до двох основних макроситуацій [5, 6, 15]:

1. Процес добре вираженої зональної циркуляції, коли над півднем європейської території СНД розташовується зона високого тиску, утворена відрогами азорського і середньоазіатського максимумів або декількома малорухомими антициклонами. У північній половині європейської території СНД розвивається активна циклонічна діяльність. Посухою бувають охоплені території півдня України, нижнього Поволжя і Казахстану. Над південними морями і Малою Азією розташовується розмита область низького тиску зі слаборозвиненими циклонічними центрами. Циклони з півночі Атлантики зміщуються на схід, не опускаючись південніше 55 ° півн.ш. При подібних синоптичних процесах формується близько 30% посух на Україні. Прикладом такої ситуації є утворення суворої загальної посухи у травні 2007 р. (рис. 3.1 – 3.2).

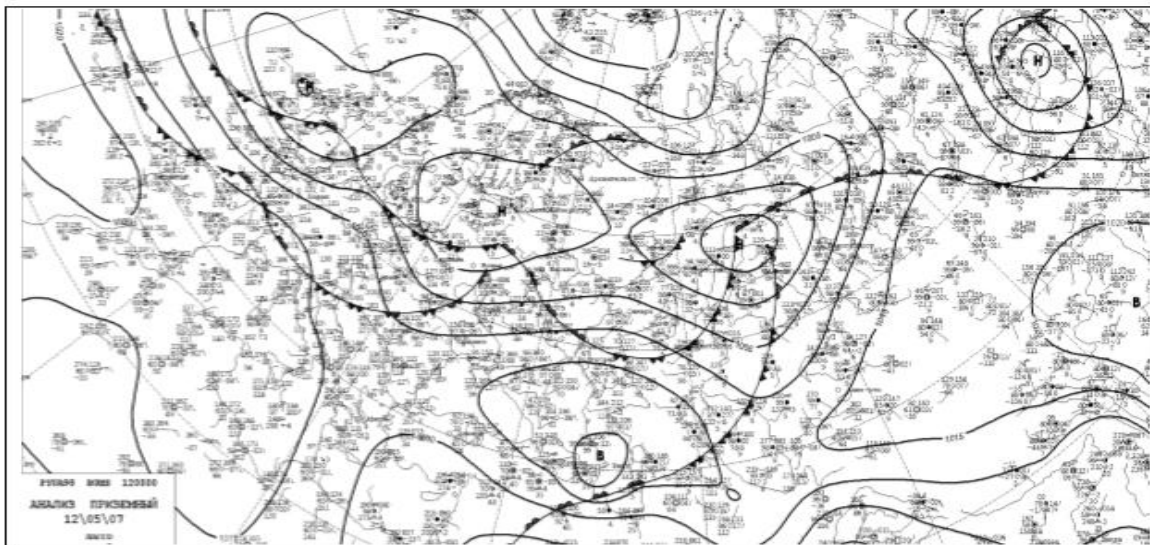


Рис. 3.1. Приземна карта погоди за 12.05. 2007 р., 00.00 UTC

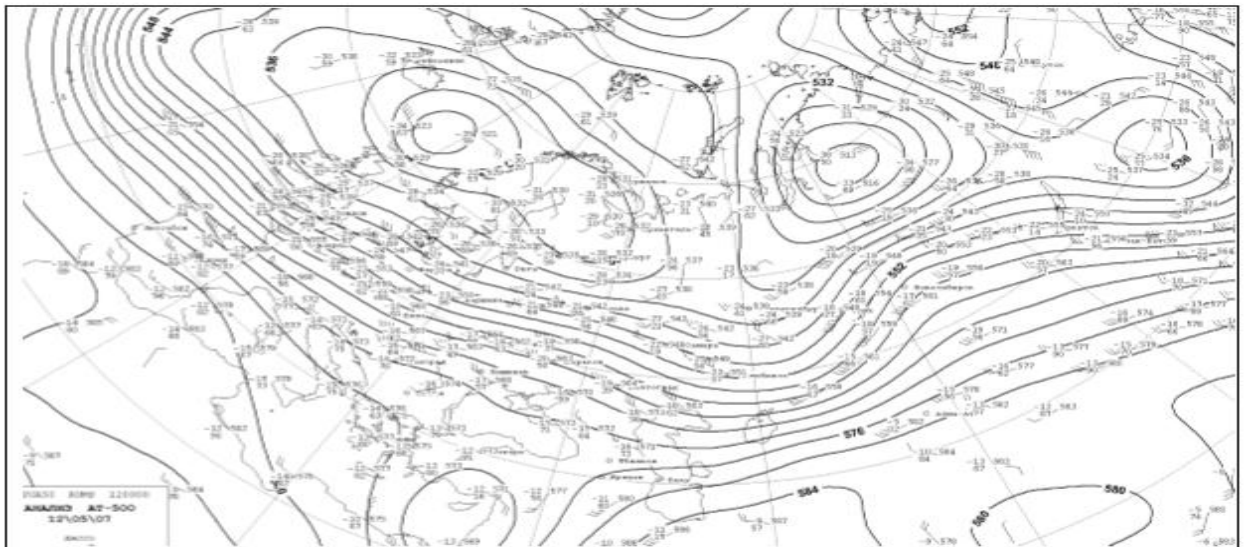


Рис. 3.2. Карта АТ-500 за 12.05. 2007 р., 00.00 UTC

2. Найбільш частий розвиток посух на Україні відбувається при порушенні зонального переносу в атмосфері, при так званих процесах блокування зонального потоку (до 70% посух). Процес блокування полягає в тому, що антициклони або гребені, перетворюючись на високі баричні утворення, стають малорухомими, а західний потік набуває меридіональної складової. Цей процес розвивається в результаті виникнення інтенсивного східного потоку по південній периферії витягнутої в широтному напрямку смуги високого тиску. При сильному східному потоці переміщення гребенів відбувається в західному напрямку і перешкоджає рухові повітряних мас і баричних утворень у зворотному напрямку.



Рис. 3.3. Приземна карта погоди за 08.10.2005 р., 00.00 UTC

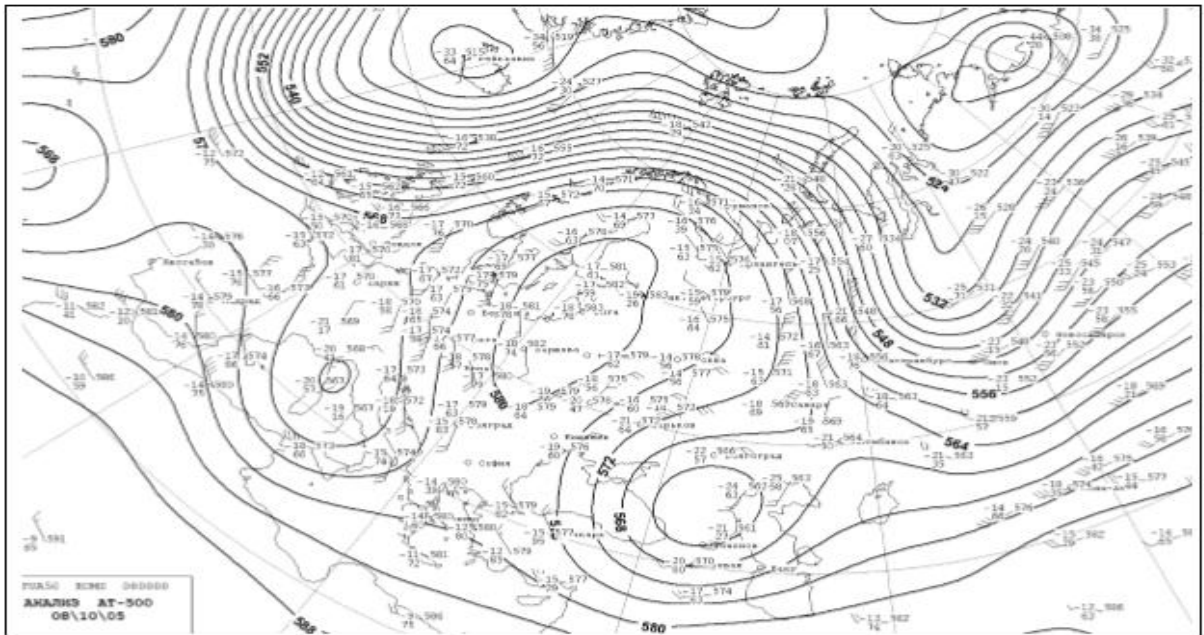


Рис. 3.4. Карта АТ-500 за 08.10.2005 р., 00.00 UTC

Рис. 3.3 – 3.4 демонструють випадок формування блокуючого процесу восени 2005 р., під дією якого виникла інтенсивна і тривала ґрунтова посуха.

Процеси блокування, що сприяють формуванню посух на Україні, мають кілька різновидів.

1. Блокування відбувається при стаціонуванні антициклону над центральними районами європейської території СНД (38% випадків). Тривалість таких процесів коливається від 4 до 7 днів і в середньому становить 5 днів. Район розміщення центрів малорухомих антициклонів знаходиться між 48 і 62 ° півн. ш. і 24 і 60 ° сх. д. На рівні АТ-500 над європейським сектором чітко окреслюється теплий гребінь високого тиску омегаподібної форми, спрямований уздовж меридіану. У ньому формується самостійне ядро, яке відповідає приземному антициклону.

2. До блокуючих меридіональних процесів відноситься переміщення антициклонів, сформованих в арктичному повітрі, з півночі на південь (23% випадків). Антициклони рухаються зі швидкістю 20 – 22 км·год⁻¹. У формуванні посушливих періодів на Україні беруть участь спочатку південні відроги антициклонів, а надалі їх центральні частини.

3. Процес опускання на європейську частину СНД гребеня антициклону, центр якого розміщується на північному заході цієї території (8%). При вказаних процесах над Чорним морем нерідко розташовується

неглибока депресія, в результаті чого біля поверхні землі виникають сильні східні і південно-східні вітри – суховії, що додатково висушує ґрунт. При тривалій посузі, більше одного-двох місяців, вказані процеси чергуються.

Посухи на Україні в 88% випадків формуються в холодному бідному вологою повітрі в результаті тривалої трансформації його в антициклонах. При входженні повітря з півночі трансформаційні зміни температури досягають 15 - 20 °С біля поверхні землі і 5 - 8 °С на рівні АТ-500. Абсолютні запаси вологи при цьому міняються мало. Відносна вологість біля поверхні землі за рахунок зростання температури зменшується на 30 - 40%. Оскільки в посушливі періоди вертикальні градієнти температури в шарі 0 - 3 км близькі до адіабатичних, то зміни температури при низхідних рухах в антициклонах невеликі, однак, при цьому відбувається значне висушення (зниження відносної вологості) повітря і ґрунту [6].

3.2 Аналіз синоптичних умов утворення повітряно-ґрунтової посухи у червні-серпні 2015 р.

Впродовж весни, літа і осені у 2015 р. в Україні спостерігалися посушливі явища різної інтенсивності та різного ступеню охоплення території країни.

Ранньовесняна ґрунтова посуха у верхніх шарах ґрунту (друга половина березня) у поєднанні із сильними вітрами на території Дніпропетровської, Донецької, Луганської та Запорізької областей зумовлювала виникнення пилових бур середньої інтенсивності. Створювалися несприятливі умови для сівби ранніх ярових культур.

Літня повітряно-ґрунтова посуха (червень - серпень) на всій території країни негативно вплинула на урожайність пізніх сільськогосподарських культур - кукурудзи, цукрового буряка, сої, соняшника, круп'яних культур, картоплі, льону і призвела до зменшення їхньої врожайності в усіх областях України.

Осішня повітряно-ґрунтова посуха (вересень - жовтень) на більшій частині території, за винятком західних і північних областей, призвела до

майже повного висушування верхніх шарів ґрунту, внаслідок чого унеможливлувалася сівба озимих культур під урожай наступного року в оптимальні строки.

Осіня повітряно-ґрунтова посуха (вересень – листопад) у Полтавській, Дніпропетровській, Харківській, більшості районів Запорізької, Херсонської і Миколаївської областей призвела до надзвичайної затримки масової сівби озимих культур під урожай наступного року, стримувалася поява сходів, на значних площах цих областей сходи озимих до кінця осені не з'явилися.

Як приклад розглянемо атмосферно-ґрунтову посуху, яка за даними Центральної геофізичної обсерваторії (ЦГО), спостерігалася влітку, в червні-серпні 2015 року, практично на всій території України, а особливо в її південних областях.

У червні середня місячна температура була на 1-3° вищою за норму на всій території України, за виключенням Карпат (рис. 3.5). Максимальна температура становила 30-35° (рис. 3.6), у західних, Вінницькій, більшості районів Одеської та північних областей опадів випало в основному 21-79%, місцями 4-20% від норми.

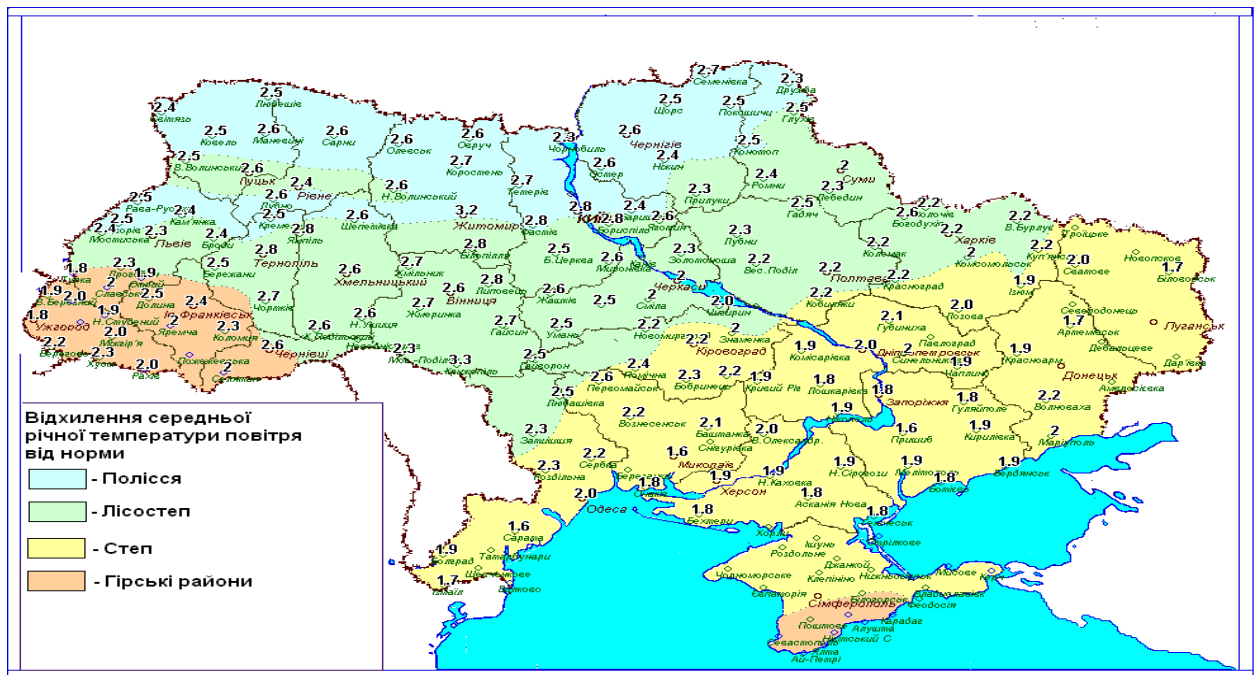


Рис.3.5.Відхилення середньорічної температури повітря від норми 2015 р[29].

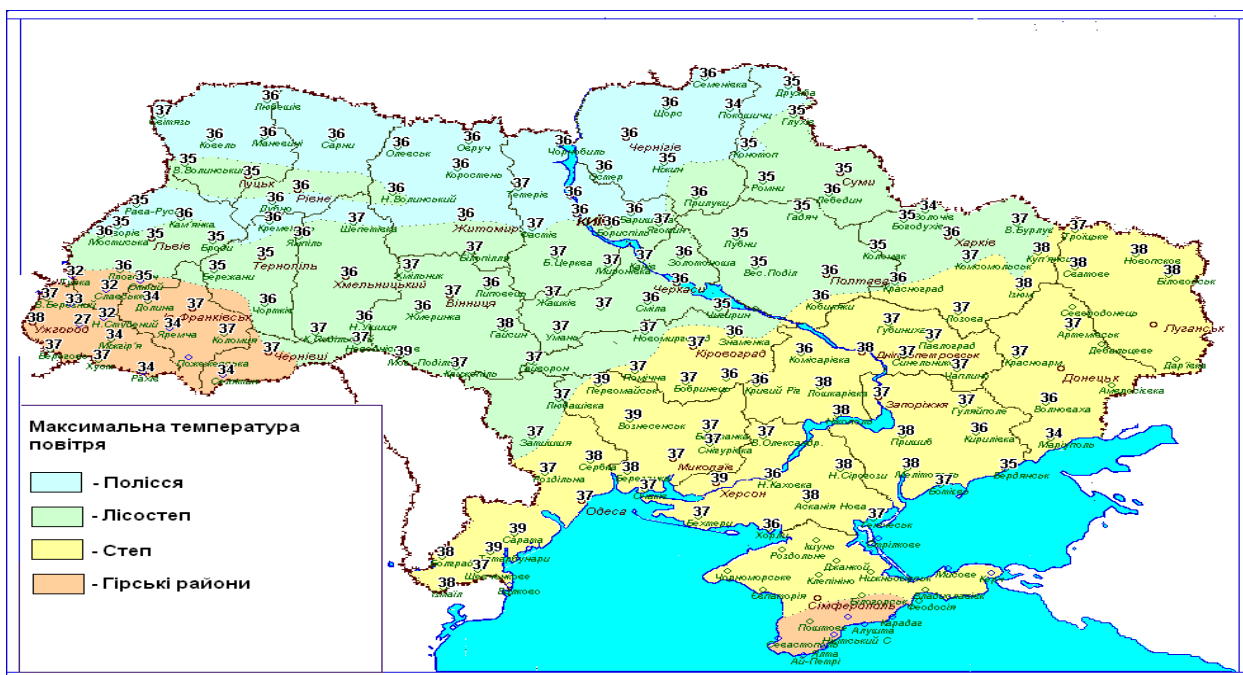


Рис. 3.6. Максимальна температура повітря на території України. 2015 р. [29].

У першій і другій декадах місяця переважав широтний перенос повітряних мас. З 5-13 червня антициклон із заходу визначав жарку суху погоду (рис. 3.7-3.8). 11-16 червня в Україні (15-16 червня крім західних областей), 17-21 червня у більшості районів Київської, 17-18 червня і Чернігівської, Сумської, Дніпропетровської та східних областей утримувалася надзвичайна пожежна небезпека.

