

ВИКОРИСТАННЯ ВЕГЕТАЦІЙНИХ ІНДЕКСІВ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ПОСУХ В УКРАЇНІ

Просторово-часовий розподіл посушливих умов в Україні за період 2000-2013 рр. досліджено за допомогою індексів, які є продуктами супутникового зондування Землі, - нормалізованого вегетаційного індексу та індексу умов вегетації. Виявлено переважання весняних посух в усіх агрокліматичних зонах з максимальною їх повторюваністю й інтенсивністю в східному Лісостепу. Порівняльний аналіз показників врожайності озимої пшениці та ярого ячменю з аномаліями вегетаційного індексу показав суттєве зниження врожаю в роки, коли значення індексу в квітні-червні менші за середні.

Ключові слова: нормалізований вегетаційний індекс, посуха, врожайність.

Вступ. В сучасних гідрометеорологічних дослідженнях провідне місце займають напрями з використанням продуктів супутникового зондування атмосфери та підстильної поверхні, які відрізняються високою просторово-часовою роздільною здатністю, широким спектром пристосування для вирішення різноманітних задач та зручністю використання в оперативних умовах. Зокрема, супутникова інформація використовується в моніторингу стану підстильної поверхні та рослинного покриву з метою визначення типу рослинності, умов вегетації, стану і динаміки розвитку сільськогосподарських культур, оцінки продуктивності і прогнозуванні врожайності [1-3].

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 [4-7].

В даному дослідженні для виявлення посушливих умов на території України в теплий період року використано так званий нормалізований вегетаційний індекс (normalized difference vegetation index, *NDVI*), який визначається за допомогою обробки спектральних даних супутникового зондування та відповідає різному ступеню стану рослинного покриву (його площі, густоти та відбивної здатності).

Матеріали та методи дослідження. Вихідна інформація одержана з бази даних MODIS/NDVI з розділенням 250 метрів, яка надається Проектом глобального сільськогосподарського моніторингу (the Global Agriculture Monitoring Project (GLAM), <http://deleon.edc.usda.gov/glam.htm>). Цей проект створений при співробітництві Департаменту США по сільському господарству (USDA) та Національної адміністрації по аеронавтиці і дослідженню космосу (NASA). Спільний сервіс об'єднує новий проект NASA по асиміляції даних і продуктів MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) в існуючу систему підтримки, яка координується зовнішнім сільськогосподарським сервісом USDA (FAS). Інтеграція системи швидкого відклику MODIS в моніторингову систему FAS дозволяє підвищити якість моніторингу впливу на сільськогосподарську продукцію таких небезпечних явищ, як посухи, великомасштабні повені та снігові шторми. Система швидкого відклику MODIS забезпечує швидкий доступ до бази даних MODIS двічі на день: від супутника Terra вранці (10:30) та супутника Aqua після полудня (14:30). Глобальні дані MODIS

доступні в трьох резолюціях – 250, 500 та 1000 м, в різних комбінаціях діапазонів зондування.

Просторово-часова глобальна база даних нормалізованого вегетаційного індексу *NDVI* з просторовим розділенням 250 м компонується з використанням 8- або 16-денних періодів, що дозволяє дослідити динаміку процесів у вегетаційний сезон. Дані MODIS/*NDVI* автоматично корегуються та комплектуються під регіони, що представляються для використання в FAS. Для безпосереднього аналізу дані доступні через потужний веб-інтерфейс та його інструменти (<http://pekko.geog.umd.edu>). За допомогою інтерфейсу можна вибирати дані для обраного регіону (пре-визначеного) та застосувати різні маски для побудови графіків часового ходу й аномалій, а також гістограм *NDVI*, одержати просторовий розподіл поточних або історичних умов у вигляді рисунків.

В дослідженні використані дані *NDVI* по території України в цілому та для всіх 25 областей за період 2000-2013 рр.

Поняття спектрального індексу *NDVI* базується на тому факті, що здорова рослинність загалом має низьку відбивну здатність видимої частини електромагнітного спектра завдяки абсорбції рослинними пігментами, головним чином, хлорофілом. Одночасно зелене листя має високу відбивну здатність в ближньому інфрачервоному спектрі. Цей індекс був уведений в роботі [4] та визначається як різниця значень інтенсивності відбитого випромінювання в червоному R_R (0,62-0,69 мкм) та ближньому інфрачервоному R_{NIR} (0,75-0,90 мкм) діапазонах зондування, нормована на суму цих величин [4-7]

$$NDVI = \frac{R_R - R_{NIR}}{R_R + R_{NIR}} \quad (1)$$

Значення індексу пропорційне загальній зеленій фітомасі і звичайно коливається в межах 0,20-0,80. Як зазначається в дослідженнях з використанням *NDVI* [1, 4], стан рослинності можна визначити згідно критеріїв, наведених в табл. 1.

