

ДОСЛІДЖЕННЯ ГІДРОГЕОЛОГІЧНОГО РЕЖИМУ ПРИРОДНО-ТЕХНІЧНОЇ ГЕОСИСТЕМИ: НА ПРИКЛАДІ ДНІСТРОВСЬКОЇ ГАЕС

Основною метою дослідження є аналіз змін у гідрогеологічному режимі до та після введення об'єкта Дністровської ГАЕС (гідроакumuлююча електростанція), в експлуатацію, з урахуванням впливу людської діяльності на водні ресурси. Для вирішення даного завдання необхідно регулярно проводити вимірювання рівнів підземних вод. Цей процес здійснювався шляхом систематичного заміру рівня води в н'єзометрах за період з 2010 по 2023 рік із частотою двічі на тиждень. Для досягнення поставленої мети потрібно було проаналізувати геологічну будову та гідрогеологічні характеристики водоносних безнапірних шарів в товщах ґрунтів, а також дослідити водопроникність гірських порід. Зміни в гідрогеологічному режимі можуть бути спричинені як розуцільненням гірської породи внаслідок зміни напруженого деформаційного стану, так і активацією геодинамічних процесів, що, своєю чергою, сприяють дренажу через розломи у гірському масиві. Дослідження в статті дають змогу точніше оцінити зміни у гідрогеологічному режимі масиву гірських порід, зокрема в зменшенні вологоутримувальної здатності певного горизонту. Дослідження розкриває можливі причини цих змін, такі як розуцільнення ґрунтів та активація геодинамічних процесів, і вказує на потенційні наслідки для гідрогеологічного середовища та використання водних ресурсів, під час планування та експлуатації інших енергооб'єктів у подібних умовах. Практична значущість цього дослідження полягає в тому, що воно допомагає розуміти зміни в гідрогеологічному середовищі та їх потенційний вплив на водні ресурси. Це важливо для розробки ефективних стратегій управління водними ресурсами окремо та збереження екосистем в цілому.

Ключові слова: Геоєкологія, конструктивна географія, геосистеми, річково-басейнові системи, річково-долинний ландшафт, річкові системи, ландшафтно-технічні системи, ландшафтно-інженерні системи, ГІС-технології, Дністровська гідроакumuлююча електростанція, оолітовий вапняк, н'єзометр, водоносний горизонт, н'єзометрична поверхня, ґрунтова основа, інфільтрація, неогеновий, водоносний.

Постановка науково-практичної проблеми і актуальність дослідження. Дослідження природно-технічних геосистем відносяться до сфери геоєкології, конструктивної географії, антропогенного ландшафтознавства. Також річкові гідротехнічні геосистеми є важливими складовими річково-басейнових систем. Отже, їх дослідження важливі у практиці планування управління річковими басейнами. Ці дослідження охоплюють як природні, так і технічні, соціально-географічні та інші складові. Зокрема це стосується і досліджень гідрогеологічного режиму. Зі збільшенням потреби у водних ресурсах в світі є важливою темою дотримання балансу між необхідністю економічного розвитку та збереженням складних гідрогеологічних систем. Ландшафти регіону будівництва ГАЕС зазнали змін, та були адаптовані завдяки різноманітним видам людської діяльності у поєднанні зі зростанням потреб у питній воді, захисту населення від паводків гідроенергії та інших ресурсах [7, с. 2; 36, с. 3; 24, с. 3]. Приналежність Дністровської ГАЕС до карстового району є окремою рисою природно-технічної геосистеми. Основними завданнями належного планування систем водних ресурсів у карстових регіонах є мінімізація негативного та максимізація позитивного впливу на навколишнє середовище та безпеку експлуатації [27, с. 3; 12, с. 3].

Тому оптимальна стратегія розвитку водних ресурсів у карстових районах є ключовою вимогою для регіонального соціально-економіч-

ного розвитку. Однак, оскільки кожен карстовий регіон має унікальний характер зміни в природно технічній геосистемі можуть мати не прогнозований сценарій розвитку такі як: різка зміна рівня води, погіршення якості підземних вод, загроза зникнення біоценозів, індукована сейсмічність, індуковані карстові лійки та низка різних вторинних явищ які, часто відбуваються дуже швидко, що може позначитись на екологічні, інфраструктурні, соціальні та політичні системах [23, с. 178; 22, с. 14; 35, с. 923; 9, с. 62; 4, с. 38; 14, с. 5].

Більшість наслідків можна передбачити і пом'якшити завдяки розумінню гідрогеологічних процесів які відбуваються в товщі ґрунтів. Тому оптимальний захист довкілля вимагає міждисциплінарного підходу, багато терпіння та наполегливості.

Успішні рішення вимагають серйозних і комплексних програм геологічних, гідрогеологічних досліджень і тісної співпраці широкого кола вчених та інженерів: геологів, інженерів-будівельників, біологів, хіміків, гідрогеологів, геофізиків, соціологів та багатьох інших.

Наукова новизна. Дослідження в статті дають змогу точніше оцінити зміни у гідрогеологічному режимі масиву гірських порід, зокрема в зменшенні вологоутримувальної здатності певного горизонту. Дослідження розкриває можливі причини цих змін, такі як розуцільнення ґрунтів та активація геодинамічних процесів, і вказує на потенційні наслідки для гідрогеологічного середовища та використання водних

ресурсів, під час планування та експлуатації інших енергооб'єктів у подібних умовах.

