

## АНАЛІЗ АГРОКЛІМАТИЧНИХ УМОВ У ХЕРСОНСЬКІЙ ОБЛАСТІ ЗА 2022 РІК ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ СУЧАСНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

ЛИХОВИД П.В. – кандидат сільськогосподарських наук

[orcid.org/0000-0002-0314-7644](https://orcid.org/0000-0002-0314-7644)

Інститут кліматично орієнтованого сільського господарства

Національної академії аграрних наук України

**Постановка проблеми.** Вивчення агрокліматичних умов є передумовою раціонального підбору сільськогосподарських культур, розробки сівозмінних ротацій і формування агротехнологічних елементів, які повинні забезпечувати культурним рослинам максимальне розкриття їхнього генотипового потенціалу продуктивності в заданих екологічних умовах. Південь України в цілому та Херсонська область зокрема традиційно вважаються зонами ризикованого землеробства, оскільки рівень природного вологозабезпечення в регіоні знаходиться на низькому рівні. Втім, глобальні зміни клімату привели до стрімких змін у локальному кліматі Херсонщини, з тенденцією до подальшого посилення повітряної та ґрунтової посухи у вегетаційний період [1]. Наразі дані щодо агрокліматичної характеристики регіону охоплюють період до 2020–2021 року включно. Минулий 2022 рік мав свої особливості щодо природного розподілу вологи, а тому для доповнення історичного тренду кліматичних змін у Херсонській області варто виконати детальну аналітичну оцінку минулорічних метеорологічних умов. Для одержання більш об'єктивної картини було застосовано декілька засобів оцінки референтної евапотранспірації: авторський мобільний додаток Evapotranspiration Calculator (Ukraine), який виконує розрахунок метеорологічного індексу за величиною середньої температури повітря, та закордонну розробку AgSAT (надає автоматичні розрахунки за заданими параметрами та геолокацією) [2].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Зараз у наукових колах існує декілька різних підходів до оцінки агрокліматичних характеристик територій. Один із них базується на емпіричних математичних розрахунках дійсно можливої та максимальної продуктивності конкретних видів сільськогосподарських культур відповідно до природного забезпечення культурних рослин факторами життя, яких вони вимагають [3]. Цей підхід є вузькоспеціалізованим (оскільки районування територій здійснюється для конкретних видів) і націленим на агрономічних практиків. Другий підхід є менш практично орієнтованим, але має більше теоретичне значення для вивчення динамічних змін та об'єктивної оцінки кліматологічної ситуації, і базується на прямій оцінці метеорологічних умов за допомогою розрахунку відповідних агрометеорологічних індексів, наприклад, гідротермічного коефіцієнту за Селяніновим (ГТК) [4], стандартизованого індексу опадів та сумарного випаровування (SPEI) [5], індексу аридності (IA) [6], тощо. Таким чином, можна отримати теоретичні

знання щодо розподілу природної вологи на території, та виконати агрокліматичне районування відповідно до рівня вологозабезпеченості. У даній роботі було застосовано саме другий підхід до оцінки та характеристики агрокліматичних умов у Херсонській області, що склалися впродовж 2022 року, із застосуванням відкритих метеорологічних баз даних meteoblue ([https://www.meteoblue.com/en/weather/historyclimate/weatherarchive/kherson\\_ukraine\\_706448](https://www.meteoblue.com/en/weather/historyclimate/weatherarchive/kherson_ukraine_706448)), даних державних гідрометеорологічних станцій та інформаційних технологій (мобільних додатків, створених для автоматизованого та напівавтоматизованого розрахунку величини референтної евапотранспірації).

**Мета.** Метою роботи є аналітичний огляд агрокліматичних умов Херсонської області за 2022 рік у контексті вивчення балансу природної вологи та рівня посушливості клімату в регіоні шляхом встановлення показників референтної евапотранспірації у різних програмних середовищах – AgSAT та Evapotranspiration Calculator (Ukraine).

