

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ГІДРОГЕОЛОГІЧНИХ УМОВ ДІЛЯНКИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ПОЛІГОНУ ІВЕ НАНУ

Отримано 14 жовт. 2025 р.; рекомендовано до публікації 09 груд. 2025 р.
Доступно онлайн 31 груд. 2025 р.

Барило А. А.¹, Сорока А. В.², Лобанова І. В.³

Автор для кореспонденції: Барило Анастасія,
e-mail: geotherm@ukr.net

¹ наук. співроб.

<https://orcid.org/0000-0001-7981-6464>

² пров. інж.

<https://orcid.org/0009-0007-0388-5704>

³ мол. наук. співроб.

<https://orcid.org/0009-0007-0625-8052>

^{1, 2, 3} Інститут відновлюваної енергетики НАН
України, м. Київ, Україна

Гідрогеологічні умови ділянки є ключовим чинником під час вибору продуктивного горизонту для теплонасосних систем типу «вода–вода», визначенні їх оптимальних параметрів і оцінці впливу експлуатації на природні процеси та стан довкілля. У роботі наведено результати комплексного дослідження гідрогеологічних умов ділянки експериментального полігону Інституту відновлюваної енергетики НАН України. На основі геодезичних вимірювань абсолютних відміток поверхні та аналізу бурових даних побудовано гідрогеологічний розріз ділянки. Встановлено, що продуктивним для застосування теплонасосних технологій є Полтавський водоносний горизонт, для якого визначено основні гідрогеологічні характеристики. За результатами режимних спостережень за температурою та рівнем підземних вод у продуктивному горизонті встановлено амплітуди річних коливань параметрів. Моніторинг здійснювався за допомогою стаціонарної автоматизованої системи та переносного глибинного рівнеміра-термометра котушкового типу. На основі експериментальних даних у програмі Surfer побудовано карту розподілу пластових тисків і визначено напрямок руху підземних вод. За результатами дослідно-фільтраційних робіт побудовано індикаторний графік залежності дебіту свердловини від зниження рівня та розраховано питомий дебіт. Проведені дослідження показали, що Полтавський водоносний горизонт характеризується невисокими фільтраційними властивостями, тому є доцільним його використання переважно для експериментальних робіт і часткового покриття теплового навантаження будівлі ІВЕ НАН України. Визначені амплітуди сезонних коливань температури та рівня підземних вод необхідно враховувати під час проведення експериментів і розрахунку теплонасосних систем, що використовують підземні води як джерело теплоти.

Ключові слова: низькопотенційні геотермальні ресурси, параметри водоносного горизонту, дослідно-фільтраційні роботи.

Вступ. Низькопотенційна енергія верхніх шарів землі є найперспективнішим з погляду доступності та поширеності видом геотермальної енергії. Її формування не потребує специфічних геотермічних умов, високих геотермічних градієнтів чи значних припливів глибинної теплоти, що значно спрощує можливості її практичного використання. Теплонасосні установки, за допомогою яких використовується цей ресурс, стабільно й ефективно працюють навіть за низьких температур водоносних горизонтів, забезпечуючи високий коефіцієнт перетворення енергії. Порівняно невелика глибина залягання таких горизонтів знижує капітальні витрати на буріння та облаштування свердловин, що робить технологію економічно привабливою як для індивідуального споживання, так і для промислового чи комунального.

За даними Міжнародного енергетичного агентства (IEA), станом на 2023 рік близько 10 % глобальних потреб у

теплопостачанні покривалося теплонасосними технологіями, з яких 5–10 % становили системи типу «вода – вода», що використовують енергію верхніх водоносних горизонтів [1]. До 2030 року очікується зростання встановлених потужностей теплових насосів до 2600 ГВт, а частка низькопотенційних ресурсів підземних вод може зрости до 15–20 % [2].

В Україні офіційна статистика щодо теплонасосних систем практично відсутня, проте відомі приклади їх успішного впровадження. Зокрема, в Києві (житловий масив Осокорки) функціонує теплонасосна установка потужністю 16 кВт, що забезпечує опалення приміщень площею 270 м² [3]. На ТЕЦ-6 у Києві експлуатується теплонасосна система типу «вода – вода» потужністю 3,5 МВт, яка використовує скидну теплоту технологічних вод. Фармацевтична компанія «Дарниця» використовує теплоту верх-

ного горизонту для охолодження технологічного обладнання та системи кондиціонування повітря [4].

Попри позитивні тенденції, темпи впровадження теплонасосних технологій в Україні залишаються нестабільними. Їх розвиток стримується високою вартістю обладнання, коливаннями цін на природний газ та непослідовністю державної політики у сфері відновлюваної енергетики. Водночас кількість теплонасосних систем поступово зростає, що підтверджує актуальність дослідження цієї технології [5, 6].

Для вивчення процесів, які відбуваються під час використання низькопотенційної енергії верхніх водоносних горизонтів та ненасичених водою ґрунтів, в Інституті відновлюваної енергетики НАН України створено експериментальний полігон [7]. Метою досліджень є підвищення енергоефективності теплонасосних установок застосуванням різних типів ґрунтових зондів і пристроїв для інтенсифікації відбору теплоти з надр, а також оцінка можливостей сезонного акумулювання надлишкової сонячної енергії у водоносному горизонті. Паралельно вивчається вплив експлуатації геотермальних систем на природні умови масиву порід, температурно-гідродинамічні характеристики водоносних горизонтів та довкілля.

Визначення початкових гідрогеологічних умов ділянки полігона є ключовим етапом цих досліджень, що забезпечує основу для оцінки оптимальних експлуатаційних параметрів теплонасосних систем, прогнозу їх динаміки в часі, розрахунку теплоакумулювальної здатності водоносного горизонту та аналізу впливу природного потоку підземних вод на збереження теплової енергії. Без цих вихідних даних неможливо об'єктивно оцінити зміни, що відбуваються під час експериментів, і визначити ефективність застосування окремих технологій.

Постановка завдання. Метою цього дослідження є комплексне вивчення природних гідрогеологічних умов ділянки експериментального полігона ІВЕ НАН України та визначення вихідних параметрів водоносного горизонту, що використовується в теплонасосних установках як джерело низькопотенційної енергії.

Для досягнення цієї мети було необхідно виконати такі завдання:

1. На основі результатів бурових робіт охарактеризувати геологічну будову ділянки дослідження, літологічний склад і стратиграфічні особливості порід, що формують водоносні горизонти та водотривкі товщі, а також визначити глибини їх залягання. На основі геодезичних вишукувань провести узгодження глибин до єдиної системи координат і побудувати гідрогеологічний розріз ділянки;
2. На основі режимних спостережень дослідити гідродинамічні й температурні особливості продуктивного водоносного горизонту та визначити амплітуди річних змін рівня й температури підземних вод;

3. Встановити напрямок природного руху підземних вод продуктивного горизонту, умови його живлення та розвантаження;
4. За результатами дослідно-фільтраційних робіт визначити основні гідрогеологічні параметри водоносного горизонту.

Для реалізації цих завдань було застосовано комплекс методів: аналіз результатів буріння, геодезичні вишукування та побудова гідрогеологічного розрізу ділянки, гідрогеологічне опробування свердловин, режимні спостереження за рівнем і температурою підземних вод, а також математичне моделювання розподілу пластових тисків у водоносному горизонті.

1. Геологічна будова та гідрогеологічний розріз ділянки дослідження

Геологічна будова ділянки дослідження була достатньо детально вивчена під час буріння п'яти свердловин глибиною від 50 до 117 м.

Для приведення даних до єдиної системи висотних координат було виконано нівелювання устя свердловин та реперних точок за допомогою лазерного рівня PRACMANU WR3D-12. Вихідною основою слугувала контрольна точка фундаменту споруди з відомою абсолютною відміткою («абсолютний нуль»), отриманою з проектної документації [8].

