

ЗАСТОСУВАННЯ AGRICULTURAL STRESS INDEX ДЛЯ ДИНАМІЧНОЇ ОЦІНКИ ПОСУХИ НА ОРНИХ ЗЕМЛЯХ

ВОЖЕГОВА Р.А. – доктор сільськогосподарських наук, професор,
академік Національної академії аграрних наук України
orcid.org/0000-0002-3895-5633

Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства
Національної академії аграрних наук України

ЛИХОВИД П.В. – кандидат сільськогосподарських наук, старший науковий
співробітник відділу зрошуваного землеробства і декарбонізації агроєкосистем
orcid.org/0000-0002-0314-7644

Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства
Національної академії аграрних наук України

РУДІК О.Л. – доктор сільськогосподарських наук, доцент,
завідувач кафедри польових і овочевих культур
orcid.org/0000-0003-1384-5523

Одеський державний аграрний університет

Постановка проблеми. Глобальні зміни клімату, що набули вираженого характеру в останнє десятиліття, мають різнобічний вплив на метеорологічну ситуацію та довкілля. Трансформація клімату планети відбувається за стрибкоподібним сценарієм, що призводить до суттєвого збільшення частоти появи надзвичайних погодних феноменів. На теренах Східної Європи до таких метеорологічних явищ належать різкі коливання температури та тиску, що відбуваються у стислі строки; посухи та навпаки, зливові дощі та град; суховії та ураганні вітри [1]. Сільськогосподарське виробництво в цілому, і рослинництво зокрема, потерпають від вищевказаних метеорологічних проявів, реагування людини для протидії яким часто не відповідає за швидкістю та інтенсивністю, що веде до втрат продуктивності в аграрному секторі економіки. Втім, на теренах України однією з найбільших проблем, особливо враховуючи руйнування дамби Каховської ГЕС та загрозу зрошенню великих земельних масивів у зоні Сухого Степу Півдня України, є посуха [2]. Отже, проблеми динамічного моніторингу посухи на землях сільськогосподарського призначення та можливості її прогнозування на найближче майбутнє є актуальними для аграрної науки сьогодення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Останні дослідження, присвячені вивченню кліматичної ситуації в Україні в цілому і на Півдні держави зокрема, підкреслюють наявність чіткого тренду до наростання посушливості практично в усіх регіонах країни [3]. Паралельно наростанню посушливості, прогнозується і зростання потреб у зрошенні, яке традиційно асоціювалося лише з південними регіонами, а найближчими десятиліттями може бути невід'ємним компонентом інтенсивних агротехнологій навіть на півночі України [4]. Більшість сучасних дослідників спирається на прямі метеорологічні індикатори посухи, такі як рівень евапотранспірації, дефіциту вологи, індекс аридності, гідротермічний коефіцієнт, стандартизований індекс опадів та евапотранспірації, тощо [5]. Втім, не варто нехтувати сучасними можливостями супутникового моніторингу для оцінки посухи.

Існуючі інструменти моніторингу довкілля дозволяють ефективно аналізувати історичні тренди та виконувати прогнози розвитку агрометеорологічної ситуації в Україні із використанням різних індексів і систем моніторингу, зокрема, даних дистанційного зондування Землі. Втім, останні технології, на жаль, отримали незначне поширення в Україні, що є недоліком вітчизняної аграрної науки. Зокрема, немає жодного масштабного дослідження стану посухи на сільськогосподарських землях із використанням даних Agricultural Stress Index (ASI), розробленого ФАО ООН саме з метою ефективного динамічного дистанційного моніторингу посух на великих територіях.