**Матеріали та методика досліджень.** Метеорологічні показники, такі як середньомісячна температура повітря (°C), швидкість вітру (м/с), кількість опадів (мм), відносна вологість повітря (%) було отримано на порталі meteoblue, де представлено деталізований архів метеорологічних даних по Херсонській області за період 2022-2023 рр. Дані з бази meteoblue було додатково уточнено наявними за початкові місяці 2022 року даними Херсонського обласного гідрометеорологічного центру.

Оцінку референтної евапотранспірації виконували за наявними метеорологічними даними у мобільному додатку Evapotranspiration Calculator (Ukraine) та додатку AgSAT (налаштування – трав'яний покрив, оскільки еталонні рівняння оцінюють евапотранспірацію саме для 30-см газонної трави або 30-см покриву люцерни). Розрахунок евапотранспірації проводили на добовій та середньомісячній основі (середньодобова та кумулятивна).

Розрахунок індексу аридності (IA) виконували за формулою (1):

$$IA = O / ETo \quad 1)$$

де: O – кількість опадів за період, мм; ETo – референтна евапотранспірація за період, мм.

Режим природного вологозабезпечення за кожним місяцем та в річному розрізі встановлювали відповідно до класифікації, запропонованої ЮНЕСКО [7].

Прямий дефіцит природної вологи (баланс вологи БВ) розраховували за формулою (2):

$$БВ = О - Ето \quad (2)$$

де: О – кількість опадів за період, мм; ЕТо – референтна евапотранспірація за період, мм.

Розрахунково-графічну роботу виконували в Microsoft Excel 365.

**Результати досліджень.** Результати аналізу референтної евапотранспірації та індексу аридності в Херсонській області за 2022 рік із використанням різних інформаційних технологій наведено нижче (табл. 1 та 2). Помітно, що результати розрахунку показника референтної евапотранспірації в мобільному додатку AgSAT є дещо заниженими, що у підсумку пом'якшує картину актуального рівня посушливості клімату в регіоні. Скоріше за все, це

пов'язано з тим, що даний додаток використовує супутникові дані щодо відбиття сонячного світла поверхнею для опосередкованої оцінки рівня референтної евапотранспірації з поверхні (культурних рослин, трав'янистого покриву), а тому можливі похибки при встановленні індексу на вільних від рослин, або вкритих відмерлими рослинами, територіях [8]. Тому для періодів Січень – Квітень та Жовтень – Грудень необхідно виконувати калібрування оціночної величини референтної евапотранспірації з поправкою на відсутність щільного рослинного покриву. У некаліброваному вигляді, на нашу думку, оціночні дані AgSAT можна використовувати лише у період Травень – Вересень.

**Таблиця 1 – Характеристика агрокліматичних умов 2022 року на території Херсонської області (референтна евапотранспірація за AgSAT)**

Період	ЕТо (середнє), мм	ЕТо (кумулятивне), мм	Опади, мм	ІА	БВ	Клімат згідно ІА
Січень	0,08	2,35	15,0	6,37	12,65	ГВ
Лютий	0,13	3,76	14,5	3,86	10,74	ГВ
Березень	0,31	9,63	9,5	0,99	-0,13	ГВ
Квітень	0,45	13,63	37,0	2,71	23,37	ГВ
Травень	1,89	58,58	13,0	0,22	-45,58	НП
Червень	6,58	197,48	7,0	0,04	-190,48	Пп
<b>Липень</b>	<b>6,70</b>	<b>207,79</b>	<b>5,0</b>	<b>0,02</b>	<b>-202,79</b>	<b>Пп</b>
Серпень	4,98	154,47	12,0	0,08	-142,47	П
Вересень	1,67	49,98	7,0	0,14	-42,98	П
Жовтень	1,29	40,02	19,0	0,47	-21,02	НП
Листопад	0,14	4,08	28,0	6,87	23,93	ГВ
Грудень	0,08	2,44	44,0	18,04	41,56	ГВ
Рік	2,03	744,19	211,0	0,28	-533,19	НП