Таблиця 1 - Критерії розпізнавання стану рослинності за значеннями *NDVI*

Значення <i>NDVI</i>	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

Зважаючи на всі переваги використання нормалізованого вегетаційного індексу для моніторингу рослинності та посух, слід враховувати його залежність від температури підстильної поверхні і обмежувати його застосування тими регіонами і часовими інтервалами, де вологозабезпеченість є головним фактором, що зумовлює приріст рослинності [7].

Мінливість нормалізованого вегетаційного індексу можна оцінити за допомогою індексу умов вегетації (vegetation condition index, *VCI*), запровадженого в роботі [5]:

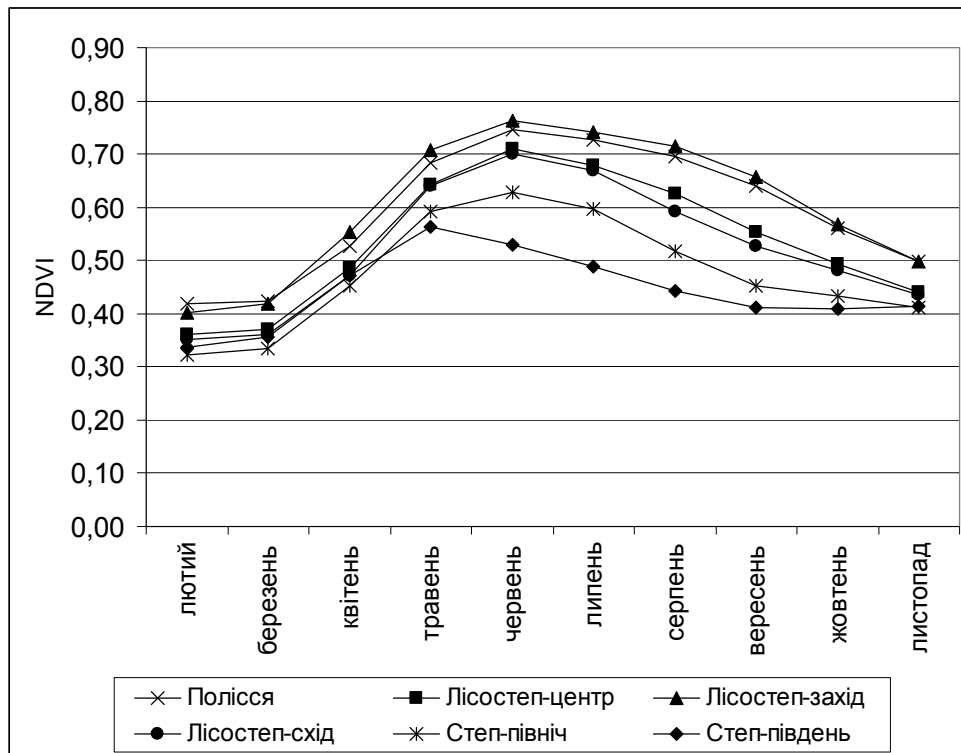
$$VCI = \frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} \cdot 100\%, \quad (2)$$

де $NDVI$ – поточне декадне значення нормалізованого вегетаційного індексу;
 $NDVI_{max}$, $NDVI_{min}$ – абсолютний міжрічний максимум та мінімум нормалізованого вегетаційного індексу за ту саму декаду.

Умови вегетації представляються індексом VCI у відсотках. Високі значення VCI відповідають сприятливим умовам вегетації, низькі – несприятливим. Значення VCI , близьке до 50%, відображає середні умови для рослинності, значення між 50 та 100% вказують на оптимальні умови вегетації. Значення VCI , менші за 50%, відображують посушливі умови різного ступеня. Коган [5] ідентифікував настання посухи, якщо індекс VCI досягає 35% та нижче. При цьому передбачається, що дослідження певної території можуть дозволити виділити категорії інтенсивності посух згідно значень VCI в межах 0-35%. Низькі значення VCI протягом декількох послідовних часових інтервалів показують розвиток посухи. Значення VCI , близькі до 0%, відображують екстремально посушливий період, в якому значення $NDVI$ наближується до свого міжрічного мінімуму.