Сітку горизонтальних координат та відстані між свердловинами визначали за допомогою лазерного дальноміра FLUKE 414D. Для контролю точності координати перевіряли розрахунком гіпотенуз відповідно до теореми Піфагора та порівняння отриманих теоретичних значень з фактично виміряними відстанями від початкової точки системи координат.

Внаслідок проведених робіт, відповідно до ГСТУ [9], було побудовано гідрогеологічний розріз ділянки полігону, зображений на рис. 1.

На території експериментального полігона продуктивним для створення теплонасосних установок типу «вода – вода» є водоносний горизонт, якій розташований у відкладах полтавської світи міоцену.

Полтавський горизонт у межах ділянки дослідження розташований на глибині 32–54 м від поверхні землі. Товщина горизонту змінюється від 18 до 22 м. Горизонт складається із сірого дрібнозернистого піску. Зверху горизонт перекритий 20-метровою товщею щільної бурої глини. Знизу горизонт підстиляється товщею водотривких щільних мергелів зеленувато-блакитного кольору. Товщина горизонту мергелів становить 34 м.

Продуктивний горизонт безнапірний. Верхня частина його «суха», товщина насиченої підземними водами частини горизонту змінюється протягом року залежно від умов його живлення та розвантаження, що обумовлює сезонні коливання кількості підземних вод у горизонті.

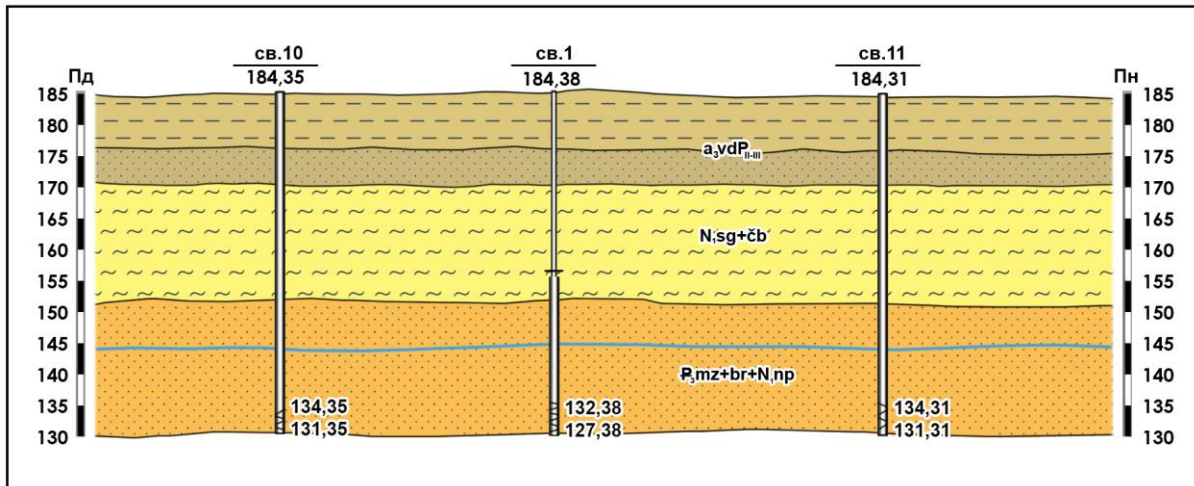


Рис. 1. Гідрогеологічний розріз ділянки полігону ІВЕ НАНУ по лінії І-І (масштаб: 1 см = 3,2 м)

2. Зміни рівня та температури підземних вод у часі

Для визначення амплітуди та особливостей сезонних коливань параметрів Полтавського водоносного горизонту, згідно з методикою [10], на дослідній ділянці в період від 15.01.25 до 24.09.25 проводилися режимні спостереження за рівнем і температурою підземних вод у свердловинах № 11 та № 10.

У свердловині № 11 спостереження здійснювалися за допомогою стаціонарної автоматизованої системи моніторингу, яка виконувала щоденні вимірювання параметрів з інтервалом 15 с. Абсолютна похибка вимірювання становила: за температурою – 0,05 °C; за рівнем – 0,005 м. Отримані дані система моніторингу обробляла

шляхом поділу доби на дев'ять інтервалів, для кожного з яких визначались максимальні, мінімальні та середні часозважені значення рівня і температури підземних вод у водоносному горизонті.

У свердловині № 10 режимні спостереження виконувалися з використанням переносного глибинного рівнеміра-термометра «UniWell Dolphin» (котушковий тип) з періодичністю один вимір на тиждень. Крім глибини рівня фіксувалися температура повітря, температура підземних вод на забої свердловини (50 м) та на глибині 41 м. Абсолютна похибка вимірювання становила: за температурою – 0,05 °C; за рівнем – 0,005 м.

Результати режимних спостережень наведено на рис. 2.

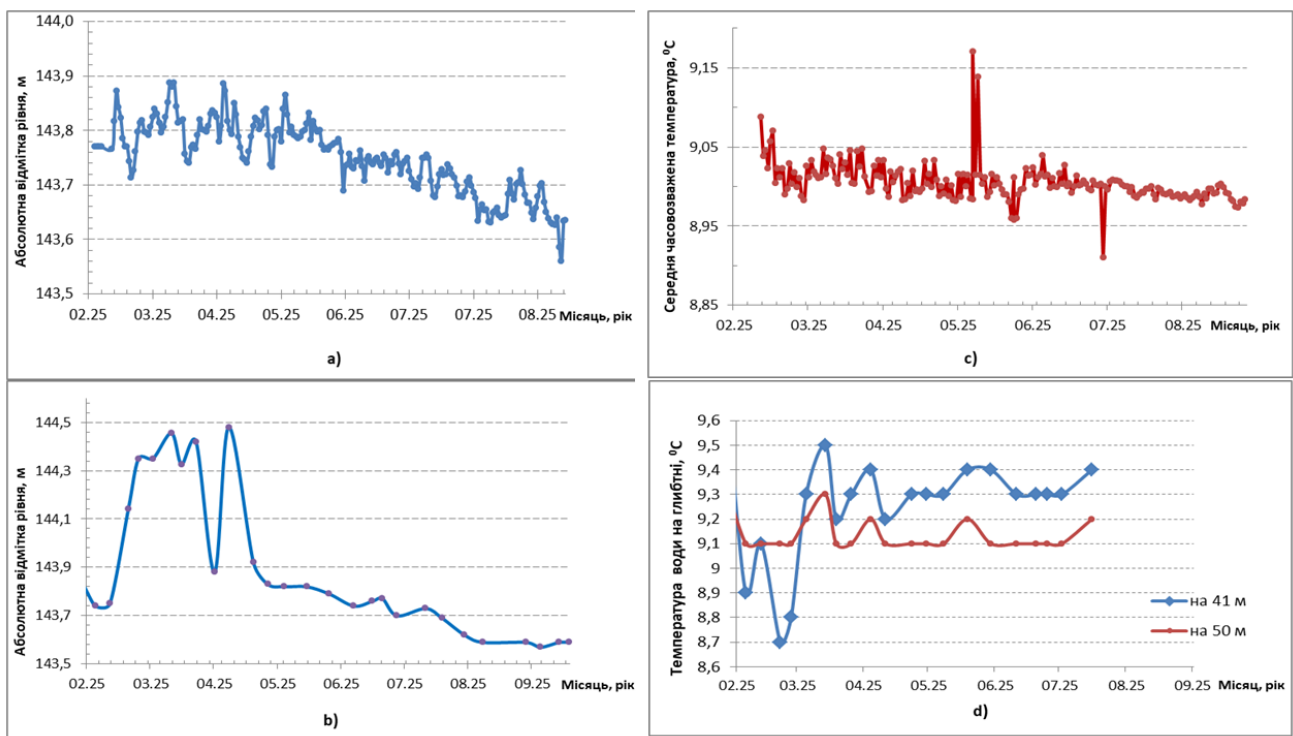


Рис. 2. Результати режимних спостережень за параметрами Полтавського водоносного горизонту у свердловинах № 11 і № 10: а) – зміни рівня підземних вод у свердловині № 11; б) – зміни рівня підземних вод у свердловині № 10; в) – зміни температури підземних вод у свердловині № 11; г) – зміни температури підземних вод у свердловині № 10