Аналіз основних публікацій за темою дослідження. Тематика міжнародних досліджень у цьому контексті пов'язана здебільшого з вивченням обводненості зони вивітрювання [19, с. 3], розподілом водопроникності розломних зон у гірських породах [6, с. 4328; 4, с. 38; 21, с. 4], гідравлічними характеристиками цих зон. Зокрема, предметом зацікавленості є інформація про методи встановлення параметрів водообміну, залежності проникності від щільності тріщинуватості, величини водопритоку до п'єзометру, розподілу проникності та дренованості з глибиною [6, с. 4329; 31, с. 18256; 20, с. 864]. Варто звернути особливу увагу на створення у 2020 р. Глобальної Бази даних про характеристики зон з тектонічними порушеннями [25, с. 783]. Цілі цих баз даних - надати поштовх до перехресного трансдисциплінарного обміну відомостями про гідрогеологію зон розломів, порівняти величини водопроникності в зонах порушень та вмісних гірських породах різного петрологічного складу, задокументувати систематичні похибки та стратегії для тестування зон розломів. Доречно звернути увагу на створення Всесвітньої бази даних, яка є міжнародним стандартом онлайн-обміну інформацією про підземні води. Необхідно розуміти – водопроникність залежить від розподілу механічних напружень у гірській породі та її міцнісних властивостей, що відображено в роботі [18, с. 232]. Водопроникність виникає внаслідок наявності пустотного простору розущільненого ґрунту та тріщинуватості між блоками, частинками, уламками або кристалами гірських порід.

Основною метою дослідження є аналіз змін у гідрогеологічному режимі до та після введення об'єкта в експлуатацію, з урахуванням впливу людської діяльності на водні ресурси. Ми розглядаємо гідрологічні та гідрогеологічні параметри, такі як рівень ґрунтових вод та водоносні шари, і порівнюємо їх з поточними даними. Це дослідження важливе для зрозуміння впливу техногенного навантаження на гідрогеологічне середовище та розробки стратегій збереження та ефективного використання водних ресурсів.

Методика і викладення основного матеріалу дослідження. Дністровська ГАЕС (гідроакумулююча електростанція) розташована 8 км на північний-схід від міста Сокиряни, Чернівецької області (48°30'49"N, 27°28'24"E). Її будівництво розпочато у 1983 р. На сьогодні завершено перший етап будівництва – 4 гідроагрегати (із 7 проектних). У результаті спорудження Дністровської ГАЕС утворено Дніст-

ровське верхнє водосховище з площею дзеркала 3.0 км² та корисним об'ємом – 32.70 км³) [1, с. 1; 2]. Дністровське верхнє водосховище розташовано на плато на 125 м вище від рівня Дністровського руслового буферного водосховища і побудоване шляхом виїмки та насипу ґрунту в екран дна і дамб огороження висотою до 20 метрів. Для вивчення фільтраційного режиму ґрунтів у меж гірського плато на якому розташована Дністровська ГАЕС, було пробурено низка п'єзометричних свердловин (Рис. 1).

Свердловини охоплюють два основні структурно-стратиграфічні комплекси, які беруть участь у геологічній структурі регіону – мезокайнозойський, складений осадовими утвореннями крейди, неогену й четвертинними відкладеннями різного генезису й потужності. Свердловина оснащена металевією трубою з сітчастим фільтром на кінці, з різним кроком заглиблення 25-33 метри та 65-75 метрів. Для дослідження було обрано за період з 01.01.2010 р. по 12.12.2023 р., впродовж якого отримано в середньому 267 значень окремо по кожній із точок, в загальному разом води було опрацьовано 6142 значень. Слід зазначити, що дані були отримані безпосереднім заміром в ручному режимі. Це дозволяє отримувати однозначні результати. Геологічний розріз розташування безнапірних водоносних горизонтів №1, та №2 відповідно для п'єзометрів заглиблених на 25-30 метрів та п'єзометрів заглиблених на 65-75 метрів з наведеними коефіцієнтами фільтрації. (Рис. 2).

В процесі дослідження було встановлено наступне: гідрогеологічні умови району складні. Тут спостерігається розвантаження декількох водоносних горизонтів з різним режимом живлення. Пластово-тріщинні й тріщинні води в корінних породах мають напірний, іноді висконапірний, а частіше безнапірний характер залягання. Вони приурочені до горизонтів тріщинуватих вапняків (N1s1) пісків у баденському шарі (Nt) та верхній крейди, пісковиків у товщі верхнього протерозою. Більша їхня частина дронується схилами долини р. Дністер і великими ярами. У цілому для території характерна сильна дренованість і слабка обводненість порід. [32, с. 2].

Перший безнапірний водоносний горизонт залягає на глибині 20-25 м абсолютна відмітка 180-185 м Балтійська система висот (БС) [33, с. 2; 11, с. 3746], від поверхні вододілу неогеновий водоносний горизонт, що утворюється безпосередньо внаслідок інфільтрації атмо-сферних опадів та штучної водойми, не має суцільне поширення, представляє обводнені ділянки, що формуються на поверхні невитриманого шару