(результат роботи авторів)

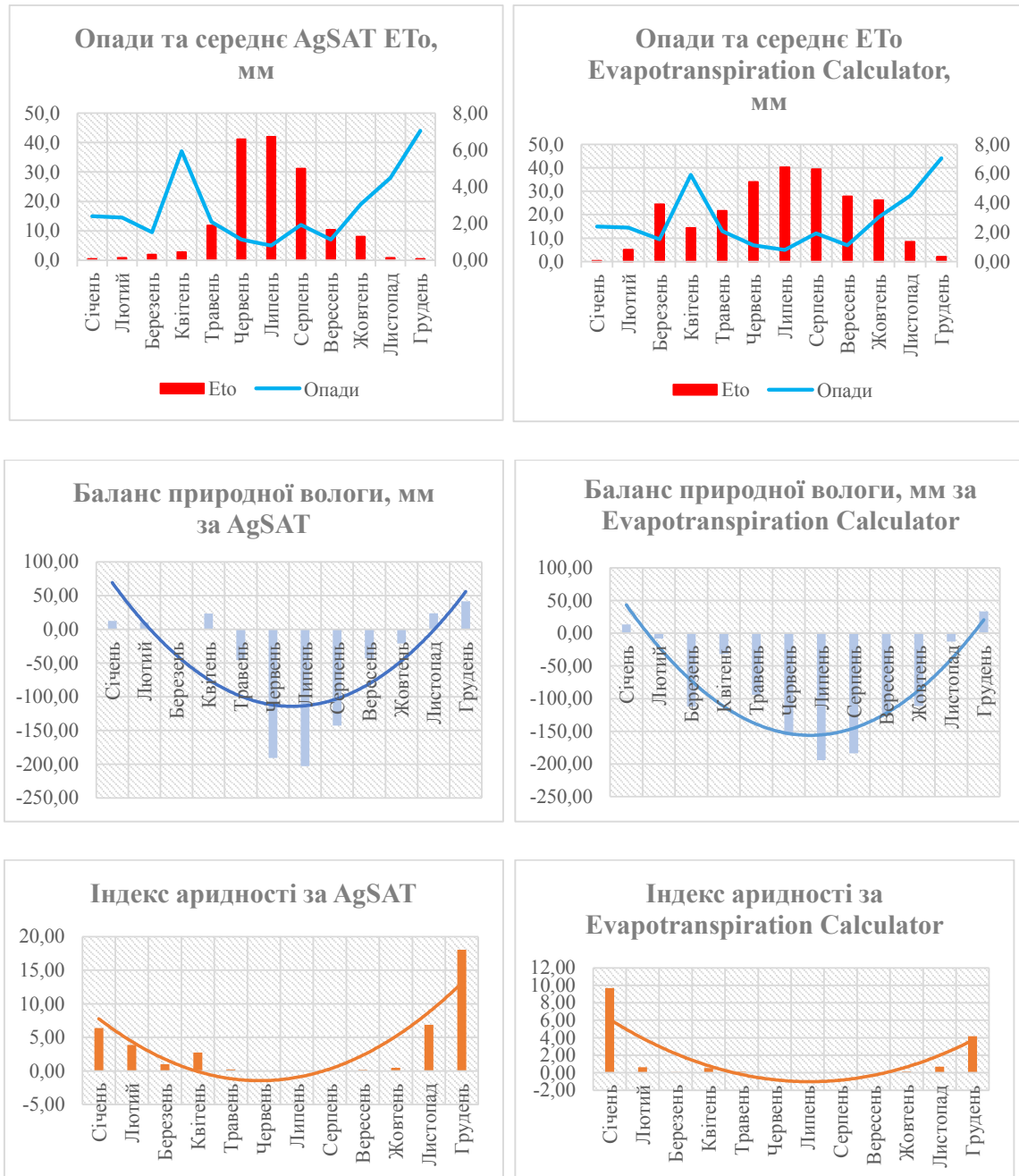
Примітки: курсив – періоди з мінімальною референтною евапотранспірацією та максимальним позитивним балансом природної вологи; напівжирним – періоди максимальної референтної евапотранспірації та максимального дефіциту природної вологи; типи клімату: ГВ – гіпервологий, НП – напівпосушливий, П – посушливий, Пп – пустельний.

