

8. Спілка сприяння розвитку сільському зеленому туризму. URL: <http://www.greentour.com.ua>(дата звернення: 20.07.2023).

9. Корнус А. О. Кластерний підхід у системі виробничого туризму / А.О. Корнус, О.Г. Корнус, С.І. Сюткін. *Географія та туризм*. 2019. №53. 9-15. DOI: <https://doi.org/10.17721/2308-135X.2019.53.9-15>

ОЦІНКА ПОСУШЛИВОСТІ ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ У 2022 РОЦІ ЗА КОМБІНАЦІЄЮ ІНДЕКСІВ SPI ТА TWS

Корнус А.О.¹, Кисельова А.Є.¹, Пономарьов О.М.²

Сумський державний педагогічний університет імені А.С. Макаренка

Сумський обласний центр з гідрометеорології

Для оцінки посушливості території, зокрема метеорологічної та гідрологічної посух традиційно використовувалися різноманітні розрахункові коефіцієнти, обчислення яких потребує тривалих часових та просторових рядів метеорологічних спостережень. Однак сьогодні існує низка web-ресурсів, які не тільки дають оперативні значення метеокліматичних показників, а й відкривають можливості створювати інтернет-кари з роздільною здатністю, достатньою для багатьох наукових завдань. Одним з таких ресурсів є Європейська обсерваторія посух – European Drought Observatory (EDO). Сторінки EDO містять інформацію, що стосується не тільки посух, а й велику кількість інших індикаторів, отриманих з різних джерел, включаючи як дані з метеостанцій і гідрологічних постів, так і супутникові вимірювання та результати різноманітних моделювань. Різні інструменти, такі як Compare Layers чи Interactive Mapviewer, дозволяють відображати, картографувати та аналізувати різноманітну метеокліматичну інформацію.

Стандартизований індекс опадів – Standardized Precipitation Index (SPI) є найбільш поширеним у світі показником для виявлення та характеристики метеорологічних посух, який використовує і EDO. Індикатор SPI, розроблений [7] і детально описаний [3], вимірює аномалії опадів у певному місці на основі порівняння спостережуваної загальної кількості опадів за певний період накопичення (наприклад, 1, 3, 12, 24 чи 48 місяців) з ковзним вікном обраної тривалості, з довгостроковими даними про кількість опадів за цей період.

Як відомо, статистичний розподіл накопичення опадів за певні інтервали часу (наприклад, за добу, 1 місяць, 3 місяці) протягом тривалого часового ряду (щонайменше 30 років) може бути ефективно представлений двопараметричним неперервним розподілом ймовірностей, відомим як «гамма-розподіл». У нашому випадку довгостроковий гамма-розподіл базується на даних за базовий багаторічний період з 1981 по 2010 рік (включно). Для того,

щоб обчислити SPI для певного періоду накопичення опадів, два параметри гамма-розподілу (форма і масштаб) спочатку підганяються під частотний розподіл історичних ненульових накопичень опадів за всі роки наявного часового ряду, використовуючи одне з двох альтернативних наближень «оцінок максимальної правдоподібності» для гамма-розподілу, які були розроблені Томом [11] та Грінвудом і Дюрандом [4]. Для будь-якого спостережуваного накопичення опадів обчислюється кумулятивна ймовірність, виходячи з параметрів гамма-розподілу і з використанням алгоритмів, запропонованих [9]. Після поправки на ймовірність нульового накопичення опадів, кумулятивна ймовірність спостережуваних опадів трансформується (перетворюється) в стандартну нормальну випадкову величину із середнім значенням нуль і дисперсією одиниця, використовуючи наближення, описане в [1]. Це перетворене значення і є SPI. Простіше кажучи, багаторічні дані щодо кількості опадів спочатку підганяються під розподіл ймовірностей (гамма-розподіл), який потім трансформується в нормальний розподіл таким чином, щоб середнє значення SPI для певного місця чи періоду дорівнювало нулю.