Результати та їх аналіз. Розглянемо розподіл нормалізованого вегетаційного індексу по території України протягом вегетаційного сезону. На рис. 1. представлені щомісячні, осереднені по агрокліматичних зонах, значення $NDVI$ за період 2000-2013 рр. Як можна бачити, по всіх областях спостерігається чіткий сезонний хід $NDVI$, в якому, починаючи з березня, відбувається швидке наростання значень вегетаційного індексу, яке уповільнюється в травні, а в червні в більшості областей, за винятком південного Степу, спостерігається максимум $NDVI$. В південному Степу максимальні значення індексу майже в усіх областях спостерігаються в травні і лише в Запорізькій області – в червні. Починаючи з липня, значення $NDVI$ поступово зменшуються впродовж другої половини вегетаційного сезону. Швидкість убування вища в південних областях і менша в західних та північних областях України. Найвищі показники $NDVI$ фіксуються в західній Лісостеповій зоні, в Карпатському регіоні, де середньомісячні значення $NDVI$ досягають 0,80-0,82. Також високі середньомісячні значення $NDVI$ (0,75-0,77) фіксуються в північних областях. На південь амплітуда сезонних коливань $NDVI$ та їх максимальні значення зменшуються. Найнижчий сезонний максимум вегетаційного індексу по Україні спостерігається в Херсонській області і становить в травні 0,51, при цьому тут фіксується й найменша амплітуда коливання $NDVI$, що характеризує даний регіон як найбільш посушливий на території країни. Взагалі, найнижчі значення $NDVI$ спостерігаються на початку вегетаційного періоду в березні і становлять 0,30-0,40 в Степу та Лісостепу та 0,40-0,45 в Карпатському регіоні та Поліссі. На початку осені в південному Степу показники $NDVI$ припиняють суттєво зменшуватися вже в вересні та впродовж трьох осінніх місяців майже не змінюються, коливаючись в межах 0,38-0,43. В інших зонах $NDVI$ убуває протягом всієї осені, продовжуючи тенденцію другої половини літа.

Надалі розглянемо результати розрахунку індексу умов вегетації (VCI) для агрокліматичних зон України з метою виявлення періодів з посухами. Цей індекс був розрахований за формулою (2), але використовувалися не декадні, а середньомісячні значення нормалізованого вегетаційного індексу по адміністративних областях. Максимальні та мінімальні значення $NDVI$ були обрані для кожного місяцю окремо з середньомісячних даних за 2000-2013 рр. Просторово-часовий розподіл індексу VCI представлений на рис. 2.

Рис. 1 – Сезонний хід *NDVI* по агрокліматичних зонах України.

В Степовій зоні (південній та північній) виділяється весняна посуха 2003 р. тривалістю з березня по червень, при цьому найнижчі значення *VCI* (0%) припадають на квітень-травень і вказують на екстремальну посуху (рис. 2, а, б). Посушливими були також березень-квітень 2006, 2011 та 2012 рр. В літній період (червень-серпень) найбільш інтенсивною була посуха 2007 р., коли в південному Степу значення *VCI* дорівнювали 0%, а в північному Степу коливалися в межах 5-17%. Посушливим було літо 2009 р., при цьому посуха тривала й у вересні, коли досягла найбільшої інтенсивності зі значенням *VCI* 4-9%. Посуха спостерігалася також влітку 2012 р. та була продовженням весняної посухи з деяким послабленням в травні-червні. Восени найбільш інтенсивною була посуха 2011 р., коли впродовж трьох місяців в південному Степу значення *VCI* коливалися в межах 0-5%, в північному Степу – від 6 до 14%.

В центральному Лісостепу виділяються два періоди з весняними посухами: з 2003 по 2006 рр., та з 2010 по 2013 рр. (рис. 2, в). Особливо інтенсивною була посуха в 2003 р., коли протягом березня-червня значення *VCI* було менше 30%, а в квітні-травні становило 0%. В період 2010-2013 рр. найбільш посушливими навесні були березень та квітень з показниками *VCI* в межах 11-25%. Влітку найбільш інтенсивною, але відносно нетривалою була посуха в 2007 р., коли в червні-липні *VCI* не перевищило 13%. З 2008 по 2010 рр. спостерігалися літньо-осінні (серпень-жовтень) посухи, найбільш інтенсивною була посуха 2009 р., коли значення *VCI* коливалося протягом трьох місяців в межах 4-17%, при цьому найбільш посушливими видалися осінні місяці.

Основною особливістю розподілу *VCI* в східному Лісостепу є посушливі весняні місяці протягом майже всього досліджуваного періоду (рис. 2, г). Якщо в березні розвиток рослинного покриву в цих областях може обмежуватись температурним режимом й індекс *VCI* не відображує повної картини умов вегетації, то в квітні застосування цього індексу можна вважати коректним. В березні-квітні посухи спостерігалися, як й центральному Лісостепу, в два періоди.

