

## РОЗДІЛ V. БУДІВНИЦТВО ТА ГЕОДЕЗІЯ

DOI: 10.25140/2411-5363-2023-3(33)-205-214

УДК 502.35:004.4

*Лідія Давибіда*

кандидат геологічних наук, доцент кафедри геотехногенної безпеки та геоінформатики,  
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу (Івано-Франківськ, Україна)  
E-mail: [lidia.davybida@nung.edu.ua](mailto:lidia.davybida@nung.edu.ua) ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9796-7124> ResearcherID: F-3567-2017

### АНАЛІЗ ЗВ'ЯЗКУ МІНЛИВОСТІ РІВНІВ ПІДЗЕМНИХ ВОД ТА ІНДЕКСІВ МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ ПОСУХ ЗАСОБАМИ ПЛАТФОРМИ GOOGLE EARTH ENGINE

*Дані спостережень за змінами положення рівнів ґрунтових вод у свердловинах Державної мережі гідрогеологічного моніторингу України були використані для проведення аналізу їх взаємозв'язку із окремими спектральними індексами (індикаторами посухи), встановленими за даними дистанційного зондування. Отримані результати дозволили встановити, що індекси посухи доцільно використовувати для оперативної оцінки впливу посухи на ресурси ґрунтових вод. Вивчення режиму рівнів для групи свердловин із різними гідрогеологічними властивостями може допомогти зрозуміти вплив метеорологічної та гідрологічної посухи на водоносні горизонти підземних вод у межах досліджуваної території Карпатського регіону.*

*Ключові слова:* моніторинг; свердловини; Landsat; ГІС; геодани; часові ряди; кореляція.  
Табл.: 2. Рис.: 5. Бібл.: 17.

#### **Актуальність теми дослідження.**

Система підземних вод є невід'ємною частиною гідросфери Землі, і процеси, що відбуваються в ній, так чи інакше пов'язані з глобальним кругообігом води через інфільтрацію, випаровування, транспірацію тощо. Підземні води є критично важливим природним ресурсом, який вразливий до впливу кліматичних змін та антропогенних чинників. Крім того, підземні води є одним із найбільш динамічних компонентів геологічного середовища, діяльність якого впливає на формування, розвиток та активізацію зсувів, карсту, селевих потоків, суфозії тощо [1]. Тому необхідний систематичний і безперервний моніторинг гідрогеологічного режиму, оскільки отримана інформація про зміни його параметрів є необхідною базою для ефективного управління водними ресурсами, прогнозування стану водоносних горизонтів і поверхневих вод, а також ризику розвитку небезпечних екзогенних геологічних процесів [2]. Стандарти моніторингу та управління водними ресурсами викладені в Рамковій водній директиві (ВРД) Європейського Союзу (Директива 2000/60 / ЄС) [3]. Нині мережа Державної системи гідрогеологічного моніторингу в Україні перебуває у край незадовільному стані, що зумовлено недостатнім фінансуванням, відсутністю системної оптимізації та оновлення, знищенням спостережних свердловин і відсутністю доступу до них на тимчасово окупованих територіях і територіях, де ведуться активні бойові дії. Ще у довоєнний період (станом на 2020 рік у порівнянні з 1990 роком) кількість гідрогеологічних моніторингових свердловин зменшилася з понад 7000 до 846. Негативним наслідком є втрата безперервних часових рядів рівня ґрунтових вод, спостереження за якими для деяких пунктів почалися в 1940-х роках, і які можуть бути використані для складання довгострокових гідрогеологічних і гідрологічних прогнозів, а також прогнозів активізації екзогенних геологічних процесів (зсувів, карсту, підтоплення та ін.). Зараз через повномасштабну російську військову агресію ситуація із знищенням мережі спостережних свердловин стала ще більш загрозливою. Очевидно, що через бойові дії на території України та масштабну економічну кризу ситуація з функціонуванням Державної мережі гідрогеологічного моніторингу не покращиться найближчим часом. Тому розробка методів відновлення розривів у рядах спостережуваних показників режиму підземних вод є актуальним завданням.

**Постановка проблеми.** При вивченні і моделюванні гідрогеологічного режиму важливо враховувати варіації сезонних коливань рівнів підземних вод, особливо для неглибоких водоносних горизонтів, у різних регіонах України [4]. Тому додаткові дані, такі як результати спостережень за метеорологічними параметрами, за рівнями поверхневих вод, а також дані супутникового моніторингу можуть бути корисними як при відновленні пропусків у рядах рівнів підземних вод, обумовлених відсутністю вимірювань, так і для проектування оновленої мережі гідрогеологічного моніторингу. Ефективними інструментами інтеграції таких гетерогенних просторово-часових даних є сучасні геоінформаційні системи (ГІС) і технології.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Питання розробки заходів для відновлення Державної спостережної мережі гідрогеологічного моніторингу і її поступової адаптації до європейських норм і вимог, зокрема, формування єдиної бази даних із залученням ГІС-технологій, розглянуто у роботі [5]. Згідно [6] особливу увагу слід приділяти транскордонним територіям відповідно до вимог Рамкової Водної директиви ЄС [3]. Численні наукові праці [7-10] розглядають питання відображення просторово-часових закономірностей мінливості режиму підземних вод і побудови їх цифрових моделей засобами ГІС.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** В останні роки особливу увагу приділяють використанню даних дистанційного зондування Землі для моніторингу підземних вод, дослідженню зв'язків між даними супутникових спостережень і рівнями підземних вод, розробляють методи аналізу та моделювання для прогнозування змін гідрогеологічного режиму [11]. Недостатньо дослідженим залишається питання оптимізації гідрогеологічного моніторингу через використання індикаторів (індексів) посухи.

