

МОЖЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ БАЗИ ДАНИХ “GLOBAL ARIDITY INDEX AND POTENTIAL EVAPOTRANSPIRATION (ET₀) DATABASE V3” В АГРОКЛІМАТИЧНИХ УМОВАХ ХЕРСОНЬСЬКОЇ ОБЛАСТІ

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, докторант
orcid.org/0000-0002-0314-7644

Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства
Національної академії аграрних наук України

ЛАВРЕНКО С.О. – кандидат сільськогосподарських наук, доцент
orcid.org/0000-0003-3491-1438

Херсонський державний аграрно-економічний університет

ПІЛЯРСЬКА О.О. – кандидат сільськогосподарських наук, старший дослідник
orcid.org/0000-0001-8649-0618

Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства
Національної академії аграрних наук України

Постановка проблеми. Оцінка поточної агрокліматичної ситуації на тлі глобального потепління є важливим етапом планування раціональної сільськогосподарської діяльності. В умовах кліматичних змін надзвичайно гостро постає проблема забезпечення сталого виробництва продукції рослинництва за одночасного зниження антропогенного тиску на природні екосистеми та довкілля. У реаліях сьогодення найбільш перспективним напрямом розвитку аграрного сектору України є трансфер до кліматично орієнтованого сільського господарства. Останнє передбачає перегляд агротехнологій в контексті їх еколого-економічної ефективності з урахуванням низки агрокліматичних параметрів, зокрема, рівня посушливості територій [1]. Саме тому проблематика вибору методологічного підходу до оцінки агрометеорологічних індексів, які прямо або опосередковано характеризують ступінь аридності клімату, є надзвичайно важливим і актуальним питанням сучасної аграрної науки та кліматології.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сучасна кліматологія у своєму розпорядженні має низку принципово відмінних методологічних підходів до оцінки посушливості клімату. Найбільшої уваги з точки зору агрокліматичного районування та планування сільськогосподарської діяльності заслуговують методики оцінки таких індексів як гідротермічний коефіцієнт (ГТК) [2]; прямий дефіцит природного зволоження (або баланс природної вологи) [1]; індекс інтенсивності посухи за Палмером (PDSI, доволі складний у розрахунку та дуже широко використовуваний у США) [3]; стандартизований індекс опадів (SPI) та стандартизований індекс опадів і випаровування (SPEI) [4, 5], які поряд із високою чутливістю мають у своїй основі недолік визначення евапотранспірації за рівнянням Торнтвейта, яке на тлі змін клімату є неприйнятним для оцінки випаровуваності [6]; індекс аридності (AI), який є одним із найбільш поширених у світовій практиці для класифікації тери-

торій за рівнем посушливості клімату, є відносно простим у розрахунку та водночас доволі точно відображає реальну кліматичну ситуацію, оскільки базується на стандартизованому ФАО індексі евапотранспірації за Пенман-Монтейтом [7].

Водночас, окрім зазначених вище підходів, існують відкриті джерела та бази даних агрокліматичної інформації, які можуть використовуватися науковцями та практиками. До однієї з таких баз даних належить “Global Aridity Index and Potential Evapotranspiration Database v3” (оновлена у березні 2022 року). Ця база являє собою набір супутникових зображень високої роздільно здатності (30 арксекунд) щодо глобальної гідро-кліматичної характеристики планети, усередненої за період 1970–2000 рр., за основними показниками евапотранспірації (розрахунок за рівнянням Пенман-Монтейта з урахуванням просторової складової) та індексу аридності (з урахуванням просторових складових евапотранспірації та розподілу опадів). Перевірка якості просторових агрометеорологічних даних із базовими показниками бази даних ФАО “CLIMWAT 2.0 for CROPWAT” та британської бази кліматичних даних “Climate Research Unit: Time Series v 4.04” засвідчили про високу спорідненість і відповідність між ними (коефіцієнти детермінації склали 0,85 та 0,89 для евапотранспірації та 0,90 і 0,83 для індексу аридності, відповідно) [8]. Наразі “Global Aridity Index and Potential Evapotranspiration Database v3” є однією з найбільших доступних метеорологічних баз даних для оцінки посушливості клімату, що знайшло відображення у її широкому застосуванні у світовій практиці.