**Таблиця 2 – Характеристика агрокліматичних умов 2022 року на території Херсонської області (референтна евапотранспірація за Evapotranspiration Calculator (Ukraine))**

Період	ЕТо (середнє), мм	ЕТо (кумулятивне), мм	Опади, мм	ІА	БВ	Клімат згідно ІА
Січень	0,05	1,55	15,0	9,68	13,45	ГВ
Лютий	0,82	22,96	14,5	0,63	-8,46	ПС
Березень	3,92	121,52	9,5	0,08	-112,02	П
Квітень	2,30	69,00	37,0	0,54	-32,00	ПС
Травень	3,46	107,26	13,0	0,12	-94,26	П
Червень	5,44	163,20	7,0	0,04	-156,20	Пп
<b>Липень</b>	<b>6,43</b>	<b>199,33</b>	<b>5,0</b>	<b>0,03</b>	<b>-194,33</b>	<b>Пп</b>
Серпень	6,31	195,61	12,0	0,06	-183,61	П
Вересень	4,45	133,50	7,0	0,05	-126,50	Пп
Жовтень	4,20	130,20	19,0	0,15	-111,20	П
Листопад	1,36	40,80	28,0	0,69	-12,80	ПС
Грудень	0,34	10,54	44,0	4,17	33,46	ГВ
Рік	3,26	1195,47	211,0	0,18	-984,47	П

(результат роботи авторів)

Примітки: курсив – періоди з мінімальною референтною евапотранспірацією та максимальним позитивним балансом природної вологи; напівжирним – періоди максимальної референтної евапотранспірації та максимального дефіциту природної вологи; типи клімату: ГВ – гіпервологий, ПС – посушливий субвологий, НП – напівпосушливий, П – посушливий, Пп – пустельний.



**Рис. 1. Візуалізація відмінностей в оцінці агрокліматичних умов Херсонської області згідно розрахунків референтної евапотранспірації в AgSAT та Evapotranspiration calculator (Ukraine)**

Відповідно до результатів аналітичної оцінки природного вологозабезпечення в регіоні встановлено, що більшість вегетаційного періоду (березень – листопад) на Херсонщині відповідає умовам посушливого клімату, причому влітку (період «червень – липень») він трансформується у пустельний. Щодо решти року, помітна певна невідповідність між кліматичною оцінкою водного балансу та аридності у двох інформаційних системах. AgSAT вказує на значно більш м'який період «березень – травень» та «серпень – листопад», аніж Evapotranspiration Calculator (Ukraine). Повна відповідність агрокліматичної оцінки відмічається

лише для періоду «червень – липень» та «грудень – січень». Важливо зазначити, що в такому випадку доцільніше орієнтуватися на результати Evapotranspiration Calculator (Ukraine), оскільки цей додаток пройшов відповідну калібрацію та пристосований до умов України [2], у той час як AgSAT не проходив калібрацію та вивчення в наших кліматичних умовах [8].

Наочно порівняльну характеристику оцінки агрокліматичних умов Херсонщини в обох додатках наведено на рис. 1. Загальний річний тренд щодо динаміки балансу вологи в регіоні є ідентичним для обох оціночних систем, лише з тією різницею, що

крива для Evapotranspiration Calculator (Ukraine) є більш крутою, аніж для AgSAT. Щодо індексу аридності, то тут спостерігається протилежна закономірність – крива для AgSAT має більшу кривизну.