Як видно на рис. 2,а) і б), для обох свердловин найбільша кількість підземних вод у горизонті (відповідно найвищі рівні) фіксується в березні – квітні, а восени (вересень – жовтень) вони помітно зменшуються [11–13]. У свердловині № 11 амплітуда коливань рівня за рік становила близько 0,33 м, тоді як у свердловині № 10 – майже втричі більше, 0,91 м. Така розбіжність пояснюється застосуванням у свердловині № 11 автоматизованої системи моніторингу, яка виконує усереднення даних у межах інтервалів вимірювання. Для побудови графіка ми додатково усереднили данні за добу. Внаслідок цього амплітуда, отримана у свердловині № 11, не відображає реальної величини коливань і не може вважатися репрезентативною.

За результатами вимірювань температурні характеристики водоносного горизонту виявилися значно стабільнішими. У свердловині № 11 річна амплітуда становила 0,26 °С, тоді як у свердловині № 10 на глибині 41 м вона досягла 0,8 °С, а на глибині 50 м – 0,2 °С. Як видно на рис. 2, d), зміни температур мають однаковий характер, проте з глибиною амплітуда коливань зменшується.

3. Визначення напрямку руху підземних вод у продуктивному горизонті

Встановлення напрямку руху підземних вод є важливою гідрогеологічною характеристикою, на основі якої визначаються умови закачування відпрацьованого теплоносія, оцінюється здатність горизонту до акумулювання

та збереження теплової енергії, а також прогнозуються зони поширення впливу відбору та техногенного теплового поля [14].

Для визначення напрямку руху підземних вод у Полтавському водоносному горизонті було проведено одночасне вимірювання рівнів у свердловинах № 1, № 8, № 10, № 11 та рівня у ставку, що розташований у Новоселківській балці. За допомогою програми Surfer [15] було побудовано карту розподілу пластових тисків у горизонті. Як відомо, гідродинамічний потік завжди рухається від вищих значень рівня (тиску) до нижчих значень. Напрямок руху визначався за лініями токів, які проводяться перпендикулярно до ліній рівного напору (ізогіпс).

Як видно на рис. 3, потік має південно-західний напрямок, а швидкість цього руху є дуже низькою через незначні напірні градієнти. Навколо свердловини № 1 формується зона підвищених тисків, що вибивається із загальної картини руху підземних вод. На нашу думку, це зумовлено додатковим локальним живленням Полтавського горизонту, пов'язаним з конструктивними особливостями свердловини. На відміну від інших свердловин, свердловина № 1 має двоколонну будову. На глибині 27 м від гирла свердловини колони з'єднуються. Місце з'єднання не було зацементоване, що створює умови для підживлення горизонту з водоносних відкладів четвертинного віку, які залягають вище продуктивного горизонту (див. рис. 1).

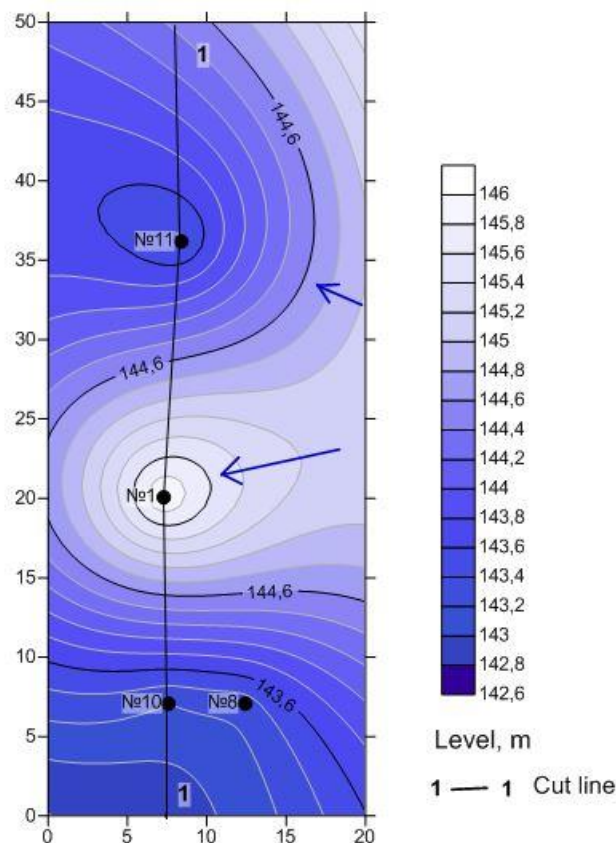


Рис. 3. Розподіл пластових тисків у Полтавському горизонті в межах ділянки дослідження

Слід зазначити, що під час вимірювань у свердловині № 1 датчик рівнеміра фіксує наявність насиченої водою ділянки стовбура на глибині близько 27 м, що підтверджує наведене припущення.

4. Визначення гідрогеологічних параметрів продуктивного горизонту

Для визначення продуктивності горизонту було проведено відкачування зі свердловини № 11 на три зниження рівня. Параметри відкачування наведено у табл. 1.

Таблиця 1. Параметри тристадійного відкачування зі свердловини № 11

№	Час	Рівень, м			Зниження рівня, м			Витрата, л/с
		Мін	Ср	Мак	Мін	Ср	Мак	
1	11:10–12:30	0,79	0,97	1,1	0,42	0,34	0,25	0,13
2	12:30–13:32	0,49	0,78	1,13	0,72	0,53	0,22	0,24
3	13:32–14:42	0,15	0,21	0,4	1,06	1,1	0,95	0,54

На основі отриманих експериментальних даних було побудовано графік залежності дебіту свердловини від зниження рівня у водоносному горизонті (рис. 4). Цей графік використовують для оцінки продуктивності свердловини; визначення питомих дебітів (Q/s); екстраполяції до умов експлуатації; розрахунку оптимального режиму відкачки без надмірного зниження рівня.

Питомий дебіт є індикатором визначення продуктивності свердловини. Він показує кількість води, яку можна отримати з горизонту в разі зниження рівня на 1 м. Цей показник використовують для порівняння свердловин і для первинної оцінки фільтраційних властивостей горизонту. Розрахований за експериментальними даними питомий дебіт свердловини № 11 становив $0,44 \text{ л/с} \cdot \text{м}^{-1}$. Тобто горизонт має низьку водовіддачу, яка притаманна для дрібнозернистих пісків та супісків [16, 17].

Визначення максимального дебіту, який можна отримати зі свердловини № 11 за умов використання наявного насосного обладнання та дотримання вимог його безперебійної роботи, виконано на основі розрахунку гранично допустимого зниження рівня підземних вод. Згідно з паспортом свердловини № 11, глибинний насос марки «Водолій» встановлено на глибині 4 м від устя свердловини (абсолютна відмітка 139,31 м). Для забез-

печення стабільної роботи насос повинен бути повністю занурений у воду, при цьому висота водяного стовпа над ним має становити не менше 40 см [18]. При існуючому статичному рівні 139,71 м гранично допустиме зниження рівня становить 1,23 м. Графік залежності дебіту свердловини від зниження рівня було продовжено, і за апроксимованою кривою, відповідно до визначеного гранично допустимого зниження, визначено максимальний дебіт свердловини, який становить $0,61 \text{ л/с}$ ($2,2 \text{ м}^3/\text{год}$). Орієнтовну теплову потужність свердловини розраховуємо за залежністю [19]:

$$N = \rho_w \cdot c_w \cdot Q \cdot (t_2 - t_1), \quad (1)$$

де N – теплова потужність, Вт; ρ_w – густина води, кг/м^3 ; c_w – питома теплоємність, $\text{Дж/(кг} \cdot \text{°C)}$; Q – об’ємна витрата, $\text{м}^3/\text{с}$; $t_2 - t_1$ – різниця температур на вході та виході контуру теплового насоса, $^{\circ}\text{C}$. Температурний перепад у теплонасосному обладнанні приймається рівним 5°C . За таких умов теплова потужність свердловини становить 12,8 кВт. Результати експериментальних робіт показали, що глибинний насос у свердловині № 11 встановлений занадто високо, що суттєво обмежує її продуктивність. Рекомендується опустити насос на більшу глибину, що дасть змогу здійснювати відкачування з більшим дебітом.

