УДК 556.3
DOI https://doi.org/10.32846/2306-9716/2026.eco.5-68.13

ВИЯВЛЕННЯ ПРИХОВАНИХ ВИТОКІВ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ МОНІТОРИНГУ ҐРУНТОВИХ ВОД НА ТЕРИТОРІЇ КИЄВО-ПЕЧЕРСЬКОЇ ЛАВРИ

Тараненко А.С.[1] (orcid.org/0009-0004-9043-3252),
Черевко І.А.[2] (orcid.org/0000-0001-7083-6119),
Саприкін В.І.[3] (orcid.org/0009-0002-7112-2235),
Трус І.М.[1] (orcid.org/0000-0001-6368-6933)
[1]Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського
пр. Берестейський, 37, 03056, Київ
[2]Національний заповідник «Києво-Печерська лавра»
вул. Лаврська, 9, 01015, Київ
[3]Державна установа «Науково-інженерний центр радіогідрогеоекологічних
полігонних досліджень НАН України»
вул. Олеся Гончара, 55Б, 01601, Київ
arsengov1886@gmail.com

Приховані витоки з водопровідних, каналізаційних і теплових мереж у межах щільної історичної забудови можуть тривалий час не мати виразних поверхневих проявів, однак змінювати рівень, температуру та хімічний склад ґрунтових вод. Для території «Києво-Печерської лаври» така проблема має підвищене екологічне та інженерно-геологічне значення через наявність лесових ґрунтів, підземних споруд і зсувонебезпечних схилів. Метою роботи є оцінювання можливості виявлення прихованих і повторних витоків за комплексом результатів моніторингу ґрунтових вод у верхній частині території Національного заповідника «Києво-Печерська лавра». Основний масив дослідження становили режимні вимірювання рівня ґрунтових вод за період 2025–2026 рр.; для порівняння використано матеріали попереднього періоду 2024–2025 рр. та багаторічний ряд спостережень 1996–2026 рр. Додатково враховано температурні вимірювання, результати гідрохімічних досліджень і просторовий зв'язок свердловин із зовнішніми інженерними мережами та відомими аварійними ділянками. Статистична обробка включала визначення середніх, мінімальних і максимальних значень рівнів, амплітуди коливань і орієнтовного тренду зміни рівня за 30 діб. Як діагностичні ознаки розглядали не окреме відхилення, а поєднання швидкого або тривалого підйому рівня, температурної аномалії, просторової близькості до мереж і гідрохімічних індикаторів техногенного впливу. У 2025–2026 рр. найбільш виражені ознаки такого впливу зафіксовано у ГСС-1, ГСС-2, ГСС-102, ГСС-103, ГСС-110 і ГСС-111. Для ГСС-111 амплітуда рівня становила 2,39 м, середній рівень був на 0,88 м вищим, ніж у попередньому періоді, а максимальна температура води досягала 26,0 °С. Для ГСС-102 і ГСС-103 одночасно встановлено підвищення середнього рівня, збільшення амплітуди та підвищені температури. У низці свердловин виявлено підвищений вміст NH_4^+; у березні 2026 р. концентрації досягали 4,92 мг/дм³ у ГСС-1 та 5,07 мг/дм³ у ГСС-2. Отримані результати показують, що поєднання рівневих, температурних і гідрохімічних спостережень із аналізом просторового положення свердловин дає змогу виділяти ділянки ймовірного техногенного живлення та використовувати існуючу мережу моніторингу для раннього виявлення прихованих витоків до появи очевидних поверхневих наслідків. *Ключові слова:* екологічний моніторинг; ґрунтові води; приховані витоки; інженерні мережі; температурна аномалія; амоній; «Києво-Печерська лавра».

Detection of hidden leaks based on groundwater monitoring results at the kyiv-pechersk lavra. Taranenko A., Cherevko I., Saprykin V., Trus I.

Hidden leaks from water-supply, sewerage and district-heating networks in densely built historic areas may persist without clear surface manifestations while altering groundwater levels, temperature and chemical composition. At the Kyiv-Pechersk Lavra, this problem has particular environmental and geotechnical significance because loess soils, underground structures and landslide-prone slopes occur within the monitored area. The aim of this study is to assess the possibility of detecting hidden and recurrent leaks by integrating groundwater monitoring results from the upper part of the National Preserve "Kyiv-Pechersk Lavra". The main dataset consisted of groundwater-level observations for 2025–2026; data from 2024–2025 and the long-term monitoring series for 1996–2026 were used for comparison. Groundwater-temperature measurements, hydrochemical results, the spatial position of monitoring wells relative to external utility networks, and records of known accident zones were additionally considered. Statistical processing included mean, minimum and maximum groundwater levels, fluctuation amplitudes and an approximate 30-day level-change trend. A potential leak was not inferred from a single deviation. Instead, diagnostic interpretation was based on a combination of rapid or persistent groundwater-level rise, thermal anomalies, spatial coincidence with utility corridors and hydrochemical indicators of anthropogenic influence. During 2025–2026, the most pronounced signs of such influence were recorded in monitoring wells GMW-1, GMW-2,

© Тараненко А.С., Черевко І.А., Саприкін В.І., Трус І.М., 2026
Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу CC BY 4.0

GMW-102, GMW-103, GMW-110 and GMW-111. In GMW-111, the groundwater-level amplitude reached 2.39 m, the mean level was 0.88 m higher than in the preceding comparison period, and the maximum groundwater temperature reached 26.0 °C. GMW-102 and GMW-103 simultaneously showed higher mean levels, larger amplitudes and elevated groundwater temperatures. Increased NH_4^+ concentrations were detected in several wells; in March 2026 they reached 4.92 mg/dm³ in GMW-1 and 5.07 mg/dm³ in GMW-2. The results demonstrate that the combined interpretation of groundwater level, temperature and hydrochemical indicators, together with the spatial relationship between wells and engineering networks, can identify zones of probable anthropogenic recharge. The existing monitoring network can therefore be used not only to document the consequences of known failures but also as an early-warning tool for detecting hidden leaks before obvious surface effects develop. This approach is especially relevant for heritage areas where prolonged infiltration can contribute to waterlogging, suffosion, subsidence and instability of loess soils. *Key words:* environmental monitoring; groundwater; hidden leaks; engineering networks; thermal anomaly; ammonium; Kyiv-Pechersk Lavra.