Згідно проведеної розрахунково-аналітичної роботи встановлено, що мінімальний оціночний дефіцит природного зволоження в регіоні за 2022 рік склав 533,2 мм, тоді як більш реалістичний сценарій вказує на майже вдвічі більшу величину – 984,5 мм. Клімат регіону мав характеристики надзвичайно посушливого, і в окремі періоди року набував навіть пустельного характеру. Це погоджується зі встановленими вітчизняними дослідниками тенденціями до посилення ризиків опустелювання Півдня України внаслідок сучасних кліматичних змін, що потребуватиме масового впровадження зрошувальних меліорацій у регіоні для забезпечення сталого виробництва продукції рослинництва у найближчому майбутньому [9]. Варто відзначити екстремально низьку кількість опадів, які випали 2022 року на Херсонщині – лише 211 мм. Згідно середньо багаторічних даних за період 1994–2010 рр. в області випадало 367,5 мм опадів [10, с. 23], а за період 2011–2020 рр. – 387 мм [9]. Таким чином, у 2022 році випало лише 54,5–57,4% середньо багаторічної норми. Подібна аномалія спостерігалася і в 2019 році, коли річна кількість опадів склала лише 222 мм.

**Висновки.** Агрокліматична ситуація в Херсонській області станом на 2022 рік вказує на високу посушливість регіону – індекс аридності, за різними підрахунками, становив від 0,28 (напівпосушливий клімат) до 0,18 (посушливий клімат); прямиий дефіцит природного вологозабезпечення склав 533,2 та 984,5 мм, відповідно. Таким чином, у регіоні спостерігається тенденція до наростання посухи та зниження природного вологозабезпечення, що на тлі порушення природного балансу екосистем та погіршення стану водних і ґрунтових ресурсів області на тлі бойових дій ставить під загрозу стале виробництво продукції рослинництва в регіоні.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Lykhovyd P. V. Irrigation needs in Ukraine according to current aridity level. *Journal of Ecological Engineering*. 2021. Vol. 22. No. 8. P. 11–18.
2. Lykhovyd P. Comparing reference evapotranspiration calculated in ETo Calculator (Ukraine) mobile app with the estimated by standard FAO-based approach. *AgriEngineering*. 2022. Vol. 4. P. 747–757.
3. Польовий А. М., Букарева С. А. Оцінка агрокліматичних ресурсів Херсонської області для формування озимої пшениці. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2011. № 9. С. 110–117.
4. Лагойда М. М., Яремко О. Є., Архипова Л. М. Тенденції часового розподілу кліматичних показників на території Івано-Франківської області. *Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування*. 2019. № 1(19). С. 34–42.
5. Єрмоленко Н. С., Хохлов В. М. Порівняння просторово-часових характеристик посух в Україні на початку та наприкінці ХХ сторіччя. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2012. № 10. С. 20–21.

6. Meng M., Ni J., Zhang Z. G. Aridity index and its applications in geo-ecological study. *Chinese Journal of Plant Ecology*. 2004. Vol. 28. No. 6. P. 853.

7. 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.

8. Jaafar H., Mourad R., Hazimeh R., Sujud L. AgSAT: A smart irrigation application for field-scale daily crop ET and water requirements using satellite imagery. *Remote Sensing*. 2022. Vol. 14. No. 20. P. 5090.

9. 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. № 7. С. 16–20.

10. Лавриненко Ю. О., Вожегова Р. А., Коковіхін С. В., Писаренко П. В., Найдьонов В. Г., Михаленко І. М. Кукурудза на зрошуваних землях Півдня України. Херсон : Айлант, 2011.