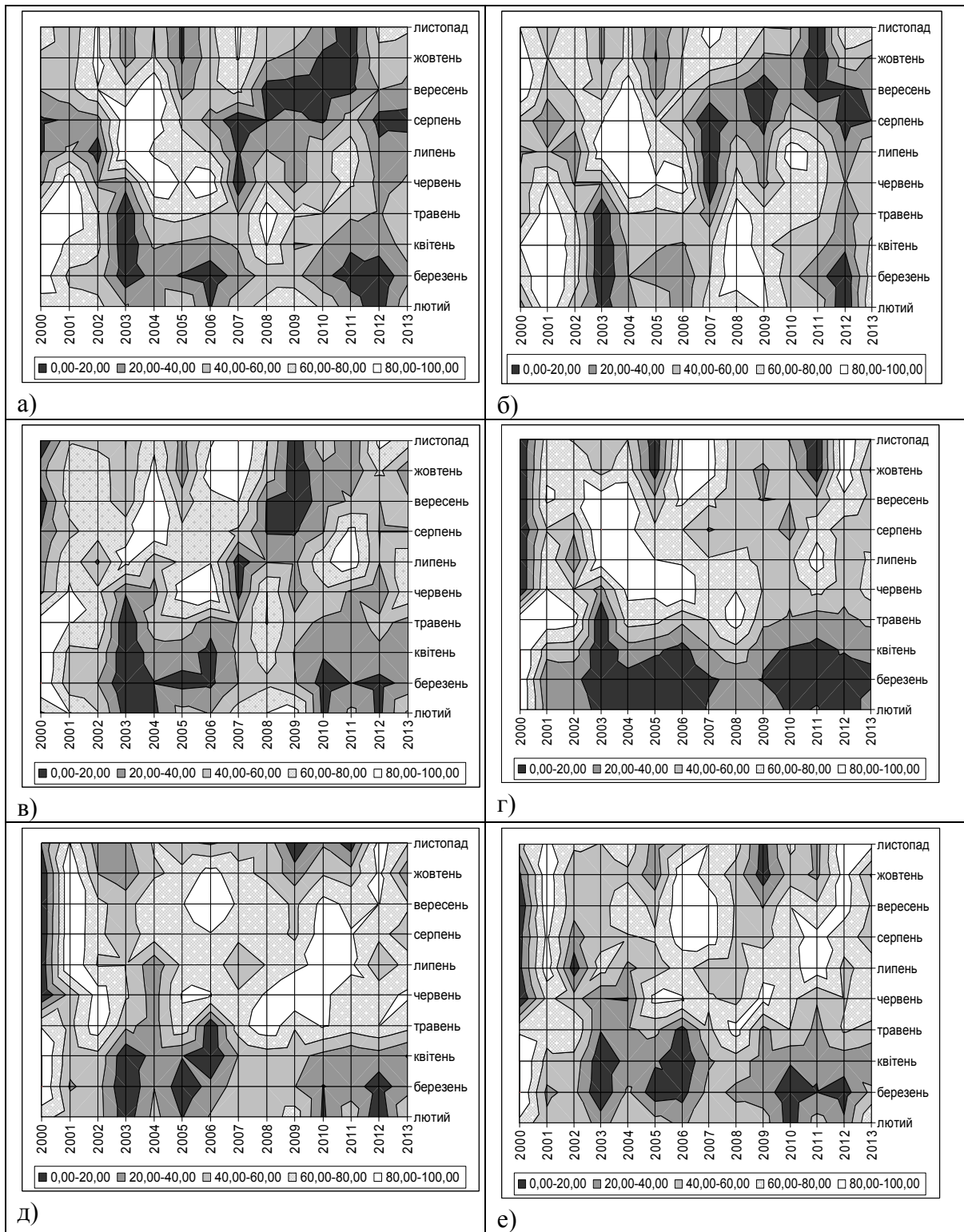


Рис. 2 – Просторово-часовий розподіл індексу VCI по природнокліматичних зонах України: а) північний Степ; б) південний Степ; в) центральний Лісостеп; г) східний Лісостеп; д) західний Лісостеп; е) Полісся.

Найбільш інтенсивною була посуха 2003 р., яка розповсюдилася з весни на початок літа, при цьому в квітні-травні значення VCI дорівнювало 0%. В другому періоді інтенсивність весняних посух майже не змінювалася, VCI в квітні коливалось в

межах 14-24%. Тривала літня посуха спостерігалася у майже всій Лісостеповій зоні в 2000 р. і найбільш інтенсивною вона була в східній частині. Ця посуха також розповсюдилася на осінні місяці. Восени посухи спостерігалися в 2005 та 20011 рр., але наставали вже наприкінці вегетаційного періоду, в жовтні.

В західному Лісостепу (Карпатський регіон) навесні найбільш посушливим був період з 2003 по 2006 рр., при цьому сильна посуха спостерігалася в 2006 р., коли в квітні-травні значення *VCI* становило 0-3% (рис. 2, д). В 2004 р. спостерігалася весняно-літня посуха: з квітня по липень показники *VCI* коливалися в межах 24-30%. В березні-квітні посухи також виникали в період 2010-2012 рр. Влітку та на початку осені вегетаційні умови були сприятливими протягом всього досліджуваного періоду, окрім 2000 р. Восени посушливими видалися лише по окремі місяці в жовтні та листопаді.