Метеорологічна посуха визначається як період з аномальним дефіцитом опадів по відношенню до середніх багаторічних умов для регіону. Для будь-якого регіону дедалі сильніший дефіцит опадів (тобто метеорологічна посуха) визначається, коли SPI зменшується нижче -1,0, тоді як дедалі більшому надлишку опадів відповідають умови, коли SPI зростає вище 1,0. Величина відхилення від середнього значення є імовірнісною мірою серйозності вологої або посушливої події. Оскільки значення SPI виражаються в одиницях стандартного відхилення від середнього багаторічного значення, цей індикатор можна використовувати для порівняння аномалій опадів для будь-якої території та для будь-якої кількості часових шкал (у відповідності до останнього, назва індикатора зазвичай змінюється, щоб відобразити період накопичення, наприклад, SPI-3 та SPI-12 відносяться до періодів накопичення в три та дванадцять місяців відповідно).

Оскільки SPI може бути розрахований за різні періоди накопичення опадів (зазвичай від 1 до 48 місяців), різні показники SPI дозволяють оцінити різні потенційні наслідки метеорологічної посухи. Коли SPI розраховується за короткі періоди накопичення (від 1 до 3 місяців), він може бути використаний як індикатор негайних гідрологічних наслідків, таких як зменшення вологості ґрунту, снігового покриву і водності малих річок. Якщо SPI розраховується для середніх періодів накопичення (від 3 до 12 місяців), його можна використовувати як індикатор зменшення річкового стоку та об'єму водосховищ. Коли SPI розраховується для ще довших періодів накопичення

(наприклад, від 12 до 48 місяців), він може бути використаний як індикатор водного балансу водосховищ та коливання рівня підземних вод.

Слід мати на увазі, що точний зв'язок між періодом накопичення негативних значень SPI й інтенсивністю посухи залежить від різних компонентів природного середовища (наприклад, геологічної будови, особливостей ґрунтового покриву) та антропогенної складової (наприклад, наявності іригаційних систем). Для того, щоб отримати повну картину потенційного впливу посухи на геосистеми, SPI слід розраховувати й порівнювати для різних періодів накопичення. Також необхідним є порівняння з іншими індикаторами посухи, такими, як загальний запас води – Total Water Storage (TWS), щоб оцінити фактичний вплив посушливості на гідорфункціонування ландшафтів, рослинний покрив і різні сектори економіки.

TWS – це сума всіх надземних і підземних запасів води, включаючи воду в річок і озер, а також у рослинному покриві, ґрунтову вологу і підземні води. Він являє собою синтетичну оцінку динаміки гідрологічних величин, що повільно реагують на зміну клімату. Індикатор аномалії загального запасу води (аномалія TWS) використовується для визначення настання довготривалих гідрологічних посушливих умов, які індикуються, коли TWS досягає значень, нижчих за звичайні. Цю величину часто використовується як опосередкований показник ґрунтової посухи.

Індикатор аномалії TWS у EDO розраховується як аномалії поточних значень TWS до середніх значень запасів вологи за базовий кліматичний період 2002-2022 рр., отриманих за методикою GRACE (Gravity Recovery and Climate Experiment), що надаються Центром космічних досліджень (CSR) Техаського університету в Остіні та масштабуються Лабораторією реактивного руху НАСА (NASA JPL) [8].

Місія GRACE була розпочата в березні 2002 року з метою вимірювання варіацій гравітаційного поля Землі [11]. Для гідрологічних застосувань на суходолі, зміна запасу води виводиться зі зміни маси земною поверхні після виключення атмосферних і океанічних внесків, які є більш обмеженими і легше піддаються реконструкції (12). Ця зміна виводиться з гравітаційного поля, що складається з набору сферичних гармонійних коефіцієнтів (до максимального ступеня 60) після серії процедур постобробки [6], які включають згладжування, дестрипінг та ізостатичне коригування льодовикового покриву. Крім того, для відновлення амплітуди сигналу, втраченої внаслідок застосування згладжуючих і дестрипінг-фільтрів, вводиться сіткове масштабування, а дані аномалій TWS зрештою подаються не як абсолютні значення, а як відхилення від довгострокового середнього значення TWS за базовий кліматичний період.

Індикатор аномалії TWS доповнює інші, більш швидко реагуючі індикатори посушливості, такі як вологість ґрунту та зниження річкового стоку. Його значення розраховується щомісяця наступним чином:

$$TWS_{\text{аномалія } t} = \frac{TWSt - \bar{X}}{\delta},$$

де $TWSt$ – значення TWS для місяця t поточного року, $\bar{X}$ – середнє довгострокове значення TWS та δ – стандартне відхилення (обидва розраховані для того ж місяця t з використанням наявних часових рядів).