Agricultural Stress Index (ASI) опосередковано оцінює та показує відсоток сільськогосподарської ріллі або природних пасовищ у межах конкретних адміністративно-територіальних районів і зон, які потенційно знаходяться під впливом посухи. Дані надаються у місячному (з подекадним поділом) та річному (у сезонному поділі) розрізах. Базою для оцінки територій за ризиком посухи слугують композитні дані щодо нормалізованого диференційного індексу (NDVI) та температурного індексу (BT4), одержаних за даними сенсору AVHRR. Для розрахунків використовуються згладжені часові серії, вільні від спотворень та хмарності. Проходячи ряд перетворень, комбінована серія NDVI та BT4 трансформується у індекс здоров'я рослинності (VHI), на основі якого розраховують відсотковий показник ASI для заданої території. За класифікацією ФАО, виділяють 7 основних градацій ASI: <10%, 10–25%, 25–40%, 40–55%, 55–70%, 70–85%, і ≥85%. Перша градація (до 10%) відповідає територіям, які фактично не відчувають негативного впливу посухи на культивовані рослини (або природні пасовища) [6].

Мета. Завданням роботи було оцінити динаміку ASI на теренах України для весняно-літнього сезону в період 1984–2022 років за офіційними даними ФАО, представленими на платформі ArcGIS Online та співставити відповідність між вразливістю до посухи та прямими агрометеорологічними індикаторами посухи, такими як евапотранспірація та індекс аридності.

Матеріали та методика досліджень. Базисом для виконання дослідження стали відкриті дані FAO щодо глобального ASI для періоду 1984–2022 рр., розміщені на ГІС-платформі ArcGIS Online. Для виокремлення даних щодо території України та її регіонів до системи було додано шар адміністративно-територіального устрою України (у форматі shapefile). Дані використовувалися із класифікаторами season-1 (весняно-літній сезон) та storplands (сільськогосподарська рілля).

Величину евапотранспірації та індексу аридності на території України встановлювали за стандартизованими методиками із використанням статистичних метеорологічних даних регіональних гідрометеорологічних центрів України та онлайн-сервісу метеорологічної бази даних meteoblue за період 1991–2020 рр.

Співставлення та взаємовідношення між супутниковим ASI та метеорологічними показниками виконували шляхом парного кореляційного аналізу даних за методикою Пірсона [7]. Статистичну оцінку тренду ASI на теренах України виконано за методикою Манн-Кендала [8]. Статистичні розрахунки виконувалися із використанням пакету Microsoft Excel 365 та Real Statistics.

Результати досліджень. Відповідно до результатів дослідження було встановлено, що найбільшого негативного впливу на стан сільськогосподарських угідь в Україні за період 1984–2022 рр. було завдано у 1986, 2007 та 2003 роках, коли ASI становив 36,7, 34,3 та 29,5%, відповідно (табл. 1).

Таблиця 1

Величина ASI на території України за період 1984–2020 рр.

Рік	ASI, %	Рік	ASI, %
1984	13,9	2004	13,3
1985	11,2	2005	10,0
1986	36,7	2006	10,0
1987	10,3	2007	34,3
1988	10,0	2008	10,0
1989	12,7	2009	10,0
1990	10,3	2010	10,2
1991	10,0	2011	10,0
1992	16,0	2012	19,3
1993	10,0	2013	11,2
1994	10,0	2014	10,0
1995	10,0	2015	11,5
1996	19,8	2016	10,0
1997	10,0	2017	10,6
1998	10,0	2018	11,5
1999	10,0	2019	10,0
2000	10,0	2020	11,2
2001	10,0	2021	10,0
2002	10,6	2022	10,0
2003	29,5	1984–2020	12,93

Щодо регіонального розподілу, то найбільш посушливими регіонами за період досліджень були Крим, Запорізька, Миколаївська та Херсонська області, які традиційно є районами ризикованого землеробства, де величина ASI в середньому склала, відповідно, 17,30, 15,68, 15,27 та 15,07% (табл. 2).

Таблиця 2

Регіональний розподіл величини ASI (%) на території України за період 1984–2020 рр.