Втім, враховуючи просторовий компонент бази даних, варто переконатися, наскільки достовірно і точно вона здатна описувати реальну ситуацію клімату на локальному рівні, оскільки використання недостовірних даних у агрокліматичному районуванні та прогнозуванні впливатиме на ефективність запровадження дій щодо

трансферу до кліматично орієнтованого сільського господарства.

Мета. Здійснити оцінку агрокліматичної ситуації в Херсонській області за період 1970–2000 рр. за даними бази “Global Aridity Index and Potential Evapotranspiration Database v3” та порівняти результати зі стандартизованою методикою Пенман-Монтейта із розрахунком параметрів за даними обласного гідрометеорологічного центру, а також з авторською методикою, реалізованою у мобільному додатку Evapotranspiration Calculator (Ukraine) (також за даними обласного гідрометеорологічного центру).

Матеріали та методика досліджень. Зображення, що включено в базу даних “Global Aridity Index and Potential Evapotranspiration Database v3”, представлено в форматі GeoTIFF для обробки та інтерпретації в ГІС-програмах. У якості базового ГІС-середовища нами було використано програмне забезпечення QGIS 3.10 A Coruna. Необроблені зображення було проаналізовано засобами растрового аналізу та класифіковано відпо-

відно до градацій евапотранспірації (рис. 1) та індексу аридності (рис. 2). При цьому пікові значення агрометеорологічних показників склали 4050 мм для річної евапотранспірації та 10 одиниць для індексу аридності.

Показники евапотранспірації та індексу аридності було розраховано за даними обласного гідрометеорологічного центру Херсонської області за стандартизованим рівнянням Пенман-Монтейта [9] за період 1970–2000 рр., а індекс аридності розраховано з урахуванням даних гідрометеорологічного центру за даний період. Індекс аридності розраховували за стандартизованою міжнародною методикою [10].

Крім того, оцінку евапотранспірації за досліджуваній період було виконано в мобільному додатку Evapotranspiration Calculator (Ukraine) із використанням неуточнених (середніх) показників метеорологічного індексу [11].

Різницю в оцінці агрометеорологічних індексів виконували як в абсолютній величині, так і у відсотках до стандартного методу визначення (Пенман-Монтейт).

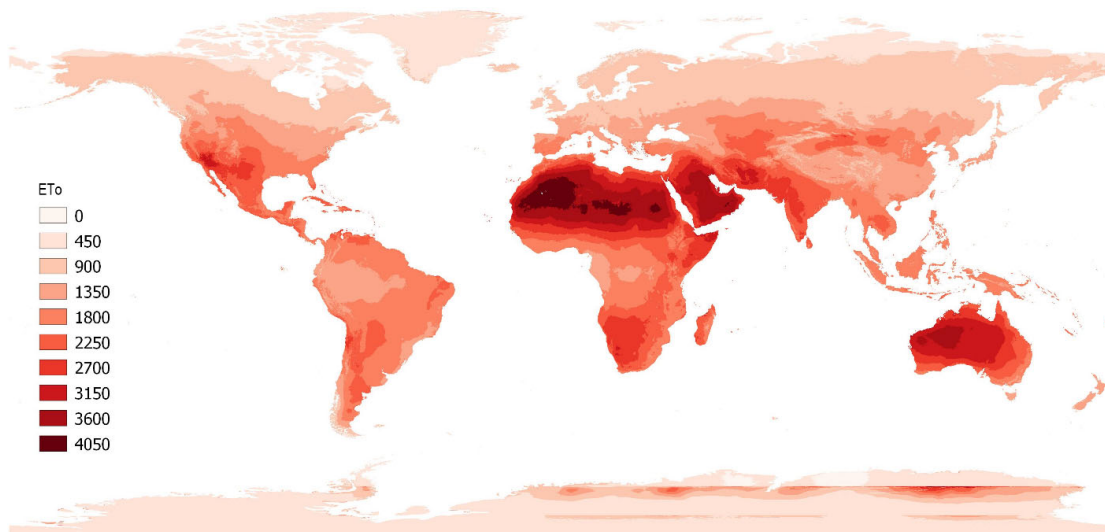


Рис. 1. Глобальний показник евапотранспірації (1970-2000 рр.) згідно бази даних “Global Aridity Index and Potential Evapotranspiration Database v3” (авторська інтерпретація)