В Поліссі, як і в інших регіонах України, переважають весняні посухи, які спостерігалися також в два періоди, зазначені вище. Найбільш посушливим на весні є квітень, в березні значення *VCI* можуть бути некоректними через більш пізній початок вегетаційного періоду в північних районах (рис. 2, е). Найбільш тривалою та інтенсивною була весняно-літня посуха 2003 р., коли з квітня по червень значення *VCI* коливалося в межах 2-20%. В 2006 р. сильна посуха спостерігалася лише в весняні місяці, значення *VCI* склали від 3 до 12%. Весняні посухи періоду 2009-2013 рр. були менш інтенсивними, в 2009 та 2011 рр. вони охоплювали всі весняні місяці зі значенням *VCI* від 19 до 34%. Влітку, як і в Карпатському регіоні, посуха спостерігалася в 2000 р. В осінній період спостерігалася три роки з посухами малої інтенсивності – в 2005, 2009, 2011 рр., при цьому всі вони фіксувалися наприкінці вегетаційного періоду, в жовтні.

Узагальнюючи особливості просторово-часового розподілу посух на території України, визначені за допомогою Індексу вегетаційних умов, можна зробити висновок, що усім агрокліматичним зонам притаманна висока повторюваність весняних посух, особливо посушливим при цьому є східний Лісостеп. Найбільша кількість літніх посух спостерігається в Степу та центральному Лісостепу, при цьому деякі посухи розповсюджувалися й на початок осені. В Карпатському регіоні, Поліссі та східному Лісостепу літні посухи загалом нетривалі, а нечисленні осінні посухи починалися лише наприкінці вегетаційного сезону.

Проведемо оцінку інформативності нормалізованого вегетаційного індексу *NDVI* в зв'язку з індексами посушливості, які були розраховані та проаналізовані для території України. Для порівняння були взяті аномалії стандартизованого індексу опадів-евапотранспірації на масштабі 3 місяці (*SPEI-3*), осереднені по трьох відповідних місяцях аномалії параметра Палмера (*sc-PDSI*) та гідротермічного коефіцієнта Селянинова (*ГТК*). Вихідні дані по індексах посушливості *SPEI-3* та *sc-PDSI* одержані з бази даних сервісу KNMI Climate Explorer. Гідротермічний коефіцієнт для досліджуваного періоду був розрахований раніше [8]. Індекси посушливості, як й *NDVI*, були зонально осереднені в межах основних агрокліматичних зон – Степ (за винятком Криму), Лісостеп (за винятком Карпат), Полісся. В табл. 2 представлені коефіцієнти кореляції між аномаліями *NDVI* та відповідними аномаліями індексів посушливості за весняно-літній, літній та літньо-осінній періоди. Коефіцієнти кореляції були перевірені для 5% рівня значущості. Оскільки часові ряди містять невелику кількість даних, кількість значущих коефіцієнтів кореляції невисока.

Можна бачити, що по всіх індексах найліпший статистичний зв'язок спостерігається в Степовій зоні та в літній період (червень-серпень). Найвищі значення коефіцієнта кореляції відповідають параметру Палмера та гідротермічному коефіцієнту – 0,90 та 0,83 відповідно. Для *SPEI-3* зв'язок дещо менший. У весняно-літній період для *ГТК* та *SPEI-3* коефіцієнти кореляції майже дорівнюють літнім показникам, а для

параметра Палмера кореляційний зв'язок слабкий – 0,37. В літньо-осінній період для всіх індексів посушливості тіснота кореляційного зв'язку з *NDVI* зменшується, для *ГТК* коефіцієнт кореляції стає незначущим. Цей показник підкреслює той факт, що гідротермічний коефіцієнт восени частіше вказує на наявність посушливості, особливо в Степу, ніж інші індекси, що не завжди відповідає реальній ситуації. В Лісостепу кореляційний зв'язок між індексами посушливості та *NDVI* майже вдвічі менший, ніж в Степу, по всіх періодах. Значущі коефіцієнти кореляції спостерігаються для *ГТК* у весняний та літній періоди, восени кореляційний зв'язок відсутній. Для параметра Палмера значуща кореляція з *NDVI* спостерігається лише влітку. Стандартизований індекс опадів-евапотранспірації має незначущий кореляційний зв'язок протягом всього вегетаційного сезону. В Поліссі статистичний зв'язок між індексами посушливості та *NDVI* виявився незначущим.