**Метою статті** є оцінка зв'язку між основними спектральними індексами посухи та мінливістю рівня ґрунтових вод за допомогою хмарної геоінформаційної платформи з відкритим кодом Google Earth Engine для Карпатського регіону, територія якого завжди була однією з найменш вивчених в Україні у гідрогеологічному плані через незначне охоплення мережею спостережних свердловин (рис. 1).

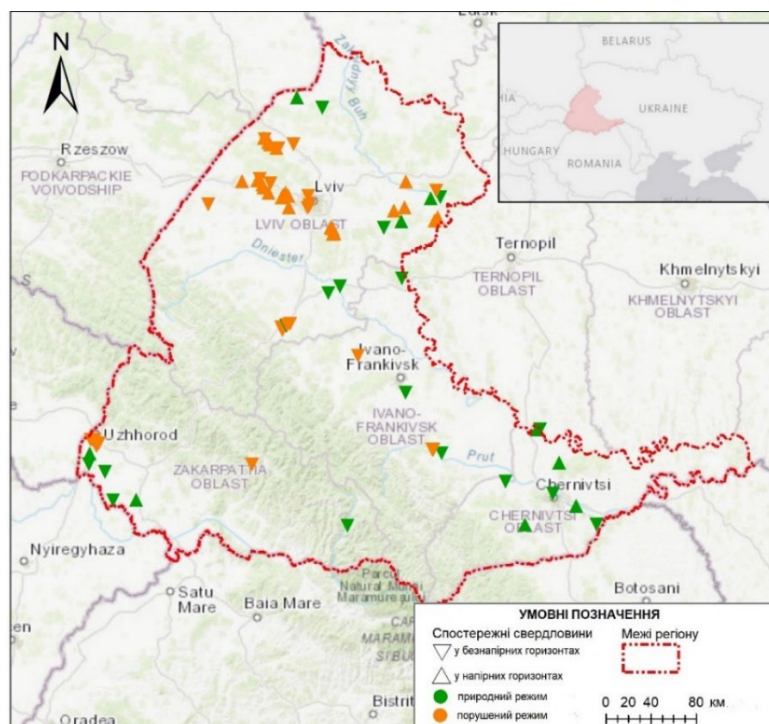


Рис.1. Територія досліджень

**Виклад основного матеріалу.** У межах Карпатського регіону, який включає Закарпатську, Івано-Франківську, Львівську та Чернівецьку області, розташовано 42 % родовищ підземних мінеральних вод України. Основним джерелом побутового водопостачання для населення у межах регіону є підземні води. Умови виникнення і запаси підземних вод в регіоні різні в залежності від конкретного типу гідрогеологічного басейну, до якого відноситься дана територія. Виділяють такі басейни, як Карпатський, Передкарпатський (Зовнішні Східні Карпати) та Волино-Подільський [12]. Також тут часто спостерігаються такі екологічно несприятливі явища, як повені, зсуви, ерозія, забруднення поверхневих і підземних вод, вирубка лісів тощо [1, 2].

Узагальнений алгоритм дослідження і опрацювання даних спостережень для розглянутого регіону наведено на рисунку 2.