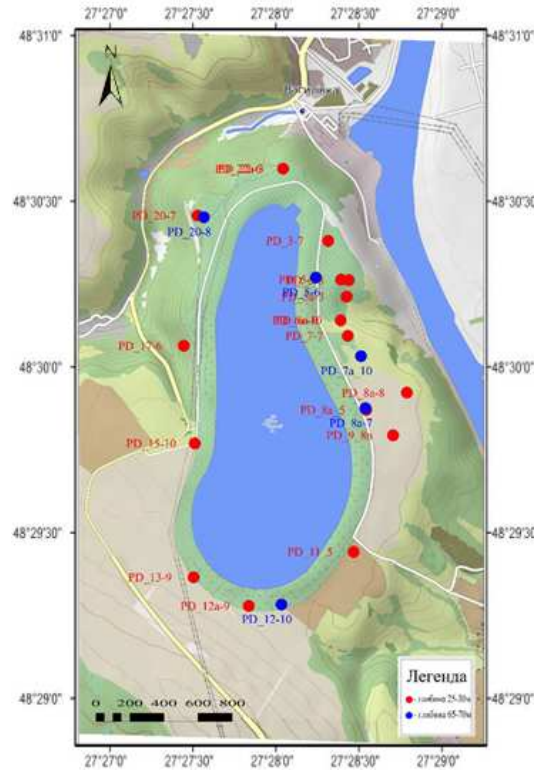


Рис. 1. Схема розташування п'єзометричних свердловин

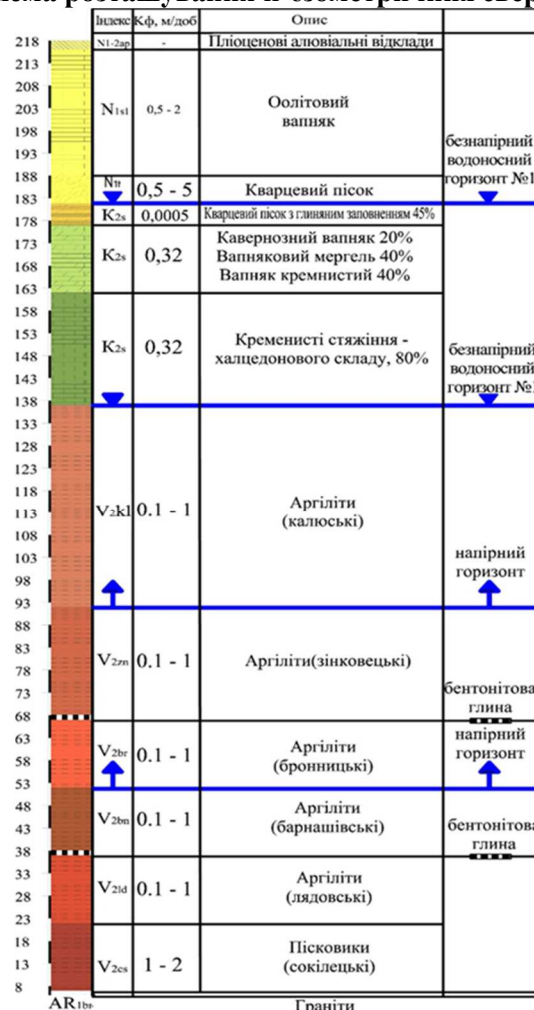


Рис. 2. Геологічний розріз з відображенням безнапірних та напірних водонесних горизонтів №1, №2
Загальну інформацію про геологічну будову досліджуваного об'єкта можна отримати [29].

Він бере активну участь у живленні (шляхом перетікання води через роздільні шари), залягаючи нижче водоносних горизонтів, особливо верхньокрейдового, в обводнюванні прилеглих схилів, по яких спостерігаються джерела, пов'язані із цими двома водоносними горизонтами. Другий від поверхні постійний водоносний горизонт – верхньокрейдовий, залягає на глибині 65-70 м, відмітка 140-145 м (БС) тісно пов'язаний з водами тріщинуватої зони аргілітової алевролітової товщі (V2), інтенсивно дрежується долинами рік. До пачок (V2br) приурочений ряд слабо водонасичених, але високонапірних пластово-тріщинних водоносних горизонтів. Як і відзначені вище водоносні горизонти, вони мають строкатий хімічний склад і різну мінералізацію (до 1 г/л). В днищі долини р. Дністер розповсюджений єдиний водомісткий комплекс, приурочений до алювію та тріщинуватої зони корінних порід (V2), близький

за хімічним складом до охарактеризованих водоносних горизонтів.

В зв'язку з розвантаженням (по тектонічних зонах) глибинних вод відзначається місцями підвищена мінералізація ґрунтових вод (до 3,3 г/л). Зміни в гідрогеологічному режимі після наповнення нижнього водосховища відбулися в барнашівському водоносних горизонтах, які на ділянці між с. Барнашівка-Липчани умовах експлуатації водосховища набувають локальні й незначні напори, а також в джурджевському водоносному горизонту на Дністровському схилі в зоні водоводів. Отже, після аналізу геологічної структури можемо безпосередньо зосередитись на конкретних показниках рівнів води у п'єзометрах, та еволюції гідрогеологічних умов до та після запуску в експлуатацію, з урахуванням змін, що відбулися в гідрологічному середовищі водоносного горизонту №1 (Рис.3).

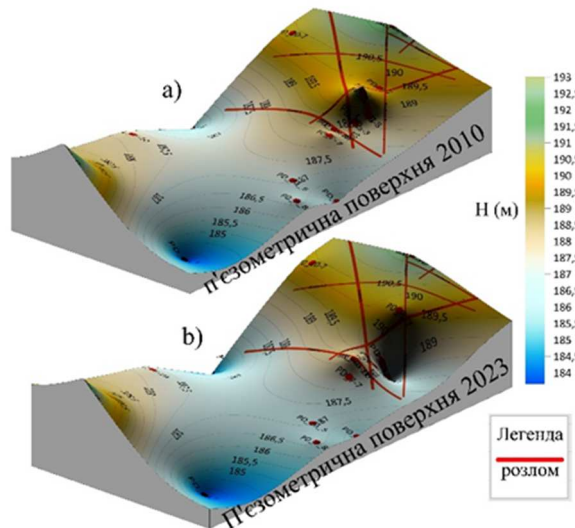


Рис. 3. а) П'єзометрична поверхня безнапірного водоносного горизонту №1 у 2010 році
 б) П'єзометрична поверхня безнапірного водоносного горизонту №1 у 2023 році

Графік зміни рівня води у безнапірному водоносному горизонті №1 за період 2010 – 2023 роки. (Рис.4).

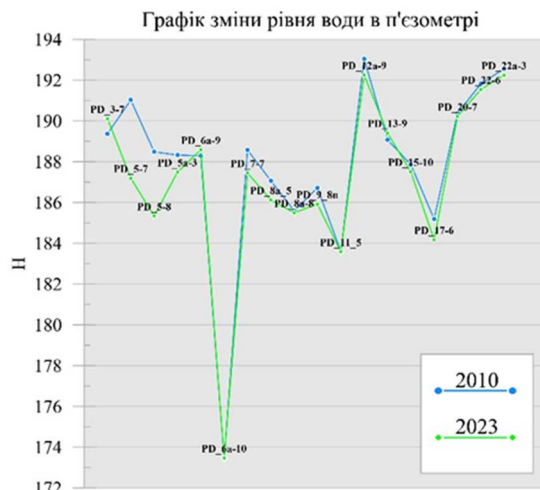
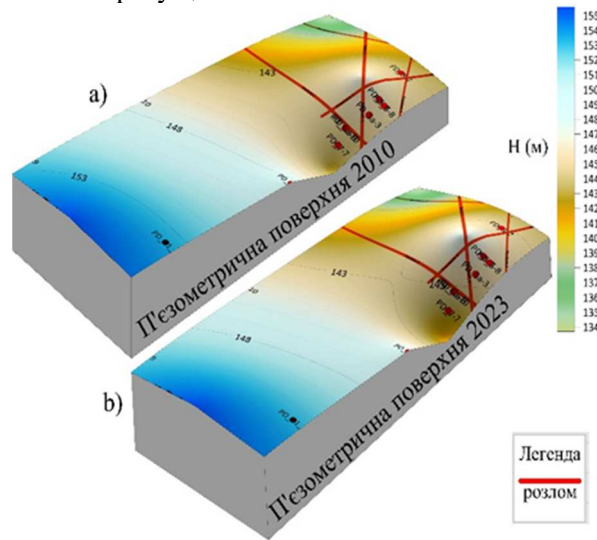