Рік	Вол-ка	Рівн-ка	Черк-ка	Чернів-ка	Черніт-ка	Дніпр-ка	Ів.-Франк-ка	Харк-ка	Херс-ка	Хмельн-ка	Кіров-ка	Київ-ка	Львів-ка	Микол-ка	Од-ка	Полт-ка	Сум-ка	Терн-ка	Закарп-ка	Вінн-ка	Запор-ка	Жит-ка	Крим	Луг-ка	Дон-ка
1984	10	10	10	10	10	10	10	32,5	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	26	
1985	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	17,5
1986	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
1987	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	32,5
1988	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
1989	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
1990	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
1991	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
1992	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
1993	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
1994	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
1995	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10

За результатами статистичного аналізу взаємодіювання між величиною індексу ASI та величиною евапотранспірації та індексу аридності за період 1991–2020 рр. було встановлено, що взаємозв'язок між метеорологічними показниками та супутниковим індексом практично відсутній або дуже слабкий (коефіцієнт кореляції Пірсона за регіонами країни коливався в межах -0,28...0,34 для евапотранспірації та -0,26...0,20 для індексу аридності). Таким чином можна констатувати, що ASI – це показник саме ступеня впливу та ураження територій посухою, а не маркер ризику посухи в кліматичному сенсі. Так, наприклад, Херсонська область є надзвичайно посушливим регіоном з кліматичної точки зору [9]. Але за рахунок ефективного зрошення у більшості років ASI за регіоном не перевищував 10%, і лише в окремі роки (наприклад, надзвичайно посушливий 2007 рік) досягав 70% і більше.

Внаслідок аналізу тренду ураженості територій сільськогосподарських угідь України посухою, було встановлено, що відсутній статистично достовірний тренд до наростання або зменшення наслідків посухи для вирощуваних в державі сільськогосподарських культур (табл. 3).

Таблиця 3

Результати аналізу тренду ASI на території України за Манн-Кендалом

Показник	Величина
alpha	0
MK-stat	-71
s.e.	76,6616
z-stat	-0,9131
p-value	0,3612
trend	no

Висновки. За результатами дослідження встановлено, що найбільш посушливими роками, відповідно до величини ASI, були 1986, 2007 та 2003 роки, коли від посухи постраждали відповідно 36,7, 33,1 та 29,5% посівних площ. Найбільш посушливими регіонами країни є Крим, Запорізька, Миколаївська, Херсонська області з середньою площею уражених посівів за величиною ASI відповідно 17,30, 15,68, 15,27 та 15,07%. Не було встановлено статистично значущого взаємозв'язку між величиною ASI та метеорологічними індикаторами посухи (евапотранспірація, індекс аридності). Оцінка тренду також не виявила статистичного достовірної тенденції до зміни площ, що будуть потерпати від негативних наслідків посухи.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

- Lykhovyd P. V. Global warming inputs in local climate changes of the Kherson region: current state and forecast of the air temperature. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2018. Vol. 8. No. 2. P. 39–41. DOI: 10.15421/2018_307
- Вожегова Р.А., Нетіс І.Т., Онуфран Л.І., Сахацький Г.І., Шарата Н.Г. Зміна клімату та аридизація Південного Степу України. *Аграрні інновації*. 2021. Вип. 7. С. 16–20. DOI: 10.32848/agrар.innov.2021.7.3