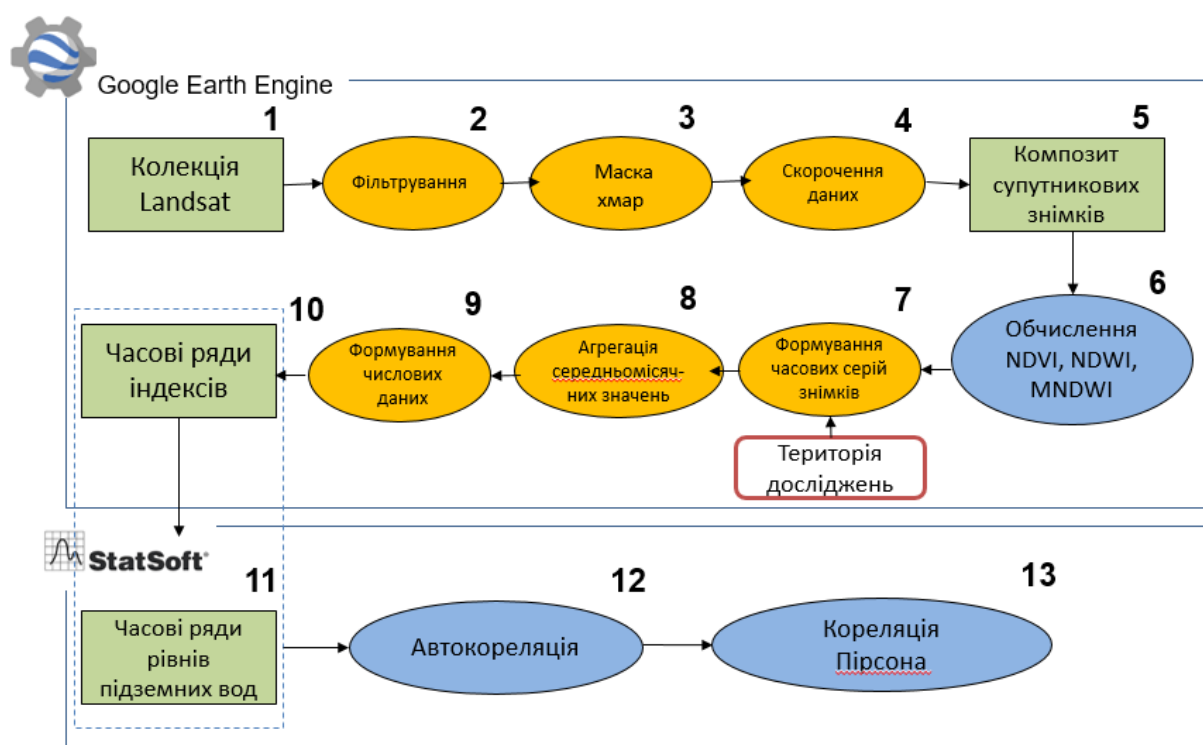


Рис.2. Методологія досліджень

Щомісячні дані про глибину підземних вод 6 моніторингових свердловин неглибоких безнапірних водоносних горизонтів надані Державною службою геології та надр України. Їх основні характеристики наведені у таблиці 1.

Таблиця 1 – Основна інформація про свердловини мережі моніторингу підземних вод

Номер свердловини	Довгота	Широта	Глибина, м	Стратиграфія	Період спостережень
w1 (249678807)	23°20'15"	49°49'27"	17,2	Q	1979-1981, 1988-2000, 2007-2010, 2017-2019
w2 (249430054)	24°57'29"	48°32'58"	25,0	AQ <sub>3</sub>	1970-1996, 2001-2012, 2017-2019
w3 (249389110)	25°01'48"	48°31'48"	15,0	AQ <sub>3</sub>	1993-2013, 2017-2019
w4 (244250144)	22°24'48"	48°16'51"	33,0	AQ <sub>1-4</sub>	1973-1992, 1996-2013, 2016-2019
w5 (244010006)	22°13'12"	48°28'18"	51,0	AQ <sub>1-4</sub>	1966-1999, 2003-2004, 2009-2012, 2016-2019
w6 (249040001)	25°54'59"	48°18'57"	13,0	Q	1954-2009, 2015-2019

Мультиспектральні зображення Landsat 8 OLI/TIRS Collection 2, використані в цьому дослідженні, доступні для безкоштовного завантаження за період з квітня 2013 року по теперішній час на сайті Геологічної служби США (USGS).

Існує багато спектральних індексів, корисних для моніторингу та оцінки різних типів посухи (метеорологічної, гідрологічної, сільськогосподарської та соціально-економічної) [13-15]. У цьому дослідженні було використано такі стандартні індекси посухи, отримані на основі даних дистанційного/супутникового зондування, як вегетаційний індекс (*NDVI*), водний індекс (*NDWI*) і модифікований водний індекс (*MNDWI*) [16, 17].

Логіка використання *NDVI* для моніторингу посухи полягає в тому, що вологість ґрунту відіграє важливу роль у зростанні та здоров'ї рослинності, і як наслідок, густина рослинності реагує на забезпеченість водними ресурсами (Lavender, 2016). *NDVI* розраховується на основі співвідношення:

$$NDVI = (NIR - RED)/(NIR + RED),$$

де *NIR* – відбиття у ближньому інфрачервоному діапазоні спектра, *RED* – відбиття у червоному діапазоні спектра.

*NDWI* часто використовується для оцінки вмісту вологи та виділення відкритих водойм на супутникових знімках. *NDWI* розраховується за такою формулою:

$$NDWI = (GREEN - NIR)/(GREEN + NIR),$$

де *GREEN* – відбиття у зеленому діапазоні спектра.

*MNDWI* є варіантом індексу *NDWI*, який використовується для виявлення водних об'єктів на супутникових або аерозображеннях забудованих територій. Для розрахунку цього індексу використовується співвідношення:

$$MNDWI = (GREEN - SWIR1)/(GREEN + SWIR1),$$

де *SWIR1* – відбиття у короткохвильовому інфрачервоному діапазоні спектра.

Коефіцієнт кореляції Пірсона (*r*), який було використано для оцінки кореляції індексів, отриманих за допомогою даних дистанційного зондування, та гідрогеологічних спостережень, обчислено за відомою формулою:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

де  $x_i$  – дані щодо глибини залягання рівня ґрунтових вод та  $y_i$  – індекс посухи для  $i$ -го місяця часового ряду з  $n$  спостережень.