Рис. 4. Графік зміни рівня води у безнапірному водоносному горизонті №1 за період 2010 – 2023 роки

Гідрогеологічні умови масиву гірських порід в інтервалі досліджуваних глибин раніше характеризувалися наявністю неогенового водоносного горизонту який залягав в підшві товщі вапняків. Водотривким шаром для неогенового водоносного горизонту служить шар тортонської глини. Нині, як ми можемо спостерігати, цей горизонт на локальних ділянках сильно здренований. Зміни в гідрогеологічному режимі можуть бути спричинені як розущіль-

ненням гірської породи внаслідок зміни напруженого деформаційного стану, так і активацією геодинамічних процесів, що, у свою чергу, сприяють дренажу через розломи у гірському масиві [16, с. 106; 13, с. 136; 17, с. 4610; 8, с. 513; 10, с. 2274; 7, с. 2].

Під товщею (Nt) залягають верхньокрейдні кременисто-піщано-глинисто-мергелісті відкладення (K2s)??.



**Рис. 5. а) П'єзометрична поверхня безнапірного водоносного горизонту №2 у 2010 році
б) П'єзометрична поверхня безнапірного водоносного горизонту №2 у 2023 році**

Аналогічно розглянемо зміну гідрогеологічних умов до та після запуску в експлуатацію (Рис.5), та графік зміни рівня води у

безнапірному водоносному горизонті №2 за період 2010 – 2023 роки (Рис.6).

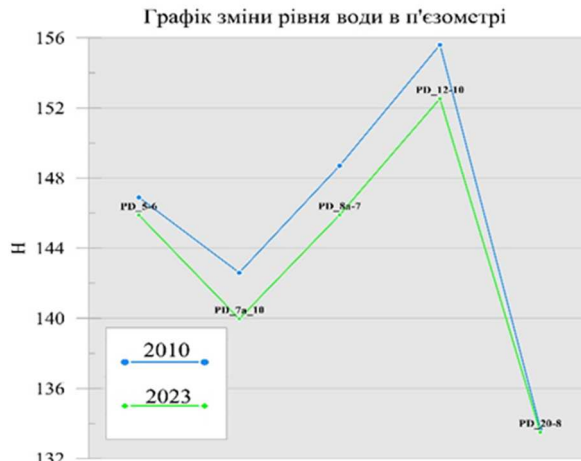


Рис. 6. Графік зміни рівня води у безнапірному водоносному горизонті №2 за період 2010 – 2023 роки

Подібна ситуація спостерігається в межах безнапірного водоносного горизонту №2, а саме: зменшення вологуютримувальної здатності ґрунту.

Висновки. Дослідження свідчать, що протягом періоду з 2010 по 2023 рік відбулися суттєві зміни в гідрогеологічному режимі безнапірних горизонтів №1 та №2.

Аналіз рівнів ґрунтових вод вказує на те, що

у певних локальних ділянках спостерігається зниження рівня води, що свідчить про деградацію ґрунтового масиву. Ці зміни можуть бути пов'язані з ефектами дренажу, які спричинили порушення структурних зв'язків у ґрунтах та перехід їх у розущільнений стан.

У випадку коли глинястий ґрунт який слугує водотривом для безнапірного горизонту №1, втрачає свої водотривкі властивості може бути

пояснена за допомогою закону Кулона-Мора, де розкривається залежність кута внутрішнього зчеплення (ϕ) від коефіцієнту внутрішнього щеплення (C) в ґрунтах.

Простою мовою, коли у глинистих ґрунтах руйнуються структурні зв'язки, росте коефіцієнт фільтрації [30, с. 240; 15, с. 223; 34, с. 170; 28, с. 2]. Потенційною причиною руйнування структурних зав'язків у ґрунтах описано у роботах [36, с. 3].

Отже, можна зробити висновок, що динаміка рівнів ґрунтових вод свідчить про вплив гідрогеологічних процесів на фізичні властивості ґрунтового середовища, що має важливе значення для подальшого управління водними ресурсами та збереження екологічної стійкості регіону.

Перспективи використання результатів

дослідження. Практична значущість цього дослідження полягає в тому, що воно допомагає розуміти зміни в гідрогеологічному середовищі та їх потенційний вплив на водні ресурси. Це важливо для розробки ефективних стратегій управління водними ресурсами окремо та збереження екосистем в цілому.

Наприклад, можна розробити моделі, які передбачатимуть деформації ґрунту в залежності від рівня підземних вод, що дозволить уникнути можливих руйнівних наслідків для інфраструктури та будівельних об'єктів.

Такі дані також можуть бути використані для вдосконалення гідротехнічних споруд та визначення оптимальних стратегій управління водними ресурсами в умовах зміни гідрогеологічного режиму.