Постановка проблеми. Національний заповідник «Києво-Печерська лавра» є територією, де гідрогеологічні умови тісно пов'язані зі збереженням пам'яток архітектури, археологічних об'єктів, підземних споруд і музейної інфраструктури. Для Верхньої лаври характерним є складний рельєф, близькість зсувонебезпечних схилів, присутність підземних порожнин, наявність лесових ґрунтів у геологічному розрізі. У таких умовах навіть локальне перезволоження ґрунтового масиву може змінювати напружено-деформований стан основ споруд, сприяти просіданню, суфозії, утворенню провалів і збільшенню ризику активізації зсувних процесів [1–3].

Актуальність дослідження. Особливістю території є те, що природний режим ґрунтових вод тут спотворений довготривалим техногенним впливом міського середовища. До природних чинників належать атмосферні опади, сніготанення й безпосередньо спричинене ними інфільтраційне живлення, сезонні зміни температур, сонячної активності, величини евапотранспірації. До техногенних чинників належать витоки з водогонів, каналізаційних колекторів, тепломереж, зливової каналізації та дренажних систем [4–6].

Зовнішні міські водонесучі мережі, прокладені вздовж вул. Івана Мазепи, мають помітний вплив на режим ґрунтових вод району розташування свердловин ГСС-1, ГСС-2, ГСС-102, ГСС-103 і ГСС-111, які знаходяться на межі території Заповідника вздовж вулиці Івана Мазепи.

Для Верхньої Лаври найвищі абсолютні відмітки РҐВ спостерігаються вздовж вул. Івана Мазепи. Основний напрям руху ґрунтових вод орієнтований з північного заходу на південний схід, тобто від прилеглої міської забудови у напрямку схилу та долини Дніпра [3]. Це створює умови для поширення техногенних вод і розчинених забруднювальних речовин не лише в межах окремих аварійних ділянок, а й у межах охоронної зони Заповідника.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Робота продовжує багаторічний моніторинг гідрогеологічного режиму території Заповідника та спрямована на використання накопичених режимних спостережень для прикладного завдання раннього виявлення техногенного живлення водоносного горизонту. У дослідженні поєднано дані 2025–2026 рр., матеріали попередніх періодів, температурні та гідрохімічні спостереження, а також відомості про аварійні події на зовнішніх інженерних мережах. Така постановка задачі безпосередньо пов'язана із забезпеченням екологічної та інженерно-геологічної безпеки історичної території.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сучасні підходи до екологічного моніторингу передбачають використання тривалих рядів інструментальних спостережень і мереж сенсорного контролю для виявлення змін стану природного середовища [7]. Оцінювання ефективності мереж спостережних свердловин у міському середовищі показує значення просторової репрезентативності та регулярності спостережень за ґрунтовими водами [8]. Для екологічно вразливих територій важливим є також поєднання моніторингових даних із просторовою оцінкою джерел ризику та напрямів поширення впливу [9, 10].

Окремий напрям досліджень стосується виявлення підземних витоків за температурними аномаліями. Показано можливість використання розподіленого температурного контролю, теплових полів і комплексних методів локалізації витоків у водній інфраструктурі [11–14]. Гідрохімічний моніторинг природних вод, своєю чергою, дає додаткові індикатори зміни якості води та техногенного навантаження [15]. Для території Києво-Печерської лаври багаторічний гідрогеологічний моніторинг уже продемонстрував зв'язок змін режиму ґрунтових вод з інженерно-геологічними умовами пам'яткового комплексу [3].

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Наявні режимні спостереження на території Заповідника традиційно використовувалися переважно для контролю умов збереження пам'яток та інженерно-геологічної безпеки. Недостатньо опрацьованим залишається їх системне використання саме як комплексу індикаторів прихованих витоків, коли рівневі зміни зіставляються з температурою, хімічним складом, просторовим положенням свердловин і хронологією аварійних подій. Такий підхід необхідний для відокремлення природної сезонної мінливості від техногенних імпульсів та для визначення ділянок, де додаткове живлення водоносного горизонту може тривати без очевидних поверхневих проявів.

Новизна. Наукова новизна роботи полягає у комплексній інтерпретації багаторічних і сучасних режимних спостережень за ґрунтовими водами як системи ознак прихованих та повторних витоків. Діагностичне рішення базується не на одному параметрі, а на узгодженні рівневих, температурних і гідрохімічних аномалій із просторовим положенням свердловин відносно зовнішніх інженерних мереж та відомих аварійних зон.

Методологічне або загальнонаукове значення. Методологічне значення полягає у застосуванні багатокритеріального підходу до інтерпретації режиму ґрунтових вод. Поєднання часових рядів рівня, температурних спостережень, гідрохімічних показників і просторового аналізу зменшує ризик помилкової інтерпретації одиничних аномалій. Запропонована логіка аналізу може використовуватися для моніторингових мереж інших урбанізованих та історико-культурних територій із щільною системою підземних комунікацій.

Метою статті є визначення ознак прихованих витоків із зовнішніх водонесучих інженерних мереж за просторово-часовими змінами рівня, температури та окремих гідрохімічних показників ґрунтових вод у верхній частині території Національного заповідника «Києво-Печерська лавра» за основним масивом спостережень 2025–2026 рр. із порівнянням із матеріалами моніторингу попередніх років.

Викладення основного матеріалу. Об’єктом дослідження є ґрунтові води верхньої частини території Національного заповідника «Києво-Печерська лавра» та прилеглої зони впливу зовнішніх водонесучих інженерних мереж. Предметом дослідження є зміни рівня ґрунтових вод, температури та хімічного складу, які можуть відображати надходження техногенних вод із водопровідних, каналізаційних і теплових мереж.