Формування вхідної бази даних, розрахунок значень індексів на основі мультиспектральних супутникових зображень, створення картографічних моделей досліджуваної території, розрахунок середніх значень індексів та побудова часових рядів для місць розташування спостережних свердловин з  $R = 2$  км, а також подальший аналіз проводився за допомогою платформи Google Earth Engine (GEE) (рис. 3).

Для досліджуваної території характерна значна просторова та часова мінливість розглянутих індексів посухи в цілому та окремих локальних зон живлення безпосередньо перших від поверхні водоносних горизонтів підземних вод.

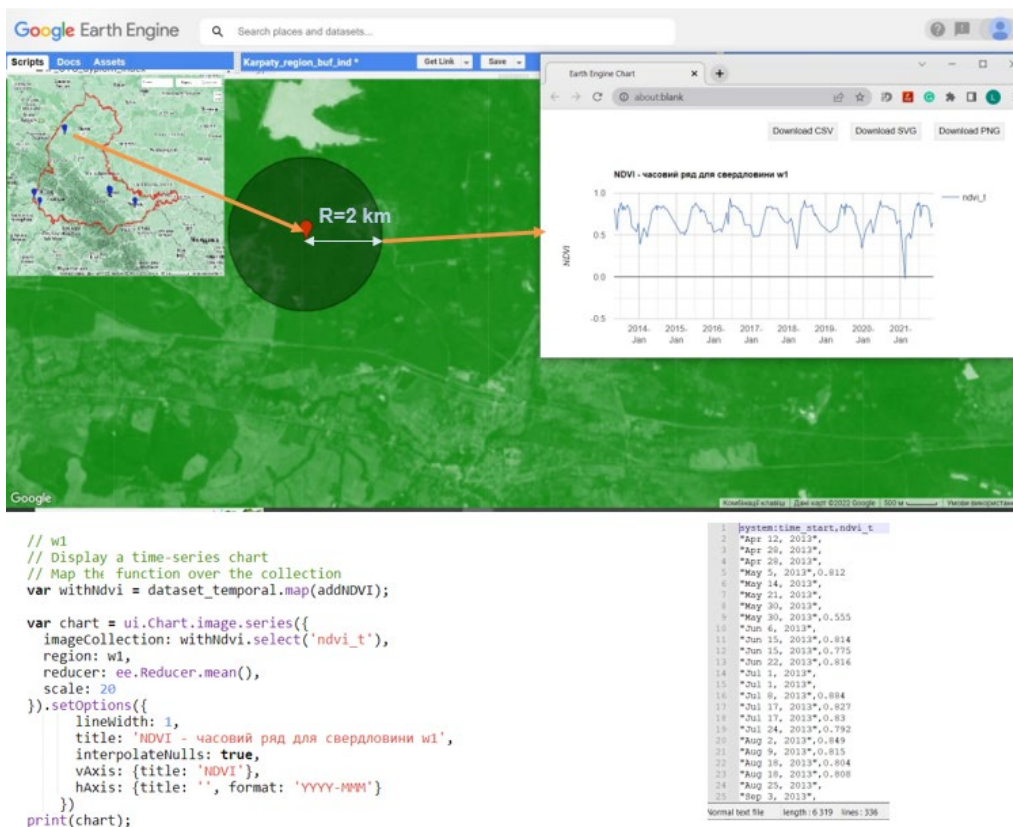


Рис.3. Приклад генерації часового ряду індексу NDVI для місцевості в околицях однієї із спостережних свердловин у середовищі GEE

Часова мінливість NDVI, NDWI, MNDWI характеризується чіткою 12-місячною періодичністю (рис. 4), яку можна порівняти із сезонністю рівнів для непорушеного (природного) режиму підземних вод (рис. 5).

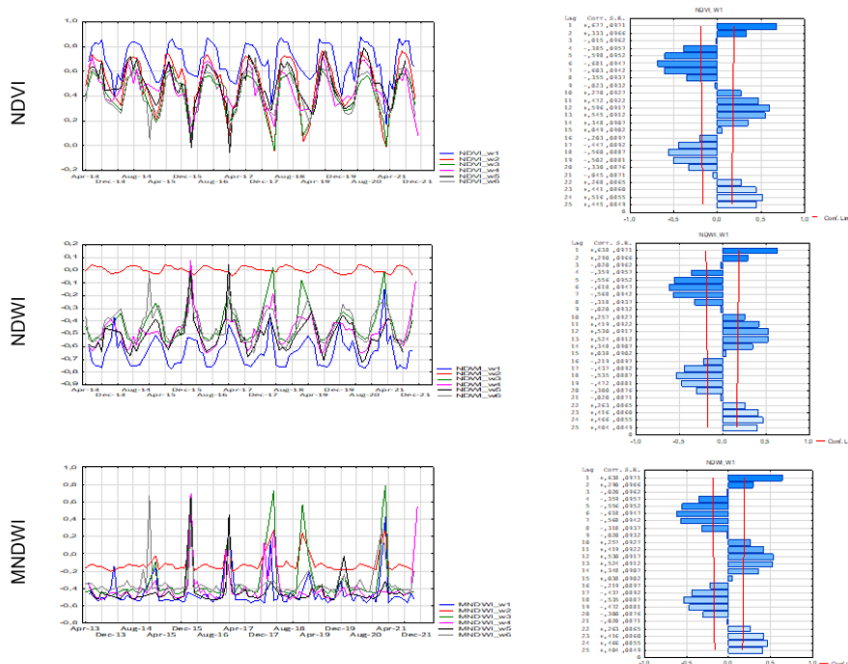


Рис.4. Графіки середньомісячних значень спектральних індексів та приклади графіків їх типових автокореляційних функцій