Література:

1. Пуск гідроагрегату №4 філії "дирекція з будівництва дністровської ГАЕС" праг "укргідроенерго" в контексті стратегії розвитку енергосистеми України. / В. Субота та ін. *Гідроенергетика України*. 2017. Т. 3, № 4. URL: <http://dspace.nbuv.gov.ua/bitstream/handle/123456789/141746/02-Subota.pdf?sequence=1> (дата звернення: 02.03.2023).
2. Філія «дирекція з будівництва дністровської ГАЕС» | укргідроенерго. *Укргідроенерго*. URL: https://uhe.gov.ua/filii/dyrektsiya_z_budivnytstva_dnistrovskoyi_haes (дата звернення: 24.03.2024).
3. Berkowitz B. Characterizing flow and transport in fractured geological media: a review. *Advances in water resources*. 2002. Vol. 25, no. 8-12. P. 861–884. URL: [https://doi.org/10.1016/s0309-1708\(02\)00042-8](https://doi.org/10.1016/s0309-1708(02)00042-8) (date of access: 24.03.2024).
4. Bonacci O. Karst hydrogeology/hydrology of dinaric chain and isles. *Environmental earth sciences*. 2014. Vol. 74, no. 1. P. 37–55. URL: <https://doi.org/10.1007/s12665-014-3677-8> (date of access: 24.03.2024).
5. Brace W. F. Permeability of crystalline rocks: new in situ measurements. *Journal of geophysical research: solid earth*. 1984. Vol. 89, B6. P. 4327–4330. URL: <https://doi.org/10.1029/jb089ib06p04327> (date of access: 24.03.2024).
6. Brace W. F. Permeability of crystalline rocks: new in situ measurements. *Journal of geophysical research: solid earth*. 1984. Vol. 89, B6. P. 4327–4330. URL: <https://doi.org/10.1029/jb089ib06p04327> (date of access: 24.03.2024).
7. Brusak I., Tretyak K., Pronyshyn R. Preliminary studies of seismicity caused by the water level changes in dnister upper reservoir. *International conference of young professionals «geoterrace-2022»*, Lviv, Ukraine, 2022. URL: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2022590022> (date of access: 24.03.2024).
8. Day S. M., Yu G., Wald D. J. Dynamic stress changes during earthquake rupture. *Bulletin of the seismological society of america*. 1998. Vol. 88, no. 2. P. 512–522. URL: <https://doi.org/10.1785/bssa0880020512> (date of access: 24.03.2024).
9. Drew D. P. Hydrogeology of lowland karst in Ireland. *Quarterly journal of engineering geology and hydrogeology*. 2008. Vol. 41, no. 1. P. 61–72. URL: <https://doi.org/10.1144/1470-9236/07-027> (date of access: 24.03.2024).
10. Effect of deep vibration on physical state of soil being changed / V. D. Geidt et al. *Civil engineering and architecture*. 2021. Vol. 9, no. 7. P. 2273–2277. URL: <https://doi.org/10.13189/cea.2021.090714> (date of access: 24.03.2024).
11. Geodetic SAR for height system unification and sea level research—observation concept and preliminary results in the baltic sea / T. Gruber et al. *Remote sensing*. 2020. Vol. 12, no. 22. P. 3747. URL: <https://doi.org/10.3390/rs12223747> (date of access: 24.03.2024).
12. Geodynamics / A. Zyhar et al. *Geodynamics*. 2021. Vol. 1(30)2021, no. 1(30). P. 17–24. URL: <https://doi.org/10.23939/jgd2021.01.017> (date of access: 24.03.2024).
13. Howells D. A. The time for a significant change of pore pressure. *Engineering geology*. 1974. Vol. 8, no. 1-2. P. 135–138. URL: [https://doi.org/10.1016/0013-7952\(74\)90020-9](https://doi.org/10.1016/0013-7952(74)90020-9) (date of access: 24.03.2024).
14. Hydraulic response and stability of a reservoir slope with landslide potential under the combined effect of rainfall and water level fluctuation / M.-I. Chen et al. *Environmental earth sciences*. 2021. Vol. 80, no. 1. URL: <https://doi.org/10.1007/s12665-020-09279-7> (date of access: 24.03.2024).
15. Juvinal R. C., Marshek K. M., Youssefi K. Fundamentals of machine component design. *Journal of engineering for industry*. 1991. Vol. 113, no. 2. P. 246. URL: <https://doi.org/10.1115/1.2899687> (date of access: 24.03.2024).
16. Karl T. Measurement of stresses in rock. *Géotechnique*. 1962. Vol. 12, no. 2. P. 105–124. URL: <https://doi.org/10.1680/geot.1962.12.2.105> (date of access: 24.03.2024).
17. Keith C. M., Simpson D. W., Soboleva O. V. Induced seismicity and style of deformation at Nurek Reservoir, Tadjik SSR. *Journal of geophysical research: solid earth*. 1982. Vol. 87, B6. P. 4609–4624. URL: <https://doi.org/10.1029/jb087ib06p04609> (date of access: 24.03.2024).
18. Labuz J. F., Chen C. N., Berger D. J. Microcrack-dependent fracture of damaged rock. *International journal of fracture*. 1991. Vol. 51, no. 3. P. 231–240. URL: <https://doi.org/10.1007/bf00045809> (date of access: 24.03.2024).
19. Maréchal J. C., Dewandel B., Subrahmanyam K. Use of hydraulic tests at different scales to characterize fracture network properties in the weathered-fractured layer of a hard rock aquifer. *Water resources research*. 2004. Vol. 40, no. 11. URL: <https://doi.org/10.1029/2004wr003137> (date of access: 24.03.2024).
20. Masset O., Loew S. Hydraulic conductivity distribution in crystalline rocks, derived from inflows to tunnels and galleries in the