В аналіз включено свердловини, що належать до обраної для цієї статті верхньої частини Лаври: ГСС-1, ГСС-1а, ГСС-2, ГСС-3, ГСС-4, ГСС-5, ГСС-6, ГСС-7, ГСС-8, ГСС-9, ГСС-13, ГСС-101, ГСС-102, ГСС-103, ГСС-110, ГСС-111 і ГСС-257. Свердловини ГСС-14, ГСС-112, ГСС-16 та свердловини, розташовані східніше цієї межі на схемі спостережної мережі, у статистичний аналіз цієї статті не включалися. Окремо враховано, що зовнішні міські мережі вздовж вул. Івана Мазепи просторово пов’язані передусім із ГСС-1, ГСС-2, ГСС-102, ГСС-103 і ГСС-111.

Основний масив даних становлять результати режимних вимірювань РҐВ за 2025–2026 рр. Для зіставлення використано багаторічний ряд спостережень за 1996–2026 рр. і порівняльний період 2024–2025 рр. Окремо проаналізовано температурні вимірювання у тих свердловинах, для яких наявні синхронні або близькі за часом температурні спостереження. Температура ґрунтових вод розглядалася як діагностичний показник можливого надходження підігрітих вод із теплових мереж та мереж побутової каналізації, що узгоджується з підходами до виявлення витоків за тепловими аномаліями [4, 5, 11–14].

Результати гідрохімічних досліджень, виконаних у межах моніторингової програми, використано як додатковий блок даних. Особливу увагу приділено вмісту іонів амонію NH_4^+, а також наявності підвищених концентрацій хлоридів, нітратів, сульфатів, загального заліза, свинцю, кальцію, магнію та загальної мінералізації. Такі показники не є самодостатнім доказом конкретного місця аварії, однак у поєднанні з рівневими й температурними аномаліями вони посилюють вірогідність техногенного походження вод [15–17].

Статистична обробка включала визначення середніх, мінімальних і максимальних значень РҐВ, амплітуди їх коливань, орієнтовного тренду зміни рівня за 30 діб і зіставлення цих характеристик із подіями, описаними у журналі аварійних ситуацій. Аномальними вважалися не поодинокі відхилення, а комбінації ознак: швидкий підйом РҐВ, тривале утримання підвищених відміток, підвищена температура ґрунтової води, просторовий збіг із розміщенням зовнішніх мереж і наявність хімічних індикаторів техногенного впливу.

Багаторічна динаміка РҐВ показує, що природний режим ґрунтових вод має сезонну складову, однак у межах Верхньої Лаври на неї накладаються техногенні імпульси. Для природного режиму очікуваними є відносно плавні підйоми після періодів інтенсивного живлення та подальше зниження [4–6]. Натомість швидке зростання рівня на десятки сантиметрів і більше, особливо за короткий проміжок часу та в кількох свердловинах однієї просторової зони, є підставою розглядати вплив аварійних витоків. На рис. 1 видно не лише різницю абсолютних відміток між свердловинами, а й зміну характеру коливань у часі.

Найвищі рівні стабільно фіксуються у ГСС-2, тоді як ГСС-1, ГСС-102, ГСС-111 і частково ГСС-110 займають проміжне положення між найвищими відмітками вздовж вул. Івана Мазепи та нижчими ділянками внутрішньої частини території. Варто вказати, що для ГСС-2 і ГСС-6 різкі падіння РҐВ викликані відкачуванням води і не є репрезентативними у даному випадку. ГСС-257 має помітно нижчі абсолютні відмітки, тому її включення до графіка розширює вертикальний масштаб, але дає можливість показати контраст між різними частинами зони спостережень на Верхній Лаврі. Незвичними на графіку є не плавні сезонні коливання, а різкі підйоми та тривале утримання підвищених рівнів, особливо після аварійних періодів 2023 і 2025 рр. Саме такі ділянки потребують зіставлення з даними про аварії на інженерних мережах, оскільки вони не відповідають простій сезонній зміні живлення водоносного горизонту.

Умовні позначення до рис. 2: 1 – гідрогеологічні спостережні свердловини (ГСС); 2 – гідроізогіпси

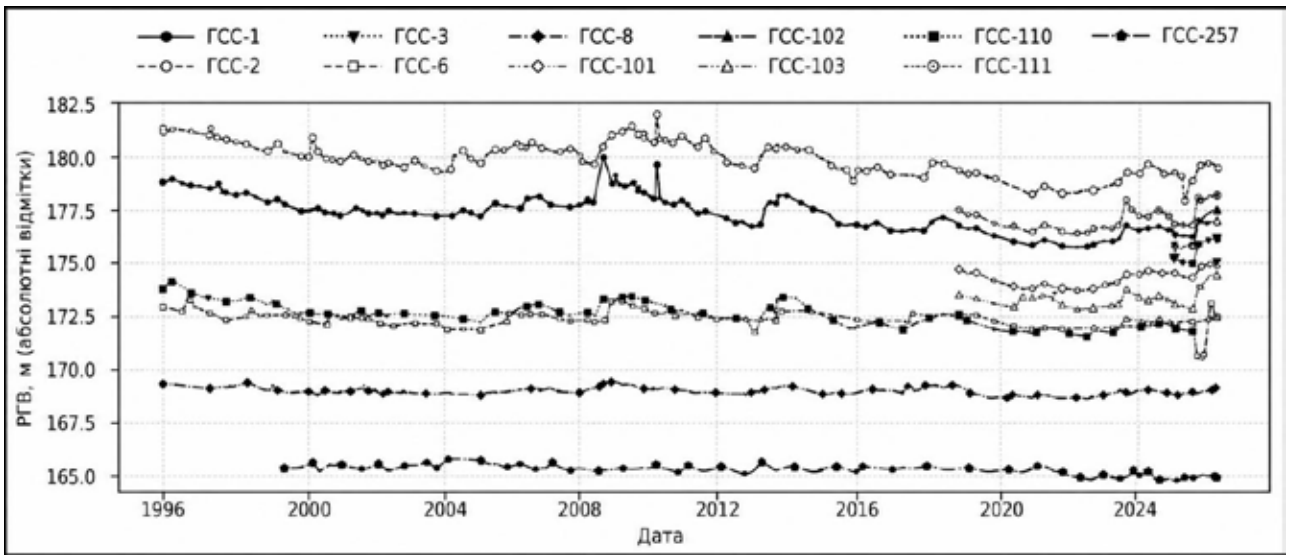


Рис. 1. Багаторічна динаміка рівня ґрунтових вод у вибраних спостережних свердловинах верхньої частини Лаври за 1996–2026 рр.