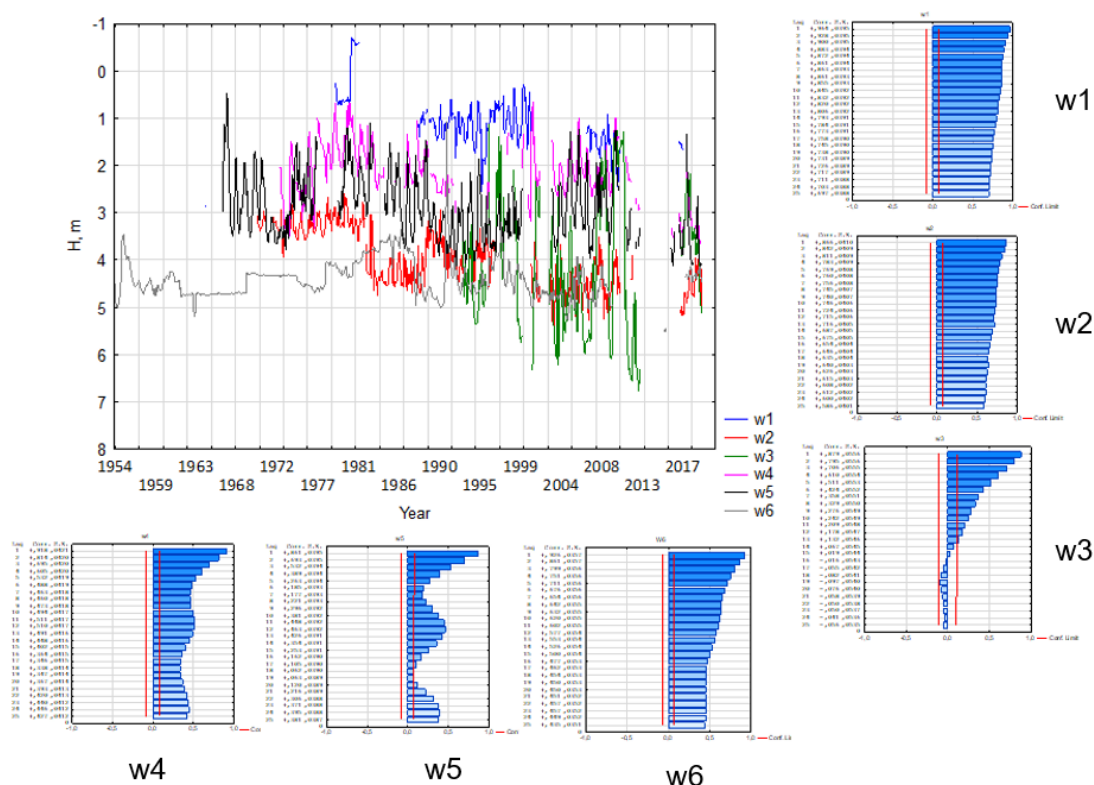


Рис.5. Графіки середньомісячних значень глибини залягання рівня підземних вод у спостережних свердловинах і графіки відповідних автокореляційних функцій

Кореляційний аналіз середньомісячних рівнів у гідрогеологічних свердловинах та осереднених значень індексів посухи для ділянок розміщення свердловин, а також оцінка значущості отриманих коефіцієнтів кореляції виконані шляхом автоматизованого розрахунку в програмному середовищі STATISTICA. Статистична значущість коефіцієнтів кореляції встановлена за допомогою відомого *t*-критерію Стьюдента на рівні значимості  $\alpha=0,05$ :

$$t = \frac{r}{\sqrt{1 - r^2}} \sqrt{n - 2}$$

Розраховане за цією формулою значення порівнюється з критичним значенням *t*-критерію Стьюдента з урахуванням заданого рівня значущості  $\alpha$  та числа ступенів свободи ( $n - 2$ ). Якщо  $t_{факт.} > t_{табл.}$ , то отримане значення коефіцієнта кореляції вважається значущим і робиться висновок про тісний статистичний взаємозв'язок величин.

Результати кореляційного аналізу наведені у таблиці 2 (статистично значущі коефіцієнти кореляції виділені жирним шрифтом).