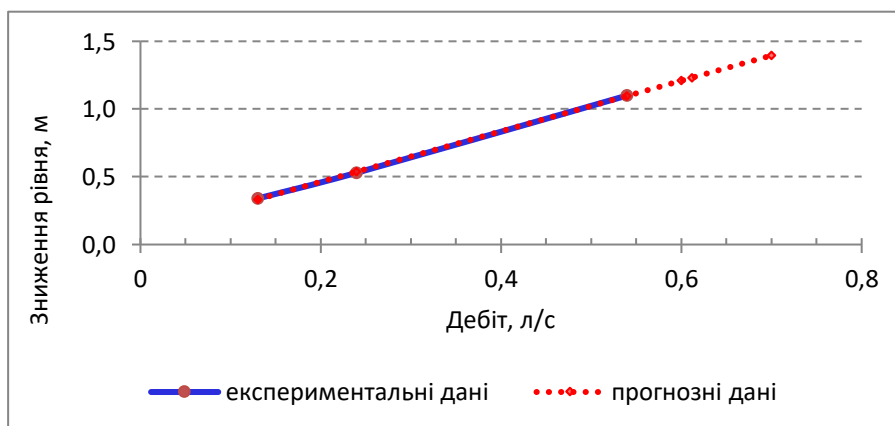


Рис. 4. Графік залежності дебіту свердловини від зниження рівня в горизонті

Висновки

На території Київського плато, розташованого на правому березі Дніпра в межах Київської, частково Черкаської та Житомирської областей, перспективним для створення теплонасосних установок типу «вода – вода» є Полтавський водоносний горизонт, який є першим від поверхні землі. Цей горизонт має повсюдне поширення, відсутній лише в долинах річок та глибоко врізаних ярах [11, 12].

У межах ділянки експериментального полігона ІВЕ НАН України Полтавський водоносний горизонт залягає на глибинах до 50–54 м. Горизонт безнапірний, його верхня частина є ненасиченою підземними водами, складений горизонт переважно дрібнозернистими пісками.

Результати режимних спостережень за сезонними змінами параметрів Полтавського горизонту дали змогу визначити амплітуди річних коливань: зміна рівня підземних вод становила 0,91 м, а температури – 0,2 °С. Отримані амплітуди сезонних коливань необхідно враховувати під час проведення експериментальних робіт та розрахунків теплонасосних систем, що використовують підземні води як джерело теплоти.

Визначений напрямок руху підземних вод у горизонті необхідно враховувати під час проектування на ділянці експериментального полігона систем закачування відпрацьованого теплоносія, а також під час проведення експериментів, спрямованих на оцінку акумулювальної здатності горизонту.

Розрахований за результатами експериментальних робіт питомий дебіт свердловини № 11 становить 0,44 л/с·м⁻¹, що свідчить про низьку водовіддачу водоносного горизонту. Встановлено, що глибинний насос у свердловині розташований занадто високо, що суттєво обмежує її продуктивність. Рекомендується опустити насос на більшу глибину, що дасть змогу збільшити дебіт відкачування.

На основі гранично допустимого зниження рівня в горизонті визначено максимальну кількість підземної води, яку можна отримати зі свердловини № 11. Розрахунки показали, що використання підземних вод цієї свердловини дає змогу забезпечити теплове навантаження близько 12,8 кВт, що є недостатнім для повного опалення приміщень інституту, проте цього вистачить для підтримання працездатності системи в умовах відсутності електропостачання.

ПОСИЛАННЯ

1. Сайт міжнародного енергетичного агентства (IEA). <https://www.iea.org/energy-system/buildings/heat-pumps>
2. Сайт міжнародного енергетичного агентства (IEA). <https://www.iea.org/reports/the-future-of-heat-pumps/executive-summary>

3. <https://geosun.com.ua/uk/category/works/>
4. Перепелиця І., Зурян О. (2024). ПРИКЛАДНА МЕТОДОЛОГІЯ КОМПЛЕКСНОГО ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ВІЛЬНОГО ОХОЛОДЖЕННЯ ТА ТЕПЛОВИХ НАСОСІВ. Відновлювана енергетика, (1(76)), 109–117. [https://doi.org/10.36296/1819-8058.2024.1\(76\).109-117](https://doi.org/10.36296/1819-8058.2024.1(76).109-117)
5. Water Source Heat Pump Market Size and Share Forecast Outlook (2025 to 2035). <https://www.futuremarketinsights.com/reports/water-source-heat-pump-market?>
6. Сайт міжнародного енергетичного агентства (IEA). https://www.reddit.com/r/neoliberal/comments/12m4vne/global_heat_pump_sales_continue_doubledigit
7. Відновлювані джерела енергії: монографія / за заг. ред. С. О. Кудрі. Інститут відновлюваної енергетики НАН України. Київ: ІВЕ НАН України, 2025. 493 с. <https://www.ive.org.ua/wp-content/uploads/monograph2024.pdf>
8. Виконавча документація «Житлове та культурно-побутове будівництво по вулиці Метрологічній в Голосіївському районі м. Києва. Архітектурні рішення». МЛ-0733/0325. ПП КТМ «Левчук і К». 2011 р.
9. Галузевий стандарт України. Геологічне картографування. Типові умовні позначення. Основні вимоги. Видання офіційне. Міністерство екології та природних ресурсів. Київ 2002. С. 106. http://www.geol.univ.kiev.ua/lib/umovni_poznachennja.pdf
10. Корнеєнко С. В. Методика гідрогеологічних досліджень. Основні методи і види гідрогеологічних досліджень: Навч. посібник. К.: ВПЦ “Київський університет”, 2001. 69 с. <https://www.geology.knu.ua/media/library/docs/posibnyk.pdf>
11. Ситников А. Б., Головченко Ю. Г., Ткаченко К. Д. Гидрогеологическая станция «Феофания»: многолетние исследования и результаты. Монография. Институт геологических наук НАН Украины. Київ: ІГН НАН України, 2003. 199 с.
12. Звіт ДНВП «Геоінформ» Отчет по детальной разведке подземных вод для хозяйственно-питьевого водоснабжения г. Киева (участок Бортничих I-II) за 1980–1984 гг.» ГО «Севукргеология», Правобережная геологоразведочная экспедиция, фондові матеріали № 46506 в 7 томах. Том I, 1984.
13. Камзіст Ж. С. Гідрогеологія України : навч. посібник для студентів геол., геогр. та екол. спец. вищ. навч. закл. / Ж. С. Камзіст, О. Л. Шевченко; М-во освіти і науки України. Київ: ІНКОС, 2009. 613 с.
14. Іськов С. С. Гідрогеологія. Ч. I. Основи гідрогеології: навч. посібник / С. С. Іськов. Житомир: ЖДТУ, 2012. 348 с.