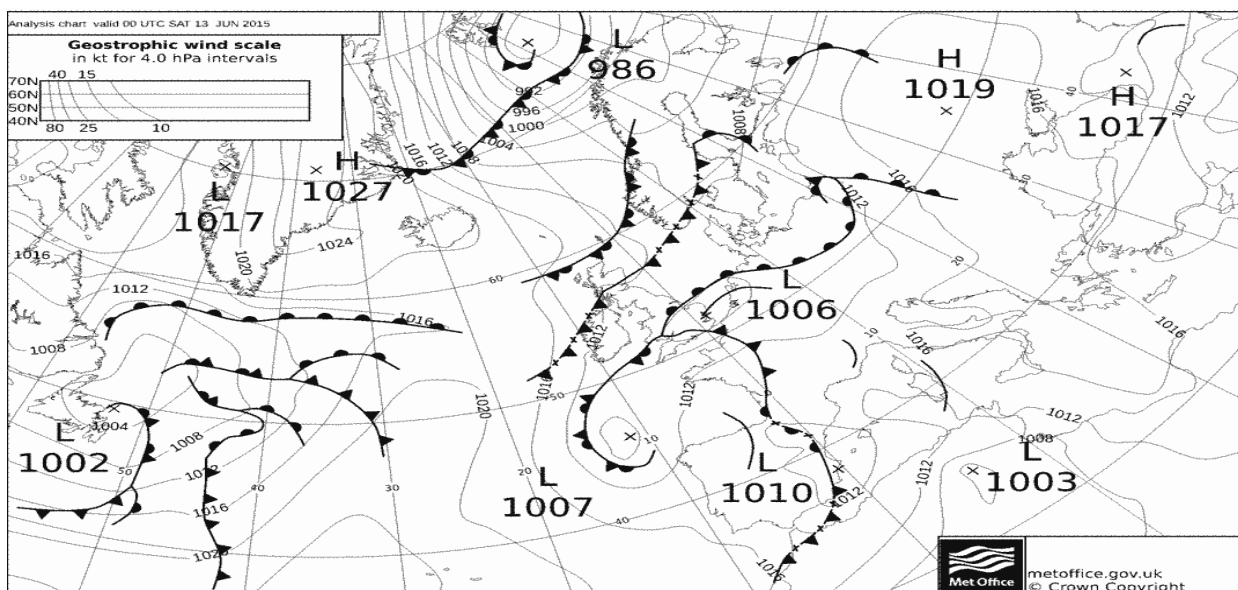


Рис. 3.7. Приземна карта. 13.06.2015 р. [28].

Init : Sat,13JUN2015 00Z Valid: Sat,13JUN2015 00Z
 500 hPa Geopot.(gpm), T (C) und Bodendr. (hPa)

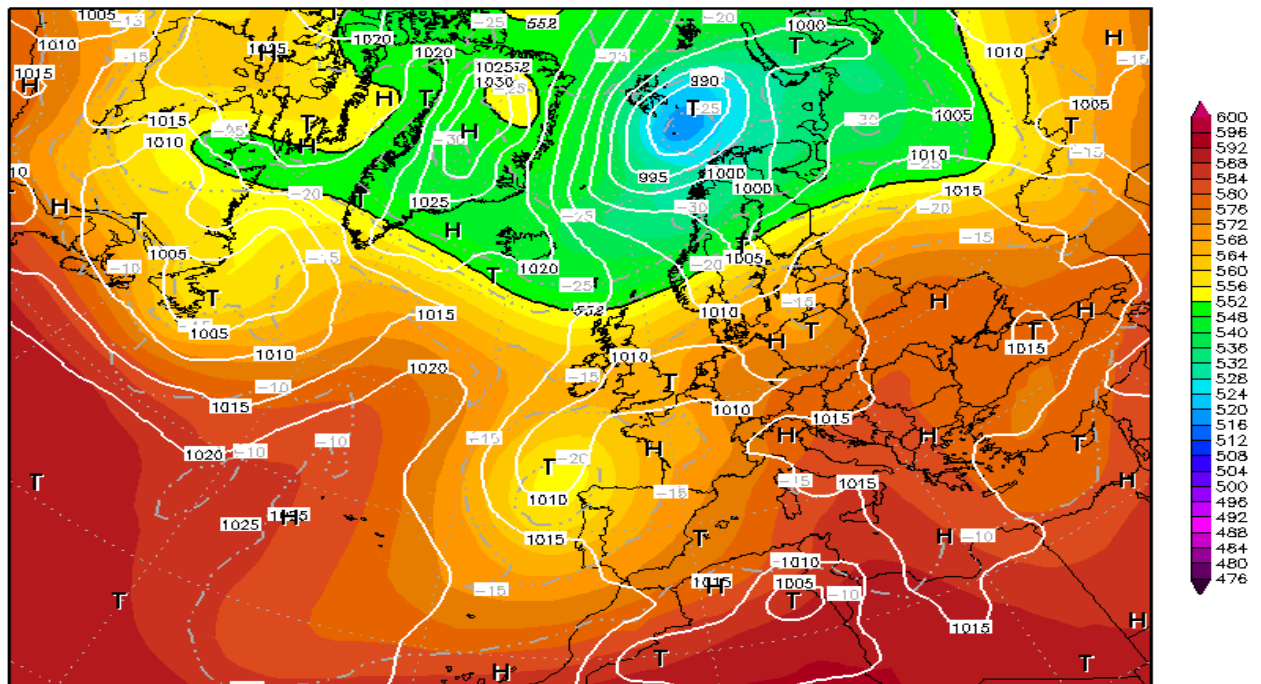


Рис. 3.8. Карта ВТ 500/1000. 13.06. 2015 р. [28].

Липень відзначався коливанням температури з переважанням спеки і нерівномірним розподілом опадів при загальному їх дефіциті. Середня місячна температура була на 1-3° вищою за норму. Максимальна температура становила 35-38°, у більшості районів Черкаської, Полтавської, Сумської, місцями в західних, Кіровоградській, Житомирській, Чернігівській області та в Приазов'ї 33-34°, на високогір'ї Карпат 24°. Опадів випало в основному 30-70% від норми, місцями в Закарпатській, Івано-Франківській, Хмельницькій, Вінницькій, Чернігівській, Запорізькій області 13-28% від норми.

У липні циркуляційний поле, що визначало погоду на Україні, було досить мінливим. Так, 6-8 липня малоактивні фронти в полі підвищеного тиску зумовлювали окремі короточасні дощі на Закарпатті, Прикарпатті, у південній та східній частинах. 9-21 липня над Україною чергувалися атмосферні фронти й баричні гребені з північного заходу та заходу. 22-25 липня баричні гребені азорського походження зумовлювали жарку суху погоду. Всі регіони України знаходилися під впливом теплої повітряної маси, яка поширювалася на всю територію країни і Центральну Росію (рис. 3.9-3.10).

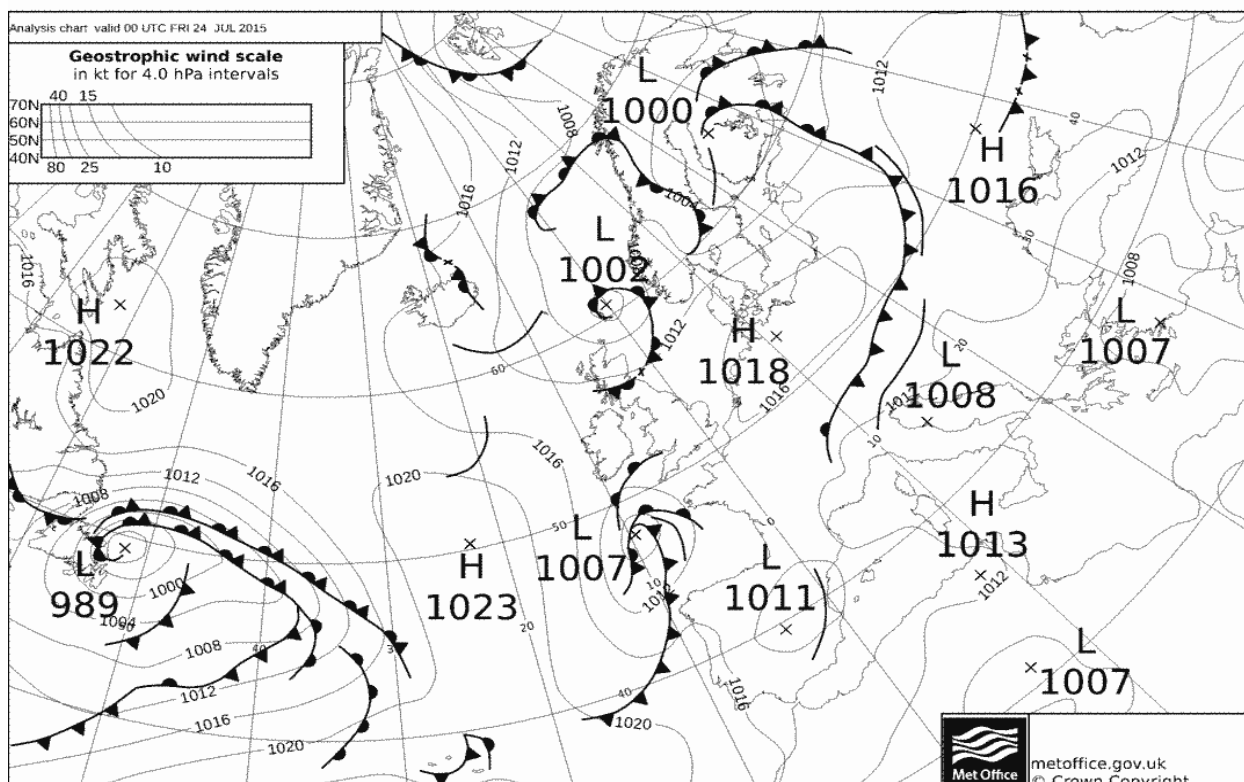


Рис. 3.9. Приземна карта. 24.07.2015 р. [28].

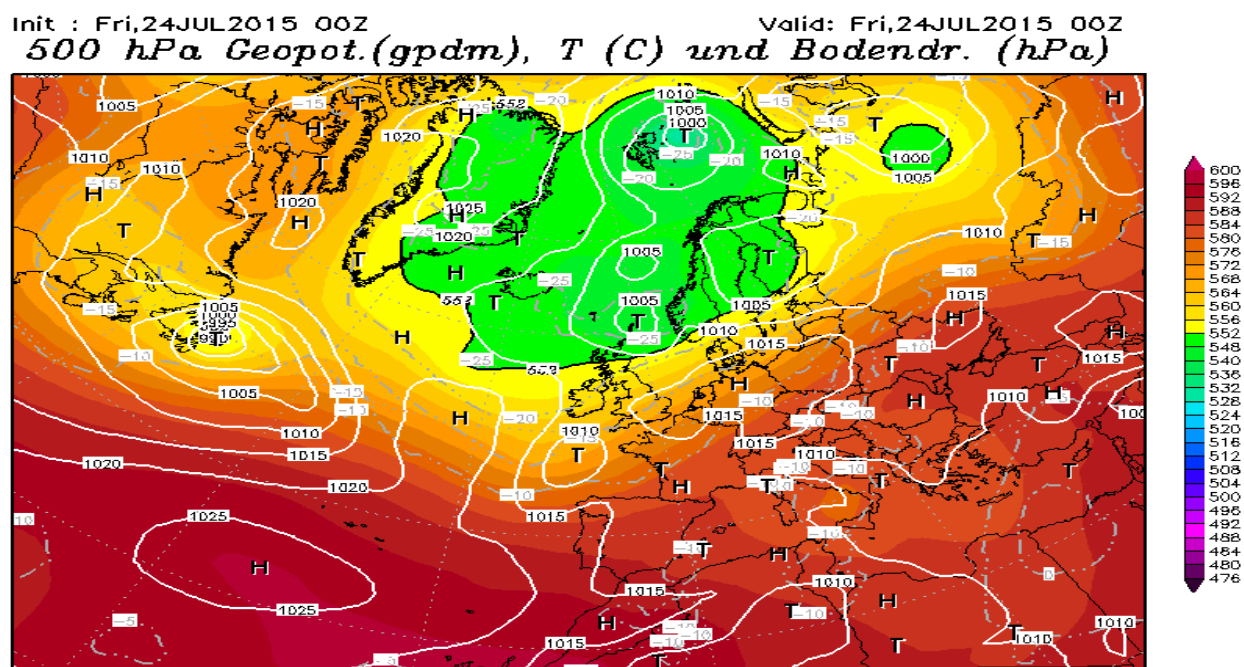


Рис. 3.10. Карта ВТ 500/1000. 24.07.2015 р. [28].

Надзвичайна пожежна небезпека відмічалася протягом 5-15 липня у Вінницькій, в окремі дні цього періоду й у Волинській, Закарпатській,

Чернівецькій та Київській областях, 24-27 липня в Чернівецькій, Хмельницькій, Вінницькій, Черкаській, 24-31 липня у південних, Донецькій, Луганській і Дніпропетровській областях.

Серпень виявився аномально теплим та посушливим. Середня місячна температура була вищою за норму на 1-5°. Максимальна температура становила 32-37°, у південних, Дніпропетровській, Вінницькій та Закарпатській областях до 39°, на високогір'ї Карпат 25-27°. Майже вся територія України опинилася в посушливій зоні, де випало в основному 0,4-28% від місячної норми опадів. У більшості районів північних, західних (крім Закарпаття та Карпат) і Вінницької областей, Гадячі та Лубнах (Полтавської), Гайвороні (Кіровоградської), Первомайську (Миколаївської), Великому Бурлуці та Золочеві (Харківської) цей серпень став найпосушливішим за весь період спостережень.

Впродовж місяця переважав антициклоніальний характер погоди. Баричне поле представлене або центральною частиною антициклону, або гребенями, орієнтованими із заходу, сходу чи півночі. В окремі дні спостерігалось проходження атмосферних фронтів, яке, однак, не приводило до достатнього насичення вологозапасів ґрунту. Середню тропосферу займала суха тропічна повітряна маса, з високими значеннями дефіциту вологості (рис. 3.11-3.12).

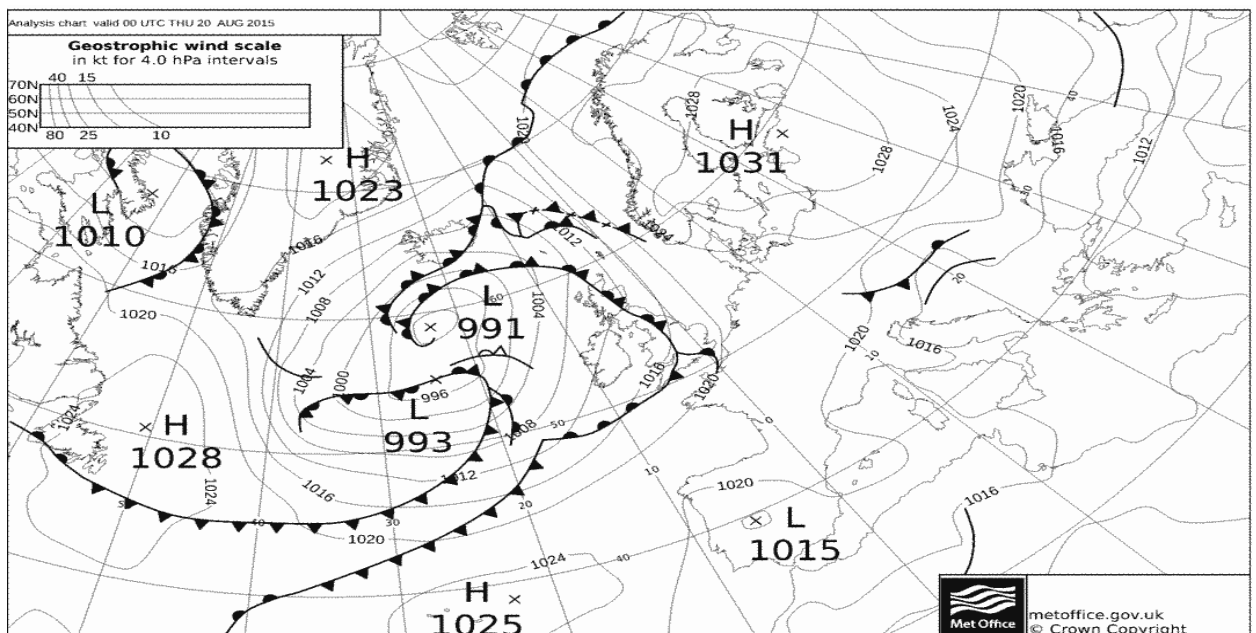


Рис. 3.11. Приземна карта. 25.08.2015 р. [28].

Init : Tue,25AUG2015 00Z Valid: Tue,25AUG2015 00Z
 500 hPa Geopot.(gpm), T (C) und Bodendr. (hPa)

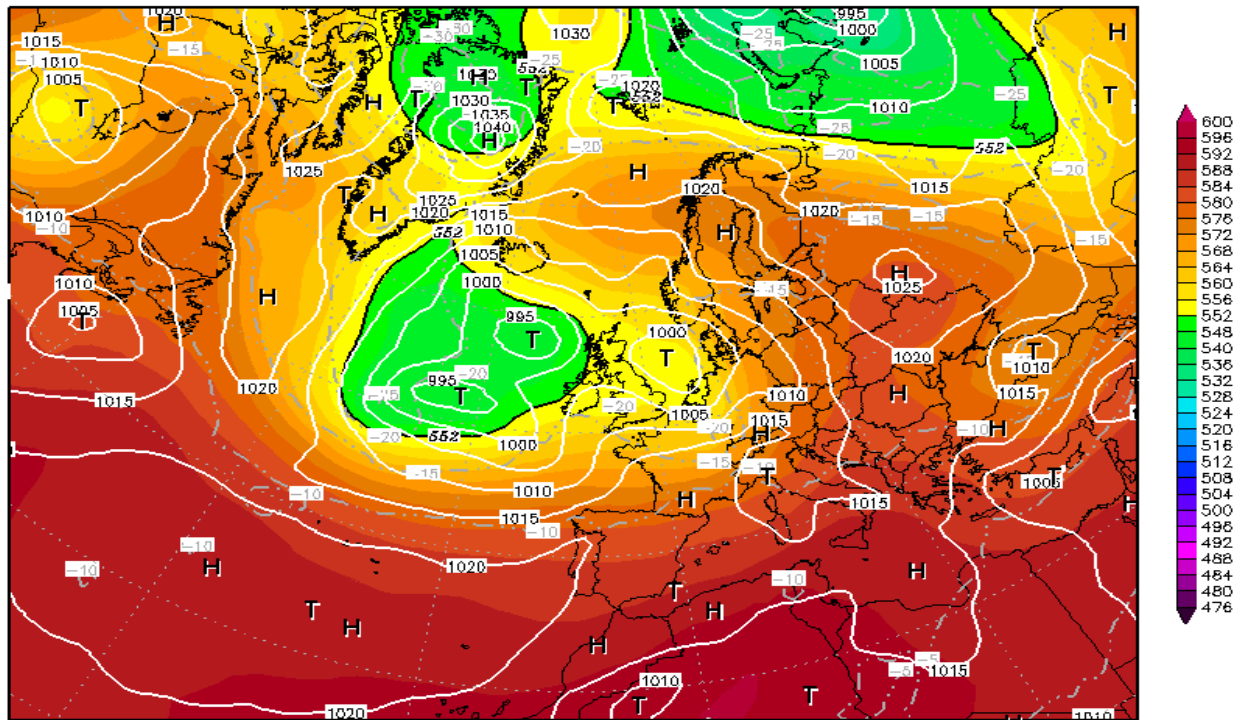


Рис. 3.12. Карта ВТ 500/1000. 25.08.2015 р. [28].