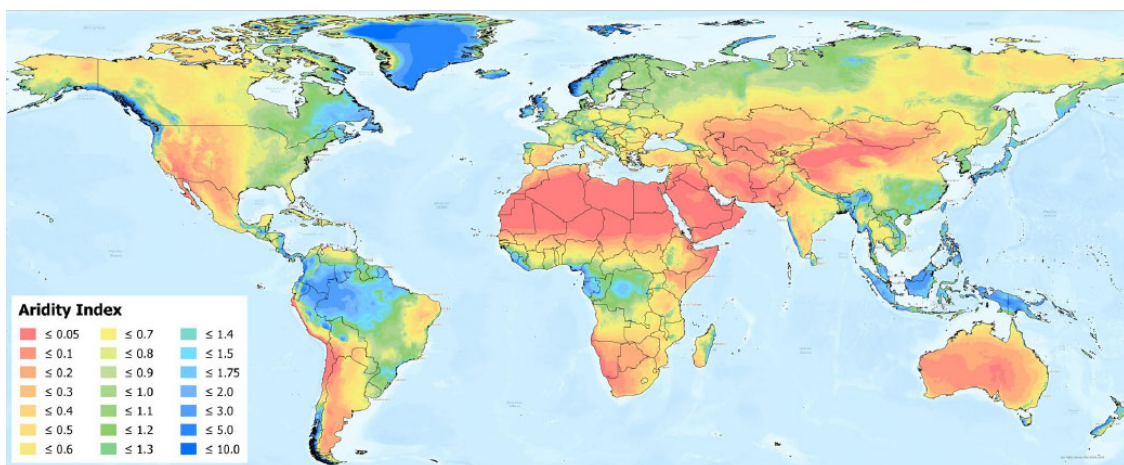


Рис. 2. Глобальний показник індексу аридності (1970–2000 рр.) згідно бази даних “Global Aridity Index and Potential Evapotranspiration Database v3” (інтерпретовано згідно [8])

Результати досліджень. Результати порівняльної оцінки різних методологічних підходів щодо визначення посушливості клімату на території Херсонської області за період 1970–2000 рр. вказують на те, що згідно сучасної класифікації усі три досліджувані методи класифікують клімат регіону як напів-посушливий (або напіваридний, індекс аридності в межах 0,20–0,50). Не дивлячись на вищевказане, помітна відчутна різниця у оцінці величини евапотранспірації та індексу аридності за базовими зображеннями “Global Aridity Index and Potential Evapotranspiration Database v3” та стандартизованою методикою Пенман-Монтейта. У той самий час, відмінності між стандартизованим рівнянням та модифікованим (Evapotranspiration Calculator) є незначною (табл. 1).

Розмах величини евапотранспірації, визначеної за різними методиками, складає: 1001–1250 для “Global Aridity Index and Potential Evapotranspiration Database v3”, 825–998 для рівняння Пенман-Монтейта, і 704–1020 для Evapotranspiration Calculator (Ukraine). Розмах величини індексу аридності складає: 0,35–0,50 для “Global Aridity Index and Potential Evapotranspiration Database v3”, 0,28–0,72 для рівняння Пенман-Монтейта, і 0,29–0,81 для Evapotranspiration Calculator (Ukraine).

Таким чином, “Global Aridity Index and Potential Evapotranspiration Database v3” має певну похибку

у встановленні істинної агрокліматичної ситуації в Херсонській області. Загальний результат агрокліматичної класифікації при цьому не відрізняється від такого для інших методик, але потрібно мати певну обачність при застосуванні “Global Aridity Index and Potential Evapotranspiration Database v3” і не використовувати дану базу як єдине джерело інформації.

Подібна похибка може бути пов'язана з тим, що на території України не було жодної базисної станції, за якими виконувалося картування та оцінка просторових метеорологічних параметрів, а тому калібрування та деталізація кліматичної ситуації моделлю “Global Aridity Index and Potential Evapotranspiration Database v3” була неможливою (рис. 3).

Висновки. “Global Aridity Index and Potential Evapotranspiration Database v3” є цінним джерелом кліматичної інформації, гнучким та зручним у використанні в рамках ГІС. Втім, базу даних не можна застосовувати в якості єдиного джерела інформації в оцінці агрокліматичної ситуації, оскільки існує висока вірогідність отримання помилкової інформації щодо реальної ситуації з рівнем посушливості клімату на території України, оскільки для Херсонської області відхилення від стандартизованої методики оцінки метеорологічних індексів склали 14–20%.