15. Жуков М. Методичні вказівки до лабораторної роботи. Пакет наукової графіки «Surfer». Київський національний університет імені Тараса Шевченка Геологічний факультет. Київ, 2009. 62 с. http://www.geol.univ.kiev.ua/lib/zhukov_n_n/Tema_10_Surfer.pdf
16. Зоценко М. Л. Основи гідрогеології та інженерної геології: навч. посібник / М. Л. Зоценко, Ю. Л. Винников. Полтава: НУ «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», 2023. 258 с ISBN 978-966-616-189-8 https://reposit.nupp.edu.ua/bitstream/PoltNTU/11561/1/%D0%9E%D0%A1%D0%9D%D0%9E%D0%92%D0%98%20%D0%93%D0%86%D0%94%D0%A0%D0%9E%D0%93%D0%95%D0%9E%D0%9B%D0%9E%D0%93%D0%86%D0%87%20%D0%A2%D0%90%20%D0%86%D0%9D%D0%96_%D0%93%D0%95%D0%9E%D0%9B%D0%9E%D0%93%D0%86%D0%87.pdf
17. Newman, C. P., Kisfalusi, Z. D., Holmberg, M. J., 2021. Assessing specific-capacity data and short-term aquifer testing to estimate hydraulic properties in alluvial aquifers of the Rocky Mountains, Colorado, USA. J. Hydrol. Reg. Stud. 38, 100949. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2021.100949>.
18. Руководство по эксплуатации бытового центробежного погружного электронасоса «Водолей». <https://www.dommax.com.ua/dokum/vodoley05.pdf>
19. Morozov, Y., Barylo, A., Chalaev, D., & Dobrovolskyi, M. (2019). ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ПЕРШИХ ВІД ПОВЕРХНІ ВОДОНОСНИХ ГОРИЗОНТІВ ДЛЯ ТЕПЛО- І ХЛАДОПОСТАЧАННЯ. Відновлювана енергетика, (2(57), 70–78. [https://doi.org/10.36296/1819-8058.2019.2\(57\).70-78](https://doi.org/10.36296/1819-8058.2019.2(57).70-78)

RESULTS OF THE STUDY OF HYDROGEOLOGICAL CONDITIONS OF THE EXPERIMENTAL SITE OF THE INSTITUTE OF RENEWABLE ENERGY OF THE NAS OF UKRAINE

Received Oct. 14, 2025; accepted Dec. 09, 2025
Available online Dec. 31, 2025

Barilo A.¹, Soroka A.², Lobanova I.³

Author for correspondence: Barilo Anastasiia,
e-mail: geotherm@ukr.net

¹ Researcher
<https://orcid.org/0000-0001-7981-6464>

² Lead Engineer
<https://orcid.org/0009-0007-0388-5704>

³ Junior Researcher
<https://orcid.org/0009-0007-0625-8052>

^{1, 2, 3} Institute of Renewable Energy of NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine

The hydrogeological conditions of a site are a key factor in selecting a productive aquifer for water-to-water heat pump systems, determining their optimal parameters, and assessing the impact of operation on natural processes and the environment. This study presents the results of a comprehensive investigation of the hydrogeological conditions at the experimental site of the Institute of Renewable Energy of the National Academy of Sciences of Ukraine. Based on geodetic measurements of surface elevations and analysis of drilling data, a hydrogeological cross-section of the site was constructed. It was determined that the Poltava aquifer is the most suitable for the application of heat pump technologies, and its main hydrogeological characteristics were defined. Long-term monitoring of groundwater temperature and level within the productive horizon allowed the determination of seasonal amplitude variations. Observations were conducted using a stationary automated monitoring system and a portable coil-type water level and temperature meter. Experimental data were processed in Surfer software to generate a formation pressure distribution map and identify the direction of groundwater flow. Test pumping and filtration experiments were used to construct an indicator curve showing the relationship between well discharge and drawdown, as well as to calculate the specific capacity of the well. The results indicate that the Poltava aquifer has relatively low filtration properties, making it more suitable for experimental studies and for partial coverage of the building's thermal load at the Institute of Renewable Energy. The identified amplitudes of seasonal fluctuations in groundwater temperature and level should be considered when designing and operating groundwater-source heat pump systems.

Keywords: low-potential geothermal resources, aquifer parameters, pumping and filtration tests.

Introduction

The low-potential energy of the upper layers of the Earth is the most promising type of geothermal energy in terms of availability and distribution. Its formation does not require specific geothermal conditions, high geothermal gradients, or significant inflows of deep heat, which greatly simplifies the possibilities of its practical use. Heat pump systems that utilize this resource operate stably and efficiently even at low aquifer temperatures, providing a high coefficient of energy conversion. The relatively shallow depth of such aquifers reduces capital costs for drilling and well construction, making the technology economically attractive for individual, industrial, and municipal applications alike.

According to the International Energy Agency (IEA), as of 2023, approximately 10% of global heating demand was met by heat pump technologies, of which 5–10% were “water-to-water” systems that utilize the energy of shallow aquifers [1]. By 2030, the total installed capacity of heat pumps is expected to reach 2,600 GW, while the share of low-potential groundwater resources may increase to 15–20% [2].

In Ukraine, official statistics on heat pump systems are almost nonexistent; however, several examples of their

successful implementation are known. In Kyiv (Osokorky residential district), a 16 kW heat pump system provides heating for a 270 m² building [3]. At Kyiv's CHP-6 plant, a 3.5 MW “water-to-water” heat pump system operates using waste heat from process water. The pharmaceutical company Darnytsia utilizes the heat of shallow groundwater for cooling technological equipment and air-conditioning systems [4].

Despite positive trends, the pace of heat pump technology implementation in Ukraine remains unstable. Their development is hindered by the high cost of equipment, fluctuations in natural gas prices, and inconsistent state policy in the field of renewable energy. At the same time, the number of heat pump systems is gradually increasing, confirming the relevance of studying this technology [5,6].

To investigate the processes occurring during the utilization of low-potential energy from shallow aquifers and unsaturated soils, an experimental testing site was established at the Institute of Renewable Energy of the National Academy of Sciences of Ukraine [7]. The aim of the research is to improve the energy efficiency of heat pump systems through the use of various types of ground probes and devices for

enhancing heat extraction from the subsurface, as well as to assess the potential for seasonal storage of excess solar energy in an aquifer. In parallel, studies are being conducted on the impact of geothermal system operation on the natural conditions of the rock mass, the thermal and hydrodynamic characteristics of aquifers, and the environment.

Determining the initial hydrogeological conditions of the test site is a key stage of these studies. It provides the basis for assessing the optimal operational parameters of heat pump systems, forecasting their performance dynamics over time, calculating the heat storage capacity of the aquifer, and analyzing the influence of natural groundwater flow on thermal energy retention. Without these baseline data, it is impossible to objectively evaluate the changes occurring during experiments or to determine the effectiveness of specific technologies.

Problem statement

The purpose of this study is to conduct a comprehensive investigation of the natural hydrogeological conditions of the experimental site of the Institute of Renewable Energy of the National Academy of Sciences of Ukraine (IRE NASU) and to determine the baseline parameters of the aquifer used in heat pump systems as a source of low-potential energy. To achieve this goal, the following tasks were set:

1. Based on drilling results, to characterize the geological structure of the study area, the lithological composition and stratigraphic features of the formations that constitute the aquifers and aquitards, and determine their depths. Using geodetic survey data, to align the depth measurements within a unified coordinate system and construct a hydrogeological cross-section of the site.
2. Based on monitoring observations, to investigate the hydrodynamic and temperature characteristics of the productive aquifer and determine the amplitudes of annual fluctuations in groundwater levels and temperature.
3. To determine the direction of natural groundwater flow within the productive aquifer and identify the conditions of its recharge and discharge.

4. According to the results of pumping and filtration tests, to determine the main hydrogeological parameters of the aquifer.