Таблиця 2 – Коефіцієнти кореляції між аномаліями *NDVI* та індексами посушливості (виділені значущі коефіцієнти кореляції)

Індекс	Агрокліматична зона	Період		
		квітень - червень	червень - серпень	серпень - жовтень
<i>SPEI-3</i>	Степ	0,75	0,79	0,68
	Лісостеп	0,39	0,34	0,32
	Полісся	0,26	0,15	0,34
<i>sc-PDSI</i>	Степ	0,37	0,90	0,63
	Лісостеп	0,08	0,49	0,32
	Полісся	0,02	0,27	0,21
<i>ГТК</i>	Степ	0,83	0,83	0,40
	Лісостеп	0,54	0,47	0,09
	Полісся	0,05	0,35	0,28

Одержані результати узгоджуються з аналізом, проведеним для окремих регіонів Європи в дослідженні [9]. Автори визначили просторовий розподіл коефіцієнтів кореляції у вузлах регулярної сітки з кроком 1 градус між аномаліями індексів посушливості (*sc-PDSI* і стандартизованого індексу опадів, *SPI*) та аномаліями *NDVI* в весняний та літній періоди, який показав наявність кореляційного зв'язку на рівні 0,4-0,6 для південно-західних районів України та швидке зменшення коефіцієнтів кореляції в північному напрямку. Осереднені по площі окремих територій (Іберія, Північна Африка, Західна Туреччина) коефіцієнти кореляції для літнього періоду, за даними [9], становлять для *sc-PDSI* від 0,56 до 0,78, для *SPI* від 0,65 до 0,71.

Для того, щоб визначити, як впливає посушливість на показники нормалізованого вегетаційного індексу, розглянуто детально часовий хід *NDVI*, осереднений по території України, в роки з визначеними посухами з високою часовою дискретністю – 8 днів, яка надається проектом GLAM. На рис. 3 представлено графік часового ходу швидкості зміни вегетаційного індексу протягом вегетаційних періодів: осереднений по періоду 2000-2012 рр. та за окремі роки, коли в більшості областей спостерігалася посуха в весняний або літній періоди – 2003, 2006, 2007, 2009 та 2012 рр. Швидкість зміни *NDVI* відносна та представлена у відсотках до попереднього 8-денного проміжку часу. Отже, згідно кривої, яка представляє осереднену швидкість зміни *NDVI*, позитивний приріст рослинного покриву на території України відбувається з початку квітня і триває до початку червня. При цьому найбільша швидкість приросту

відзначається в період з 14 по 21 квітня, потім швидкість наростання поступово убуває. Після першої декади червня спостерігається переважно негативний приріст з постійною швидкістю протягом всього літа, що свідчить про відносно стійкі погодні умови на даній території. Восени негативний приріст зберігається, але стає більш нестабільним в результаті підвищення мінливості погодних умов та сезонної зміни структури рослинного покриву.

Для виділених років з посухою характерні різкі коливання швидкості зміни *NDVI* навесні, у квітні. Найбільш інтенсивна весняна посуха 2003 р. була відзначена різким збільшенням *NDVI* в середині квітня, що відповідає відносно пізньому настанню весни в цей рік на території країни, внаслідок чого бурний розвиток рослинності відбувався навіть на фоні посушливої погоди. Посушливі вегетаційні сезони 2007 та 2012 рр. характеризувалися меншим, ніж в середньому, приростом *NDVI* протягом весни і до середини літа. Літня посуха 2009 р. відбилася на збільшенні швидкості убування рослинності в другій половині літа. Весняна посуха 2006 р. не виражена в швидкості зміни *NDVI* завдяки порівняно її невеликій інтенсивності та площі охоплення (західний Лісостеп та Полісся).

Таким чином, відносна швидкість приросту рослинності, що фіксується змінами *NDVI*, може відбивати умови інтенсивних посух з великим відсотком охоплення досліджуваної території.