Таблиця 1

Оцінка евапотранспірації та індексу аридності в Херсонській області (1970-2000 рр.) за різними методологічними підходами

Метод оцінки	AI	ЕТо	Різниця AI	Різниця ЕТо
Пенман-Монтейт (стандарт)	0,50	940	0	0
Evapotranspiration Calculator (Ukraine)	0,50	887	0,00	-53 (5,64%)
Global Aridity Index and Potential Evapotranspiration Database v3	0,43	1125	-0,07 (14,00%)	185 (19,68%)

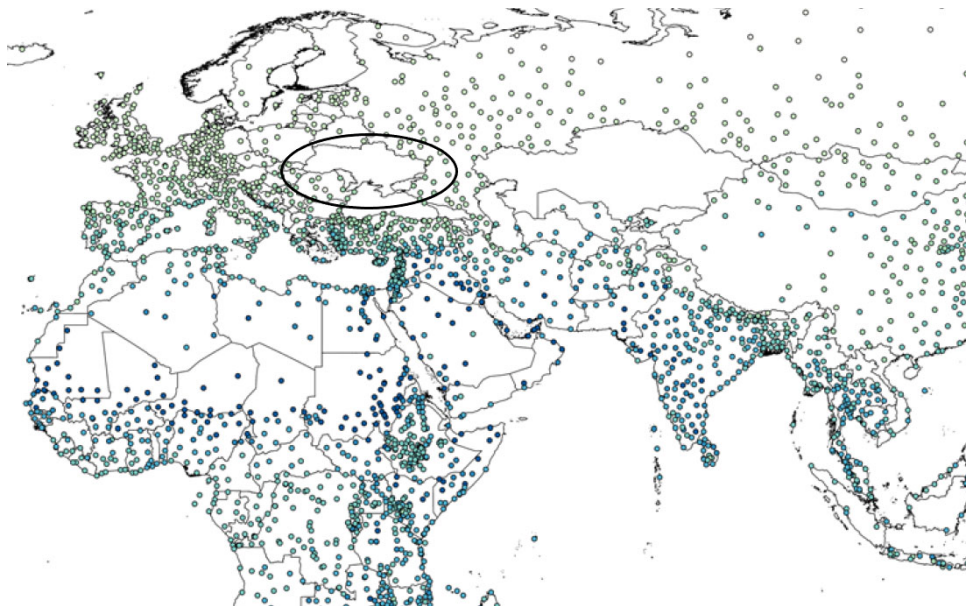


Рис. 3. Фрагмент рисунку щодо розташування базових станцій, використаних для побудови “Global Aridity Index and Potential Evapotranspiration Database v3” (згідно [8])