To accomplish these tasks, a comprehensive set of methods was applied, including the analysis of drilling data, geodetic surveying and construction of a hydrogeological cross-section, hydrogeological testing of wells, monitoring of groundwater levels and temperature, as well as mathematical modeling of formation pressure distribution within the aquifer.

1. Geological Structure and Hydrogeological Profile of the Study Area

The geological structure of the study area was examined in detail during the drilling of five boreholes with depths ranging from 50 to 117 meters. To unify the data within a single elevation coordinate system, the wellheads and benchmark points were leveled using a PRACMANU WR3D-12 laser level. The reference point was a control mark on the building foundation with a known absolute elevation ("zero level") obtained from the project documentation [8].

The horizontal coordinate grid and distances between boreholes were determined using a FLUKE 414D laser rangefinder. To verify measurement accuracy, coordinates were checked by calculating hypotenuses using the Pythagorean Theorem and comparing the theoretical values with the actual measured distances from the origin of the coordinate system. As a result of these works, and in accordance with GOSTU [9], a hydrogeological cross-section of the test site was constructed (Fig. 1).

Within the experimental site, the productive aquifer suitable for "water-to-water" heat pump systems is located in the deposits of the Poltava Formation of the Miocene age.

The Poltava aquifer within the study area occurs at depths of 32–54 m below the ground surface and has a thickness of 18–22 m. It is composed of gray, fine-grained sand, overlain by a 20 m layer of dense brown clay and underlain by a 34 m layer of impermeable greenish-blue marl.

The productive aquifer is unconfined. Its upper part is unsaturated ("dry"), and the thickness of the saturated zone varies seasonally with recharge and discharge conditions, resulting in periodic fluctuations in groundwater volume within the aquifer.

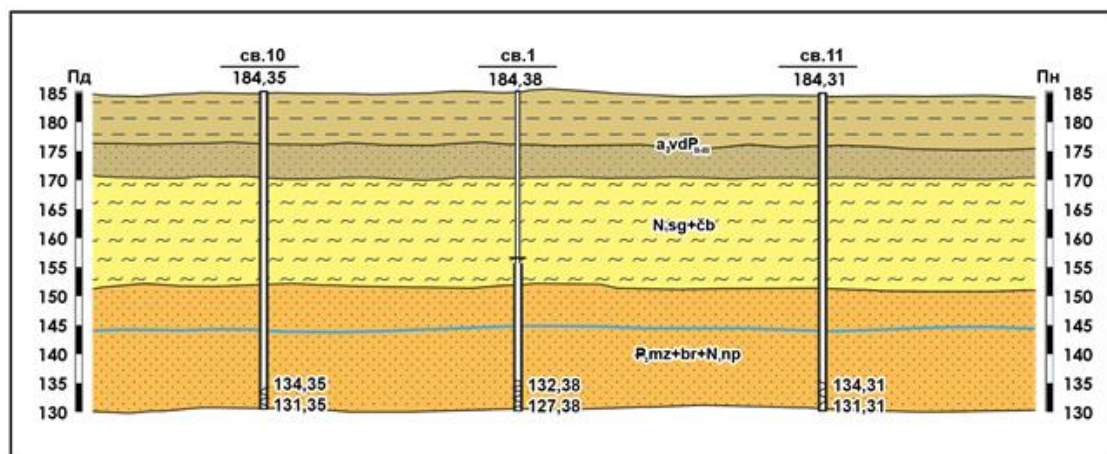


Fig. 1. Hydrogeological cross-section of the IRE NASU test site along line I-I (scale: 1 cm = 3.2 m)

2. Temporal Variations of Groundwater Level and Temperature

To determine the amplitude and characteristics of seasonal fluctuations in the parameters of the Poltava aquifer, according to the methodology [10], regular monitoring of groundwater level and temperature was carried out at the test site from January 15, 2025, to September 24, 2025, in observation wells No. 11 and No. 10.

At well No. 11, observations were performed using a stationary automated monitoring system, which recorded measurements at 15-second intervals throughout the day. The absolute measurement accuracy of the monitoring system was ± 0.05 °C for temperature and ± 0.005 m for groundwater level. The monitoring system processed the

obtained data by dividing each day into nine intervals, for each of which the maximum, minimum, and time-weighted average values of groundwater level and temperature in the aquifer were determined.

In well No. 10, monitoring was carried out using a portable depth level and thermometer “UniWell Dolphin” (reel type), with a measurement frequency of once per week. In addition to the water level depth, measurements included air temperature, groundwater temperature at the well bottom (50 m), and at a depth of 41 m. The absolute measurement accuracy of the monitoring system was ± 0.05 °C for temperature and ± 0.005 m for groundwater level.

The results of the monitoring observations are shown in Fig. 2.

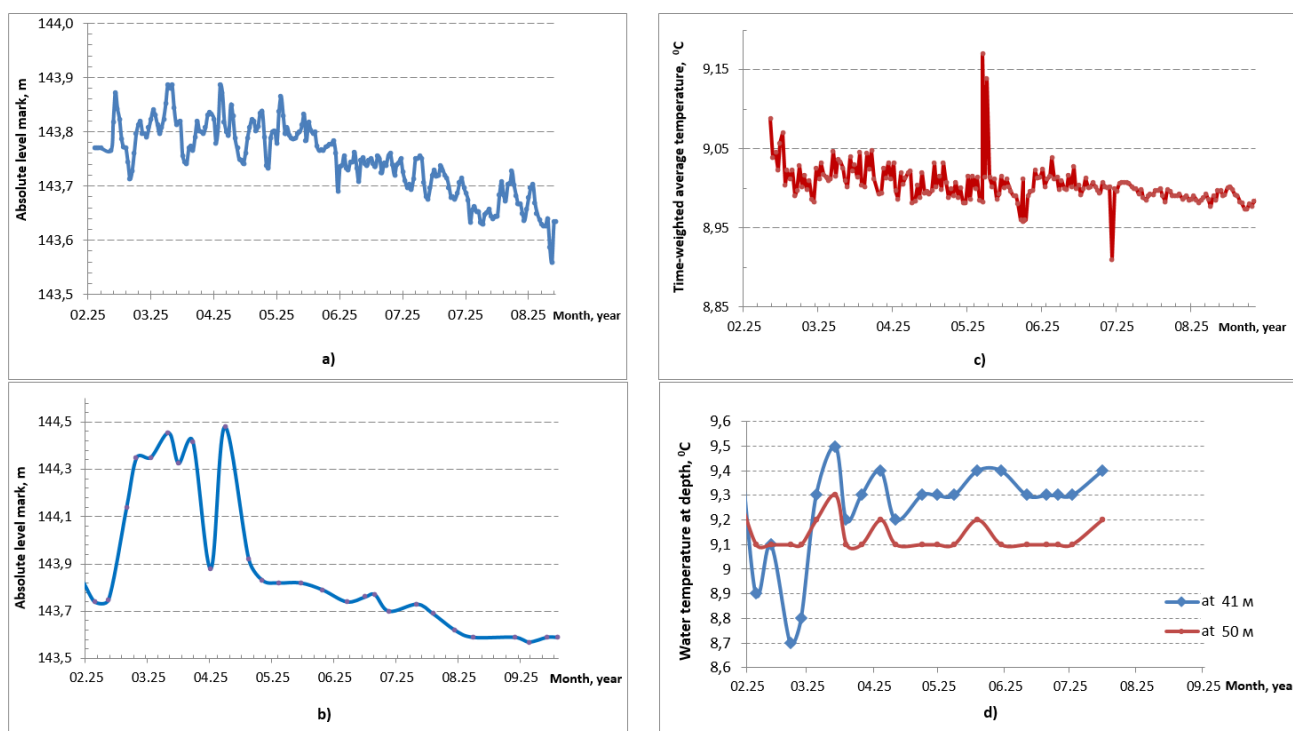


Fig. 2. Results of monitoring observations of the parameters of the Poltava aquifer in wells No. 11 and No. 10: a) - changes in the groundwater level in well No. 11; b) - changes in the groundwater level in well No. 10; c) - changes in the temperature of groundwater in well No. 11; d) - changes in the temperature of groundwater in well No. 10

As shown in Fig. 2a and 2b, the highest groundwater levels (corresponding to the greatest amount of groundwater in the aquifer) for both wells were recorded in March–April, while in autumn (September–October) the levels noticeably decreased [11–13]. In well No. 11, the annual amplitude of level fluctuations was about 0.33 m, whereas in well No. 10 it was almost three times higher, reaching 0.91 m. This difference is explained by the use of an automated monitoring system in well No. 11, which averages the data within the measurement intervals. For plotting the graph, the data were additionally averaged over 24 hours. As a result, the amplitude obtained for well No. 11 does not reflect the actual magnitude of fluctuations and cannot be considered representative.