Таблиця 2 – Коефіцієнти кореляції для середньомісячних рівнів у спостережних свердловинах та осереднених значень індексів посухи для ділянок розміщення свердловин

Свердловини	NDVI	NDWI	MNDWI
w1	<b>-0,975</b>	<b>0,956</b>	<b>0,301</b>
w2	-0,277	-0,368	0,133
w3	0,187	-0,199	-0,247
w4	0,001	-0,102	<b>0,318</b>
w5	-0,223	0,111	<b>0,595</b>
w6	<b>-0,477</b>	<b>0,489</b>	<b>0,438</b>

Відсутність статистично значущого зв'язку між мінливістю показників і рівнями ґрунтових вод (як, наприклад у розглянутих свердловинах  $w_2$  і  $w_3$ ) може бути індикатором порушення гідрогеологічного режиму внаслідок впливу штучних факторів.

Слід також враховувати, що різна глибина залягання ґрунтових вод, характер геоморфологічних і гідрогеологічних умов можуть впливати на реакцію режиму підземних вод на вплив кліматичних факторів. Для подальшого дослідження природи зв'язку варто збільшити вибірку досліджуваних свердловин і доповнити дані результатами попередніх програм дистанційного моніторингу (Landsat 7, Landsat 5).

**Висновки.** У роботі вперше на основі сукупності даних дистанційного зондування та спостережень за підземними водами встановлено зв'язок між спектральними індексами та рівнями підземних вод у гідрогеологічних моніторингових свердловинах досліджуваної території Карпатського регіону. Отримані результати дозволяють припустити, що супутникові знімки можуть бути використані для спостереження за впливом посухи на ресурси підземних вод перших від земної поверхні водоносних горизонтів (насамперед для вивчення сезонної мінливості водності) у межах території дослідження. Для подальшого вивчення та прогнозування довгострокових закономірностей необхідно враховувати певні обмеження вхідних даних. Так, часові ряди даних Landsat зазвичай також мають прогалини через номінальний 16-денний цикл часової розрізненості, хмарність та інші фактори. Необхідно запропонувати спеціальні методи реконструкції для отримання безперервних часових рядів даних Landsat. Спеціальний алгоритм для уніфікації (калібрування, зіставлення каналів, виправлення помилок сканування) даних Landsat має бути попередньо реалізований, наприклад, за допомогою бібліотек Python та QGIS для об'єднання даних спостережень в єдиний часовий ряд. Необхідно також враховувати тип поверхні, ґрунтовий покрив, землекористування та їх зміни протягом періоду спостережень, оскільки ці умови впливають як на формування режиму ґрунтових вод, так і на значення спектральних індексів.

### Список використаних джерел

1. Hydrogeological conditions and natural factors forming the regime of groundwater levels in the Ivano-Frankivsk region / L. Davybida, D. Kasiyanchuk, L. Shtohryn, E. Kuzmenko, M. Tymkiv // *Journal of Ecological Engineering*. – 2018. – №19(6). – С. 34-44. DOI:10.12911/22998993/91883
2. Davybida, L. Spatial analysis of the relation between the distribution of dangerous exogenous geological processes and landscape hydrogeological complexes in Transcarpathian [Electronic resource] / L. Davybida, D. Kasiyanchuk, L. Shtogrin // [International Conference of Young Professionals «Geo-Terrace-2020»](https://www.earthdoc.org/content/papers/10.3997/2214-4609.20205755?crawler=true). – 2020. – P. 1-5. — Access mode : <https://www.earthdoc.org/content/papers/10.3997/2214-4609.20205755?crawler=true>
3. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy [official website] [Electronic resource] – Access mode : <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A32000L0060>
4. Рубан, С. А. Гідрогеологічні оцінки та прогнози режиму підземних вод України : монографія / С. А. Рубан, М. А. Шинкаревський. – Київ : УкрДГРІ, 2005. – 572 с.
5. Шестопалов, В. М. Стан і шляхи реформування державної системи моніторингу підземних вод з урахуванням міжнародного досвіду та вимог водної рамкової директиви Європейського Союзу / В. М. Шестопалов, Н. Г. Люта // *Мінеральні ресурси України*. – 2016. – № 2. – С. 3-4.
6. Koshliakov, O. Y. Cross-border aspect of geoinformation provision of water resource management in Ukraine [Electronic resource] / O. Y. Koshliakov, O. V. Dyniak, I. Y. Koshliakova // *16th International Conference Geoinformatics. Theoretical and Applied Aspects*. – 2017. – P. 1-5 – Access mode <https://www.earthdoc.org/content/papers/10.3997/2214-4609.201701797>
7. Groundwater Potential Assessment Using GIS and Remote Sensing Techniques: Case Study of West Arsi Zone, Ethiopia / J. Kabeto, D. Adeba, M. S. Regasa, M. K. Leta // *Water*. – 2022. – №14. – 1838. DOI: <https://doi.org/10.3390/w14121838>