#### REFERENCES:

1. Lykhovyd, P. V. (2021). Irrigation needs in Ukraine according to current aridity level. *Journal of Ecological Engineering*, 22(8), 11–18.
2. Lykhovyd, P. (2022). Comparing reference evapotranspiration calculated in ETo Calculator (Ukraine) mobile app with the estimated by standard FAO-based approach. *AgriEngineering*, 4, 747–757.
3. Polevoy, A. N., & Bukareva, S. A. (2011). Ocinka agroklimatychnyh resursiv Hersonskoi oblasti dlja formuvannja ozymoi pshenyци [Evaluation of agroclimatic resources of the Kherson region in reference to winter wheat cultivation]. *Ukrainian hydrometeorological journal*, 9, 110–117 [in Ukrainian].
4. Lahoida, M., Yaremko, O., & Arkhypova, L. (2019). Tendencii chasovogo rozpodilu klimatychnyh pokaznykiv na terytorii Ivano-Frankivskoi oblasti [Tendencies of the time distribution of climatic indicators in Ivano-Frankivsk oblast]. *Ecological Safety and Balanced Use of Resources*, 1(19), 34–42 [in Ukrainian].
5. Yermolemko, N. S., & Khokhlov, V. M. (2012). Porivnjannja prostоровo-chasovyh harakterystyk posuh v Ukraini na pochatku ta naprykinci XX storichchja [Comparison of spatio-temporal features of droughts in Ukraine beginning and the end of the twentieth century]. *Ukrainian hydrometeorological journal*, 10, 65–72 [in Ukrainian].
6. Meng, M., Ni, J., & Zhang, Z. G. (2004). Aridity index and its applications in geo-ecological study. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 28(6), 853.
7. Haider, S., & Adnan, S. (2014). Classification and assessment of aridity over Pakistan provinces (1960–2009). *International Journal of Environment*, 3(4), 24–35.
8. Fedorchuk, M. I., Fedorchuk, V. H., & Tkachova, Ye. S. (2019). Ahrotekhnichni osnovy produktyvnosti hisopu likarskoho (*Hyssopus officinalis* L.) [Agrotechnical bases of hyssop (*Hyssopus officinalis* L.) productivity]. *Medicinal plants: customs and prospects of investigation: proceedings of the IV International scientific conference dedicated to 140-anniversary from the birthday of P.I. Havsevych (Berezotocha, 13–14 June 2019)*. *Lubny: Publishing house «Lubny»*. pp. 86–87 [in Ukrainian].
9. Vozhegova, R. A., Netis, I. T., Onufrin, L. I., Sakhaty, G. I., & Sharata, N. H. (2021). Zmina klimatu ta ary-

dyzacja Pivdenного Stepu Ukrainy [Climate change and aridization of the Southern Steppe of Ukraine]. *Agrarian innovations*, 7, 16–20 [in Ukrainian].

10. Lavrynenko, Yu. O., Vozhehova, R. A., Koko-vikhin, S. V., Pysarenko, P. V., Naidionov, V. H., Mykhalenko, I. M. (2011). Kukurudza na zroshuvanyh zemljah Pivdnja Ukrainy [Maize on the irrigated lands of the South of Ukraine]. *Kherson : Ailant* [in Ukrainian].

**Лиховид П.В. Аналіз агрокліматичних умов у Херсонській області за 2022 рік із використанням сучасних інформаційних технологій**

**Мета.** Виконати аналітичний огляд агрокліматичних умов Херсонської області за 2022 рік у контексті вивчення балансу природної вологи та рівня посушливості клімату в регіоні шляхом встановлення показників референтної евапотранспірації у різних програмних середовищах – AgSAT та Evapotranspiration Calculator (Ukraine).

**Методи.** Дані щодо метеорологічних умов у регіоні було отримано з відкритої бази метеорологічних даних meteoblue, а для початкового періоду 2022 року – уточнено даними Херсонського обласного гідрометеорологічного центру. Оцінку референтної евапотранспірації виконували у додатках AgSAT та Evapotranspiration Calculator (Ukraine). Індекс аридності розраховували за відношенням кількості опадів до референтної евапотранспірації, а баланс вологи – за різницею між референтною евапотранспірацією та кількістю опадів. Розрахунково-графічну роботу виконували в Microsoft Excel 365.