According to the temperature measurements, the thermal characteristics of the aquifer proved to be much more stable. In well No. 11, the annual amplitude was 0.26 °C, while in well No. 10 it reached 0.8 °C at a depth of 41 m and 0.2 °C at a depth of 50 m. As shown in Fig. 2d, the temperature variations follow a similar pattern, but their amplitude decreases with depth.

3. Determination of Groundwater Flow Direction within the Productive Aquifer

Determining the direction of groundwater flow is an important hydrogeological characteristic that provides the basis for defining the conditions of used heat carrier reinjection, assessing the aquifer's capacity to accumulate and

retain thermal energy, and predicting the extent of zones affected by water extraction and the anthropogenic thermal field [14].

To determine the groundwater flow direction within the Poltava aquifer, simultaneous measurements of groundwater levels were taken in wells No. 1, 8, 10, and 11, as well as in the pond located in the Novoselky ravine. Using Surfer software [15], a pressure head distribution map for the aquifer was constructed. As is well known, groundwater flow always moves from areas of higher head (pressure) toward areas of lower head. The flow direction was determined along flow lines, which are drawn perpendicular to equipotential lines (head contours).

As shown in Fig. 3, the groundwater flow is generally directed southwestward, and its velocity is very low due to

minor hydraulic gradients. A zone of elevated pressure is observed around well No. 1, which deviates from the overall groundwater flow pattern. In our opinion, this anomaly is caused by local recharge of the Poltava aquifer, associated with the structural design of the well. Unlike the other wells, well No. 1 has a two-casing construction. The casings are connected at a depth of about 27 m from the wellhead. This connection point was not cemented, creating conditions for upward recharge from Quaternary aquifers located above the productive horizon (see Fig. 1).

It should be noted that during measurements in well No. 1, the level sensor detected a water-saturated interval at a depth of approximately 27 m, which supports this assumption.

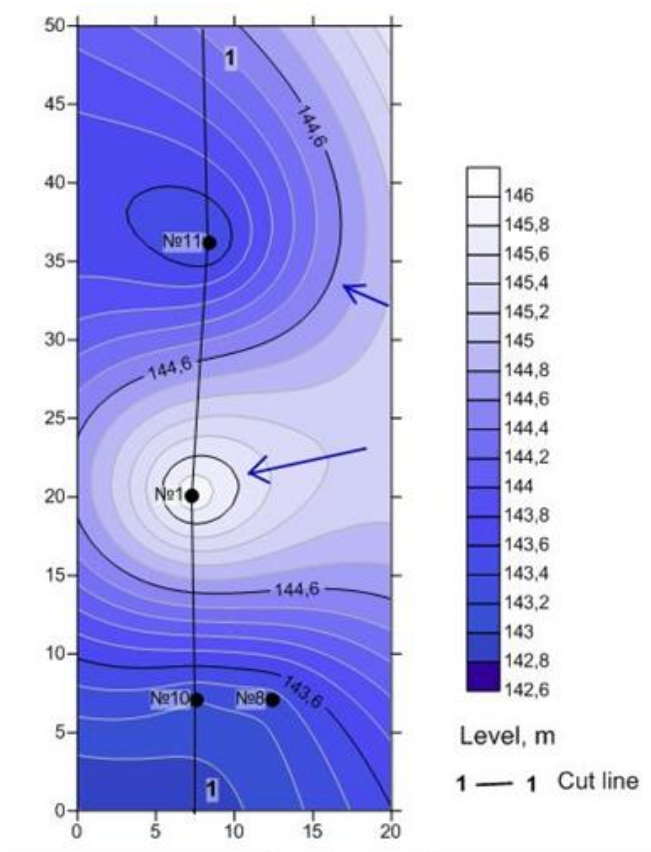


Fig. 3. Distribution of formation pressures in the Poltava aquifer within the study area

4. Determination of Hydrogeological Parameters of the Productive Aquifer

To determine the productivity of the aquifer, pumping tests were carried out in well No. 11 at three drawdown stages. The pumping parameters are presented in Table 1.

Table 1. Parameters of three-stage pumping from well No. 11

No.	Time	Water level, m			Drawdown, m			Discharge, L/s
		Min	Avg	Max	Min	Avg	Max	
1	11:10 -12:30	0.79	0.97	1.1	0.42	0.34	0.25	0.13
2	12:30 -13:32	0.49	0.78	1.13	0.72	0.53	0.22	0.24
3	13:32 -14:42	0.15	0.21	0.4	1.06	1.1	0.95	0.54

Based on the experimental data obtained, a graph showing the relationship between the well discharge and drawdown in the aquifer was constructed (Fig. 4).

This graph is used to evaluate well productivity, determine specific discharge values (Q/s), extrapolate to operational conditions, and calculate the optimal pumping regime without excessive drawdown.

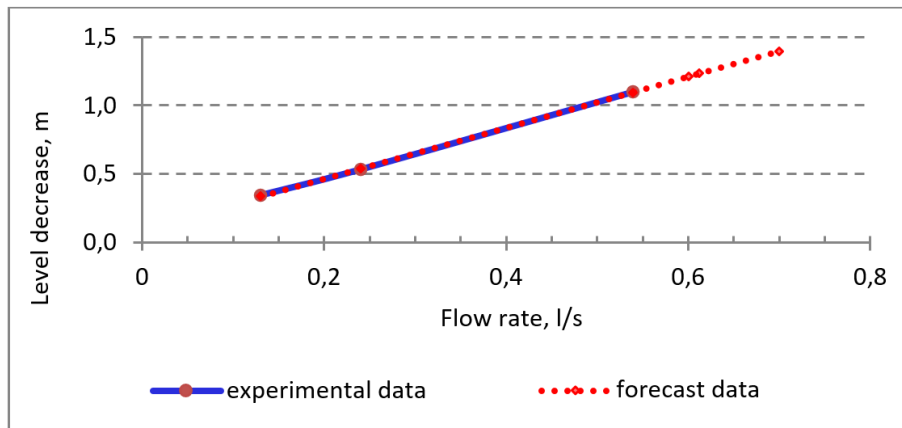


Fig. 4. Graph of the dependence of well discharge on drawdown in the aquifer

The specific discharge is an indicator used to assess well productivity. It represents the amount of water that can be extracted from the aquifer when the water level is lowered by 1 meter. This parameter is used for comparing wells and for the preliminary evaluation of the aquifer's filtration properties.

Based on the experimental data, the specific discharge of well No. 11 was calculated as $0.44 \text{ L/s} \cdot \text{m}^{-1}$, indicating low yield, which is typical for fine-grained sands and sandy loams [16, 17].

The maximum discharge that can be obtained from well No. 11 under the conditions of the existing pumping equipment and continuous operation requirements was determined based on the calculation of the maximum permissible drawdown of groundwater level.

According to the well passport, the submersible pump of the "Vodoliy" brand is installed at a depth of 45 m from the wellhead (absolute elevation 139.31 m). To ensure stable operation, the pump must remain fully submerged, with a minimum water column height of 40 cm above it [18].