Запис цього індикатора зазвичай змінюється з урахуванням періоду накопичення, наприклад, SPI-3 та SPI-12 стосуються періодів накопичення у три та дванадцять місяців відповідно.

Інструмент EDO MapViewer дозволяє візуалізувати останню доступну карту як SPI, так і аномалій TWS, а також архів минулих років. Ці карти надають інформацію про просторовий розподіл аномалій кількості опадів і довготривалих гідрологічних посух або ж умов з перезволоженням та їхню еволюцію з часом. Як детально описано в [2], аномалія TWS добре корелює з довгостроковими SPI (12, 24 та 48 місяців). У даному дослідженні ми використовували найкоротші накопичення, тривалістю 1 місяць, як для SPI (SPI-1), так і TWS, і також спостерігали певну кореляційну залежність між цими індикаторами, як у часовому аспекті, так і у територіальному.

Це свідчить про те, що аномалія TWS може бути використана як опосередкований індикатор довготривалої гідрологічної посухи, наприклад, зниження рівня підземних вод. Карти аномалій TWS можуть бути використані як «проксі» для визначення наявності потенційних умов довготривалої гідрологічної посухи. Що стосується SPI, то Всесвітня метеорологічна організація уже рекомендувала використовувати його національним метеорологічним і гідрологічним службам у всьому світі для характеристики метеорологічних посух [13]. Однак, враховуючи складну природу TWS, яка узагальнює численні гідрологічні величини і складні взаємодії в геосистемах, не дивно, що для пояснення його просторово-часової динаміки може знадобитися комбінація декількох факторів.

Як видно з рис. 1, 2022 рік починався в умовах помітної негативної аномалії загальних запасів вологи майже на всій території України і цей дефіцит проіснував, по-суті, увесь рік. Причому у січні спостерігалася певна протифазність, коли на півночі фіксувався надлишок опадів і одночасно найбільша негативна аномалія TWS, тобто гідрологічна посуха.

Впродовж лютого та усіх весняно-літніх місяців, окрім квітня, над територією України фіксувалися місячні значення SPI від 0 до -1.0, а в окремих регіонах метеорологічні умови були дуже сухими ($-2.0 < SPI \leq -1.5$) і навіть екстремально сухими ($\min \leq SPI \leq -2.0$), причому в останніх випадках мова

йде про центрально-західний регіон України. З такими умовами тісно корелюють показники негативної аномалії загального запасу вологи, які також були особливо високими на заході та в центрі України. Навіть надмірна кількість опадів у квітні не змогла вплинути на розростання ареалу максимальних значень негативних аномалій TWS, тобто наростання дефіциту ґрунтової вологи та інших критеріїв зниження водності, яке поширилося і на території прилеглих країн Центральної Європи.