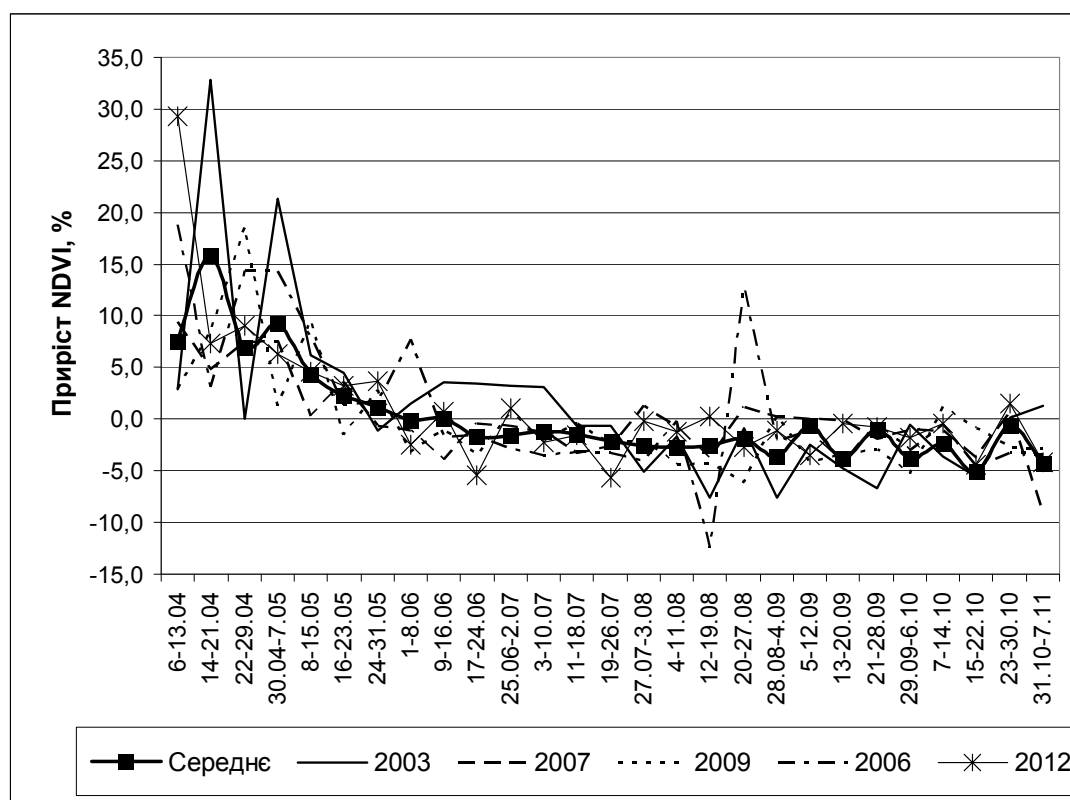


Рис. 3 – Відносна швидкість зміни *NDVI* (%), осередненого по території України, протягом вегетаційного періоду.

Проведемо порівняльний аналіз часового розподілу нормалізованого вегетаційного індексу *NDVI* з показниками врожайності деяких сільськогосподарських культур на території України. В табл. 3 представлена інформація щодо аномалій *NDVI* по роках та місяцях та дані про коливання параметрів врожайності озимої пшениці та

ярого ячменю по Україні в цілому. На основі даних про щорічну врожайність по областях України була визначена тенденція врожайності за методом гармонійних ваг [10], проаналізовані відхилення від тренда (ΔY) та метеорологічна складова мінливості врожайності (δY) [11]. Можна бачити, що на показники врожайності значно впливають весняно-літні посухи, які добре відбиваються в негативних місячних аномаліях $NDVI$. Найбільші від'ємні відхилення $NDVI$ від середнього значення в квітні-травні 2003 р. відповідають найбільшому за розглянуті роки зниженню врожайності озимої пшениці. Більш пізня весняно-літня посуха 2007 р. призвела до значних втрат ярого ячменю. На зниженні врожайності відбилася також весняна посуха 2006 р., хоча її інтенсивність й тривалість були менші, ніж в 2003 р. Збитки врожаю в 2000 та 2012 рр. були меншими, але також супроводжувалися негативними аномаліями $NDVI$ в квітні-червні, а в 2012 р. - протягом всього літа. Таким чином, суттєві втрати врожаю фіксуються в роки, коли значення $NDVI$ в квітні-червні менше від середнього. Літні негативні аномалії $NDVI$, що відповідають літнім посухам, майже не відбиваються на показниках врожайності.

Таблиця 3 – Аномалії $NDVI$ (% від середнього значення) і показники врожайності – відхилення від тренда (ΔY , ц/га) та метеорологічна складова відхилення врожайності (δY , %) по території України

Рік	Місяць							Озима пшениця		Ярий ячмінь	
	квітень	травень	червень	липень	серпень	вересень	жовтень	ΔY	δY	ΔY	δY
2000	5,84	-1,49	-2,98	0,99	0,68	7,83	2,87	-4,45	-18,1	-2,26	-10,94
2001	14,70	8,38	1,92	-0,22	-2,31	2,17	4,92	4,11	16,5	4,23	20,54
2002	13,00	3,09	-2,20	-10,24	-1,02	1,18	5,13	5,26	20,8	3,76	18,25
2003	-19,90	-11,46	-5,44	9,31	7,76	0,14	-5,31	-11,25	-44,1	-3,86	-18,66
2004	-0,73	0,67	2,85	2,60	11,31	9,07	4,69	6,36	24,2	3,59	17,14
2005	-3,96	2,01	4,29	2,08	2,93	-3,16	-8,02	1,59	5,9	0,09	0,42
2006	-9,08	-2,13	5,31	2,05	-1,70	5,17	7,14	-2,51	-9,0	-0,47	-2,16
2007	6,74	-1,86	-7,30	-8,64	-4,76	3,04	8,31	-3,25	-11,4	-5,68	-25,36
2008	19,83	8,93	1,54	-2,86	-5,34	-6,58	0,66	6,75	22,8	6,22	26,83
2009	0,43	0,87	-3,14	-3,90	-6,27	-8,89	-10,03	1,67	5,5	-0,05	-0,21
2010	-0,96	-0,18	0,17	3,97	-3,57	-2,72	-3,94	-4,04	-13,1	-	-
2011	-7,23	-0,18	-0,51	4,85	2,56	-5,55	-10,86	2,46	7,8	-0,08	-0,34
2012	-3,93	-3,37	-3,27	-5,56	-4,03	-1,03	3,26	-3,03	-9,8	-1,76	-7,60