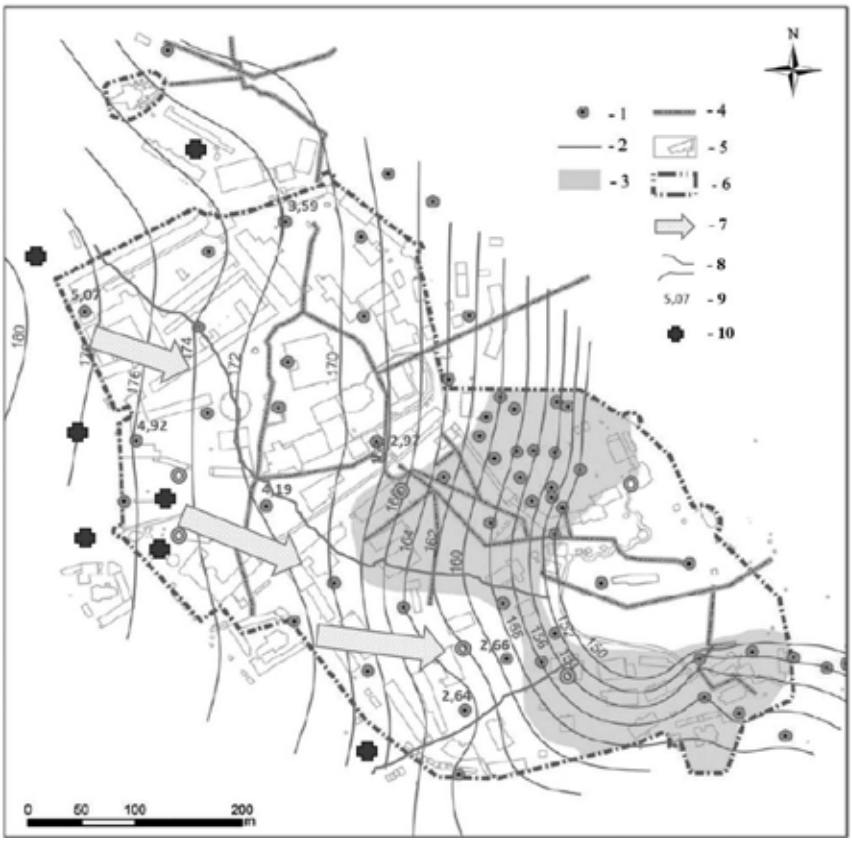


Рис. 2. Карта поширення техногенних вод і вмісту NH_4^+ у спостережних свердловинах станом на березень 2026 р. [18]

РҐВ; 3 – площа розповсюдження тимчасового (сезонного) водоносного горизонту; 4 – дренажі глибокого закладання (ДШС); 5 – будівлі; 6 – межі заповідника; 7 – напрямки поширення куполів розтікання техногенних вод; 8 – межі розтікання техногенних вод; 9 – вміст NH_4^+ у спостережних свердловинах, мг/дм³; 10 – місця значних аварійних витоків з інженерних мереж.

Зіставлення з переліком аварій за останні роки показує, що найбільш показовими є події, пов'я-

зані з магістральними мережами вздовж вул. Івана Мазепи та на розі вул. Івана Мазепи і Цитадельної. У лютому 2018 р. аварія магістральної тепломережі спричинила затоплення підвальних приміщень прилеглих об'єктів. У лютому 2021 р. дві аварії тепломережі призвели до перезволоження ґрунтового масиву, утворення провалів і підтоплення пам'яток. У жовтні 2022 р. аварійний порив тепломережі в Митрополичому саду супроводжувався утворенням великих провалів денної поверхні, затопленням підземної споруди та підйомом рівнів ґрунтових вод приблизно на 1,0 м. У липні-серпні 2023 р. близько десяти поривів водогону й тепломережі спричинили підйом РҐВ у ГСС-1, ГСС-2, ГСС-102 і ГСС-103 на 0,7–1,7 м. У серпні-жовтні 2025 р. більше десяти масштабних поривів зумовили підйом РҐВ у свердловинах, пов'язаних із вул. Івана Мазепи, на 1,2–2,0 м, а підвищені відмітки зберігалися протягом кількох місяців [18].

У межах основного періоду 2025–2026 рр. найбільш виразні зміни зафіксовано у ГСС-111, ГСС-2, ГСС-103, ГСС-102 і ГСС-110. Для ГСС-111 амплітуда коливань становила 2,39 м, а середній рівень у 2025–2026 рр. був на 0,88 м вищим порівняно з попереднім періодом. Для ГСС-102 середній рівень зріс на 0,48 м, а амплітуда збільшилася з 0,99 до 1,63 м. Для ГСС-103 середній рівень підвищився на 0,32 м, а амплітуда зросла з 0,77 до 1,87 м. Для ГСС-110 середнє значення зросло на 0,51 м, а амплітуда збільшилася з 0,30 до 1,37 м. Таке одночасне збільшення середніх рівнів та амплітуди у групі просторово пов'язаних свердловин узгоджується з припущенням про додаткове техногенне живлення водоносного горизонту.

Перелік свердловин на рис. 3 не є повним переліком усієї гідрогеологічної мережі Заповідника. На графік перенесено лише ті ГСС, які належать до обраної для цієї статті верхньої Лаври та потрібні для аналізу впливу зовнішніх мереж; ГСС-14, ГСС-112, ГСС-16 і свердловини східніше цієї межі не включалися до статистичного зіставлення.