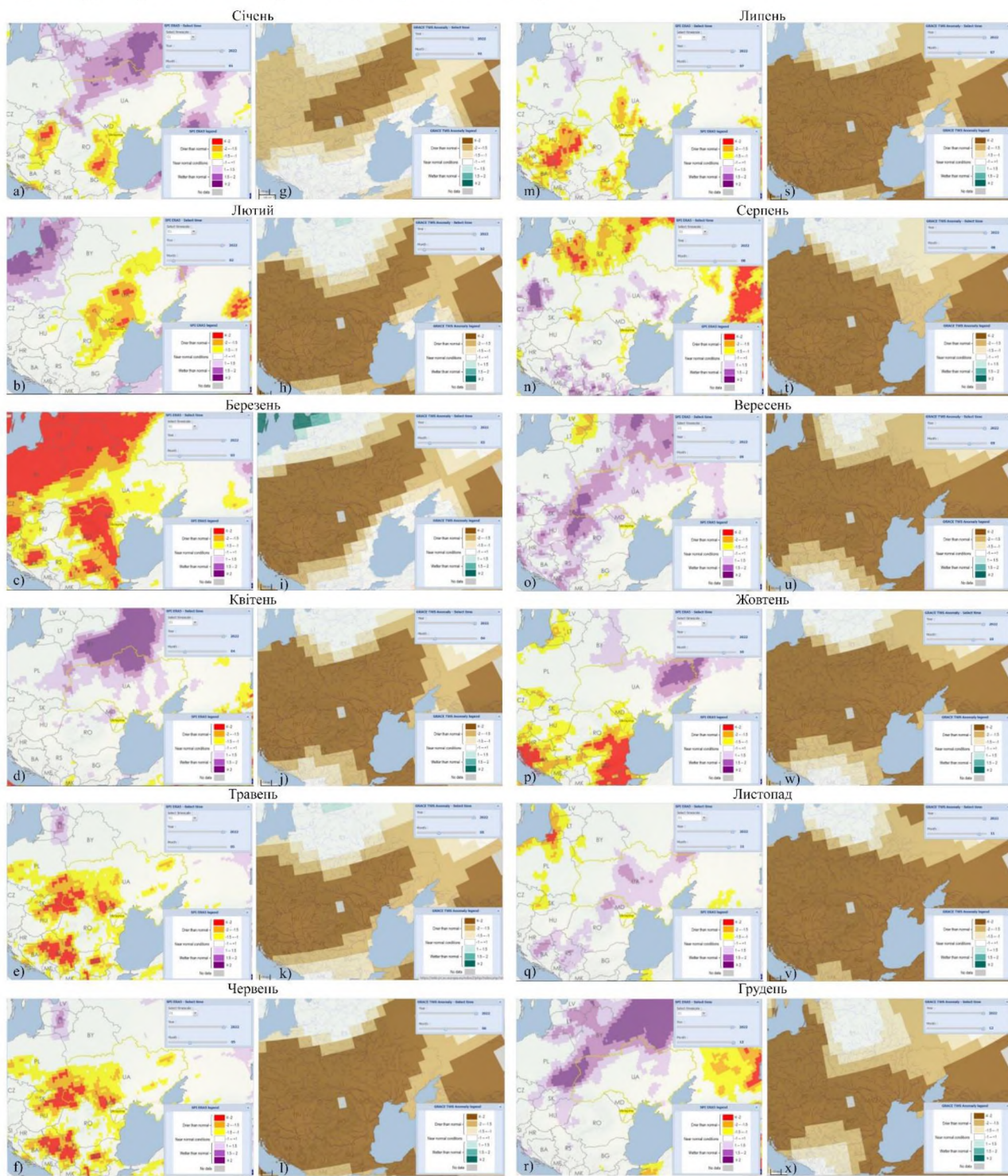


Рис. 1. Розподіл значень SPI та аномалій TWS по місяцям 2022 р. (за матеріалами бази даних EDO)

Впродовж осінніх місяців та грудня 2022 р. умови атмосферного зволоження змінилися на нормальні, а в окремим регіонах України, передусім на півночі і сході, на дуже вологі та екстремально-вологі. Однак, очевидно, дефіцит запасів вологи, сформований за весняно-літній період був настільки відчутним, що зміна в кількості опадів, хоча й пом'якшила величину негативних аномалій TWS, однак на більшій частині території України все-одно спостерігалися умови, характерні для гідрологічної посухи.

Варто відзначити, що використані у даному дослідженні індикатори можуть бути широко використані і у освітньому процесі. Зокрема, індикатор SPI базується лише на одному вхідному параметрі (накопичення опадів), а відтак є простішим для розрахунку, ніж інші індикатори посухи, такі, наприклад, як індекс суворості посухи Палмера, де також враховується амплітуда температур, коливання вологості ґрунту та інтенсивність випаровування (однак в цьому є й певний мінус – скільки SPI базується лише на опадах, він не враховує вплив високих температур на умови посухи, наприклад, пошкодження культурних і природних рослин, збільшення випаровування і рівня водного стресу). Той факт, що значення SPI виражаються в одиницях стандартного відхилення від довгострокового середнього значення, дозволяє розраховувати і порівнювати SPI для будь-якого географічного розташування і для будь-якої кількості часових шкал. Крім того, оскільки SPI є нормалізованим, він ефективний для аналізу вологих періодів і циклів, так само, як і для сухих.

Індикатор аномалії TWS може використовуватися для встановлення наявності довгострокових гідрологічних аномалій. Однак він розраховується за даними з супутники GRACE та GRACE-FO, які хоча і є унікальним джерелом даних для моніторингу довготривалої посухи, але в глобальному масштабі. Крім того, запізнення оновлення даних, яке надає NASA JPL, становить 45 днів, що є неоптимальним для моніторингу в режимі, близькому до реального часу. Просторова роздільна здатність продукту TWS – 1 кутовий градус, часто є занадто грубою, особливо для аналізу на рівні країн/регіонів, а зв'язок між аномалією TWS та посухою підземних вод за деяких обставин може бути слабким. Це потребує використання інших індикаторів, зокрема індикатора аномалій вологості ґрунту – SMA [5] та інших, які надає EDO.