- Central Alps, Switzerland. *Hydrogeology journal*. 2010. Vol. 18, no. 4. P. 863–891. URL: <https://doi.org/10.1007/s10040-009-0569-1> (date of access: 24.03.2024).
21. Matsumoto N., Shigematsu N. In-situ permeability of fault zones estimated by hydraulic tests and continuous groundwater-pressure observations. *Earth, planets and space*. 2018. Vol. 70, no. 1. URL: <https://doi.org/10.1186/s40623-017-0765-5> (date of access: 24.03.2024).
 22. Milanovic P. The environmental impacts of human activities and engineering constructions in karst regions. *Episodes*. 2002. Vol. 25, no. 1. P. 13–21. URL: <https://doi.org/10.18814/epiugs/2002/v25i1/002> (date of access: 24.03.2024).
 23. Roeloffs E. A. Hydrologic precursors to earthquakes: a review. *Pure and applied geophysics PAGEOPH*. 1988. Vol. 126, no. 2-4. P. 177–209. URL: <https://doi.org/10.1007/bf00878996> (date of access: 24.03.2024).
 24. Savchyn I., Pronyshyn R. Differentiation of recent local geodynamic and seismic processes of technogenic-loaded territories based on the example of Dnister Hydro Power Complex (Ukraine). *Geodesy and geodynamics*. 2020. Vol. 11, no. 5. P. 391–400. URL: <https://doi.org/10.1016/j.geog.2020.06.001> (date of access: 24.03.2024).
 25. Scibek J., Gleeson T., McKenzie J. M. The biases and trends in fault zone hydrogeology conceptual models: global compilation and categorical data analysis. *Geofluids*. 2016. Vol. 16, no. 4. P. 782–798. URL: <https://doi.org/10.1111/gfl.12188> (date of access: 24.03.2024).
 26. Setlur N., Sharp J. M., Hunt B. B. Crystalline-rock aquifer system of the llano uplift, central texas, USA. *Hydrogeology journal*. 2019. Vol. 27, no. 7. P. 2431–2446. URL: <https://doi.org/10.1007/s10040-019-02000-4> (date of access: 24.03.2024).
 27. Sidorov I. S., Periy S., Sarnavskiy V. H. Geodynamics. *Geodynamics*. 2015. Vol. 2(19)2015, no. 2(19). P. 15–25. URL: <https://doi.org/10.23939/jgd2015.02.015> (date of access: 24.03.2024).
 28. Staat M. An extension strain type mohr–coulomb criterion. *Rock mechanics and rock engineering*. 2021. URL: <https://doi.org/10.1007/s00603-021-02608-7> (date of access: 24.03.2024).
 29. State Service of Geology and Mineral Resources of Ukraine. State geological map of ukraine on scale of 1:200,000 sheets M-35-XXVIII (bar), M-35-XXXIV (mohyliv-podilskyi). retrieved 2021. URL: <https://www.geo.gov.ua/>.
 30. Talwani P. Earthquakes associated with the Clark Hill reservoir, South Carolina – A case of induced seismicity. *Engineering geology*. 1976. Vol. 10, no. 2-4. P. 239–253. URL: [https://doi.org/10.1016/0013-7952\(76\)90024-7](https://doi.org/10.1016/0013-7952(76)90024-7) (date of access: 24.03.2024).
 31. The permeable crust: geohydraulic properties down to 9101 m depth / E. Huenges et al. *Journal of geophysical research: solid earth*. 1997. Vol. 102, B8. P. 18255–18265. URL: <https://doi.org/10.1029/96jb03442> (date of access: 24.03.2024).
 32. Vainberg A. I. Forces in the casing of the aggregate shafts of the Dnestrovsk water-storage electric power plant. *Journal of mining science*. 1993. Vol. 29, no. 1. P. 27–31. URL: <https://doi.org/10.1007/bf00734327> (date of access: 24.03.2024).
 33. Wolski T., Wiśniewski B., Musielak S. Baltic Sea datums and their unification as a basis for coastal and seabed studies. *Oceanological and hydrobiological studies*. 2016. Vol. 45, no. 2. URL: <https://doi.org/10.1515/ohs-2016-0022> (date of access: 24.03.2024).
 34. Yu M.-h. Advances in strength theories for materials under complex stress state in the 20th Century. *Applied mechanics reviews*. 2002. Vol. 55, no. 3. P. 169–218. URL: <https://doi.org/10.1115/1.1472455> (date of access: 24.03.2024).
 35. Zhou W., Beck B., Adams A. Effective electrode array in mapping karst hazards in electrical resistivity tomography. *Environmental geology*. 2002. Vol. 42, no. 8. P. 922–928. URL: <https://doi.org/10.1007/s00254-002-0594-z> (date of access: 24.03.2024).
 36. Zyhar A. *Geodynamics. Geodynamics*. 2023. Vol. 1(34)2023, no. 1(34). P. 19–27. URL: <https://doi.org/10.23939/jgd2023.01.019> (date of access: 24.03.2024).

References:

1. Pusk hidroahrehatu №4 filiyi "dyrektsiya z budivnytstva dnistrovs'koyi HAES" prat "ukrhydroenerho" v konteksti stratehiyi rozvytku enerhosystemy ukrayiny. / V. Subota ta in. *Hidroenerhetyka ukrayiny*. 2017. T. 3, # 4. URL: <http://dspace.nbuv.gov.ua/bitstream/handle/123456789/141746/02-Subota.pdf?sequence=1> (data zvernennya: 02.03.2023).
2. Filiya «dyrektsiya z budivnytstva dnistrovs'koyi HAES» | ukrhydroenerho. *Ukrhydroenerho*. URL: https://uhe.gov.ua/filiyi/dyrektsiya_z_budivnytstva_dnistrovs'koyi_haes (data zvernennya: 24.03.2024).
3. Berkowitz B. Characterizing flow and transport in fractured geological media: a review. *Advances in water resources*. 2002. Vol. 25, no. 8-12. P. 861–884. URL: [https://doi.org/10.1016/s0309-1708\(02\)00042-8](https://doi.org/10.1016/s0309-1708(02)00042-8) (date of access: 24.03.2024).
4. Bonacci O. Karst hydrogeology/hydrology of dinaric chain and isles. *Environmental earth sciences*. 2014. Vol. 74, no. 1. P. 37–55. URL: <https://doi.org/10.1007/s12665-014-3677-8> (date of access: 24.03.2024).
5. Brace W. F. Permeability of crystalline rocks: new in situ measurements. *Journal of geophysical research: solid earth*. 1984. Vol. 89, B6. P. 4327–4330. URL: <https://doi.org/10.1029/jb089ib06p04327> (date of access: 24.03.2024).
6. Brace W. F. Permeability of crystalline rocks: new in situ measurements. *Journal of geophysical research: solid earth*. 1984. Vol. 89, B6. P. 4327–4330. URL: <https://doi.org/10.1029/jb089ib06p04327> (date of access: 24.03.2024).
7. Brusak I., Tretyak K., Pronyshyn R. Preliminary studies of seismicity caused by the water level changes in dnister upper reservoir. *International conference of young professionals «geoterrace-2022»*, Lviv, Ukraine, 2022. URL: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.2022590022> (date of access: 24.03.2024).
8. Day S. M., Yu G., Wald D. J. Dynamic stress changes during earthquake rupture. *Bulletin of the seismological society of america*. 1998. Vol. 88, no. 2. P. 512–522. URL: <https://doi.org/10.1785/bssa0880020512> (date of access: 24.03.2024).
9. Drew D. P. Hydrogeology of lowland karst in Ireland. *Quarterly journal of engineering geology and hydrogeology*. 2008. Vol. 41, no. 1. P. 61–72. URL: <https://doi.org/10.1144/1470-9236/07-027> (date of access: 24.03.2024).
10. Effect of deep vibration on physical state of soil being changed / V. D. Geidt et al. *Civil engineering and architecture*. 2021. Vol. 9, no. 7. P. 2273–2277. URL: <https://doi.org/10.13189/cea.2021.090714> (date of access: 24.03.2024).
11. Geodetic SAR for height system unification and sea level research—observation concept and preliminary results in the baltic sea / T. Gruber et al. *Remote sensing*. 2020. Vol. 12, no. 22. P. 3747. URL: <https://doi.org/10.3390/rs12223747> (date of access: 24.03.2024).
12. *Geodynamics / A. Zyhar et al. Geodynamics*. 2021. Vol. 1(30)2021, no. 1(30). P. 17–24. URL: <https://doi.org/10.23939/jgd2021.01.017> (date of access: 24.03.2024).
13. Howells D. A. The time for a significant change of pore pressure. *Engineering geology*. 1974. Vol. 8, no. 1-2. P. 135–138. URL: [https://doi.org/10.1016/0013-7952\(74\)90020-9](https://doi.org/10.1016/0013-7952(74)90020-9) (date of access: 24.03.2024).

14. Hydraulic response and stability of a reservoir slope with landslide potential under the combined effect of rainfall and water level fluctuation / M.-I. Chen et al. *Environmental earth sciences*. 2021. Vol. 80, no. 1. URL: <https://doi.org/10.1007/s12665-020-09279-7> (date of access: 24.03.2024).
15. Juvinal R. C., Marshak K. M., Youssefi K. Fundamentals of machine component design. *Journal of engineering for industry*. 1991. Vol. 113, no. 2. P. 246. URL: <https://doi.org/10.1115/1.2899687> (date of access: 24.03.2024).
16. Karl T. Measurement of stresses in rock. *Géotechnique*. 1962. Vol. 12, no. 2. P. 105–124. URL: <https://doi.org/10.1680/geot.1962.12.2.105> (date of access: 24.03.2024).
17. Keith C. M., Simpson D. W., Soboleva O. V. Induced seismicity and style of deformation at Nurek Reservoir, Tadjik SSR. *Journal of geophysical research: solid earth*. 1982. Vol. 87, B6. P. 4609–4624. URL: <https://doi.org/10.1029/jb087ib06p04609> (date of access: 24.03.2024).
18. Labuz J. F., Chen C. N., Berger D. J. Microcrack-dependent fracture of damaged rock. *International journal of fracture*. 1991. Vol. 51, no. 3. P. 231–240. URL: <https://doi.org/10.1007/bf00045809> (date of access: 24.03.2024).
19. Maréchal J. C., Dewandel B., Subrahmanyam K. Use of hydraulic tests at different scales to characterize fracture network properties in the weathered-fractured layer of a hard rock aquifer. *Water resources research*. 2004. Vol. 40, no. 11. URL: <https://doi.org/10.1029/2004wr003137> (date of access: 24.03.2024).
20. Masset O., Loew S. Hydraulic conductivity distribution in crystalline rocks, derived from inflows to tunnels and galleries in the Central Alps, Switzerland. *Hydrogeology journal*. 2010. Vol. 18, no. 4. P. 863–891. URL: <https://doi.org/10.1007/s10040-009-0569-1> (date of access: 24.03.2024).
21. Matsumoto N., Shigematsu N. In-situ permeability of fault zones estimated by hydraulic tests and continuous groundwater-pressure observations. *Earth, planets and space*. 2018. Vol. 70, no. 1. URL: <https://doi.org/10.1186/s40623-017-0765-5> (date of access: 24.03.2024).
22. Milanovic P. The environmental impacts of human activities and engineering constructions in karst regions. *Episodes*. 2002. Vol. 25, no. 1. P. 13–21. URL: <https://doi.org/10.18814/epiugs/2002/v25i1/002> (date of access: 24.03.2024).
23. Roeloffs E. A. Hydrologic precursors to earthquakes: a review. *Pure and applied geophysics PAGEOPH*. 1988. Vol. 126, no. 2-4. P. 177–209. URL: <https://doi.org/10.1007/bf00878996> (date of access: 24.03.2024).
24. Savchyn I., Pronyshyn R. Differentiation of recent local geodynamic and seismic processes of technogenic-loaded territories based on the example of Dnister Hydro Power Complex (Ukraine). *Geodesy and geodynamics*. 2020. Vol. 11, no. 5. P. 391–400. URL: <https://doi.org/10.1016/j.geog.2020.06.001> (date of access: 24.03.2024).
25. Scibek J., Gleeson T., McKenzie J. M. The biases and trends in fault zone hydrogeology conceptual models: global compilation and categorical data analysis. *Geofluids*. 2016. Vol. 16, no. 4. P. 782–798. URL: <https://doi.org/10.1111/gfl.12188> (date of access: 24.03.2024).
26. Setlur N., Sharp J. M., Hunt B. B. Crystalline-rock aquifer system of the llano uplift, central texas, USA. *Hydrogeology journal*. 2019. Vol. 27, no. 7. P. 2431–2446. URL: <https://doi.org/10.1007/s10040-019-02000-4> (date of access: 24.03.2024).
27. Sidorov I. S., Periy S., Sarnavskiy V. H. Geodynamics. *Geodynamics*. 2015. Vol. 2(19)2015, no. 2(19). P. 15–25. URL: <https://doi.org/10.23939/jgd2015.02.015> (date of access: 24.03.2024).
28. Staat M. An extension strain type mohr–coulomb criterion. *Rock mechanics and rock engineering*. 2021. URL: <https://doi.org/10.1007/s00603-021-02608-7> (date of access: 24.03.2024).
29. State Service of Geology and Mineral Resources of Ukraine. State geological map of ukraine on scale of 1:200,000 sheets M-35-XXVIII (bar), M-35-XXXIV (mohyliv-podilskyi). retrieved 2021. URL: <https://www.geo.gov.ua/>.
30. Talwani P. Earthquakes associated with the Clark Hill reservoir, South Carolina – A case of induced seismicity. *Engineering geology*. 1976. Vol. 10, no. 2-4. P. 239–253. URL: [https://doi.org/10.1016/0013-7952\(76\)90024-7](https://doi.org/10.1016/0013-7952(76)90024-7) (date of access: 24.03.2024).
31. The permeable crust: geohydraulic properties down to 9101 m depth / E. Huenges et al. *Journal of geophysical research: solid earth*. 1997. Vol. 102, B8. P. 18255–18265. URL: <https://doi.org/10.1029/96jb03442> (date of access: 24.03.2024).
32. Vainberg A. I. Forces in the casing of the aggregate shafts of the Dnestrovsk water-storage electric power plant. *Journal of mining science*. 1993. Vol. 29, no. 1. P. 27–31. URL: <https://doi.org/10.1007/bf00734327> (date of access: 24.03.2024).
33. Wolski T., Wiśniewski B., Musielak S. Baltic Sea datums and their unification as a basis for coastal and seabed studies. *Oceanological and hydrobiological studies*. 2016. Vol. 45, no. 2. URL: <https://doi.org/10.1515/ohs-2016-0022> (date of access: 24.03.2024).
34. Yu M.-h. Advances in strength theories for materials under complex stress state in the 20th Century. *Applied mechanics reviews*. 2002. Vol. 55, no. 3. P. 169–218. URL: <https://doi.org/10.1115/1.1472455> (date of access: 24.03.2024).
35. Zhou W., Beck B., Adams A. Effective electrode array in mapping karst hazards in electrical resistivity tomography. *Environmental geology*. 2002. Vol. 42, no. 8. P. 922–928. URL: <https://doi.org/10.1007/s00254-002-0594-z> (date of access: 24.03.2024).
36. Zyhar A. Geodynamics. *Geodynamics*. 2023. Vol. 1(34)2023, no. 1(34). P. 19–27. URL: <https://doi.org/10.23939/jgd2023.01.019> (date of access: 24.03.2024).