На рис. 3 добре простежується, що група свердловин у зоні вул. Івана Мазепи реагує контрастніше за внутрішні ділянки. ГСС-2 зберігає найвищі абсолютні відмітки, однак діагностично важливішими є різкі зміни у ГСС-102, ГСС-103, ГСС-110 і ГСС-111 після серпня-вересня 2025 р. Після короткочасних спадів у частині свердловин рівні знову починають підніматися або утримуються вище попереднього фонового рівня, що може свідчити про неодноразові або пролонговані витоки. Саме така поведінка РҐВ є небезпечною для лесових ґрунтів, оскільки тривале перезволоження може сприяти просіданню, розвитку суфозійних процесів і появі локальних провалів.

Набір свердловин, за яким побудовано графік рис. 4, менший за повний перелік свердловин спостережної мережі Заповідника. Температурні криві на графіку рис. 4 побудовано лише для тих ГСС Верхньої Лаври, де були доступні температурні вимірювання, отже для побудови рис. 4 використано дані меншої кількості свердловин, ніж наведено на рис. 3.

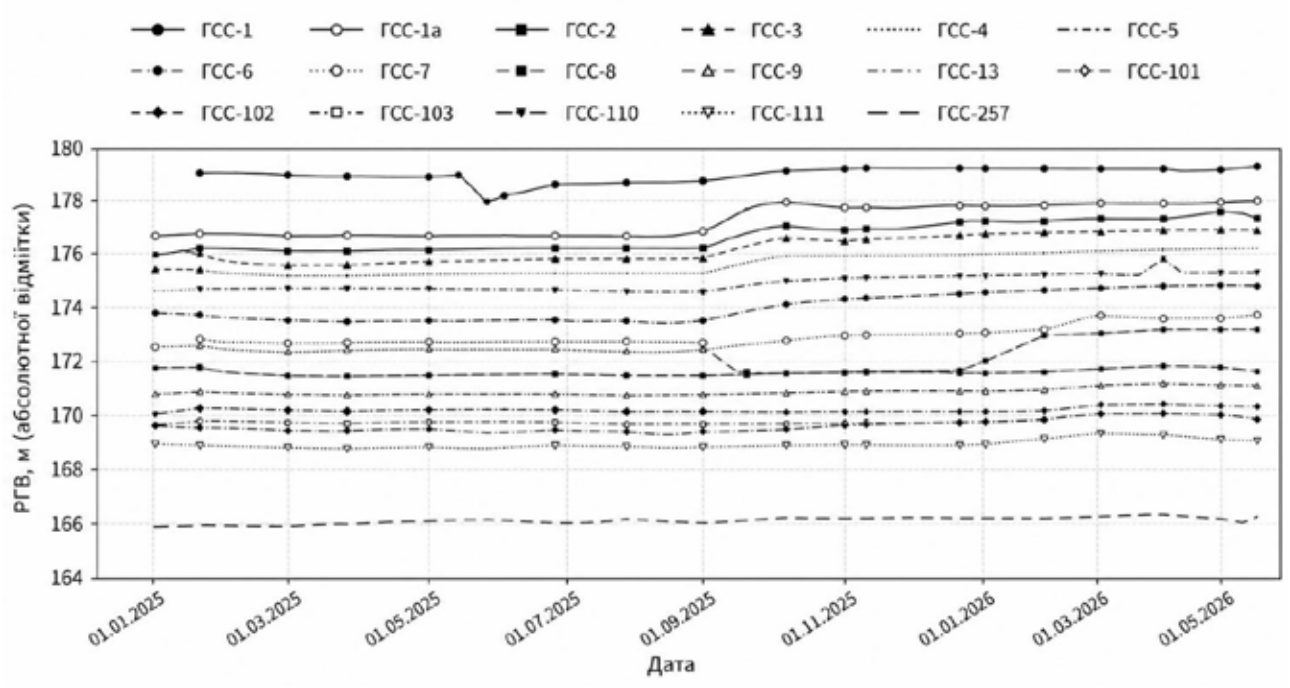


Рис. 3. Динаміка рівнів ґрунтових вод у вибраних свердловинах верхньої частини Лаври у 2025–2026 рр.

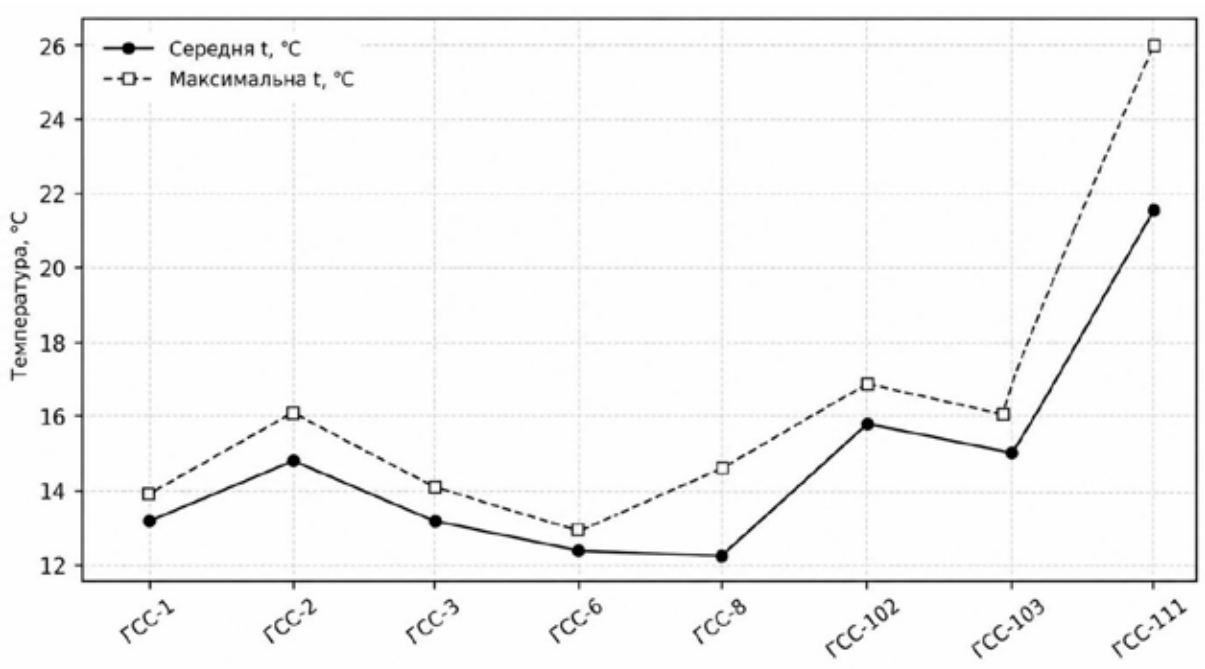


Рис. 4. Середні та максимальні температури ґрунтових вод у свердловинах, для яких наявні температурні вимірювання у 2025–2026 рр.