Список використаних джерел

1. Abramowitz M., Stegun I. A. (eds). Handbook of Mathematical Functions with Formulas, Graphs, and Mathematical Tables. National Bureau of Standards, Applied Mathematics Series, 1964, 55 p.
2. Cammalleri C., Barbosa P., Vogt J.V. Analysing the Relationship between MultipleTimescale SPI and GRACE Terrestrial Water Storage in the Framework of Drought Monitoring. *Water*, 11(8), 1672. DOI: <https://doi.org/10.3390/w11081672>

3. Edwards D.C., McKee T.B. Characteristics of 20th Century Drought in the United States at Multiple Time Scales. *Climatology Report*. 1997. 97(2).
4. Greenwood J.A., Durand D. Aids for fitting the gamma distribution by maximum likelihood. *Technometrics*. 1960. 2, 55-65.
5. Кисельова А. Є. Картографування вмісту вологи у ґрунті з використанням індикатора аномалій вологості ґрунту – SMA // Здобутки молодих учених у геодезії та землеустрої : матеріали Всеукраїнської науково-практичної Інтернет-конференції молодих учених, (11 листопада 2022 р.). Умань : УНУС, 2022. С. 30-33.
6. Landerer F.W., Swenson S.C. Accuracy of scaled GRACE terrestrial water storage estimates. *Water Resour. Res.* 2012. 48, W04531.
7. McKee T.B., Doesken N.J., Kleist J. The relationship of drought frequency and duration to time scale. In: Proceedings of the Eighth Conference on Applied Climatology, Anaheim, California, 17–22 January, 1993. Boston, American Meteorological Society, 179–184.
8. Monthly gridded Global Land Data Assimilation System (GLDAS) from Noah-v3.3 land hydrology model for GRACE and GRACE-FO over nominal months. URL: https://podaac.jpl.nasa.gov/dataset/TELLUS_GLDAS-NOAH-3.3_TWS-ANOMALY_MONTHLY
9. Press W.H., Teukolsky S.A., Vetterling W.T., Flannery B.P. Numerical Recipes in C: The Art of Scientific Computing. 2nd Edition. 1992. Cambridge University Press, 994 p.
10. Tapley B.D., Bettadpur S., Ries J.C., Thompson P.F., Watkins M.M. GRACE measurements of mass variability in the Earth System. *Science*. 2004. 305, 503-505.
11. Thom H.C.S. A Note on the Gamma Distribution. *Monthly Weather Review*. 1958. 86(4).
12. Wahr J., Swenson S., Zlotnicki V., Velicogna I. Time-variable gravity from GRACE: First results. *Geophys. Res. Lett.* 2004. 31, L11501
13. World Meteorological Organization. 2012. Standardized Precipitation Index User Guide. (M. Svoboda, M. Hayes and D. Wood). WMO-No. 1090. Geneva, 16 p.

НОЗОГЕОГРАФІЧНИЙ МОНІТОРИНГ ЗАХВОРЮВАНOSTІ НАСЕЛЕННЯ СУМСЬКОЇ ОБЛАСТІ НА ХВОРОБИ КІСТКОВО-М'ЯЗОВОЇ СИСТЕМИ ТА СПОЛУЧНОЇ ТКАНИНИ

Корнус О.Г.¹, Корнус А.О.^{1,2}, Шищук В.Д.², Головань А.О.¹

¹ Сумський державний педагогічний університет імені А. С. Макаренка

² Сумський державний університет

Одним з важливих показників соціально-економічного розвитку України є стан здоров'я населення. Для вивчення стану здоров'я населення з метою його оцінки, контролю, прогнозу рівня захворюваності застосовують нозогеографічний моніторинг.

Однією з основних причин інвалідизації населення є хвороби кістково-м'язової системи та сполучної тканини, які належать до досить поширених захворювань сучасності, їх частка у загальній поширеності захворювань населення Сумської області перевищує 5%. У структурі первинної захворюваності та поширеності хвороб в Сумській області дана група патологій займає 5 місце. Серед факторів, що сприяють поширенню цих захворювань