Abstract:

Andrii ZYHAR. A STUDY OF THE HYDROGEOLOGICAL REGIME OF THE NATURAL AND TECHNICAL GEOSYSTEM: THE CASE STUDY OF THE DNIESTER GES

The primary objective of the study is to analyse changes in the hydrogeological regime before and after the facility's commissioning, taking into account the impact of human activity on water resources. To solve this problem, it is necessary to regularly measure groundwater levels. This process was carried out by systematically measuring the water level in piezometers for the period from 2010 to 2023 with a frequency of twice a week. To achieve this goal, it was necessary to analyse the geological structure and hydrogeological characteristics of the unconfined aquifers in the soil strata, as well as to investigate the permeability of rocks. Changes in the hydrogeological regime can be caused by both rock compaction due to changes in the stressed deformation state and activation of geodynamic processes, which, in turn, contribute to drainage through faults in the rock mass. The research in the article allows us to more accurately assess changes in the hydrogeological regime of the rock mass, in particular, in the reduction of the water-holding capacity of a certain horizon. The study reveals the possible causes of these changes, such as soil compaction and activation of

geodynamic processes, and indicates potential consequences for the hydrogeological environment and water use, when planning and operating other energy facilities in similar conditions. The practical significance of this study is that it helps to understand changes in the hydrogeological environment and their potential impact on water resources. This is important for the development of effective strategies for managing water resources individually and preserving ecosystems in general.

Studies indicate that during the period from 2010 to 2023, significant changes occurred in the hydrogeological regime of non-pressure horizons #1 and #2. The analysis of groundwater levels indicates that in certain local areas there is a decrease in the water level, which indicates the degradation of the soil massif. These changes may be related to the effects of drainage, which caused the disruption of structural bonds in soils and their transition to a loose state. In the case when the clay soil, which serves as a waterproofing layer for non-pressure horizon No. 1, loses its waterproofing properties, it can be explained with the help of the Coulomb-Mohr law, which reveals the dependence of the angle of internal cohesion (φ) on the coefficient of internal grafting (C) in soils. In simple language, when structural bonds are destroyed in clayey soils, the filtration coefficient increases [30, p. 240; 15, p. 223; 34, p. 170; 28, p. 2]. The potential cause of the destruction of structural bonds in the soil is described in works [36, p. 3]. Therefore, it can be concluded that the dynamics of groundwater levels indicates the influence of hydrogeological processes on the physical properties of the soil environment, which is important for the further management of water resources and the preservation of ecological sustainability of the region. The practical significance of this study is that it helps to understand changes in the hydrogeological environment and their potential impact on water resources. This is important for developing effective strategies for managing water resources separately and preserving ecosystems as a whole. For example, it is possible to develop models that will predict soil deformations depending on the level of groundwater, which will avoid possible destructive consequences for infrastructure and construction objects. Such data can also be used to improve hydrotechnical structures and determine optimal water resources management strategies in conditions of changing hydrogeological regime.

Keywords: Geoecology, constructive geography, geosystems, river-basin systems, river-valley landscape, river natural and technical systems, landscape technical systems, landscape engineering systems, GIS technologies, Dniester PSPP, oolitic limestone, piezometer, aquifer, piezometric surface, soil base, infiltration, Neogene, aquifer.

Надійшла 10.04.2024р.