Температурні дані посилюють впевненість у наявності техногенного впливу. Найбільш вираженим це є для ГСС-111, де середня температура становила 21,59 °С, а максимальна досягала 26,00 °С. Це значно вище природного температурного фону ґрунтових вод, який для території Заповідника в матеріалах моніторингу оцінюється переважно в межах 8–13 °С залежно від глибини та сезону. Підвищені температури також характерні для ГСС-102 (середня 15,83 °С, максимальна 16,80 °С), ГСС-103 (15,12 і 16,00 °С) та ГСС-2 (14,84 і 16,00 °С). Поєднання підйому рівня з температурною аномалією є більш переконливим індикатором витоку з тепломереж, ніж аналіз лише рівня або лише температури [11, 13, 14].

За таблицями 1–2 видно, що найвища амплітуда у 2025–2026 рр. зафіксована у ГСС-111 (2,39 м), ГСС-103 (1,87 м), ГСС-102 (1,63 м) і ГСС-110 (1,37 м). При цьому для виявлення можливих аварій важливо враховувати не лише абсолютну амплітуду, а й просторову позицію свердловини. ГСС-2, ГСС-102, ГСС-103 і ГСС-111 розташовані у зоні впливу вул. Івана Мазепи, де зафіксовано повторні аварії мереж. ГСС-111 додатково вирізняється найвищою температурою води, що робить її одним з ключових елементів моніторингової мережі для фіксації можливого впливу тепломереж та каналізації. ГСС-102 і ГСС-103 демонструють одночасне зростання середнього рівня та амплітуди, що відповідає моделі тривалого або повторного техногенного впливу. ГСС-257 має нижчі абсолютні рівні й невелику амплітуду 0,49 м, тому в межах цього масиву даних вона не є головним індикатором аварій, але залишається важливим елементом спостережної мережі для контролю режиму ґрунтових вод Верхньої Лаври.

Результати гідрохімічних досліджень, виконаних у межах моніторингової програми, показують, що рівневі й температурні аномалії супроводжуються змінами складу води. Найбільш показовим індикатором, на думку авторів статті, є присутність солей NH_4^+. Амоній може надходити зі стічними водами побутової каналізації, але також може формуватися внаслідок процесів відновлення у забрудненому водоносному горизонті, тому його слід інтерпретувати разом із просторовим положенням свердловини, напрямом потоку та іншими хімічними показниками, що відповідає принципам комплексного моніторингу якості природних вод [15, 17]. У ГСС-1 концентрація NH_4^+ зросла до 4,92 мг/дм³ у березні 2026 р., у ГСС-2 – до 5,07 мг/дм³, у ГСС-3 – до 4,19 мг/дм³, у ГСС-6 – до 3,59 мг/дм³, а в ГСС-8 у березні 2026 р. зафіксовано 2,97 мг/дм³, хоча при перевірці в травні та жовтні аміак виявлявся. Така динаміка може свідчити або про збереження джерела забруднення, або про розширення зони впливу техногенних вод.

Окрім NH_4^+, за матеріалами досліджень хімічних властивостей ґрунтових вод виявлено перевищення або підвищені значення для хлоридів, нітратів, сульфатів, загального заліза, свинцю, загальної мінералізації, а також високі концентрації кальцію і магнію. У ГСС-1, ГСС-2, ГСС-3, ГСС-102, ГСС-103 і ГСС-110 зазначалися підвищені концентрації Ca^{2+} до 760 мг/дм³ при нормативному рівні менше 130 мг/

Таблиця 1

Узагальнені статистичні показники рівня та температури ґрунтових вод за 2025–2026 рр.

Свердловина	Сер. РҐВ, м	Ампл. РҐВ, м	Тренд РҐВ, м/30 діб	Сер. t, °C	Макс. t, °C	r(РҐВ;t)
ГСС-1	176,54	0,93	0,06	13,26	13,90	-0,54
ГСС-1а	173,91	0,42	-0,00	–	–	–
ГСС-2	179,27	1,94	0,05	14,84	16,00	0,61
ГСС-3	172,06	0,87	0,05	13,35	14,20	-0,95
ГСС-4	170,38	0,16	0,00	–	–	–
ГСС-5	174,92	1,18	0,02	–	–	–
ГСС-6	172,08	2,49	0,03	12,45	13,00	-0,90
ГСС-7	169,06	0,72	-0,02	–	–	–
ГСС-8	168,98	0,62	0,03	12,21	14,70	-0,41
ГСС-9	169,33	0,60	0,02	–	–	–
ГСС-13	170,51	0,42	0,02	–	–	–
ГСС-101	174,39	0,68	0,04	–	–	–
ГСС-102	177,41	1,63	0,12	15,83	16,80	-0,67
ГСС-103	173,36	1,87	0,12	15,12	16,00	-0,68
ГСС-110	175,40	1,37	0,09	–	–	–
ГСС-111	176,41	2,39	0,15	21,59	26,00	0,18
ГСС-257	164,84	0,49	0,01	–	–	–

Таблиця 2

Порівняння режиму РҐВ у 2024–2025 та 2025–2026 рр.