- Vozhehova R. A. Water resources and food supply systems. *Irrigated Agriculture*. 2022. Vol. 78. P. 10–14. DOI: 10.32848/0135-2369.2022.78.2
- Lykhovyd P. Irrigation needs in Ukraine according to current aridity level. *Journal of Ecological Engineering*. 2021. Vol. 22. No. 8. P. 11–18. DOI: 10.12911/22998993/140478
- Łabędzki L., Bąk B. Meteorological and agricultural drought indices used in drought monitoring in Poland: a review. *Meteorology Hydrology and Water Management. Research and Operational Applications*. 2014. Vol. 2. No. 2. P. 3–13.
- Van Hoolst R., Eerens H., Haesen D., Royer A., Bydekerke L., Rojas O., Li Y., Racionzer P. FAO's AVHRR-based Agricultural Stress Index System (ASIS) for global drought monitoring. *International Journal of Remote Sensing*. 2016. Vol. 37. No. 2. P. 418–439. DOI: 10.1080/01431161.2015.1126378
- Sedgwick P. Pearson's correlation coefficient. *Bmj*. 2012. Vol. 345. P. e4483. DOI: 10.1136/bmj.e4483
- Hamed K. H. Trend detection in hydrologic data: the Mann-Kendall trend test under the scaling hypothesis. *Journal of Hydrology*. 2008. Vol. 349. No. 3–4. P. 350–363. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2007.11.009
- Лиховид П. В. Аналіз агрокліматичних умов у Херсонській області за 2022 рік із використанням сучасних інформаційних технологій. *Зрошуване Землеробство*. 2023. Вип. 79. С. 47–51. DOI: 10.32848/0135-2369.2023.79.6

REFERENCES:

- Lykhovyd, P. V. (2018). Global warming inputs in local climate changes of the Kherson region: current state and forecast of the air temperature. *Ukrainian Journal of Ecology*, 8(2), 39–41. DOI: 10.15421/2018_307
- Vozhehova, R.A., Netis, I.T., Onufrán, L.I., Sakhatsky, G.I., & Sharata, N.H. (2021). Zmina klimatu ta problema arydyzatsiyi Pivdennoho Stepu Ukrainy [Climate change and aridization of the Southern Steppe of Ukraine]. *Agrarian Innovations*, 7, 16–20. DOI: 10.32848/agrар.innov.2021.7.3
- Vozhehova, R. A. (2022). Water resources and food supply systems. *Irrigated Agriculture*, 78, 10–14. DOI: 10.32848/0135-2369.2022.78.2
- Lykhovyd, P. (2021). Irrigation needs in Ukraine according to current aridity level. *Journal of Ecological Engineering*, 22(8), 11–18. DOI: 10.12911/22998993/140478
- Łabędzki, L., & Bąk, B. (2014). Meteorological and agricultural drought indices used in drought monitoring in Poland: a review. *Meteorology Hydrology and Water Management. Research and Operational Applications*, 2(2), 3–13.
- Van Hoolst, R., Eerens, H., Haesen, D., Royer, A., Bydekerke, L., Rojas, O., Li, Y., & Racionzer, P. (2016). FAO's AVHRR-based Agricultural Stress Index System (ASIS) for global drought monitoring. *International Journal of Remote Sensing*, 37(2), 418–439. DOI: 10.1080/01431161.2015.1126378
- Sedgwick, P. (2012). Pearson's correlation coefficient. *Bmj*, 345, e4483. DOI: 10.1136/bmj.e4483
- Hamed, K. H. (2008). Trend detection in hydrologic data: the Mann-Kendall trend test under the scaling hypothesis. *Journal of Hydrology*, 349(3–4), 350–363. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2007.11.009

9. Lykhovyd, P. V. (2023). Analiz ahroklimatychnykh umov u Khersonskii oblasti za 2022 rik iz vykorystanniam suchasnykh informatsiinykh tekhnolohii [Analysis of agroclimatic conditions in Kherson oblast for 2022 using modern information technologies]. *Irrigated Agriculture*, 79, 47–51. DOI: 10.32848/0135-2369.2023.79.6

Вожегова Р.А., Лиховид П.В., Рудік О.Л.
Застосування Agricultural Stress Index для динамічної оцінки посухи на орних землях

Мета. Завданням роботи було оцінити динаміку ASI на теренах України для весняно-літнього сезону в період 1984–2022 років за офіційними даними ФАО, представленими на платформі ArcGIS Online та співставити відповідність між вразливістю до посухи та прямими агрометеорологічними індикаторами посухи, такими як евапотранспірація та індекс аридності.