Дані о діфіциті вологості та тривалому періоді високих температур, які спостерігалися протягом всіх трьох літніх місяців на території України, добре корелюються з даними реаналіза американського центру дослідження атмосфери і океану (NOAA) [27]. Середньомісячна температура повітря (рис.3.13) становила 25-26 °С протягом всього літнього сезону. За даними реаналіза, в червні середнє значення кількості опадів на добу становило від 1 мм/добу на півдні країни до 2 мм/добу на півночі (рис. 3.14). У липні та серпні кількість опадів коливалася у діапазоні 0,5-1 мм/добу. Такі умови режиму зволоження є достатніми для формування стійких посушливих періодів, коли атмосферна посуха сприяє виникненню ґрунтової посухи, що також підтверджується модельними даними (рис. 3.15-3.17).

За даними карт реаналіза NCEP/NCAR зволоження приземного шару ґрунту (в долях) на території України коливалось в червні від 0,27 на півночі країни до 0,20 на півдні.

В липні місяці цей показник змінювався з 0,24 до 0,15, що показує динаміку наростання несприятливих метеорологічних умов, при яких формуються посушливі явища.

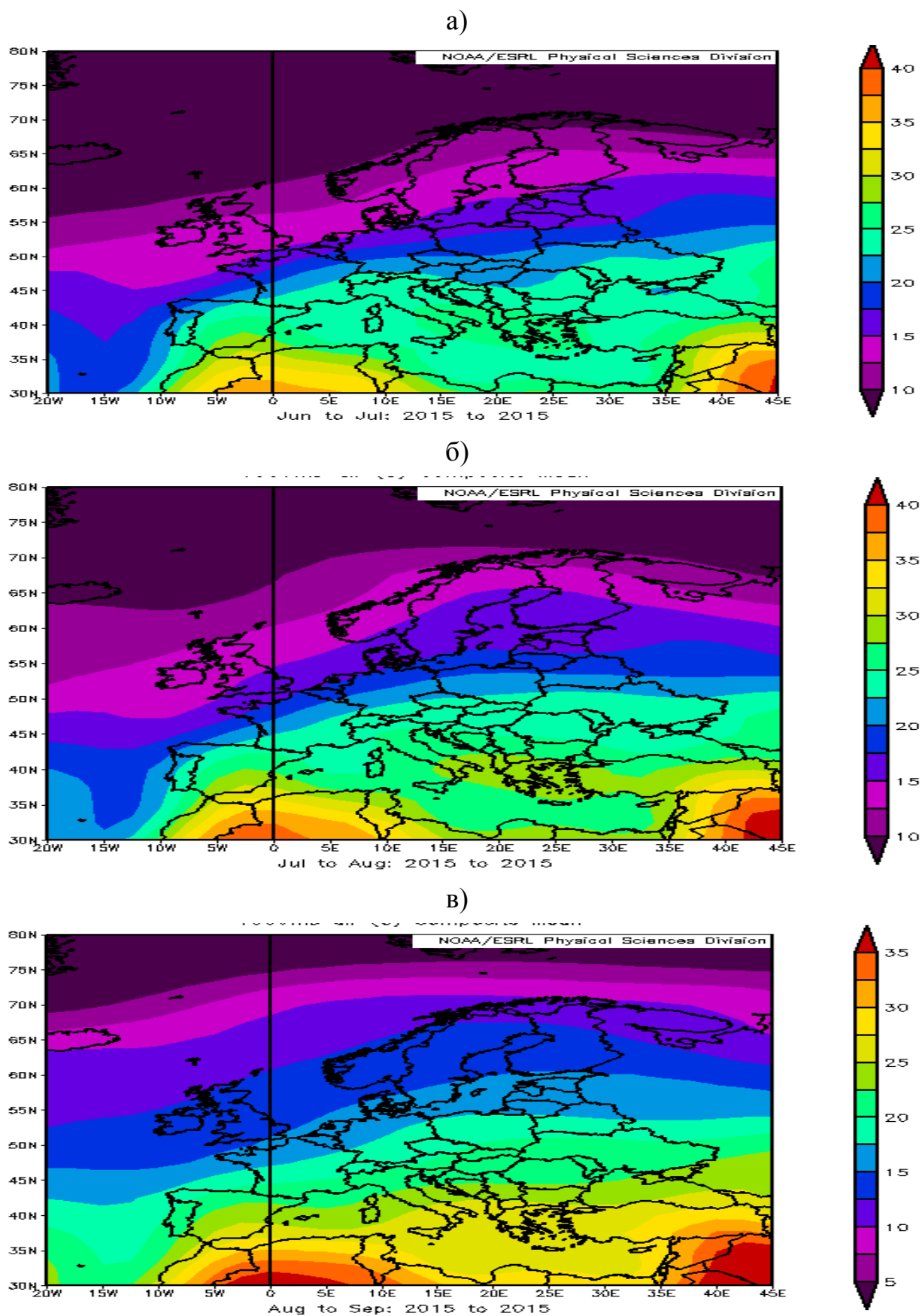


Рис. 3.13 Середньомісячна температура повітря. а) червень, б) липень, в) серпень. 2015 р. [27].

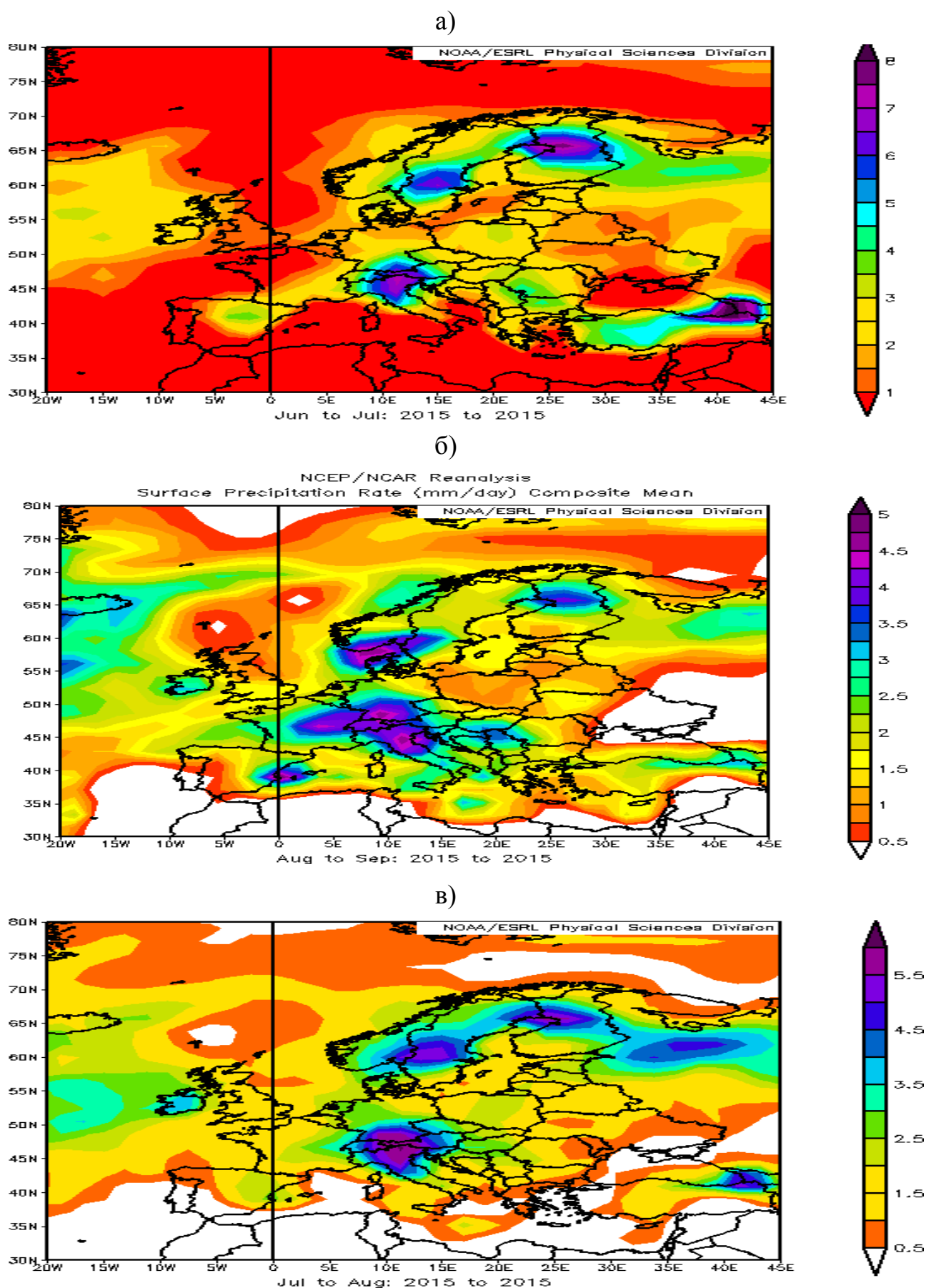


Рис. 3.14. Середньомісячна кількість опадів. а) червень, б) липень, в) серпень. 2015 р. [27].

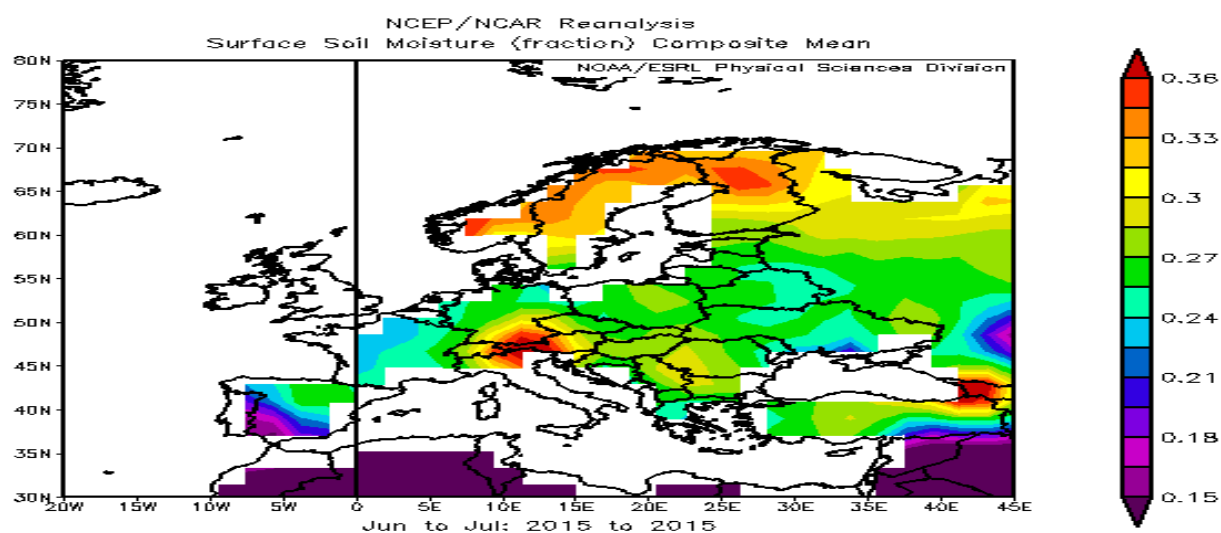


Рис. 3.15. Середні значення вмісту вологи ґрунту. Червень. 2015 р. [27].

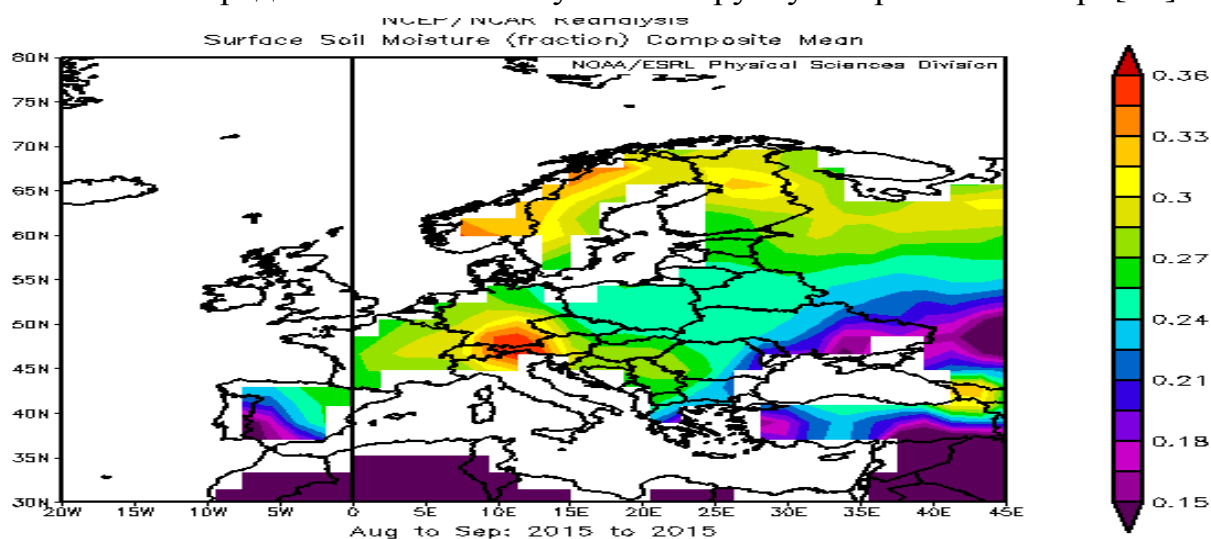


Рис. 3.16. Середні значення вмісту вологи ґрунту. Липень. 2015 р. [27].

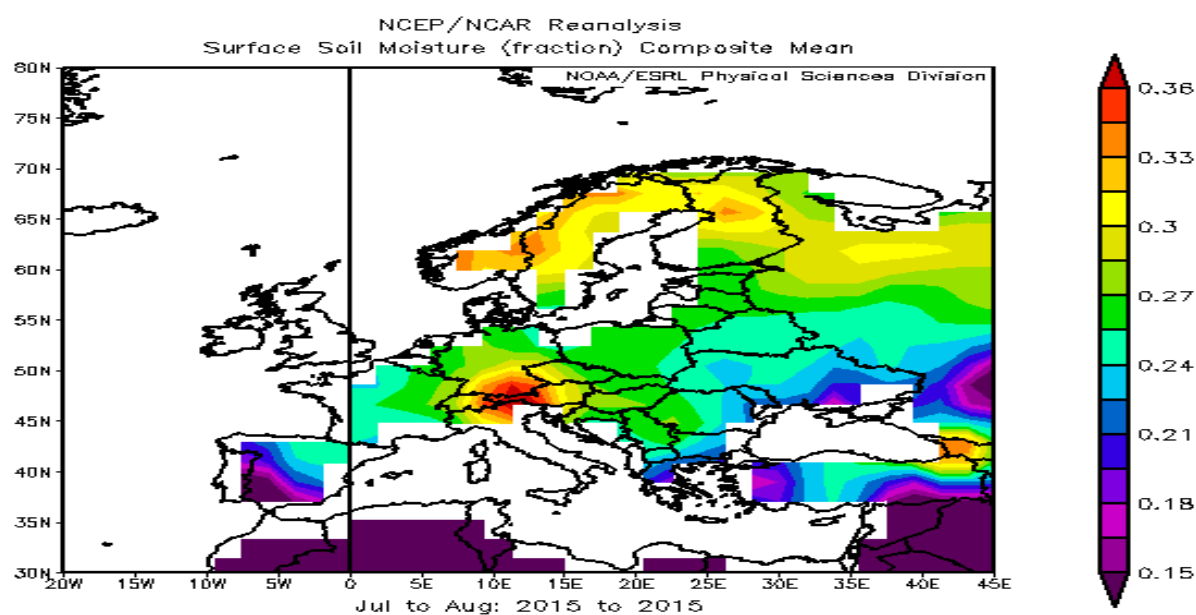


Рис. 3.17. Середні значення вмісту вологи ґрунту. Серпень. 2015 р. [27].

У серпні, за даними американського центру (NOAA) [27]. у серпні, найбільший дефіцит вологи в ґрунті спостерігався в південних регіонах, а саме, в Одеській, Миколаївській та Херсонській областях.

9-31 серпня у більшості західних, північних і південних областей, 9-14 та 27-31 серпня по всій території країни, крім Карпат, відмічалася надзвичайна пожежна небезпека.

В наслідок тривалої дії атмосферної посухи, та недостатнього зволоження ґрунту у 2015 р. сформувалася також гідрологічна посуха (маловоддя). Виникнення такої ситуації було зумовлено синоптичними процесами, а саме антициклональним баричним полем, що формували підвищений температурний фон упродовж усього року, особливо теплого періоду, дефіциту опадів на більшій частині території та нехарактерний їх просторовий розподіл.

Наявність тривалої посухи в у квітні-серпні 2015 р. на території півдня України підтверджується і розрахунками швидкості зміни індексу VCI і його аномаліями розглянутими в попередньому розділі (рис. 2.4-2.5).

ВИСНОВКИ

В процесі виконання магістерської роботи одержані такі результати:

1. Використання супутникової інформації для дослідженні стану підстильної поверхні та рослинного покриву за допомогою вегетаційних індексів, з метою виявлення посушливих періодів, є одним з найбільш перспективних напрямків моніторингу в сучасній метеорології.

2. Найменші значення індексу умов вегетації відзначалися у квітні по всіх областях. Максимальні значення VCI спостерігалися також на весні, в квітні-травні і досягали 93-95%.

3. Діапазон середніх значень індексу VCI на території Північно-Західного Причорномор'я у період 1985-2017 рр. становив 47-61 %, що відповідає помірним умовам вегетації. При цьому мінімальні середні показники VCI відзначалися в Херсонській області.

4. Аналіз розподілу середньомісячних значень вегетаційного індексу VCI по території трьох південних областей України відображає наростання посушливості із заходу на схід.

5. У сезонному ході починаючи з березня, відбувається швидке наростання значень вегетаційного індексу, яке уповільнюється в травні, а в червні, в більшості областей, за винятком Херсонській області, спостерігається максимум. На Херсонщині максимум VCI відзначається на місяць раніше, а саме в травні.

6. Визначено, що в Миколаївській і Херсонській областях швидкість зміни вегетаційного індексу зменшувалася до негативних значень ранньою весною, що вказує на можливість виникнення ранніх засух і з кінця травня до середини липня. Найбільш сприятливі умови для вегетації відзначалися в травні. В Одеській області позитивні значення швидкості зміни VCI спостерігалися з квітня по червень, а в наступні два місяці формувалися несприятливі умови для вегетації рослин.