Свердловина	Сер. 2024–2025, м	Сер. 2025–2026, м	Δ сер., м	Ампл. 2024–2025, м	Ампл. 2025–2026, м
ГСС-1	176,32	176,54	0,21	0,53	0,93
ГСС-1а	174,08	173,91	-0,17	0,26	0,42
ГСС-2	179,25	179,27	0,02	0,51	1,94
ГСС-3	172,02	172,06	0,04	0,56	0,87
ГСС-4	170,35	170,38	0,04	0,21	0,16
ГСС-5	174,79	174,92	0,13	0,15	1,18
ГСС-6	172,05	172,08	0,03	0,19	2,49
ГСС-7	169,21	169,06	-0,16	0,22	0,72
ГСС-8	168,92	168,98	0,06	0,45	0,62
ГСС-9	169,28	169,33	0,05	0,28	0,60
ГСС-13	170,52	170,51	-0,02	0,28	0,42
ГСС-101	174,27	174,39	0,13	0,33	0,68
ГСС-102	176,93	177,41	0,48	0,99	1,63
ГСС-103	173,04	173,36	0,32	0,77	1,87
ГСС-110	174,89	175,40	0,52	0,30	1,37
ГСС-111	175,53	176,41	0,88	0,55	2,39
ГСС-257	164,74	164,84	0,10	0,43	0,49

дм³ і Cl^- до 2070 мг/дм³ при нормативному рівні менше 300 мг/дм³, а загальна мінералізація сягала 2,5–3,5 г/дм³. Такі показники відповідають не фоновому природному стану, а змішаному техногенно зміненому складу вод, що може бути пов'язаний із впливом мереж водопостачання, теплопостачання та каналізації [16].

З екологічної точки зору небезпека полягає не лише у самому факті підйому РҐВ. Пролонгована інфільтрація витоків змінює водний і хімічний режим ґрунтового масиву, може збільшувати площу підтоплення, переносити розчинені забруднювальні речовини в напрямку схилу та створювати ризики для джерел, розташованих нижче по потоку ґрунтових вод. У разі подальшого поширення техногенних вод у напрямку долини Дніпра це можна вважати серйозною екологічною проблемою і моніторинг цього забруднення має розглядатися як частина шир-

Таблиця 3

Вміст іонів амонію NH_4^+ у ґрунтових водах, мг/дм³

Свердловина	Березень 2025	Травень 2025	Жовтень 2025	Березень 2026
ГСС-1	Не виявлено	Норма (<2,6)	3,07	4,92
ГСС-2	Не виявлено	3,25	3,12	5,07
ГСС-3	Не виявлено	3,50	2,89	4,19
ГСС-257	–	Норма (<2,6)	2,64	–
ГСС-6	–	–	–	3,59
ГСС-8	–	Не виявлено	Не виявлено	2,97

шого екологічного моніторингу, а не лише як інженерна проблема збереження фундаментів і підземних споруд [10, 19, 20].

Головні висновки.

1. Моніторинг режиму ґрунтових вод у верхній частині Національного заповідника «Києво-Печерська лавра» показав, що у 2025–2026 рр. найбільш виражені ознаки можливого техногенного впливу простежуються у ГСС-1, ГСС-2, ГСС-102, ГСС-103, ГСС-110 і ГСС-111. Саме ці свердловини демонструють підйом рівнів ґрунтових вод, збільшення амплітуди або просторовий зв'язок із зоною розміщення зовнішніх мереж уздовж вул. Івана Мазепи.

2. Найбільш інформативною для фіксації можливого впливу тепломереж є ГСС-111: у 2025–2026 рр. її амплітуда РҐВ становила 2,39 м, середній рівень зріс приблизно на 0,88 м порівняно з попереднім періодом, а максимальна температура води досягала 26,0 °С. ГСС-102 і ГСС-103 також є важливими елементами-індикаторами моніторингової мережі, оскільки поєднують зростання середнього рівня, збільшення амплітуди та підвищену температуру води.

3. ГСС-2 фіксує найвищі абсолютні відмітки РҐВ серед розглянутих свердловин і належить до зони впливу інженерних мереж, прокладених під вул. Івана Мазепи, тому її слід використовувати як одну з ключових свердловин для контролю за прихованими або повторними витоками. ГСС-1 також має значення як контрольний елемент моніторингової мережі, особливо з урахуванням зростання NH_4^+ до 4,92 мг/дм³ у березні 2026 р.

4. Потенційно несприятливі процеси, пов'язані з просіданням, суфозійним винесенням частинок і подальшими провалами, найбільш імовірні там, де підйом РҐВ поєднується з тривалим додатковим зволоженням лесових ґрунтів, наприклад внаслідок повторних аварій на мережах. За наявними даними до таких зон належать ділянки, пов'язані з ГСС-102, ГСС-103, ГСС-110 і ГСС-111, а також зона ГСС-2 уздовж вул. Івана Мазепи.

5. Хімічні дослідження підтверджують доцільність комплексного підходу. Підвищений вміст NH_4^+ у ГСС-1, ГСС-2, ГСС-3, ГСС-6 і ГСС-8, а також підвищені концентрації хлоридів, кальцію, магнію та загальної мінералізації у частині свердловин свідчать про техногенно змінений склад ґрунтових вод. Окремо ці показники не визначають точне джерело аварії, однак разом із рівневими й температурними аномаліями вони формують систему доказів техногенного впливу на геологічне середовище.

6. Практичне значення роботи полягає в тому, що багаторічні спостереження, які традиційно використовувалися для контролю стану пам'яток архітектури та інженерно-геологічної безпеки, можуть бути ефективно включені до системи екологічного моніторингу. Поєднання моніторингу рівня, температури й хімічного складу ґрунтових вод дає змогу не лише фіксувати наслідки вже відомих аварій, а й виявляти приховані витоки до появи очевидних поверхневих проявів.

Перспективи використання результатів дослідження. Подальше використання результатів доцільно спрямувати на формування порогових критеріїв раннього попередження для ключових свердловин, регулярне зіставлення автоматизованих вимірювань рівня й температури з журналом аварійних подій та розширення гідрохімічного контролю. Перспективним є також просторове простеження техногенних вод у напрямку природного потоку ґрунтових вод і оцінювання можливого впливу на ділянки, розташовані нижче за потоком. Накопичення синхронних рядів рівня, температури, хімічного складу та метеорологічних показників дасть змогу точніше відокремлювати сезонні зміни від техногенних імпульсів і підвищити оперативність виявлення прихованих витоків.