8. An Overview of Groundwater Monitoring through Point-to Satellite-Based Techniques / A. Masood, M. A. U. R. Tariq, M. Z. U. R. Hashmi, M. Waseem, M. K. Sarwar, W. Ali, R. Farooq, M. Almazroui, A.W.M. Ng // *Water*. – 2022. – № 14. – P. 565. DOI: <https://doi.org/10.3390/w14040565>
9. Malik, M. I. Remote Sensing and GIS based groundwater potential mapping for sustainable water resource management of Lidder catchment in Kashmir Valley, India / M. I. Malik, M. S. Bhat, S. A. Najar // *J Geol Soc India*. 87. – 2016. – P. 716-726. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12594-016-0444-3>.
10. Modeling groundwater potential using novel GIS-based machine-learning ensemble techniques / A. Arabameri, S. C. Pal, F. Rezaie, O. A. Nalivan, I. Chowdhuri, A. Saha, S. Lee, H. Moayedi // *Journal of Hydrology: Regional Studies*. – 2021. – Vol. 36. – 100848. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2021.100848>.
11. Lavender, S. Monitoring land cover dynamics at varying spatial scales using high to very high resolution optical imagery / S. Lavender // *Isprs - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. XLI-B8. – 2016. – P. 937-939. DOI: doi: 10.5194/isprsarchives-XLI-B8-937-2016.
12. Chaly, P. Hydrogeological Problems of the Carpathian Region in the Liviv Province [Electronic resource] // P. Chaly // *Groundwater Management in the East of the European Union* / eds. T. Nalecz. – NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security. Springer, Dordrecht, 2011. – P. 67-70. – Access mode : <file:///C:/Users/Nataliya/Downloads/GroundwaterManagementintheEastoftheUEIndex.pdf>
13. Bhuiyan, C. Various drought indices for monitoring drought condition in Aravalli Terrain of India / C. Bhuiyan, // XXth ISPRS Congress, Technical Commission VII (July 12-23, 2004, Istanbul, Turkey ) / editor O. Altan. – International Society for Photogrammetry and Remote Sensing. – ISPRS Archives – 2004. – Vol. XXXV, Part B7. – P. 1283-1288.
14. Leelaruban, N. Examining the Relationship between Drought Indices and Groundwater Levels / N. Leelaruban, G. Padmanabhan, P. Oduor // *Water* – 2017. – Vol. 9, № 2. – P. 82. DOI: doi:10.3390/w9020082
15. Niranga, A. A comprehensive assessment of remote sensing and traditional based drought monitoring indices at global and regional scale / A. Niranga, E. Mahesh, B. Geomatics // *Natural Hazards and Risk*. – 2022. – Vol.13, № 1. – P. 762-799. DOI: doi: 10.1080/19475705.2022.2044394
16. A weighted normalized difference water index for water extraction using Landsat imagery / G. Qiandong, P. Ruiliang, L. Jialin, C. Jun // *International Journal of Remote Sensing*. – 2017. – 38:19. – P. 5430-5445. DOI: 10.1080/01431161.2017.1341667
17. Szabó, S. Specific features of NDVI, NDWI and MNDWI as reflected in land cover categories / S. Szabó, Z. Gácsi, B. Balázs, // *Landscape & Environment*. – 2016. – № 10(3-4). – P. 194-202. DOI: 10.21120/LE/10/3-4/13

### References

1. Davybida, L., Kasiyanchuk, D., Shtohryn, L., Kuzmenko, E., & Tymkiv, M. (2018). Hydrogeological conditions and natural factors forming the regime of groundwater levels in the Ivano-Frankivsk region (Ukraine). *Journal of Ecological Engineering*, 19(6), 34-44. doi:10.12911/22998993/91883.
2. Davybida, L., Kasiyanchuk, D., & Shtogrin, L. (2020). Spatial analysis of the relation between the distribution of dangerous exogenous geological processes and landscape hydrogeological complexes in Transcarpathian. *International Conference of Young Professionals, GeoTerrace 2020*. doi:10.3997/2214-4609.20205755.
3. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy [official website]. [http://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:5c835afb-2ec6-4577-bdf8-756d3d694eeb.0004.02/DOC\\_1&format=PDF](http://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:5c835afb-2ec6-4577-bdf8-756d3d694eeb.0004.02/DOC_1&format=PDF).
4. Ruban S. A., Shynkarevskyi M.A. (2005). Hydrogeological assessments and forecasts of the groundwater regime in Ukraine. Kyiv: UkrDHRI.
5. Shestopalov, V.M., Liuta, N. H. (2016). State and ways of reforming the state groundwater monitoring system considering the international experience and the requirements of the Water Framework Directive of the European Union. *Mineral Resources of Ukraine*, 2, 3-4.