Висновки. Виконаний в дослідженні аналіз посушливих умов на території України за допомогою вегетаційних індексів, визначених за даними супутникового зондування, показав високу ефективність цих параметрів для вирішення задач моніторингу як посух, так й загального стану рослинного покриву, що дає змогу використовувати їх в пошуку кількісних зв'язків погодних умов з продуктивністю та врожайністю окремих сільськогосподарських культур з метою сезонного прогнозування. Виконана оцінка інформативності нормалізованого вегетаційного індексу порівняно з деякими індексами посушливості показала, що найкращий статистичний зв'язок спостерігається лише в Степовій зоні, що обмежує верифікацію та сумісне використання цих параметрів при моделюванні для всій території України.

Список літератури

1. Калинин Н.А., Пьянков С.В., Связов Е.М., Смирнова А.А. Технология комплексной оценки фитомассы сельскохозяйственных культур по данным дистанционного зондирования Земли // Вестник Удмуртского университета. Сер. Биология. Науки о Земле. - 2010. - Вып. 4. - С. 11-18.
2. Антоненко В.С., Гаценко Р.В. Оценка состояния посевов и прогноз урожайности озимой пшеницы в Украине по данным многоспектральной космической съемки // Наук. праці УкрНДГМІ. – 2005. - Вип. 254. - С.55-71.
3. Гребень А.С., Красовская И.Г. Анализ основных методик прогнозирования урожайности с помощью данных космического мониторинга, применительно к зерновым культурам степной зоны Украины // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2012. - № 2 (54). – С. 170-180.
4. Rouse J.W., Haas R.H., Schell J. A., Deering D.W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS // Third ERTS Symposium, NASA SP-3511973. - Vol. 1. - P. 309–317.
5. Kogan F.N. Droughts of the late 1980s in the United States as derived from NOAA polar orbiting satellite data // Bull. Amer. Met. Soc. – 1995. - Vol. 76, No. 5. - P. 655-668.
6. Singh R.P., Roy S., Kogan F. Vegetation and temperature condition indices from NOAA AVHRR data for drought monitoring over India // Int. J. Remote Sensing. – 2003. - Vol. 24, No. 22. – P. 4393–4402.
7. Karnieli A., Agam N., Pinker R. T., Anderson M., Imhoff M. L., Gutman G. G., Panov N., Goldberg A. Use of NDVI and land surface temperature for drought assessment: Merits and limitations. // J. Climate. – 2010. - Vol. 23. - P. 618–633.
8. Семёнова И. Г. Оценка засушливых условий на Украине в конце XX - начале XXI столетия // Вестник Балтийского федер. ун-та им. И. Канта. - 2014. - № 1. - С. 20-29.
9. Peled E., Dutra E., Viterbo P., Angert A. Technical note: Comparing and ranking soil-moisture indices performance over Europe, through remote-sensing of vegetation // Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss. – 2009. – Vol. 6. – P. 6247-6264.
10. Полевой А.Н. Теория и расчет продуктивности сельскохозяйственных культур. – Л.: Гидрометеиздат, 1983. - 175 с.
11. Пасов В.М. Изменчивость урожаев и оценка ожидаемой продуктивности зерновых культур. – Л.: Гидрометеиздат, 1986. - 152 с.

Использование вегетационных индексов для мониторинга засух в Украине

Семенова И.Г.

Исследовано пространственно-временное распределение засушливых условий в Украине за период 2000-2013 гг. с помощью индексов, которые являются продуктами спутникового зондирования Земли, - нормализованного вегетационного индекса и индекса условий вегетации. Выявлено преобладание весенних засух во всех агроклиматических зонах с максимальной повторяемостью и интенсивностью в восточной Лесостепи. Сравнительный анализ показателей урожайности озимой пшеницы и ярового ячменя с аномалиями вегетационного индекса показал существенное снижение урожая в те годы, когда значения индекса в апреле-июне меньше средних.

Ключевые слова: нормализованный вегетационный индекс, засуха, урожайность.

Using of vegetation indices for drought monitoring in Ukraine

Semenova I.G.

Spatial and temporal distribution of dry conditions in Ukraine for the period 2000-2013 was studied using the normalized difference vegetation index and vegetation condition index, which are the products of Earth satellite sensing. It was found the prevalence of spring droughts in all agroclimatic zones with a maximum of frequency and intensity in the eastern Steppe. A comparing of the crop yield of winter wheat and spring barley with anomalies of vegetation index showed significant crop reduction in the years when the value of vegetation index in April-June was less than the average.

Keywords: normalized difference vegetation index, drought, crop yield.