7. Узагальнюючи особливості просторово-часового розподілу індексу вегетаційних умов на території Південно-Західної України, які були визначені для виявлення посушливих періодів на досліджуваній території, можна зробити висновок, що у всіх трьох областях спостерігалися

короткочасні весняні посухи і тривалі літні посухи. Такий розподіл є характерним для зони Степу. Мінімальних значень індекс VCI досягав у Херсонській області, що характеризує його, як найбільш посушливим не тільки на півдні, але й на всій території України.

8. В наслідок тривалої дії атмосферної посухи, та недостатнього зволоження ґрунту у червні – серпні 2015 р. на території Південно-Західної України сформувалася гідрологічна посуха (маловоддя). Виникнення такої ситуації було зумовлено антициклональним баричним полем, що формувало підвищений температурний фон у продовж усього теплого періоду, дефіциту опадів на більшій частині території та нехарактерний їх просторовий розподіл. Наявність тривалої посухи в у квітні-серпні 2015 р. на території півдня України підтверджується і розрахунками швидкості зміни індексу VCI та його аномаліями.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Вегетаційні індекси [Електронний ресурс]: GIS-Lab/Режим доступу: <http://gis-lab.info/qa/vi.html>
2. Гребень А.С. Анализ основных методик прогнозирования урожайности с помощью данных космического мониторинга, применительно к зерновым культурам степной зоны Украины / А.С. Гребень, И.Г. Красовская // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. 2012. № 2 (54). С. 170-180.
3. Дубин М. NDVI – теория и практика / М. Дубин. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://gis-lab.info/qa/ndvi.html>
4. Золотокрылин А. Н., Виноградова В. В. Динамика засухи на Юго-востоке Европейской России в конце XX – начале XXI веков по спутниковым данным //Институт глобального климата и экологии Росгидромета и РАН. Москва. 2010. С. 128-136.
5. Ефимов В.А., Ивус Г.П., Нажмудинова Е.Н. К вопросу о формировании весенних засух на территории Украины // Метеорологія, кліматологія та гідрологія. 2008. Вип. 50. Ч. 1. С. 64-69
6. Ивус Г.П. Спеціалізовані прогнози погоди: Підручник./ Одеськ. Держ. Екологічний Університет. Одеса: ТЕС. 2012. 407с.
7. Калинин Н.А. Технология комплексной оценки фитомассы сельскохозяйственных культур по данным дистанционного зондирования Земли / Н.А. Калинин, С.В. Пьянков, Е.М. Связов, А.А. Смирнова // Вестник Удмуртского университета. Сер. Биология. Науки о Земле. 2010. Вып. 4. С. 11-18.
8. Кобышева Н. В., Наровлянский Г. Я. Климатическая обработка метеорологической информации. Л.: Гидрометеиздат. 1978. 296 с.
9. Кохан С.С., Востоков А.Б. Дистанційне зондування Землі: теоретичні основи: [підручник] / Київ: Вища школа. 2009. 511 с.
10. Лялько В.І. Заключний звіт про науково-дослідну роботу «Методи дистанційного оцінювання біофізичних параметрів лісових рослинних угруповань та агрофітоценозів в межах різних ландшафтно -кліматичних зон території України» / В.І. Лялько. Київ: ЦАКДЗ. 2016. 137 с.

11. Семенова І.Г. Використання вегетаційних індексів для моніторингу посух в Україні / І.Г. Семенова // Український гідрометеорологічний журнал. 2014. Вип. 14. С. 43-52.
12. Сайт Допомоги програми ENVI Вегетаційні індекси: [Електронний ресурс]. – Режим доступу:
http://geol.hu/data/online_help/Understanding_Vegetation_and_Its_Reflectance_Properties.html
13. Тараріко О.Г., Сиротенко О.В., Ільєнко Т.В., Величко В.А. Космічний моніторинг посушливих явищ // Вісник аграрної науки. 2012. № 10. С.16-20.
14. Хлебникова Е.И., Павлова Т.В., Сперанская Н.А. Методы оценки последствий изменения климата для физических и биологических систем / Под ред. С.М. Семенова. М.: Росгидромет. НИЦ “Планета”. 2012. С. 126-164.
15. Хохлов В.Н. Пространственно-временное распределение засух на территории Украины в условиях изменения климата. // Український гідрометеорологічний журнал. 2011. №. 8. С. 38-43.
16. Школьний Є.П. Обробка та аналіз гідрометеорологічної інформації: підручник / Є.П. Школьний, І.Д. Лосєва, Л.Д. Гончарова; під ред. Є.П. Школьного. Одеса : Міносвіти України. 1999. 600 с.
17. Biewer S., Erasmi S., Fricke T., Wachendorf M. Prediction of yield and the contribution of legumes in legume-grass mixtures using field spectrometry // Precision Agriculture. 2009. Vol. 10. № 2. P. 128-144.
18. Dash J., Curran P.J. The MERIS terrestrial chlorophyll index // Int. Journal of Remote Sensing. 2004. Vol. 25. P. 5403-5413.
19. Eitel J.U.H., Long D.S., Gessler P.E., Smith A.M.S. Using in-situ measurements to evaluate the new Rapid Eye satellite series for prediction of wheat nitrogen status // Int. Journal of Remote Sensing. 2007. Vol. 28. № 18. P. 4183 - 4190.
20. Gitelson A., Merzlyak M.N. Spectral reflectance changes associated with autumn senescence of *Aesculus hippocastanum* L. and *Acer platanoides* L. leaves. Spectral features and relation to chlorophyll estimation / Journal of Plant Physiology. 1994. Vol. 143. P. 286-292.
21. Horler D.N.H., Dockray M., Barber J. The red edge of plant leaf reflectance // Int. Journal of Remote Sensing. 1983. Vol. 4. P. 273-288.

22. Jason A. Otkin, Mark Svoboda, Eric D. Hunt, Trent W. Ford, Martha C. Anderson, Christopher Hain, and Jeffrey B. Basara. Flash droughts: A Review and Assessment of the Challenges Imposed by Rapid-Onset Droughts in the United States // BAMS. May 2018. P. 911-918.
23. Kogan F.N. Vegetation index for areal analysis of crop conditions / Proc. 18th Conf. Agricultural and Forest Meteorology. West Lafayette, IN. Amer. Meteor. Soc. 1987. pp. 103-107.
24. Lui W.T., Kogan F.N. Monitoring regional drought using the vegetation condition index. Int. Journal of Remote Sensing. 1996. 17. pp. 2761–2782.
25. Otkin, J. A., M. C. Anderson, C. Hain, I. Mladenova, J. Basara, and M. Svoboda, 2013: Examining flash drought development using the thermal infrared based evaporative stress index. J. Hydrometeorol.. 14. 1057–1074. <https://doi.org/10.1175/JHM-D-12-0144.1>
26. Press Release No. 872. Experts agree on a universal drought index to cope with climate risks. Geneva: WMO. 2009.
27. <https://www.esrl.noaa.gov/psd/cgi-bin/data/composites/printpage.pl>
28. <https://www.wetterzentrale.de/reanalysis.php?uur=0000&var=1&nmaps=24&map=1&model=avn&jaar=2015&maand=08&dag=>
29. <http://www.cgo.org.ua>
30. http://www.star.nesdis.noaa.gov/smcd/emb/vci/VH/vh_browseByCountry_province.php?country_code=UKR&province_id=17&year1=2015&year2=2016

Додаток А

кафедри метеорології та кліматології
на магістерську роботу студентки гр. МЗМ-18
факультету ГМІ ОДЕКУ
Попової Дарини Вікторівни

Тема магістерської роботи

«Сезонна мінливість супутникового вегетаційного індексу на півдні України»

Кваліфікаційна магістерська робота виконана в у рамках науково-дослідних робіт «Прогнозування небезпечних метеорологічних явищ над південними районами України» (2015-2019 рр.) ДР № 0115U006532).

в. о. зав. кафедрою
метеорології та кліматології

доц. Прокоф'єв О. М.

Додаток Б

Швидкість зміни індексу VCI в Херсонській області

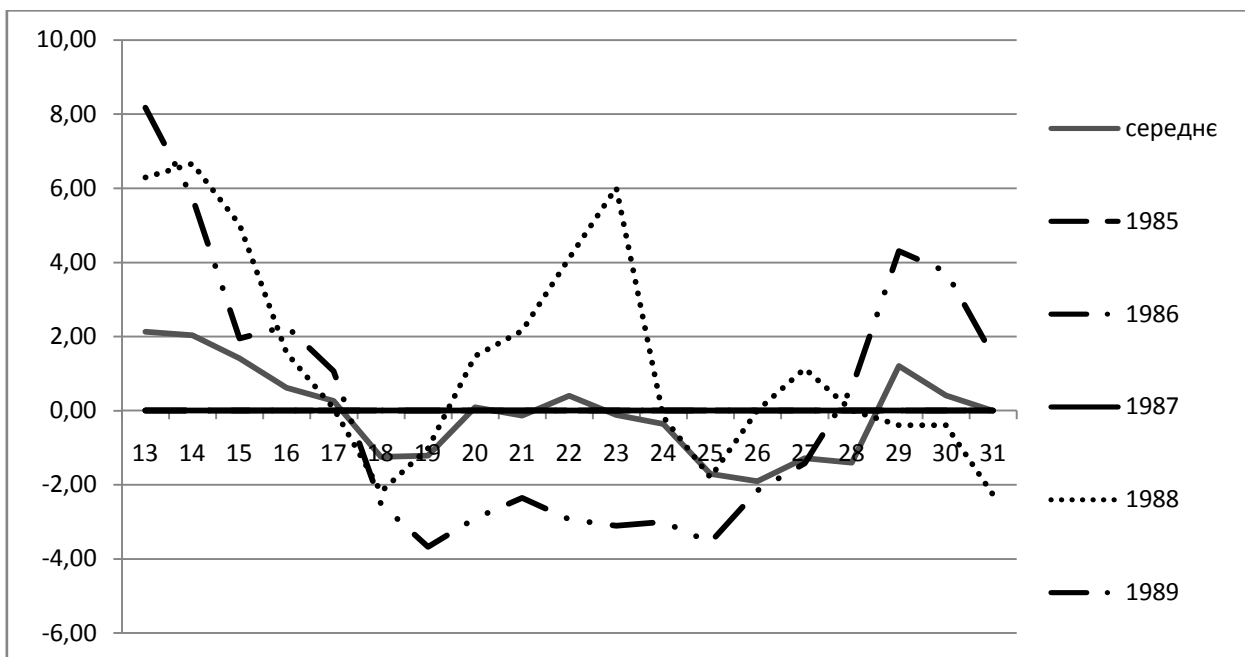


Рис.Б.1. Швидкість зміни індексу VCI за період 1985-1989 рр.

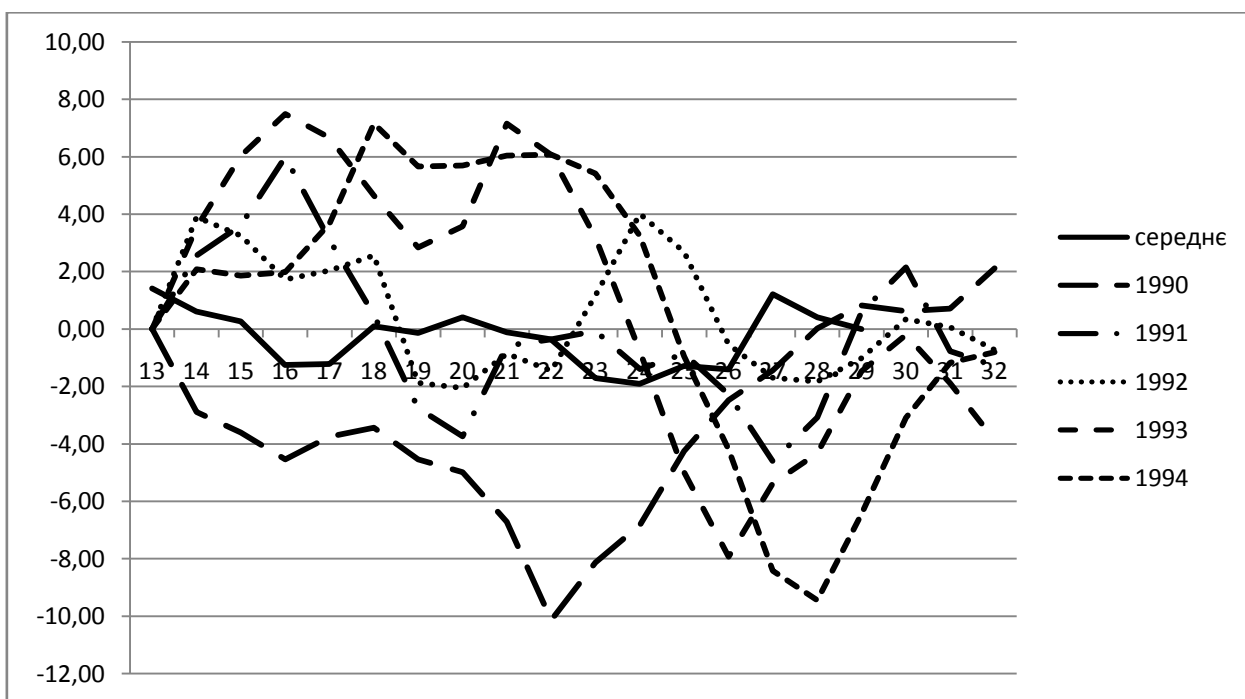


Рис.Б.2. Швидкість зміни індексу VCI за період 1990-1994 рр.

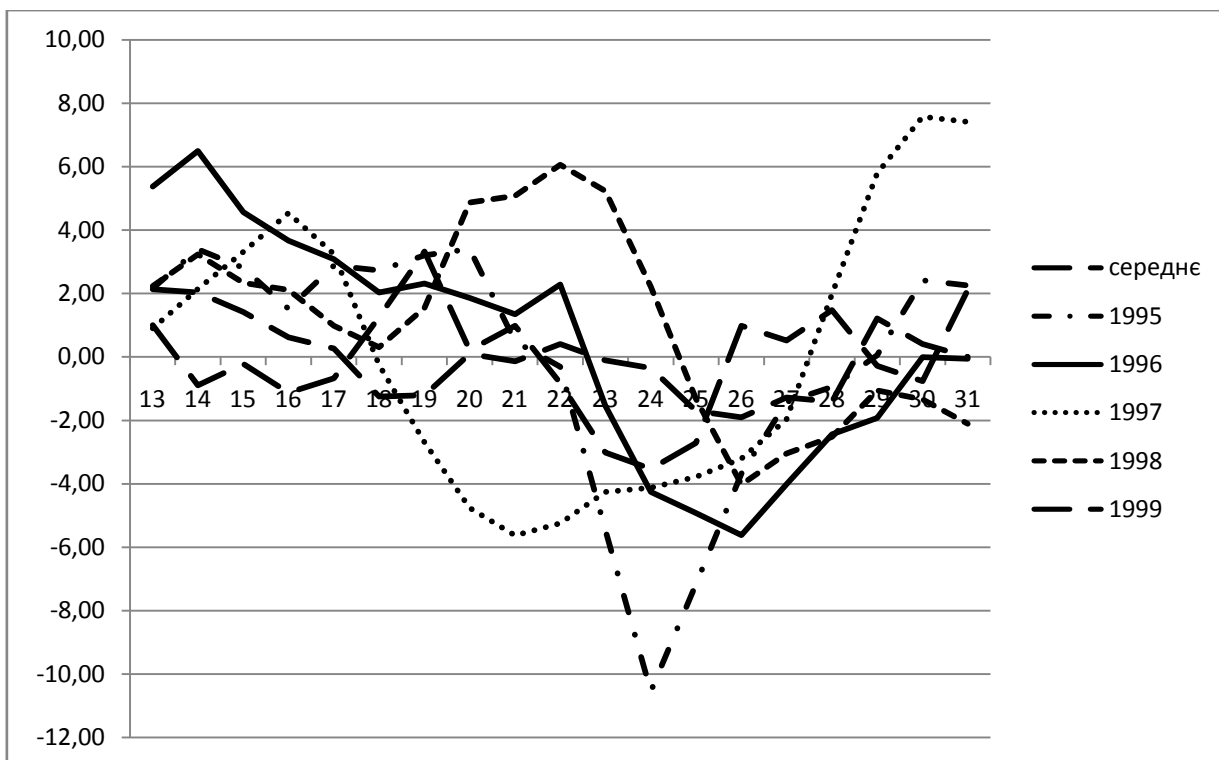


Рис.Б.3. Швидкість зміни індексу VCI за період 1995-1999 рр.

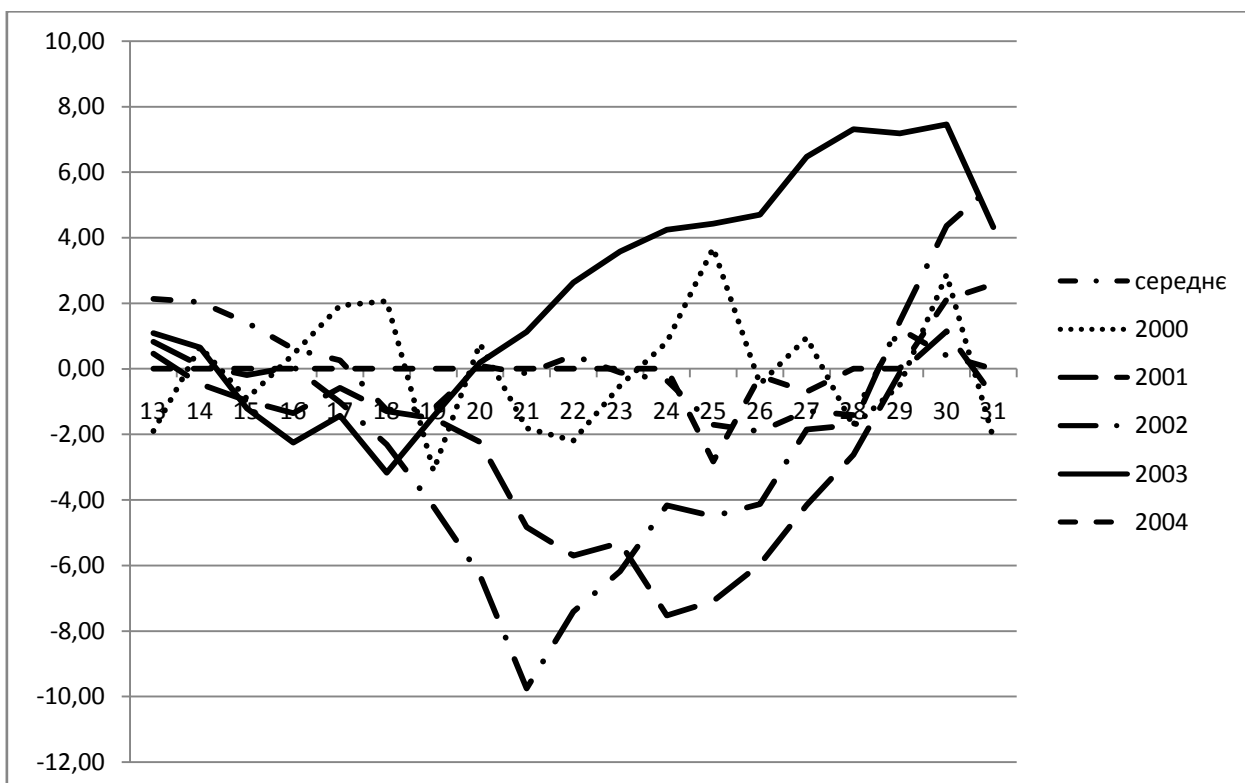


Рис.Б.4. Швидкість зміни індексу VCI за період 2000-2004 рр.