**Результати.** Встановлено відмінності в оцінці референтної евапотранспірації та, відповідно, посушливості клімату під час застосування різних інформаційних технологій для проведення розрахунків. AgSAT дає дещо занижені показники референтної евапотранспірації та вимагає калібрування. Динаміка агрокліматичних умов коректно відображається за використання будь-якого із тестованих мобільних додатків. Встановлено надзвичайно низький рівень надходження опадів у 2022 році на території Херсонської області, а режим клімату можна оцінити як посушливий, у літній період – навіть пустельний. Найбільш вологий період року – зимовий. Прямий дефіцит вологи за різними підрахунками знаходився в межах 533,2-984,5 мм, що вказує на пряму загрозу сталому виробництву продукції рослинництва в регіоні в незрошуваних умовах.

**Висновки.** Агрокліматична ситуація в Херсонській області станом на 2022 рік вказує на високу посушливість регіону – індекс аридності, за різними підрахунками, становив від 0,28 (напівпосушливий клімат) до 0,18 (посушливий клімат); прямий дефіцит природного вологозабезпечення склав 533,2 та 984,5 мм, відповідно. Таким чином, у регіоні спостерігається тенденція до наростання посухи та зниження природного вологозабезпечення, що на тлі порушення природного балансу екосистем та погіршення стану водних і ґрунтових ресурсів області на

тлі бойових дій ставить під загрозу стале виробництво продукції рослинництва в регіоні.

**Ключові слова:** глобальне потепління, дефіцит вологозабезпечення, зрошення, індекс аридності, посуха.

**Lykhovyd P.V. Analysis of agroclimatic conditions in Kherson oblast for 2022 using modern information technologies**

**Purpose.** To perform an analytical review of the agroclimatic conditions of the Kherson region for 2022 in the context of studying the balance of natural humidification and the level of climate aridity in the region by establishing reference evapotranspiration indicators in various software environments, AgSAT and Evapotranspiration Calculator (Ukraine).

**Methods.** Data on meteorological conditions in the region were collected from the meteoblue open meteorological data base, and for the initial period of 2022 – completed with the data from the Kherson Regional Hydrometeorological Centre. The assessment of reference evapotranspiration was performed in the AgSAT and Evapotranspiration Calculator (Ukraine) applications. The aridity index was calculated by the ratio of the amount of precipitation to the reference evapotranspiration, and the moisture balance was calculated by the difference between the reference evapotranspiration and the amount of precipitation. Calculation and graphic work were performed in Microsoft Excel 365.

**Results.** Differences in the assessment of reference evapotranspiration and, accordingly, the aridity of the climate have been established during the application of various information technologies for calculations. AgSAT gives slightly underestimated reference evapotranspiration and requires calibration. The dynamics of agroclimatic conditions are displayed correctly when using any of the tested mobile applications. An extremely low level of precipitation was established in 2022 in the territory of the Kherson region, and the climate regime can be assessed as arid, even deserted, in the summer. The wettest period of the year is winter. According to various calculations, the direct moisture deficit was in the range of 533.2-984.5 mm, indicating a direct threat to the sustainable production of plant products in the region in non-irrigated conditions.

**Conclusions.** The agroclimatic situation in the Kherson region as of 2022 indicates high aridity in the region – the aridity index, according to various calculations, was from 0.28 (semi-arid climate) to 0.18 (arid climate); the direct deficit of natural moisture supply amounted to 533.2 and 984.5 mm, respectively. Thus, there is a tendency in the region to increase drought and decrease natural moisture supply, which, in the context of disrupting the natural balance of ecosystems and the deterioration of the state of water and soil resources of the region in the context of hostilities, endangers the sustainable production of plant products in the region.

**Key words:** global warming, water supply deficit, irrigation, aridity index, drought.