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

- Lykhovyd P. Theoretical bases of crop production on the reclaimed lands in the conditions of climate change. Poland, Warsaw: RS Global Sp. z O.O. 2022. 259 pp. DOI: 10.31435/rsglobal/050
- Evarte-Bundere G., Evarts-Bunders P. Using of the hydrothermal coefficient (HTC) for interpretation of distribution of non-native tree species in Latvia on example of cultivated species of genus *Tilia*. *Acta Biologica Universitatis Daugavpiliensis*. 2012. Vol. 12. No. 2. P. 135–148.
- Alley W. M. The Palmer drought severity index: limitations and assumptions. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*. 1984. Vol. 23. No. 7. P. 1100–1109. DOI: 10.1175/1520-0450(1984)023
- Agnew C. T. Using the SPI to identify drought. *Drought Network News*. 2000. Vol. 12. No. 1.
- Vicente-Serrano S. M., Beguería S., López-Moreno J. I. A multiscalar drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index. *Journal of Climate*. 2010. Vol. 23. No. 7. P. 1696–1718. DOI: 10.1175/2009JCLI2909.1
- Yang Q., Ma Z., Zheng Z., Duan Y. Sensitivity of potential evapotranspiration estimation to the Thornthwaite and Penman-Monteith methods in the study of global drylands. *Advances in Atmospheric Sciences*. 2017. Vol. 34. P. 1381–1394. DOI: 10.1007/s00376-017-6313-1
- Sahin S. An aridity index defined by precipitation and specific humidity. *Journal of Hydrology*. 2012. Vol. 444. P. 199–208. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2012.04.019
- Zomer R. J., Xu J., Trabucco A. Version 3 of the global aridity index and potential evapotranspiration database. *Scientific Data*. 2022. Vol. 9. No. 1. P. 409. DOI: 10.1038/s41597-022-01493-1
- Dlouhá D., Dubovský V., Pospíšil L. Optimal calibration of evaporation models against Penman-Monteith equation. *Water*. 2021. Vol. 13. No. 11. P. 1484. DOI: 10.3390/w13111484
- Haider S., Adnan S. Classification and assessment of aridity over Pakistan provinces (1960–2009). *International Journal of Environment*. 2014. Vol. 3. No. 4. P. 24–35. DOI: 10.3126/ije.v3i4.11728
- Lykhovyd P. Comparing reference evapotranspiration calculated in ETo Calculator (Ukraine) mobile app with the estimated by standard FAO-based approach. *AgriEngineering*. 2022. Vol. 4. No. 3. P. 747–757. DOI: 10.3390/agriengineering4030048
- Agnew, C. T. (2000). Using the SPI to identify drought. *Drought Network News*, 12(1).
- Vicente-Serrano, S. M., Beguería, S., & López-Moreno, J. I. (2010). A multiscalar drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index. *Journal of Climate*, 23(7), 1696–1718. DOI: 10.1175/2009JCLI2909.1
- Yang, Q., Ma, Z., Zheng, Z., & Duan, Y. (2017). Sensitivity of potential evapotranspiration estimation to the Thornthwaite and Penman-Monteith methods in the study of global drylands. *Advances in Atmospheric Sciences*, 34, 1381–1394. DOI: 10.1007/s00376-017-6313-1
- Sahin, S. (2012). An aridity index defined by precipitation and specific humidity. *Journal of Hydrology*, 444, 199–208. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2012.04.019
- Zomer, R. J., Xu, J., & Trabucco, A. (2022). Version 3 of the global aridity index and potential evapotranspiration database. *Scientific Data*, 9(1), 409. DOI: 10.1038/s41597-022-01493-1
- Dlouhá, D., Dubovský, V., & Pospíšil, L. (2021). Optimal calibration of evaporation models against Penman-Monteith equation. *Water*, 13(11), 1484. DOI: 10.3390/w13111484
- Haider, S., & Adnan, S. (2014). Classification and assessment of aridity over Pakistan provinces (1960–2009). *International Journal of Environment*, 3(4), 24–35. DOI: 10.3126/ije.v3i4.11728
- Lykhovyd, P. (2022). Comparing reference evapotranspiration calculated in ETo Calculator (Ukraine) mobile app with the estimated by standard FAO-based approach. *AgriEngineering*, 4(3), 747–757. DOI: 10.3390/agriengineering4030048

REFERENCES:

- Lykhovyd, P. (2022). *Theoretical Bases of Crop Production on the Reclaimed Lands in the Conditions of Climate Change*. RS Global Sp. z O.O. DOI: 10.31435/rsglobal/050
- Evarte-Bundere, G., & Evarts-Bunders, P. (2012). Using of the hydrothermal coefficient (HTC) for interpretation of distribution of non-native tree species in Latvia on example of cultivated species of genus *Tilia*. *Acta Biologica Universitatis Daugavpiliensis*, 12(2), 135–148.
- Alley, W. M. (1984). The Palmer drought severity index: limitations and assumptions. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 23(7), 1100–1109. DOI: 10.1175/1520-0450(1984)023

Вожегова Р.А., Лиховид П.В., Лавренко С.О., Пілярська О.О. Можливості застосування бази даних “Global Aridity Index and Potential Evapotranspiration Database v3” в агрокліматичних умовах Херсонської області

Мета. Здійснити оцінку агрокліматичної ситуації в Херсонській області за період 1970–2000 рр. за даними бази “Global Aridity Index and Potential Evapotranspiration Database v3” та порівняти результати з стандартизованою методикою Пенман-Монтейта із розрахунком параметрів за даними обласного гідрометеорологічного центру, а також з авторською методикою, реалізованою у мобільному додатку Evapotranspiration Calculator (Ukraine).