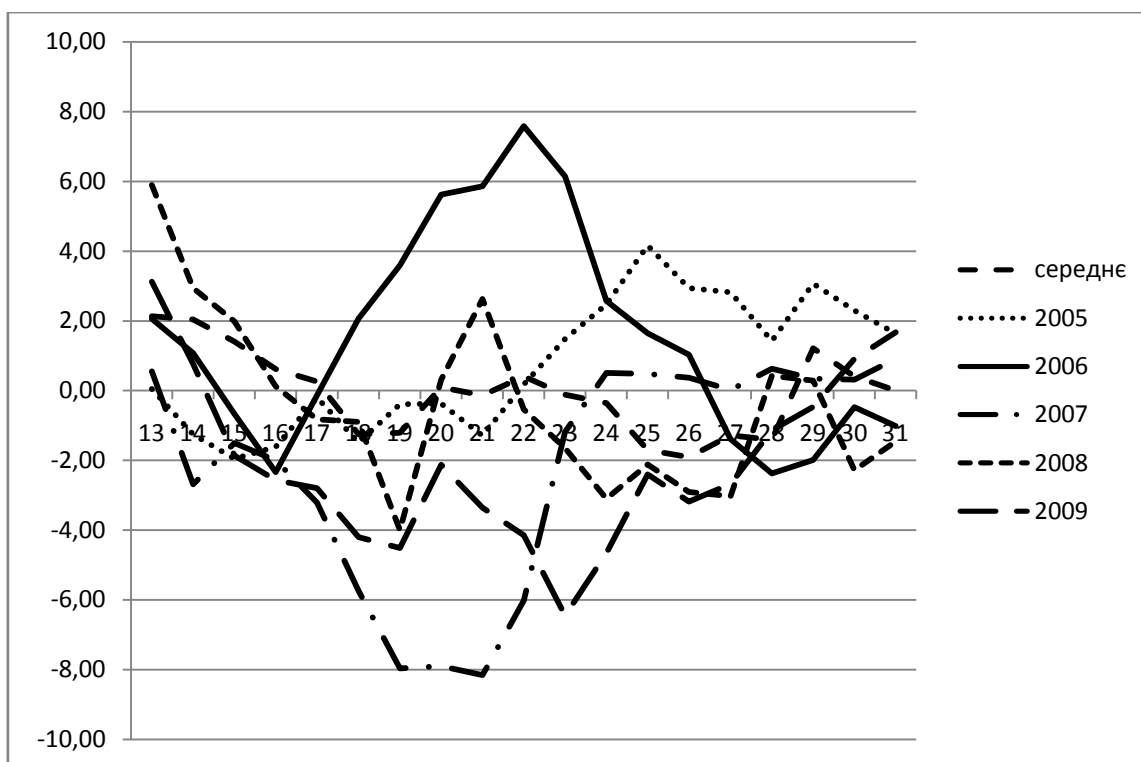


Рис.Б.5. Швидкість зміни індексу VCI за період 2005-2009 рр.

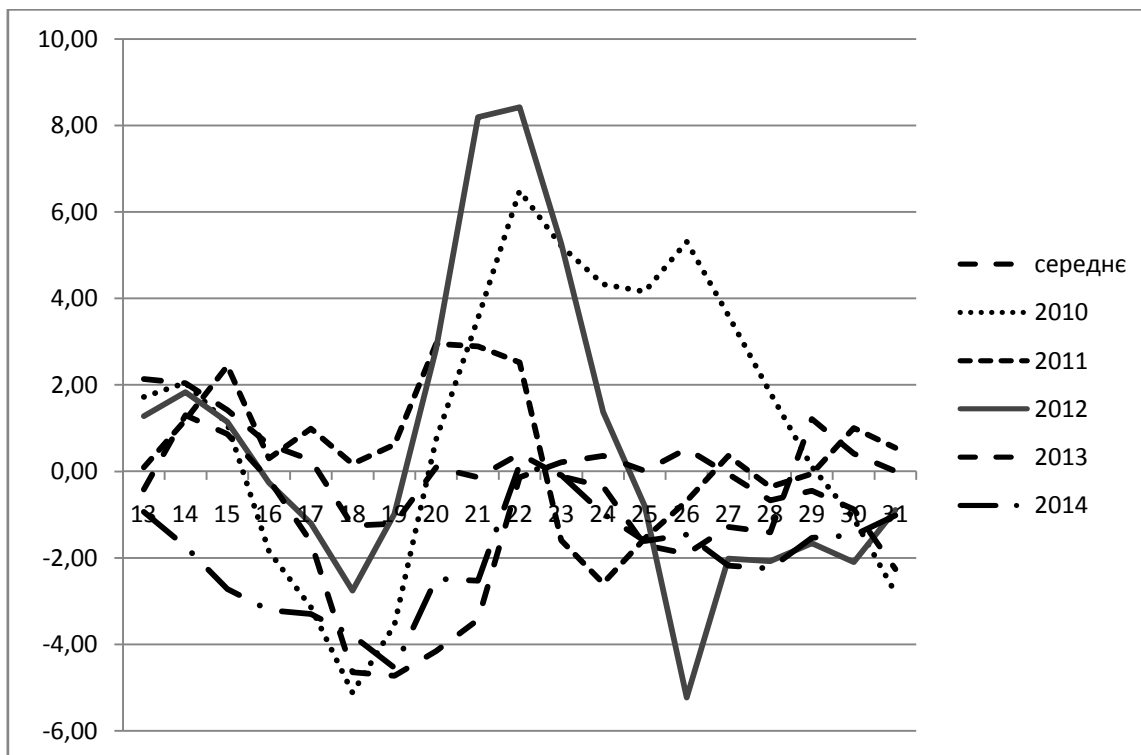


Рис.Б.6. Швидкість зміни індексу VCI за період 2010-2014 рр.