Література

1. Allam A. M., Ibrahim M. G., Kanae S., Sharaan M. Evaluating flood and landslide hazards to cultural heritage sites in Historic Cairo. Natural Hazards. 2025. Vol. 121, No. 13. P. 15491–15535. DOI: https://doi.org/10.1007/s11069-025-07401-1.
2. Bonini J. E., Parenti C., Grassi F., Mancini F., Vieira B. C., Soldati M. Assessing landslide susceptibility and dynamics at cultural heritage sites by integrating machine learning techniques and persistent scatterer interferometry. Geomorphology. 2025. Vol. 469. Article 109522. DOI: https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2024.109522.

3. Cherevko I., Kril T., Bugai D., Shekhunova S. Impact of hydrogeological factors on geotechnical conditions of the Kyiv-Pechersk Lavra Monastery complex: Lessons from three decades of monitoring. Acque Sotterranee – Italian Journal of Groundwater. 2024. Vol. 13, No. 3. P. 91–101. DOI: https://doi.org/10.7343/as-2024-765.
4. Hajnrych M., Blachowski J., Worsa-Kozak M. Analysis of groundwater temperature in urban conditions – the case of Wrocław, Poland. Civil and Environmental Engineering Reports. 2025. Vol. 35, No. 1. P. 213–229. DOI: https://doi.org/10.59440/ceer/200729.
5. Hajnrych M., Blachowski J., Worsa-Kozak M. Groundwater urban heat island (GUHI) and climate warming: Insights from two decades of monitoring in Wrocław. Water. 2025. Vol. 17, No. 21. Article 3090. DOI: https://doi.org/10.3390/w17213090.
6. Hostieva D., Trokhymenko G., Blahodatnyi V. Groundwater level dynamics and climate variability in the city of Mykolaiv. Environmental Problems. 2026. Vol. 11, No. 2. P. 179–189. DOI: https://doi.org/10.23939/ep2026.02.179.
7. Acevedo M. F. Real-time environmental monitoring: Sensors and systems. Boca Raton : CRC Press, 2024. DOI: https://doi.org/10.1201/9781003425496.
8. Bosserelle A. L., Hughes M. W. Groundwater monitoring infrastructure: Evaluation of the shallow urban and coastal network in Ōtautahi Christchurch. Journal of Hydrology: Regional Studies. 2024. Vol. 55. Article 101934. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2024.101934.
9. Ma J., Li L., Jiao L., Zhu H., Liu C., Li F., Li P. Identifying ecological security patterns considering the stability of ecological sources in ecologically fragile areas. Land. 2024. Vol. 13, No. 2. Article 214. DOI: https://doi.org/10.3390/land13020214.
10. Malovanyy M., Antonov M., Kravets I., Holodovska O., Turkadze T. General analysis of the decline of the water resources system, water pollution and eco-monitoring in the context of global climate changes using Lviv region as the example. Environmental Problems. 2026. Vol. 11, No. 2. P. 250–259. DOI: https://doi.org/10.23939/ep2026.02.250.
11. D'Aniello A. Detecting background leakages in water infrastructure with fiber optic distributed temperature sensing: Insights from a heat transfer-unsaturated flow model. Water Resources Management. 2023. Vol. 37. P. 5535–5558. DOI: https://doi.org/10.1007/s11269-023-03617-7.
12. Farah E., Shahrour I. Water leak detection: A comprehensive review of methods, challenges, and future directions. Water. 2024. Vol. 16, No. 20. Article 2975. DOI: https://doi.org/10.3390/w16202975.
13. Islam M. R., Azam S., Shanmugam B., Mathur D. Leak detection and localization in underground water supply system using thermal imaging and geophone signals through machine learning. Intelligent Systems with Applications. 2024. Vol. 23. Article 200404. DOI: https://doi.org/10.1016/j.iswa.2024.200404.
14. Li P., Tang L., Zhang S., Ming P., Wang Y., Tian H. Research progress on temperature field leakage detection of earth-rock dams and new exploration in leakage point detection. Nondestructive Testing and Evaluation. 2024. Vol. 39, No. 5. P. 1009–1029. DOI: https://doi.org/10.1080/10589759.2023.2280896.
15. Krykhovets O., Repeta V., Ivashchenko I. Monitoring of spring water quality. Environmental Problems. 2025. Vol. 10, No. 2. P. 127–134. DOI: https://doi.org/10.23939/ep2025.02.127.
16. Про затвердження Державних санітарних норм та правил «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» (ДСанПіН 2.2.4-171-10) : наказ Міністерства охорони здоров'я України від 12.05.2010 № 400. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0452-10#Text (дата звернення: 19.08.2026).
17. Yaroshenko K. K., Koliabina I. L., Saprykin V. Yu., Molochkova N. M., Dramaretskyi Ye. O. Monitoring of the groundwaters chemical composition on the territory of the National Conservation Area "Sophia of Kyiv". Mineralogical Journal (Ukraine). 2026. Vol. 48, No. 1. P. 90–102. DOI: https://doi.org/10.15407/mineraljournal.48.01.090.
18. Черевко І. А., Саприкін В. Ю., Ярошенко К. К., Тараненко А. С. Дослідження впливу витоків з зовнішніх інженерних мереж на зміну гідрогеологічних умов території Національного заповідника «Києво-Печерська Лавра». XXIV Міжнародна наукова конференція «Церква – Наука – Суспільство: питання взаємодії» : матеріали конференції. Київ, 2026. С. 192–199. URL: https://www.researchgate.net/publication/410601020_Doslidzenna_vplivu_vitokiv_z_zovnisnih_inzenernih_merez_na_zminu_gidrogeologicnih_umov_teritorii_Nacionalnogo_zapovidnika_Kievo-Pecerska_Lavra (дата звернення: 19.08.2026).
19. Про охорону навколишнього природного середовища : Закон України від 25.06.1991 № 1264-XII. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1264-12#Text (дата звернення: 19.08.2026).
20. Stepova O., Shara S. Monitoring and revitalization technologies of Dnipro reservoirs. Environmental Problems. 2025. Vol. 10, No. 4. P. 319–324. DOI: https://doi.org/10.23939/ep2025.04.319.

Дата першого надходження статті до видання: 27.08.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 18.09.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 09.11.2026