Методи. Використано останню версію просторової бази агрокліматичних даних “Global Aridity Index and Potential Evapotranspiration Database v3”. Просторові зображення формату GeoTIFF було оброблено та проаналізовано інструментами растрового аналізу ГІС сервісу QGIS 3.10 A Coruna. Для розрахунку евапотранспірації застосовано стандартизоване ФАО рівняння Пенман-Монтейта, а також модифіковану методику Evapotranspiration Calculator (Ukraine). Індекс аридності встановлено як відношення кількості опадів до евапотранспірації за заданий період часу. Графічну та картографічну роботу виконано в QGIS 3.10.

Результати. Встановлено мінімальну розбіжність між результатами оцінки евапотранспірації та індексу аридності за стандартизованим рівнянням Пенман-Монтейта та методикою, реалізованою в Evapotranspiration Calculator (Ukraine). Розбіжність між оцінкою згідно “Global Aridity Index and Potential Evapotranspiration

Database v3" та стандартною методикою склала 14% для індексу аридності та 19,68% для евапотранспірації. Класифікація території регіону збігалася за всіма методиками – напів-посушливий клімат. Втім, помітно нижчий індекс аридності за рахунок переоцінки випаровуваності в Херсонській області згідно "Global Aridity Index and Potential Evapotranspiration Database v3" вказує на те, що інформаційною базою можна користуватися лише у якості доповнення, першочергове значення матиме застосування стандартних методик оцінки агрометеорологічних індексів.

Висновки. "Global Aridity Index and Potential Evapotranspiration Database v3" є цінним джерелом кліматичної інформації, гнучким та зручним у використанні в рамках ГІС. Втім, базу даних не можна застосовувати в якості єдиного джерела інформації в оцінці агрокліматичної ситуації, оскільки існує висока вірогідність отримання помилкової інформації щодо реальної ситуації з рівнем посушливості клімату на території України, оскільки для Херсонської області відхилення від стандартизованої методики оцінки метеорологічних індексів склали 14–20%.

Ключові слова: агрометеорологія, евапотранспірація, індекс аридності, посушливість, просторові дані.

Vozhehova R.A., Lykhover P.V., Lavrenko S.O., Piliarska O.O. The possibilities of the application of "Global Aridity Index and Potential Evapotranspiration Database v3" to agroclimatic conditions of Kherson region

Purpose. To evaluate the agroclimatic situation in the Kherson region for the period 1970–2000 according to the data of the "Global Aridity Index and Potential Evapotranspiration Database v3" and compare the results with the standardized method of Penman-Monteith with the calculation of parameters according to the data of the regional hydrometeorological center, as well as with the author's method, implemented in the Evapotranspiration Calculator (Ukraine) mobile application.

Methods. The latest version of the spatial database of agroclimatic data "Global Aridity Index and Potential

Evapotranspiration Database v3" was used. Spatial images of GeoTIFF format were processed and analysed with raster analysis toolkit within the GIS environment of QGIS 3.10 A Coruna. To calculate evapotranspiration, the standardised FAO Penman-Monteith equation was used, as well as the modified Evapotranspiration Calculator (Ukraine) method. The aridity index is defined as the ratio of precipitation to evapotranspiration for a given period of time. Graphical and cartographic work was performed in QGIS 3.10.

Results. The minimal discrepancy was established between the results of the assessment of evapotranspiration and the aridity index according to the standardised Penman-Monteith equation and the method implemented in the Evapotranspiration Calculator (Ukraine). The difference between the assessment according to the "Global Aridity Index and Potential Evapotranspiration Database v3" and the standard method was 14% for the aridity index and 19.68% for evapotranspiration. The classification of the territory of the region coincided in all the studied methods – semi-arid climate. However, the significantly lower aridity index due to the overestimation of evapotranspiration in the Kherson region according to the "Global Aridity Index and Potential Evapotranspiration Database v3" indicates that the information base can only be used as a supplement, the primary importance is attributed to the application of standard methods for evaluating agroclimatic indices.

Conclusions. "Global Aridity Index and Potential Evapotranspiration Database v3" is a valuable source of climate information, flexible and easy to use within the framework of GIS. However, the database cannot be used as the only source of information in the assessment of the agroclimatic situation, since there is a high probability of receiving false information about the real situation with the level of aridity of the climate in the territory of Ukraine, since for the Kherson region the deviations from the standardized methodology for assessing meteorological indices amounted to 14–20%.

Key words: agroclimatology, evapotranspiration, aridity index, drought, spatial data.