Методи. Застосування просторових даних щодо ASI, представлені ФАО на ГІС-платформі ArcGIS Online. Метеорологічні показники евапотранспірації та індексу аридності відповідно до статистичних даних регіональних гідрометеорологічних центрів України та бази даних meteorblue. Статистична оцінка із залученням методів кореляційного аналізу за Пірсоном та аналізу тренду за Манн-Кендалом.

Результати. Встановлено, що найбільшого негативного впливу на стан сільськогосподарських угідь в Україні за період 1984–2022 рр. було завдано у 1986, 2007 та 2003 роках, коли ASI становив 36,7, 34,3 та 29,5%, відповідно. Найбільш посушливими регіонами за період досліджень були Крим, Запорізька, Миколаївська та Херсонська області, де величина ASI в середньому склала, відповідно, 17,30, 15,68, 15,27 та 15,07%. Взаємозв'язок між метеорологічними показниками та ASI практично відсутній або дуже слабкий (коефіцієнт кореляції Пірсона в межах -0,28...0,34 для евапотранспірації та -0,26...0,20 для індексу аридності). Тест Манн-Кендала не виявив статистично достовірного тренду у динаміці величини ASI в Україні.

Висновки. За результатами дослідження встановлено, що найбільш посушливими роками в Україні за період 1984–2022 рр. були 1986, 2007 та 2003 роки. Найбільше потерпають від негативних ефектів посухи Крим, Запорізька, Миколаївська, Херсонська області. Не було встановлено статистично значущого взаємозв'язку між величиною ASI та метеорологічними індикаторами посухи, такими як евапотранспірація та індекс аридності. Оцінка тренду не виявила статистичного достовірної тенденції до зміни площ, що будуть потерпати від негативних наслідків посухи.

Ключові слова: зрошення, клімат, моніторинг, посівні площі, сільськогосподарські угіддя.

Vozhehova R.A., Lykhovyd P.V., Rudik O.L.
Implementation of Agricultural Stress Index for dynamic drought assessment in croplands

Purpose. The goal of the study was to assess the dynamics of ASI on the territory of Ukraine for the spring-summer season in the period 1984–2022 according to official FAO data, presented on the ArcGIS Online platform, and to compare the correspondence between vulnerability to drought and direct agrometeorological indicators of drought, such as evapotranspiration and aridity index.

Methods. Spatial data for ASI, presented by FAO on the ArcGIS Online GIS platform, were used. Meteorological indicators of evapotranspiration and aridity index were estimated according to the statistical data of regional hydrometeorological centers of Ukraine and the meteorblue database. Statistical evaluation was performed using the methods of Pearson correlation analysis and Mann-Kendall trend analysis.

Results. It was established that the greatest adverse effect on the conditions of agricultural land in Ukraine for the period 1984–2022 was recorded for 1986, 2007 and 2003, when ASI was 36.7, 34.3 and 29.5%, respectively. The most arid regions during the studied period were the Crimea, Zaporizhzhia, Mykolaiv, and Kherson regions, where the average ASI was 17.30, 15.68, 15.27, and 15.07%, respectively. The relationship between meteorological indicators and ASI is almost absent or very weak (Pearson's correlation coefficient in the range of -0.28...0.34 for evapotranspiration and -0.26...0.20 for the aridity index). The Mann-Kendall test did not reveal a statistically significant trend in the dynamics of the ASI in Ukraine.

Conclusions. Based on the results of the study, it was established that the most arid years in Ukraine for the period 1984–2022 were 1986, 2007, and 2003. The Crimea, Zaporizhzhia, Mykolaiv, and Kherson regions suffer the most from the negative effects of the drought. No statistically significant relationship was found between the value of ASI and meteorological indicators of drought, such as evapotranspiration and aridity index. The assessment of the trend did not reveal a statistically reliable tendency to change in the cropland areas that will suffer from the adverse consequences of the drought.

Key words: irrigation, climate, monitoring, croplands, agricultural areas.