6. Koshliakov, O. Y., Dyniak, O. V., & Koshliakova, I. Y. (2017). Cross-border aspect of geoinformation provision of water resource management in Ukraine. 16th International Conference Geoinformatics – Theoretical and Applied Aspects.
7. Kabeto, J., Adeba, D., Regasa, M.S., Leta, M.K. (2022). Groundwater Potential Assessment Using GIS and Remote Sensing Techniques: Case Study of West Arsi Zone, Ethiopia. *Water*, 14, 1838. doi:10.3390/w14121838.
8. Masood, A., Tariq, M.A.U.R., Hashmi, M.Z.U.R., Waseem, M., Sarwar, M.K., Ali, W., Farooq, R., Almazroui, M., Ng, A.W.M. (2022). An Overview of Groundwater Monitoring through Point-to Satellite-Based Techniques. *Water*, 14, 565. doi:10.3390/w14040565.
9. Malik, M.I., Bhat, M.S., & Najjar, S.A. (2016). Remote Sensing and GIS based groundwater potential mapping for sustainable water resource management of Lidder catchment in Kashmir Valley, India. *J Geol Soc India*, 87, 716–726. doi:10.1007/s12594-016-0444-3.
10. Alireza Arabameri, Subodh Chandra Pal, Fatemeh Rezaie, Omid Asadi Nalivan, Indrajit Chowdhuri, Asish Saha, Saro Lee, Hossein Moayedi. (2021). Modeling groundwater potential using novel GIS-based machine-learning ensemble techniques. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 36, 100848. doi:10.1016/j.ejrh.2021.100848.
11. Lavender, S. (2016). Monitoring land cover dynamics at varying spatial scales using high to very high resolution optical imagery. *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLI-B8, 937-939. doi:10.5194/isprsarchives-XLI-B8-937-2016.
12. Chaly, P. (2011). Hydrogeological Problems of the Carpathian Region in the Liviv Province. In: Nalecz, T. (eds) *Groundwater Management in the East of the European Union*. NATO Science for Peace and Security Series C: Environmental Security. Springer, Dordrecht. doi:10.1007/978-90-481-9534-3\_8.
13. Bhuiyan, C. (2004). Various drought indices for monitoring drought condition in Aravalli Terrain of India. *ISPRS Archives – Volume XXXV Part B7, 2004, XXth ISPRS Congress, Technical Commission VII, July 12-23, 2004, Istanbul, Turkey* (Altan O, editor.). International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, p. 1283–1288.
14. Leelaruban, N., Padmanabhan, G., & Oduor, P. (2017). Examining the Relationship between Drought Indices and Groundwater Levels. *Water*, 9(2), 82. doi:10.3390/w9020082.
15. Niranga, A., & Mahesh, E. (2022). A comprehensive assessment of remote sensing and traditional based drought monitoring indices at global and regional scale. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 13(1), 762-799. doi:10.1080/19475705.2022.2044394.
16. Qiandong Guo, Ruiliang Pu, Jialin Li, & Jun Cheng (2017). A weighted normalized difference water index for water extraction using Landsat imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 38(19), 5430-5445. doi:10.1080/01431161.2017.1341667.
17. Szabó, S., Gácsi, Z., & Balázs, B. (2016). Specific features of NDVI, NDWI and MNDWI as reflected in land cover categories. *Landscape & Environment*, 10(3-4), 194–202. doi:10.21120/LE/10/3-4/13.

Отримано 03.06.2023

UDC 502.35:004.4

### Lidiia Davybida

PhD in Geological Sciences, Associate Professor of the Department of Geotechnogenic Safety and Geoinformatics,  
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas  
(Ivano-Frankivsk, Ukraine)

E-mail: [lidiia.davybida@nung.edu.ua](mailto:lidiia.davybida@nung.edu.ua) ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9796-7124>

ResearcherID: F-3567-2017

## ANALYSIS OF THE RELATIONSHIP BETWEEN THE VARIABILITY OF GROUNDWATER LEVELS AND INDICES OF METEOROLOGICAL DROUGHTS USING THE GOOGLE EARTH ENGINE PLATFORM

*Groundwater is a critically important natural resource vulnerable to climate change and artificial factors. In addition, groundwater is one of the most dynamic components of the geological environment. Their regime affects dangerous exogenous geological processes' formation, development and activation. Therefore, systematic monitoring of the hydrogeological regime*

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

is necessary for the effective management of water resources, forecasting of the state of aquifers and surface waters, as well as the risk of the development of dangerous processes.

Actual scientific researches and issues analysis about the restoration of the State hydrogeological monitoring network of Ukraine and its adaptation to European standards shown the relevance of this problem, as well as the feasibility of involving GIS technologies and remote sensing data in its solution.

The purpose of the article is to assess the relationship between the main spectral drought indices and the variability of the groundwater level in the Carpathian region using the open-source cloud geoinformation platform Google Earth Engine.

Observation data on changes in groundwater levels in wells of the State network of hydrogeological monitoring of Ukraine were used to analyze their relationship with some spectral indices (drought indicators) established by remote sensing data. The obtained results made it possible to establish that it is appropriate to use drought indices for the operational assessment of the drought impact on groundwater resources.

In this work, a methodology for processing data from observations of groundwater levels compatible with the results of satellite monitoring in the Google Earth Engine environment is proposed and its practical application is demonstrated. For the first time, based on a set of remote sensing data and groundwater observations, a relationship between spectral indices and groundwater levels in hydrogeological monitoring wells of the Carpathian region was established. Studying the regime of levels for a group of wells with different hydrogeological conditions can help to understand the impact of meteorological and hydrological drought on groundwater aquifers within the study region, as well as other areas.

**Keywords:** technological accessories; functional assignment; woodworking; furniture production.

Table: 2. Fig.: 5. References: 17.