Швидкість зміни індексу VCI в Миколаївській області

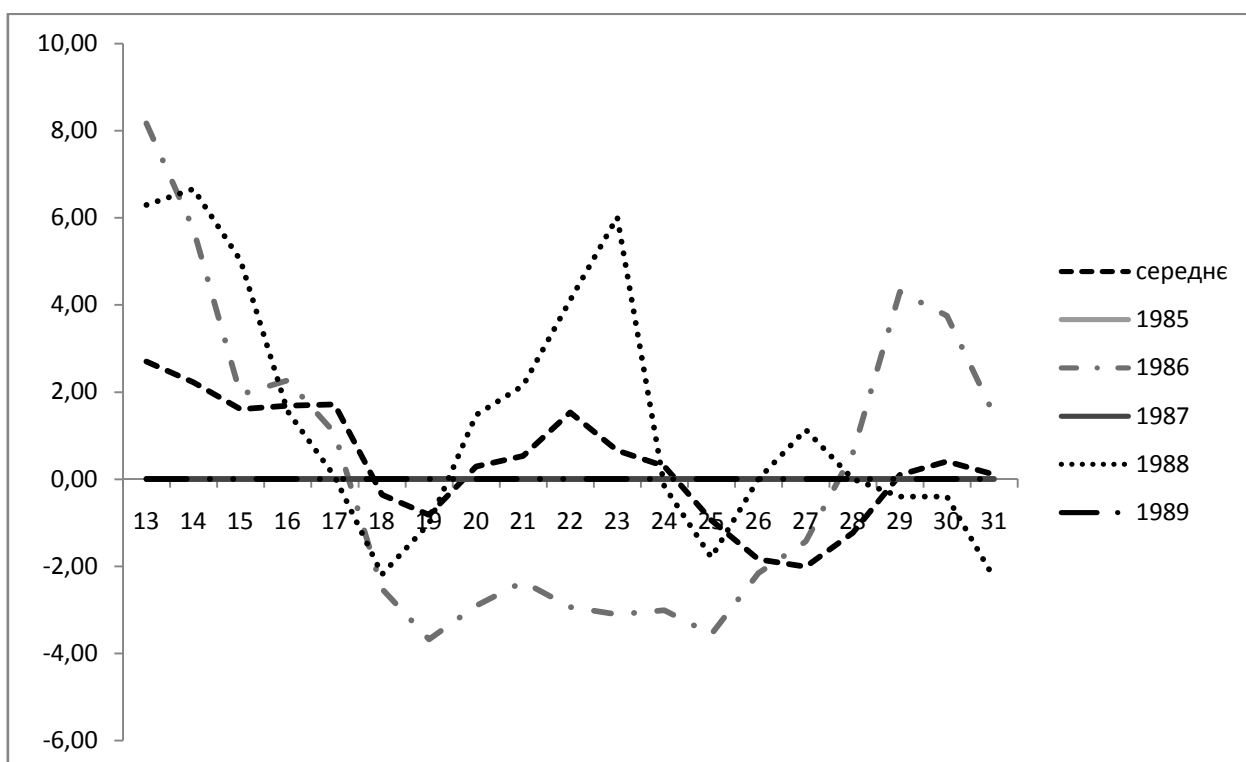


Рис.Б.7. Швидкість зміни індексу VCI за період 1985-1989 рр

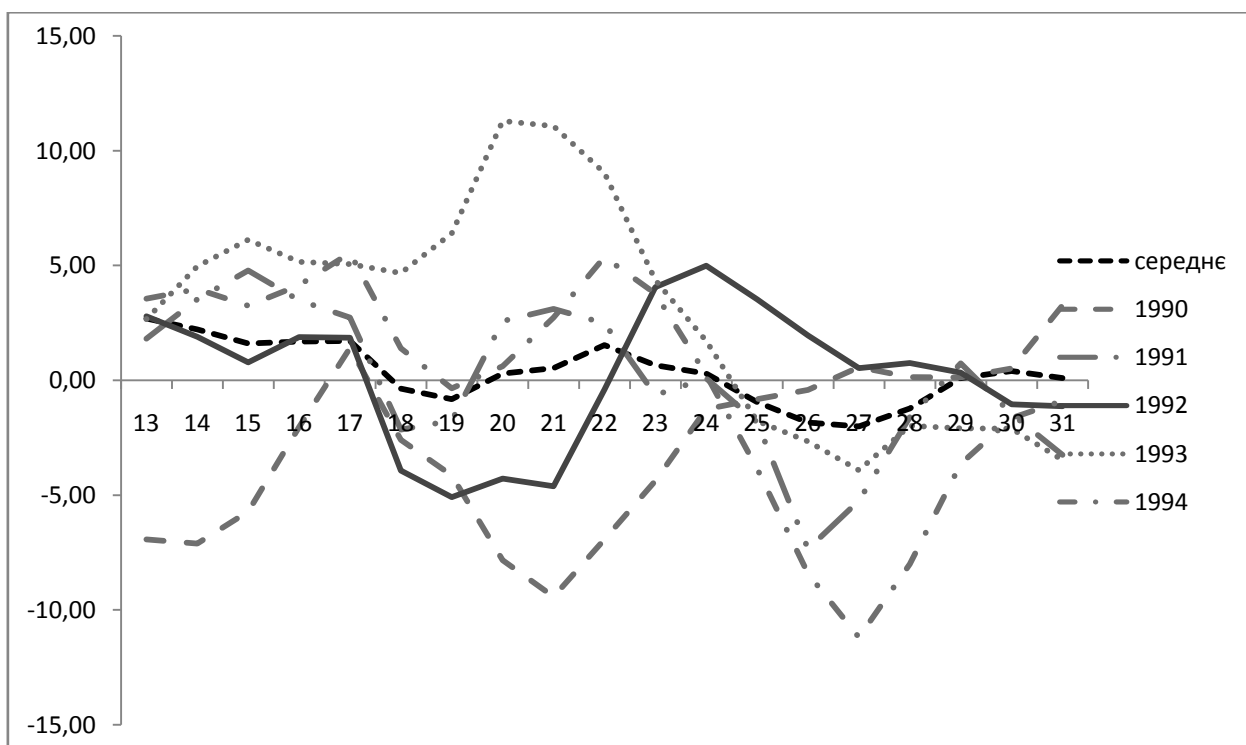


Рис.Б.8. Швидкість зміни індексу VCI за період 1990-1994 рр

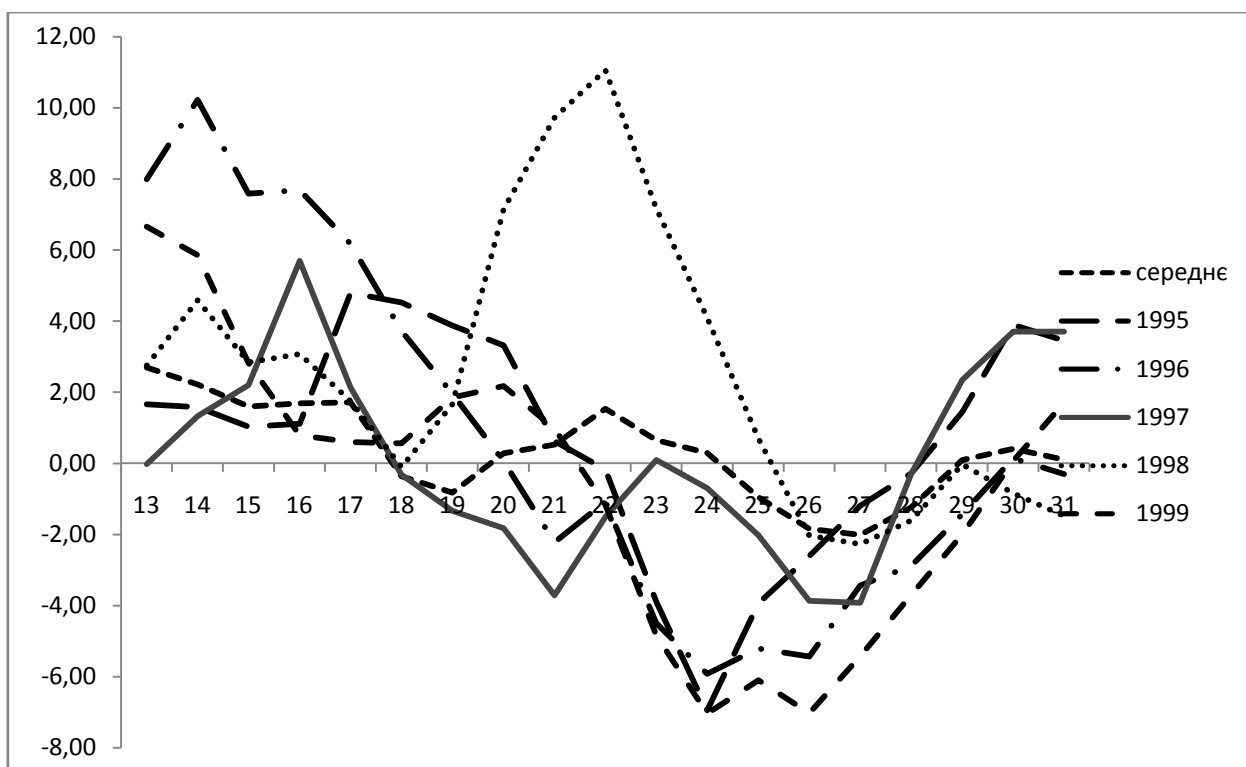


Рис.Б.9. Швидкість зміни індексу VCI за період 1995-1999 рр

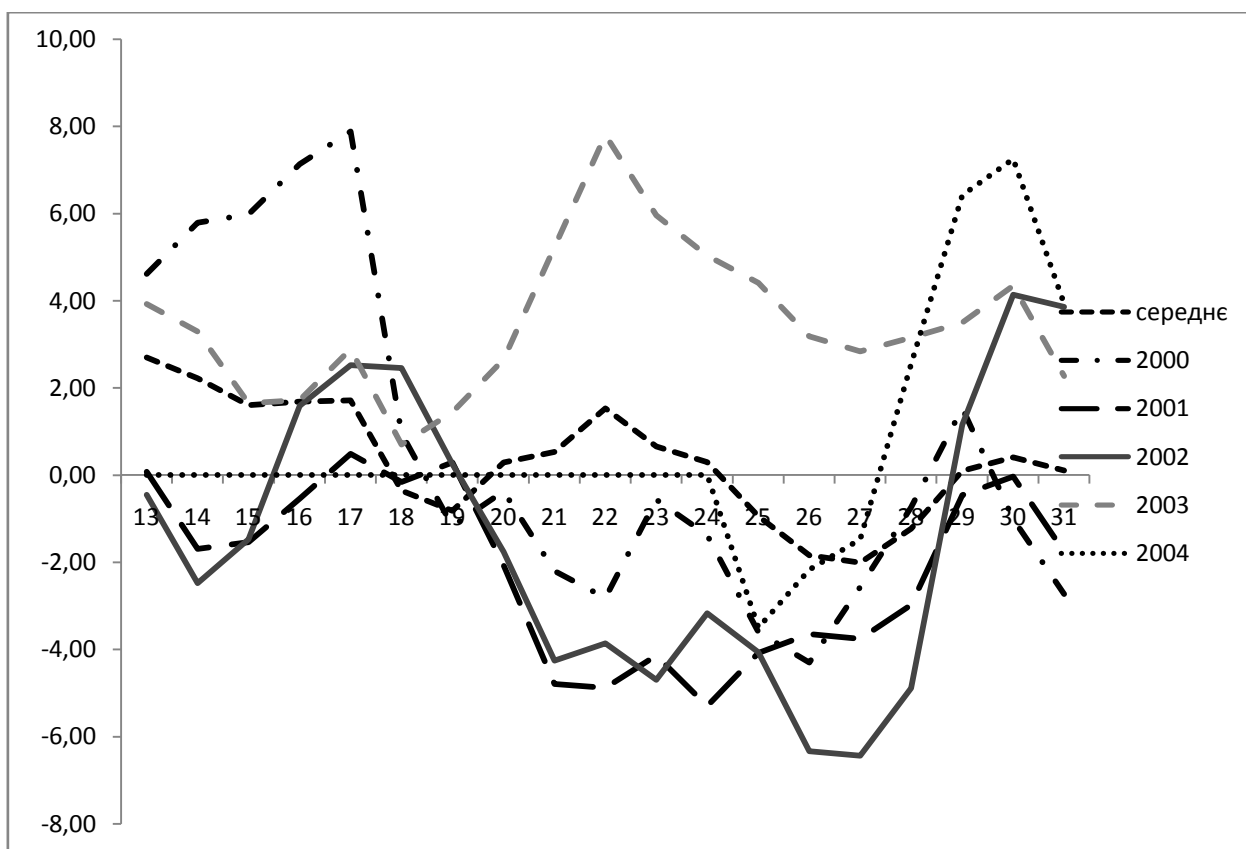


Рис.Б.10. Швидкість зміни індексу VCI за період 2000-2004 рр

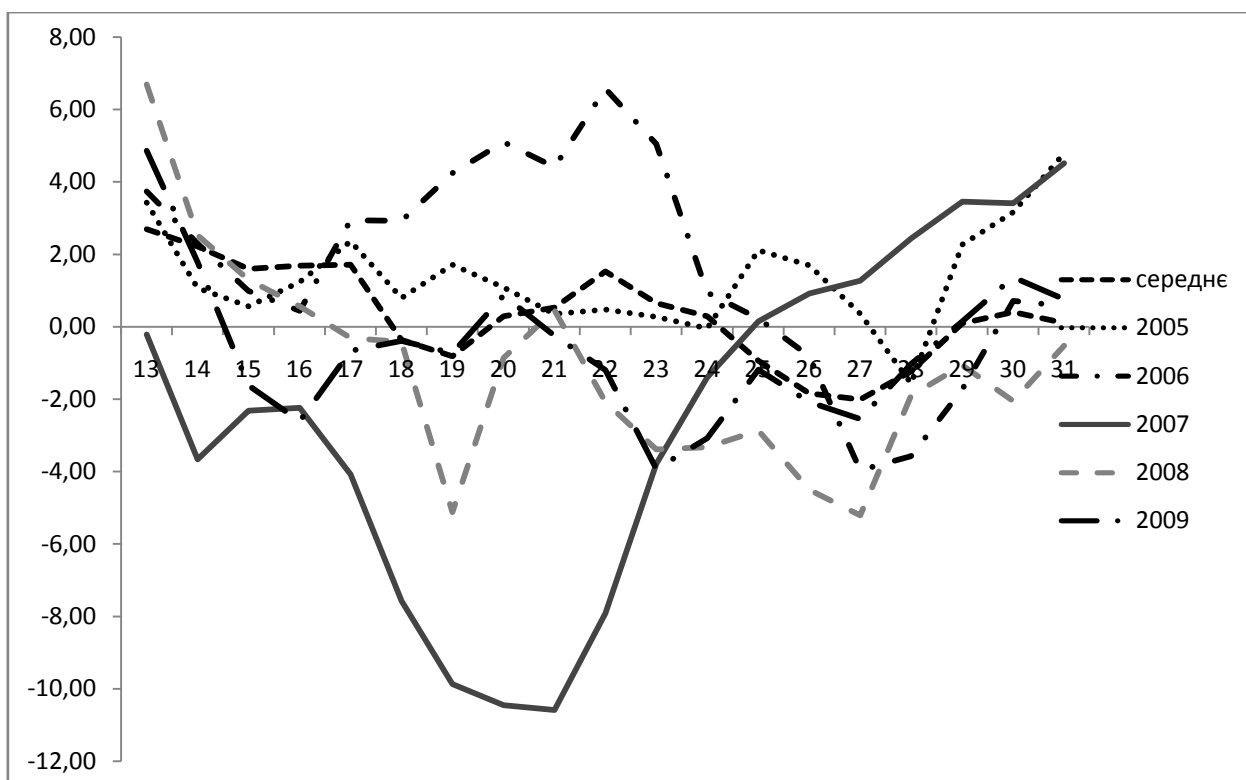


Рис.Б.11. Швидкість зміни індексу VCI за період 2005-2009 рр

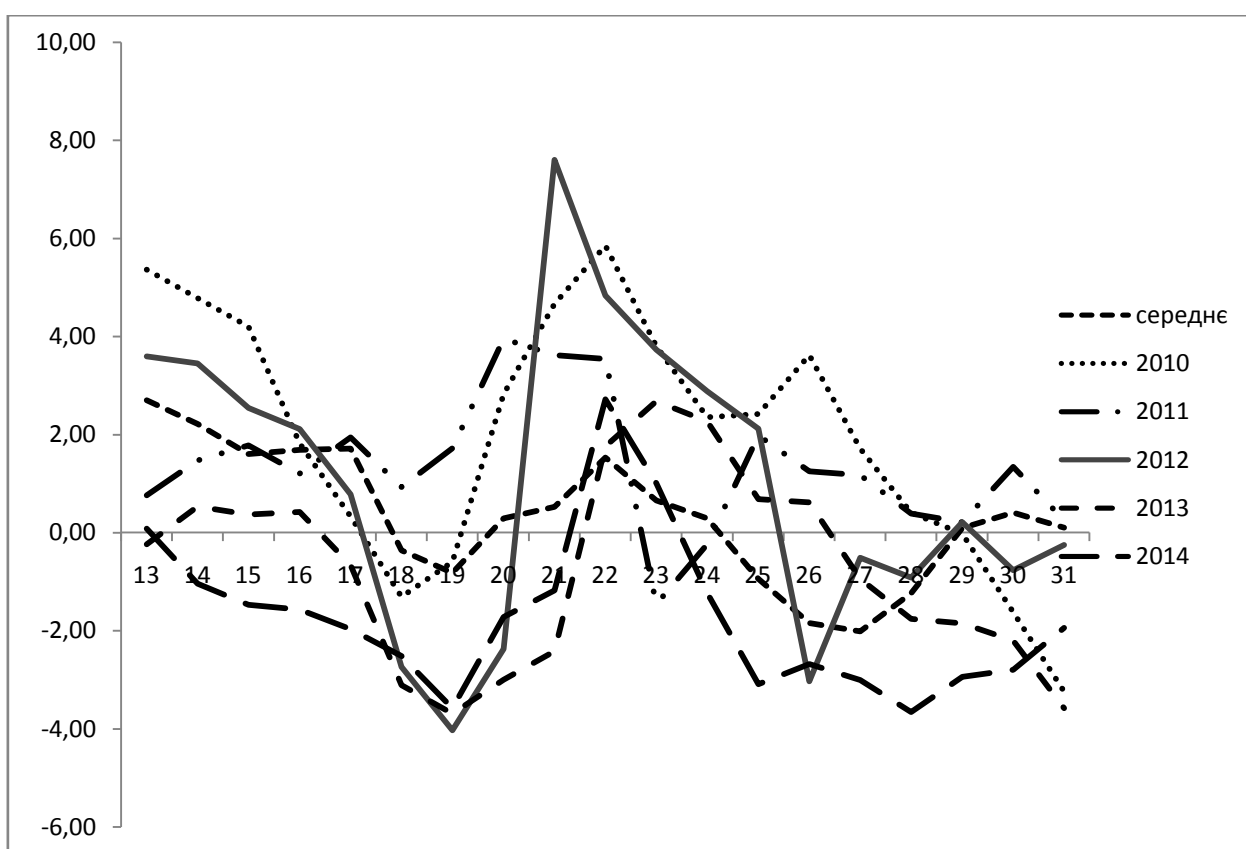


Рис.Б.12. Швидкість зміни індексу VCI за період 2010-2014 рр

Швидкість зміни індексу VCI в Одеській області

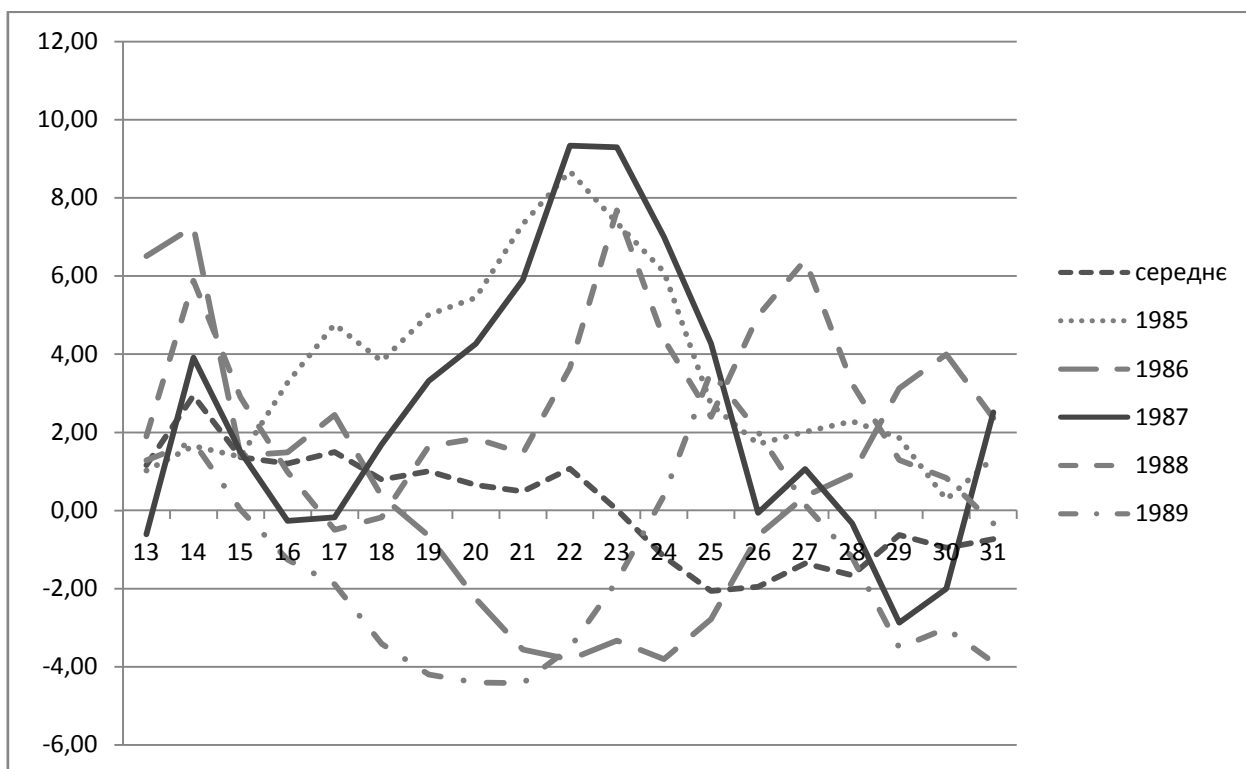


Рис.Б.13. Швидкість зміни індексу VCI за період 1985-1989 рр

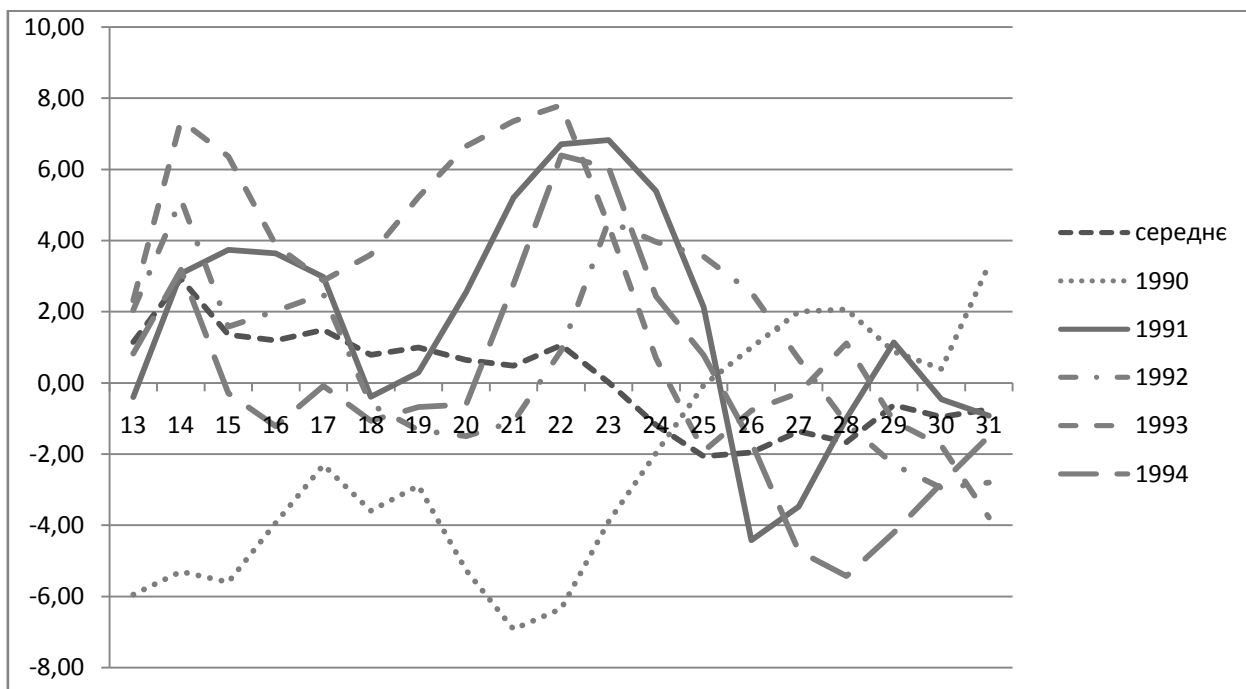


Рис.Б.14. Швидкість зміни індексу VCI за період 1990-1994 рр

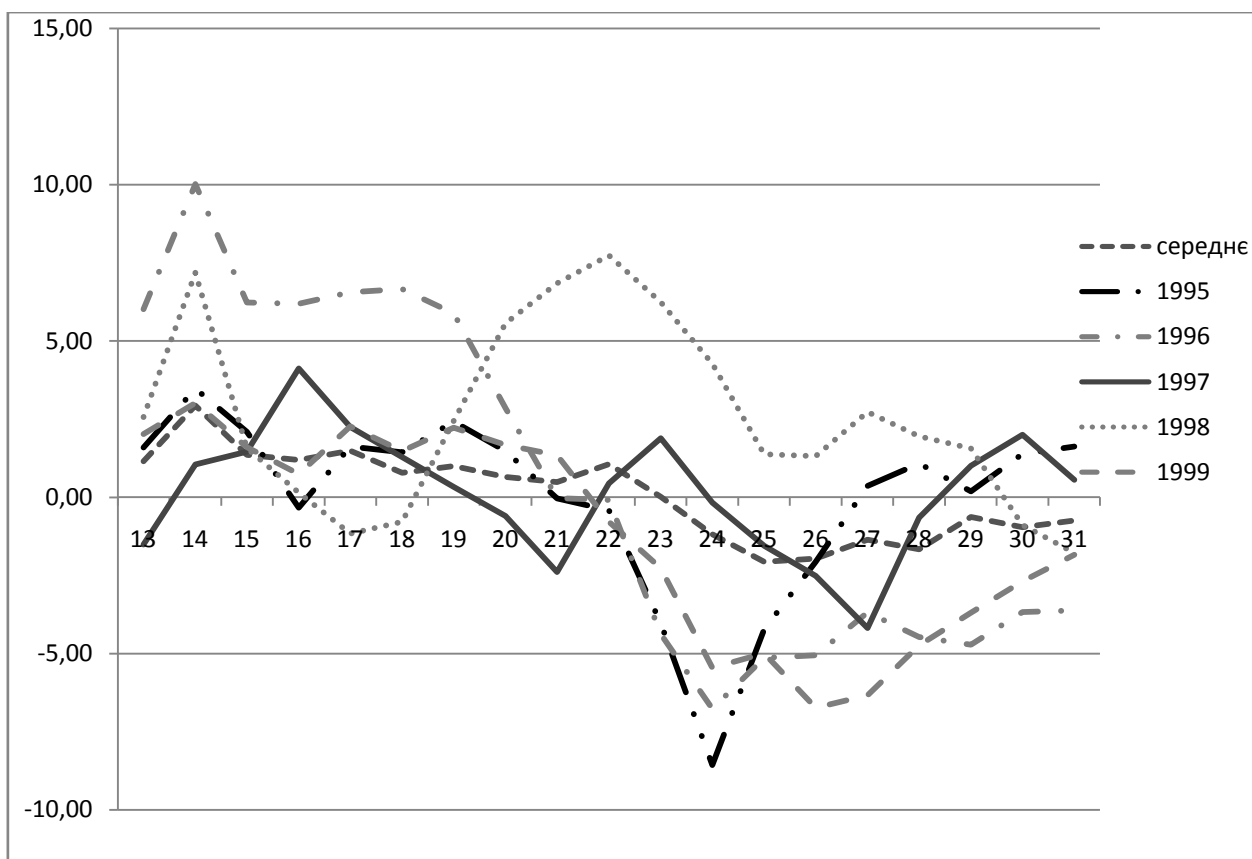


Рис.Б.15. Швидкість зміни індексу VCI за період 1995-1999 рр.

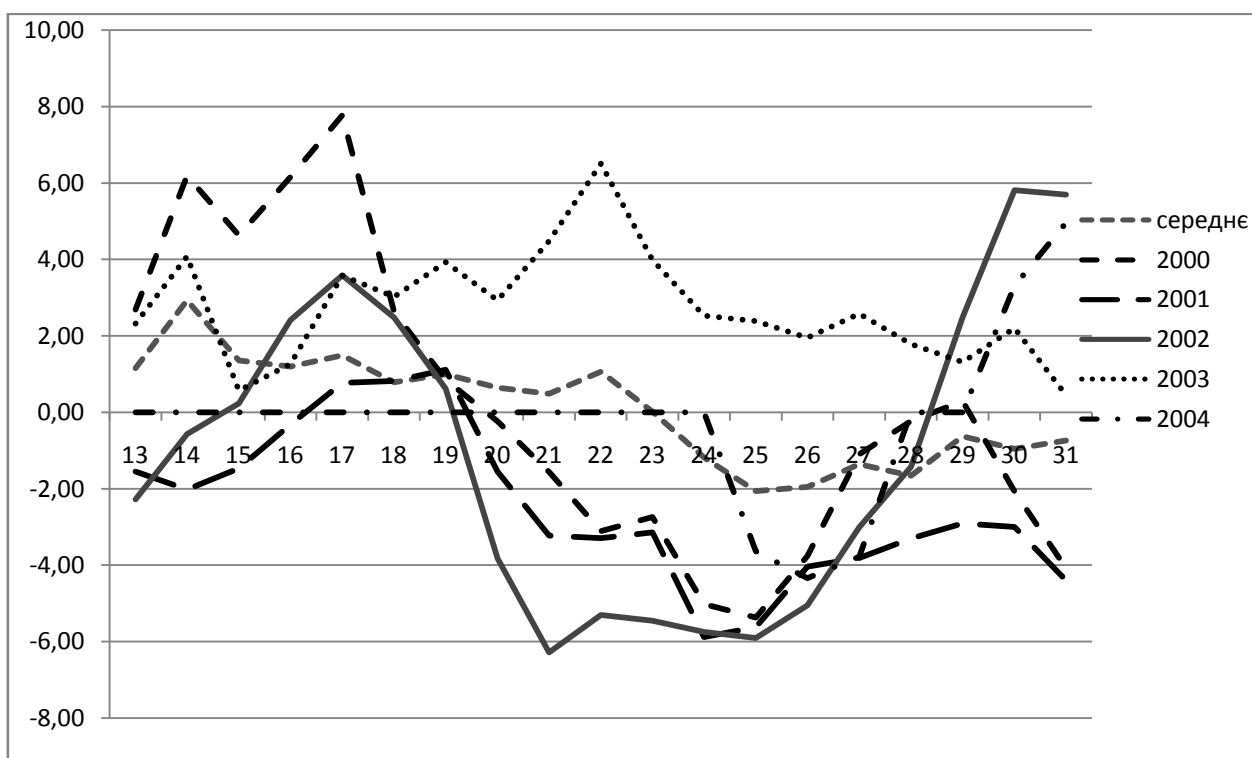


Рис.Б.16. Швидкість зміни індексу VCI за період 2000-2004 рр.