Given the current static water level of 139.71 m, the maximum permissible drawdown is 1.23 m.

The graph of the relationship between well discharge and drawdown was extended, and based on the approximated curve corresponding to the permissible drawdown, the maximum discharge of the well was determined to be 0.61 L/s (or $2.2 \text{ m}^3/\text{h}$).

The estimated thermal capacity of the well is calculated using the following relationship [19]:

$$N = \rho_w \cdot c_w \cdot Q \cdot (t_2 - t_1) \quad (1)$$

Where N – thermal capacity, W; ρ_w – water density, kg/m^3 ; c_w – specific heat capacity of water, $\text{J}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$; Q – volumetric

flow rate, m^3/s ; $t_2 - t_1$ – temperature difference between the inlet and outlet of the heat pump circuit, $^\circ\text{C}$.

The temperature difference in the heat pump equipment is assumed to be 5°C . Under these conditions, the thermal capacity of the well is 12.8 kW.

The results of experimental tests showed that the submersible pump in well No. 11 is installed too high, which significantly limits its productivity. It is recommended to lower the pump to a greater depth to enable pumping at a higher discharge rate.

Conclusions

1. Within the Kyiv Plateau, located on the right bank of the Dnipro River and extending across parts of the Kyiv, Cherkasy, and Zhytomyr regions, the Poltava aquifer—the uppermost groundwater-bearing horizon—is considered promising for the development of "water-to-water" heat pump systems. The aquifer is widely distributed, being absent only within river valleys and deeply incised ravines [11, 12].
2. Within the experimental site of the Institute of Environmental Geochemistry of the NAS of Ukraine, the Poltava aquifer occurs at depths of up to 50–54 m. The aquifer is unconfined; its upper part is unsaturated with groundwater and consists mainly of fine-grained sands.
3. The results of long-term monitoring of seasonal variations in the parameters of the Poltava aquifer made it possible to determine the annual fluctuation amplitudes: groundwater level variations reached 0.91 m, while temperature variations amounted to 0.2°C . These seasonal amplitudes should be taken into account when conducting experimental studies and designing heat pump systems that use groundwater as a heat source.

4. The identified direction of groundwater flow within the aquifer should be considered when designing the reinjection systems for spent heat carrier fluids at the experimental site, as well as during experiments aimed at assessing the thermal storage capacity of the aquifer.
5. The specific capacity of well No. 11, calculated from experimental data, equals $0.44 \text{ L/s}\cdot\text{m}^{-1}$, indicating low transmissivity of the aquifer. It was established that the submersible pump in the well is installed too high, significantly limiting its productivity. It is recommended to lower the pump to a greater depth to increase the pumping rate.
6. Based on the maximum permissible drawdown, the maximum water yield from well No. 11 was determined. Calculations showed that groundwater use from this well can provide a thermal load of approximately 12.8 kW, which is insufficient for full heating of the Institute's facilities, but sufficient to maintain the system operability during power outages.

REFERENCES

1. Website of the International Energy Agency (IEA). <https://www.iea.org/energy-system/buildings/heat-pumps>
2. Website of the International Energy Agency (IEA). <https://www.iea.org/reports/the-future-of-heat-pumps/executive-summary>
3. <https://geosun.com.ua/uk/category/works/>
4. Perepelytsia, I., Zurian, O. (2024). Applied methodology for comprehensive use of free cooling technologies and heat pumps. *Vidnovliuvana enerhetyka*, (1(76), pp. 109-117
5. Water Source Heat Pump Market Size and Share Forecast Outlook (2025 to 2035). <https://www.future-marketinsights.com/reports/water-source-heat-pump-market>
6. Website of the International Energy Agency (IEA). https://www.reddit.com/r/neoliberal/comments/12m4vne/global_heat_pump_sales_continue_doubledigit
7. Renewable Energy: Monograph, ed. by Kudria S.O. Institute of Renewable Energy of the National Academy of Sciences of Ukraine. Kyiv: IRE NAS of Ukraine, 2025. — 493 p. <https://www.ive.org.ua/wp-content/uploads/monograph2024.pdf>
8. Executive documentation "Residential and cultural-community construction on Metrolohichna Street in the Holosiiv District of Kyiv. Architectural solutions." ML-0733/0325. PP KTM "Levchuk & Co.", 2011.
9. Industry Standard of Ukraine. Geological Mapping. Standard Symbols. Basic Requirements. Official edition. Ministry of Ecology and Natural Resources. Kyiv 2002. 106 p. http://www.geol.univ.kiev.ua/lib/umovni_poznachennja.pdf
10. Methods of hydrogeological investigations. Basic methods and types of hydrogeological studies: Textbook. Kyiv, Kyiv University, 2001. — 69 p. <https://www.geology.knu.ua/media/library/docs/posibnyk.pdf>
11. Sytnykov A.B., Holovchenko Yu.H, Tkachenko K.D. Hydrogeological Station "Feofania": long-term studies and results. Monograph. Institute of Geological Sciences of the NAS of Ukraine. Kyiv: IGS NAS of Ukraine. — 199 p.
12. Report of SE "Geoinform": "Detailed exploration of groundwater for domestic and drinking water supply of Kyiv (Bortnychi I-II site) for 1980–1984." SE "Sevukrgeologia", Right-Bank Geological Exploration Expedition, archival materials No. 46506, 7 volumes, Vol. I, 1984.
13. Kamzist Zh. S. Hydrogeology of Ukraine: Textbook for students of geological, geographic and ecological specialties / Zh. S. Kamzist, O. L. Shevchenko; Ministry of Education and Science of Ukraine. — Kyiv: INKOS, 2009. — 613 p.
14. Iskov S.C. Hydrogeology. Part I. Fundamentals of hydrogeology: Textbook/ S.S. Iskov. - Zhytomyr: ZHDTU, 2012. — 348 p.
15. Zhukov M. Guidelines for laboratory work. Scientific graphics package "Surfer". Taras Shevchenko National University of Kyiv, Faculty of Geology, Kyiv, 2009. — 62 p. http://www.geol.univ.kiev.ua/lib/zhukov_n_n/Tema_10_Surfer.pdf
16. Zotsenko M.L. Fundamentals of hydrogeology and engineering geology: Textbook. Poltava: National University "Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnics", 2023. — 258 p. ISBN 978-966-616-189-8 https://reposit.nupp.edu.ua/bitstream/PolNTU/11561/1/%D0%9E%D0%A1%D0%9D%D0%9E%D0%92%D0%98%20%D0%93%D0%86%D0%94%D0%A0%D0%9E%D0%93%D0%95%D0%9E%D0%9B%D0%9E%D0%93%D0%86%D0%87%20%D0%A2%D0%90%20%D0%86%D0%9D%D0%96_%D0%93%D0%95%D0%9E%D0%9B%D0%9E%D0%93%D0%86%D0%87.pdf
17. Newman, C.P., Kisfalusi, Z.D., Holmberg, M.J., 2021. Assessing specific-capacity data and short-term aquifer testing to estimate hydraulic properties in alluvial aquifers of the Rocky Mountains, Colorado, USA. *J. Hydrol. Reg. Stud.* 38, 100949. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2021.100949>.
18. User manual for the household centrifugal submersible electric pump "Vodolei". <https://www.dommax.com.ua/dokum/vodoley05.pdf>
19. Morozov, Y., Barylo, A., Chalaev, D., & Dobrovolskyi, M. (2019). Energy efficiency of using upper water-bearing horizons for heating and cooling supply. *Vidnovliuvana enerhetyka*, (2(57), P. 70-78. [https://doi.org/10.36296/1819-8058.2019.2\(57\).70-78](https://doi.org/10.36296/1819-8058.2019.2(57).70-78)