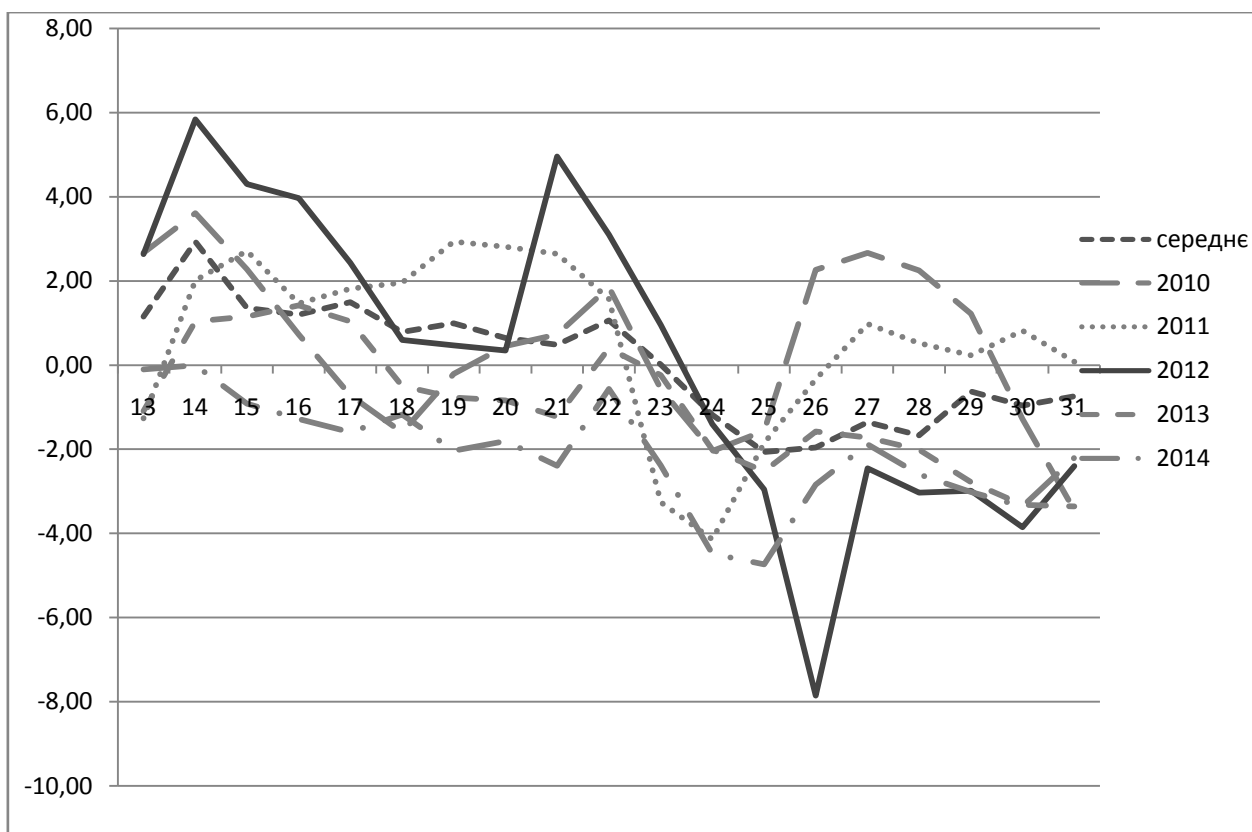


Рис.Б.17. Швидкість зміни індексу VCI за період 2010-2014 рр.

Додаток В

Аномалії індексу VCI в Херсонській області

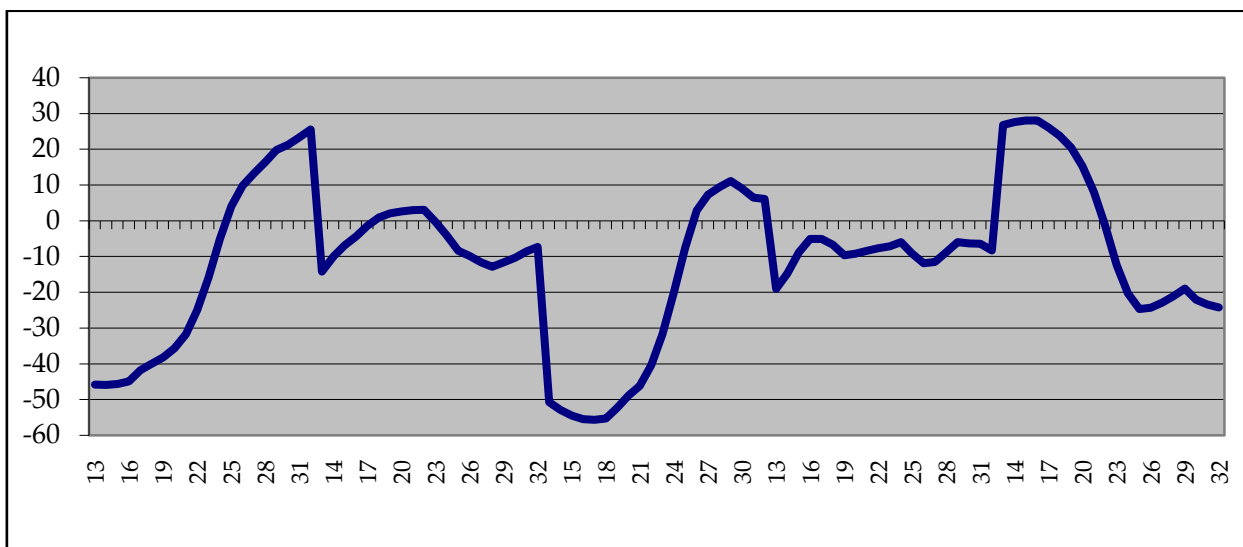


Рис. 1. Аномалій індексу VCI за період 1985-1989 рр.

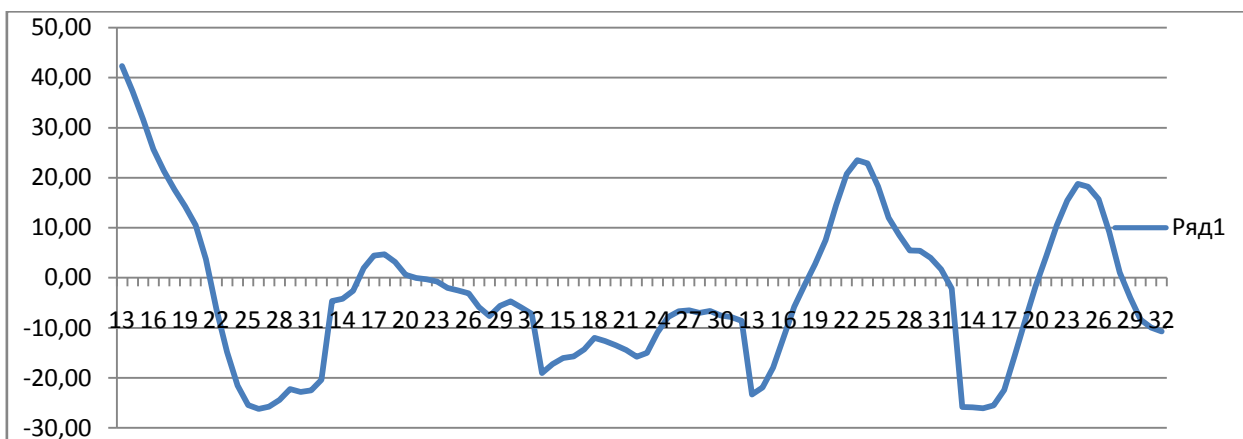


Рис.В.2. Аномалій індексу VCI за період 1990-1994рр.

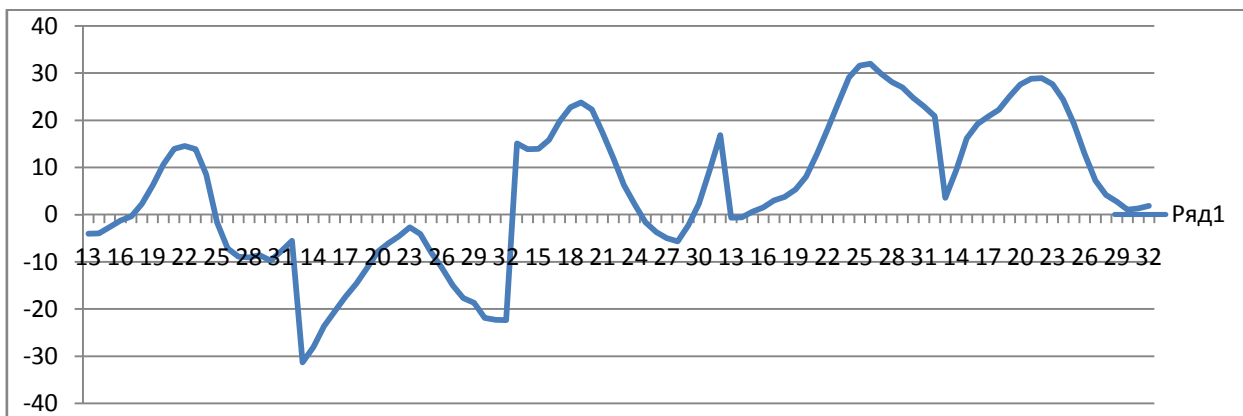


Рис.В.3. Аномалій індексу VCI за період 1995-1999рр

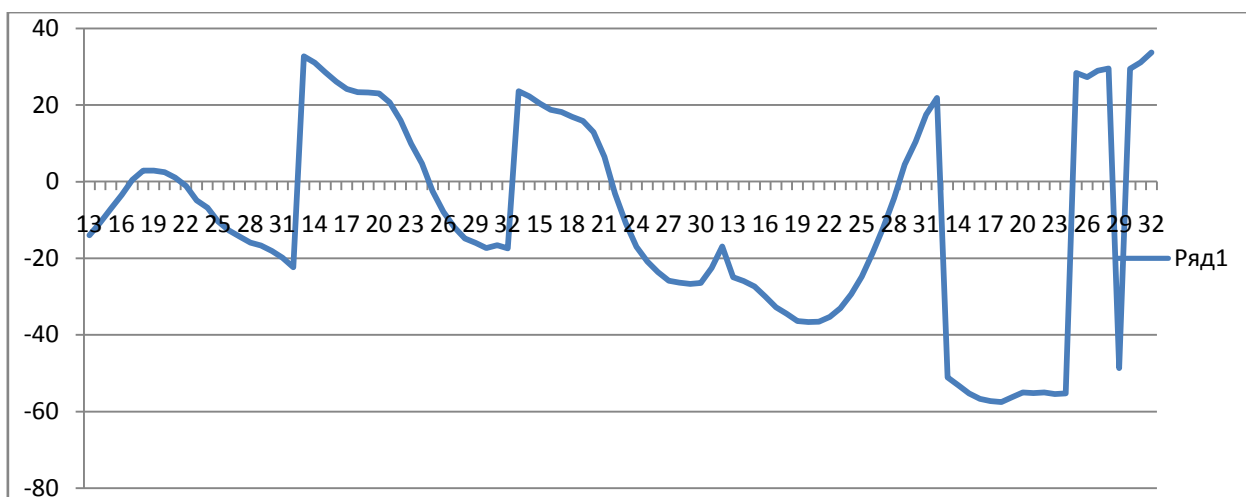


Рис.В.4. Аномалії індексу VCI за період 2000-2004рр.

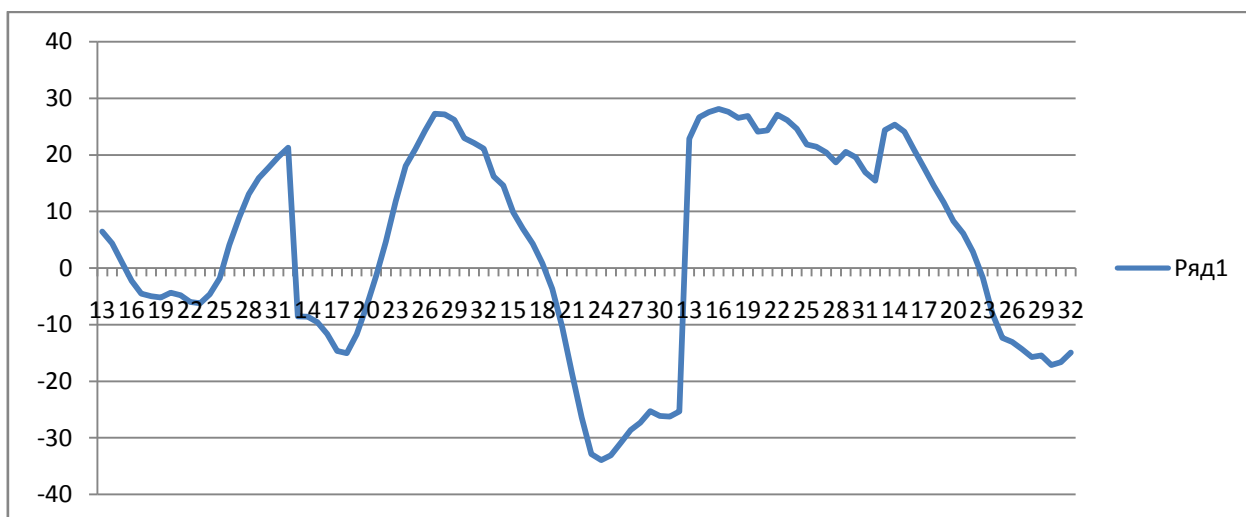


Рис.В.5. Аномалії індексу VCI за період 2005-2009 рр.

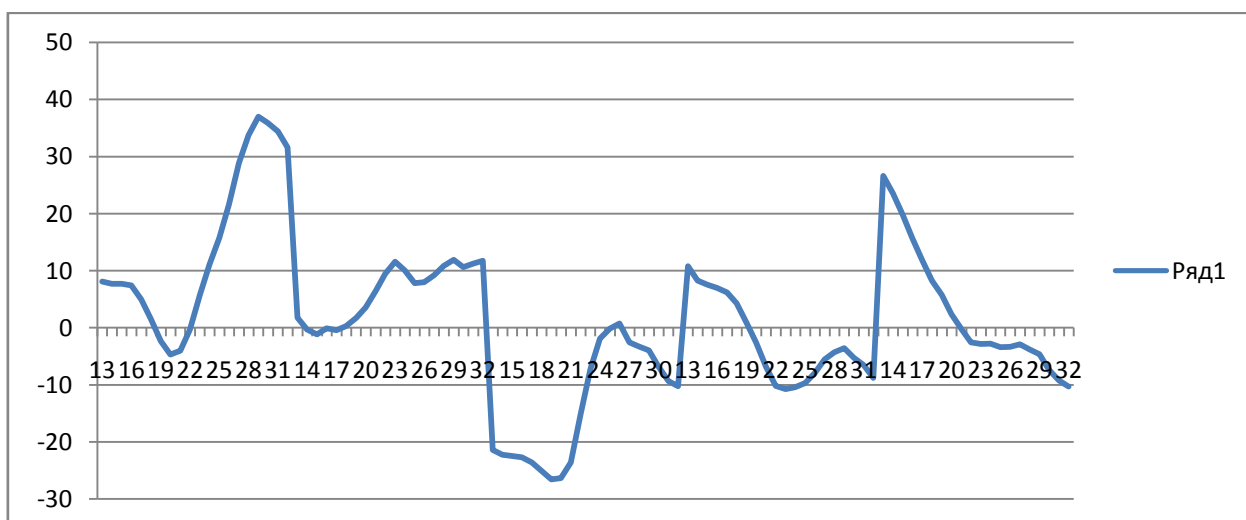


Рис.В.6. Аномалії індексу VCI за період 2010-2014 рр.

Аномалії індексу VCI в Миколаївській області

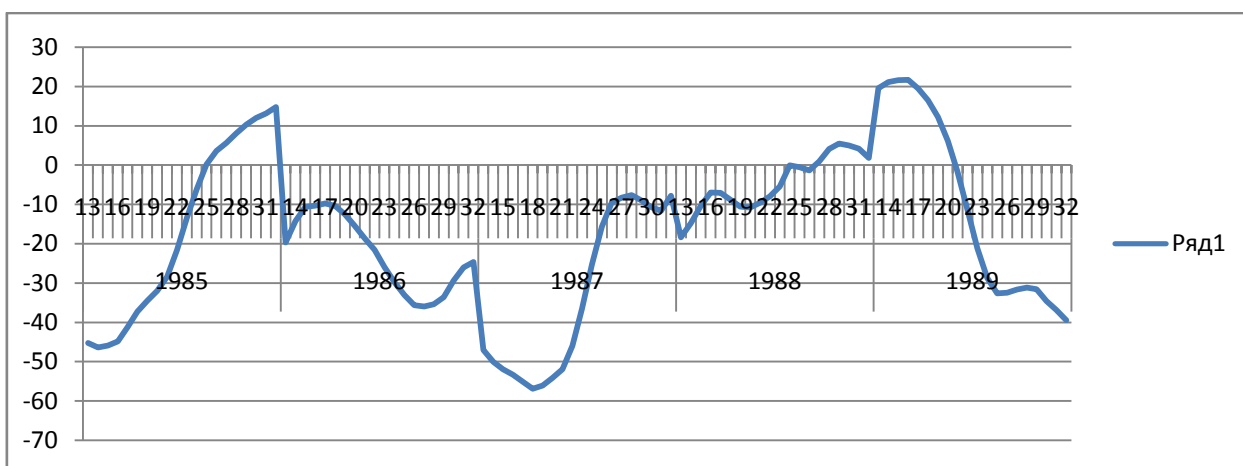


Рис. В.7. Аномалій індексу VCI за період 1985-1989 рр.

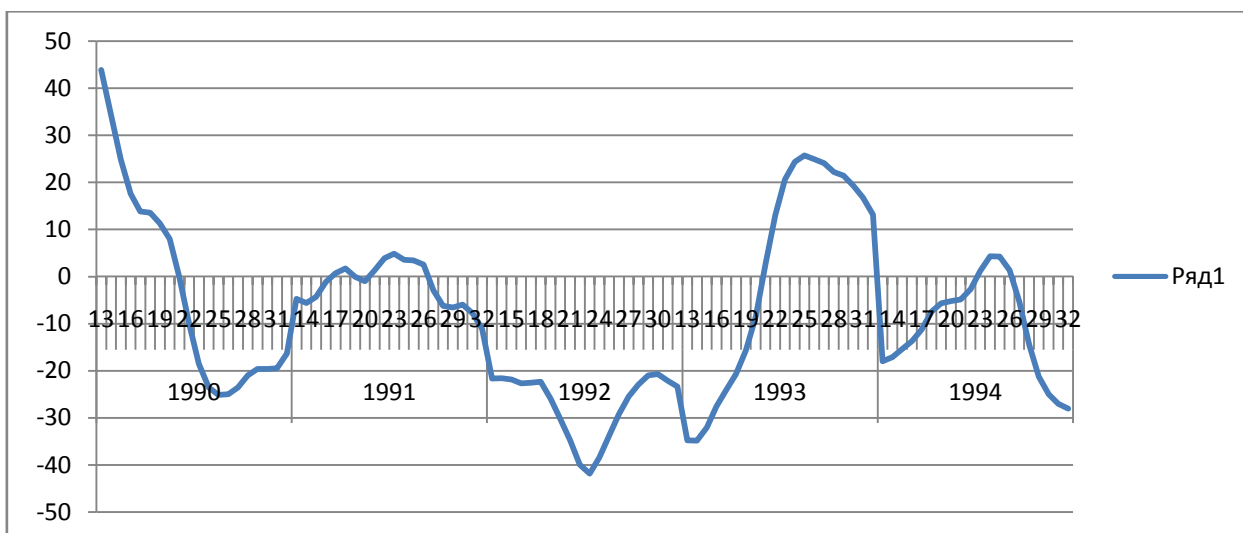


Рис.В.8. Аномалій індексу VCI за період 1990-1994рр.

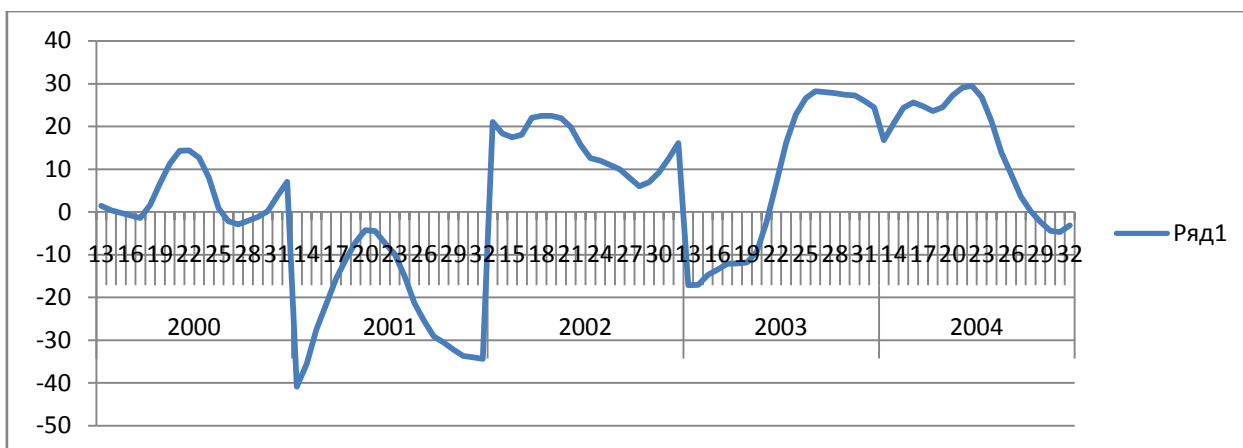


Рис.В.9. Аномалії індексу VCI за період 2000-2004 рр.

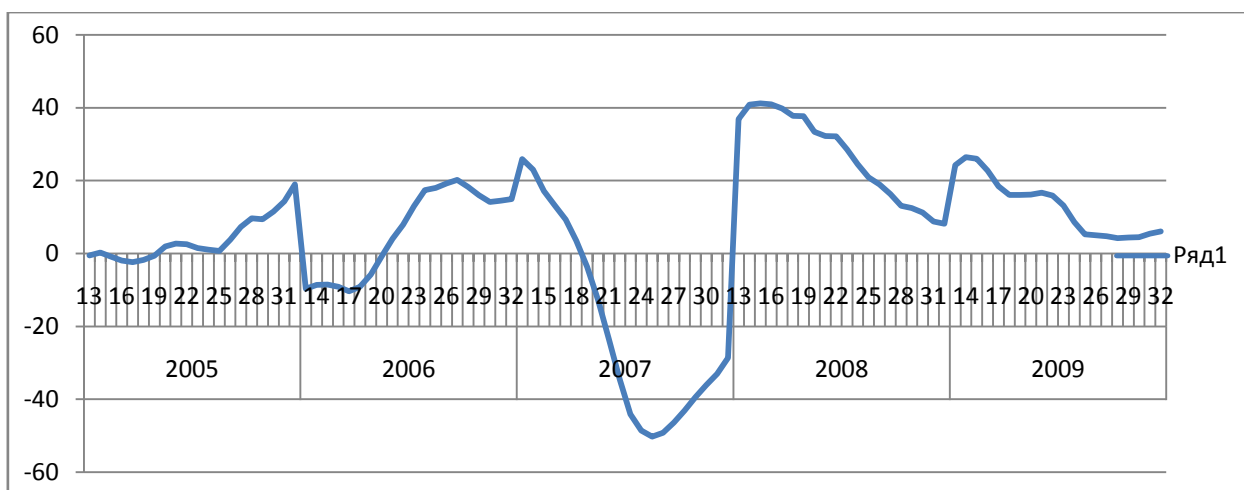


Рис.В.10. Аномалії індексу VCI за період 2005-2009 рр.

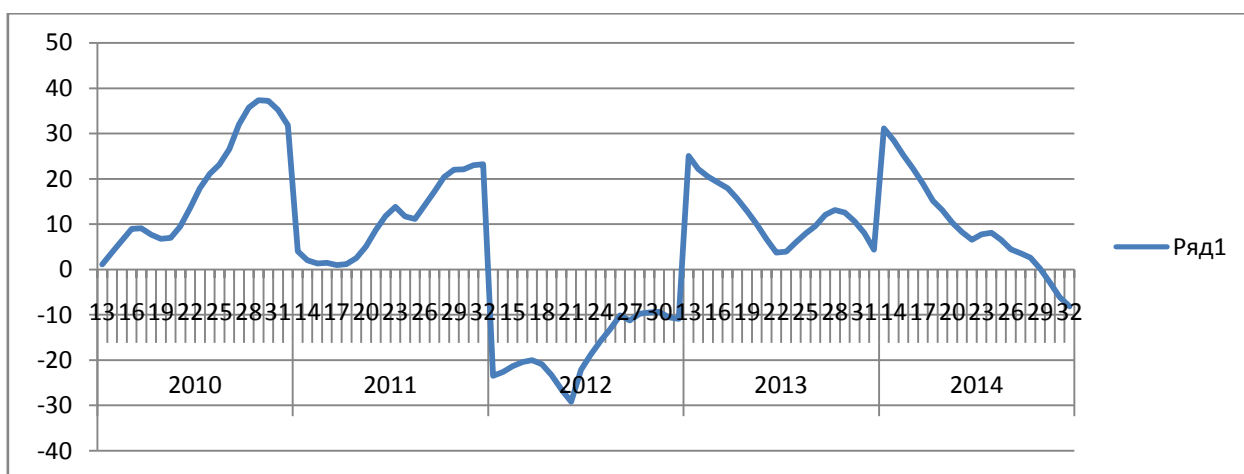


Рис.В.11. Аномалії індексу VCI за період 2010-2014 рр.

Аномалії індексу VCI в Одеській області

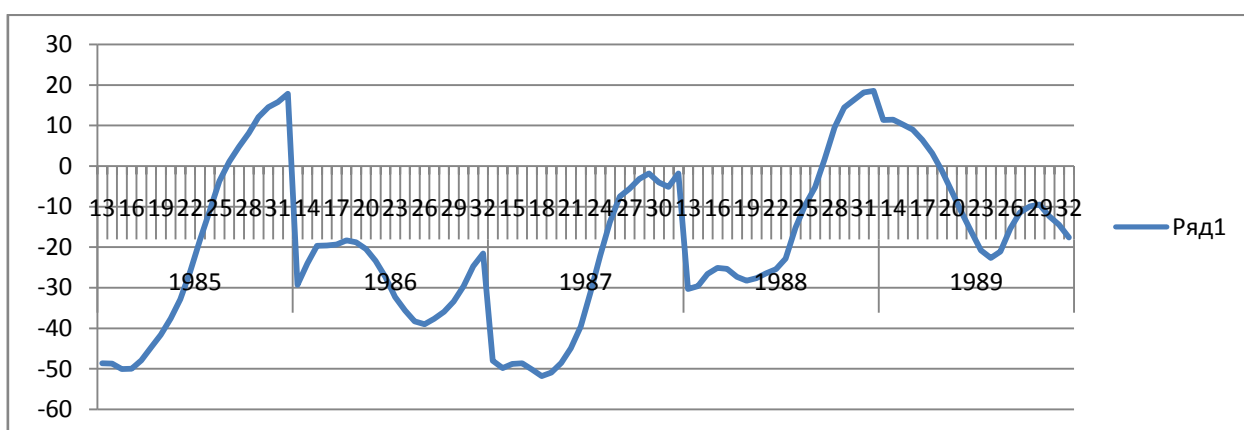


Рис. В.12. Аномалій індексу VCI за період 1985-1989 рр.

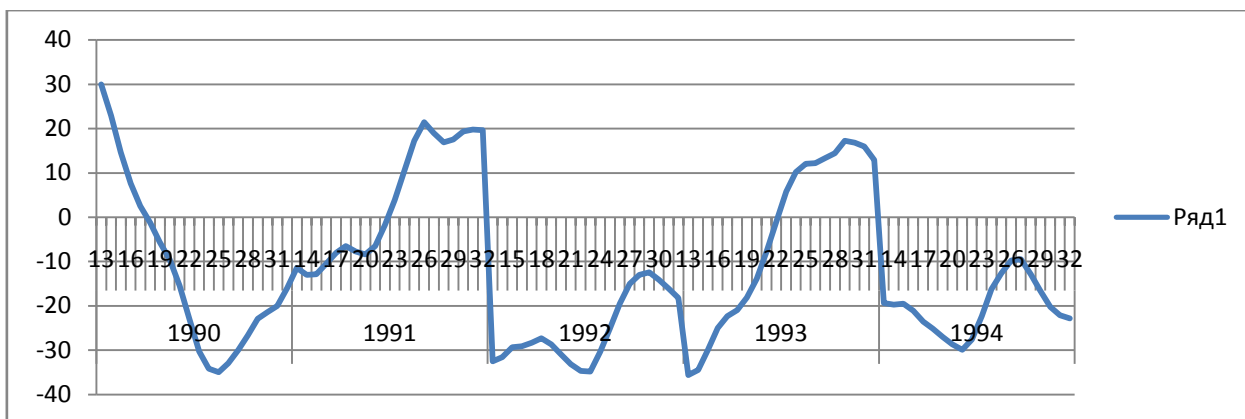


Рис.В.13. Аномалій індексу VCI за період 1990-1994рр

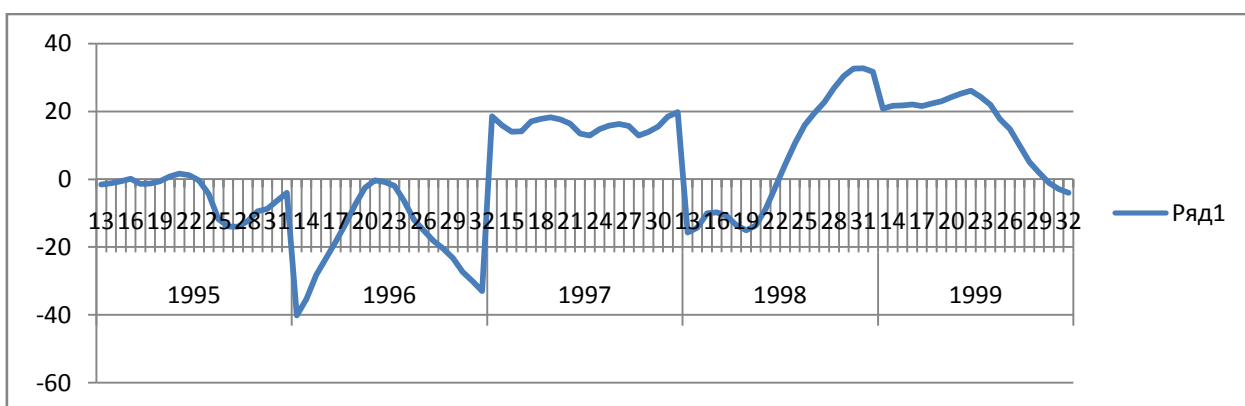


Рис.В.14. Аномалії індексу VCI за період 1995-1999 рр.

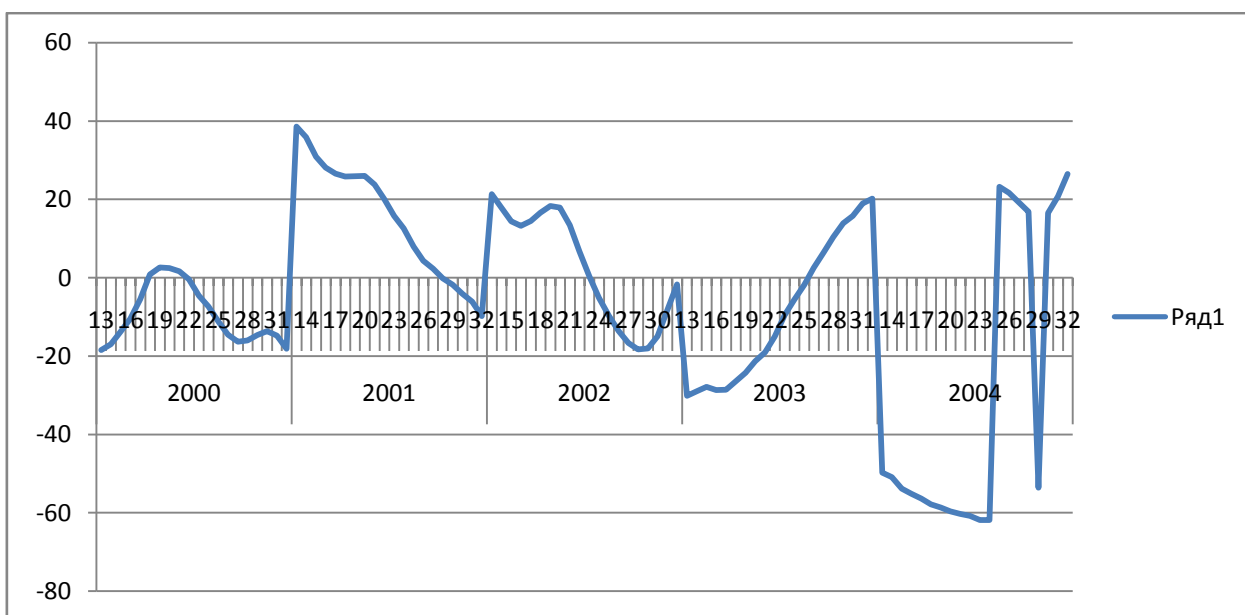


Рис.В.15. Аномалії індексу VCI за період 2000-2004 рр.

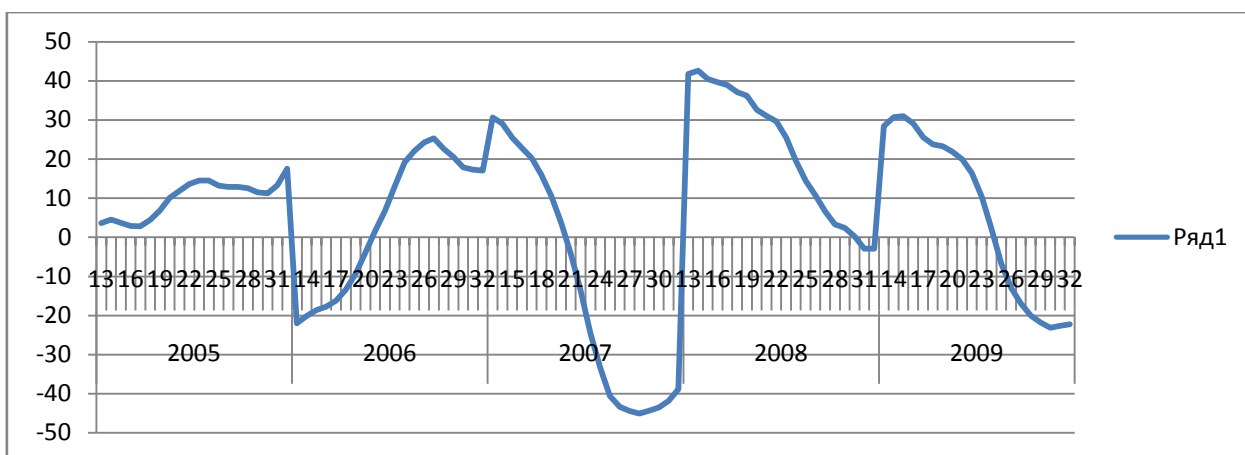


Рис.В.16. Аномалії індексу VCI за період 2005-2009 рр.

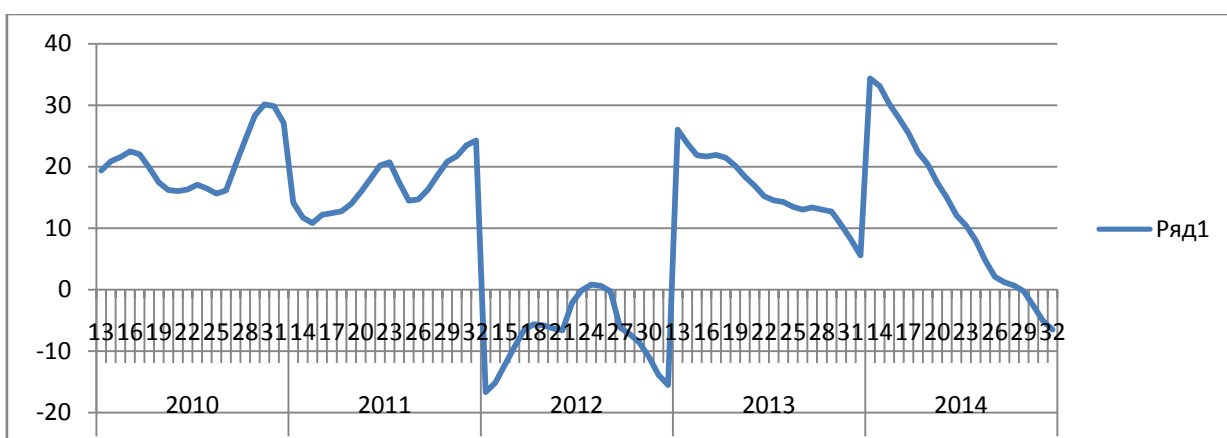


Рис.В.17. Аномалії індексу VCI за період 2010-2014 рр.