

Тенденції застосування геотермії у світі та перспективи використання теплового насосу в умовах теплового поля України

Олексій Антошків, доктор інж. наук

Ігор Папіш, доцент, кандидат геогр. наук
Львівський національний університет імені Івана Франка, м. Львів

99% гірських порід планети Земля перебувають у зоні надвисоких температур понад 1000 °С, а 99% від залишку – у зоні температур понад 100 °С. Ця кількість енергії є за нашими людськими масштабами невичерпною і добре придатною для того, щоб вирішити наші енергетичні проблеми

Поступове зменшення запасів традиційних енергоносіїв спонукає до пошуку нових джерел енергії. Уже сьогодні дуже гостро стоїть питання про забезпечення України тепловою енергією через ненадійне постачання природного газу. Звичайно, геотермія внаслідок її значного термічного потенціалу, є досить привабливою альтернативою традиційним енергоносіям.

Незважаючи на цей високий потенціал, використання теплоти Землі вимагає застосування найсучасніших технологій. А це означає введення в експлуатацію досить складного і дорого обладнання, яке не окупляє себе досить швидко. Крім цього, вплив цих технологій на довкілля докінця ще не вивчений. Прикладом цього може бути землетрус в м. Базель (Швейцарія), який стався внаслідок діяльності, зв'язаної з глибинною геотермією.

Якщо виходити лише із наведених вище аргументів, виникає єдиний закономірний висновок – технологія геотермії не є доцільною в найближчій перспективі.

Проте, на відміну від України, у країнах Західної Європи та інших розвинутих державах світу вже досить довго використовують геотермальні технології для потреб опалення, а також для виробництва електроенергії і за останні роки їх розвиток інтенсивно прогресує.

Оскільки ці технології опираються на геологію, базові знання з геології та фізики ґрунтів є вкрай необхідні при використанні цієї технології. Виходячи із відомостей про теплове поле виникають можливості щодо оцінки перспективності використання цих технологій в Україні.

Поверхнева та глибинна геотермія

Розподіл температури і теплових потоків у середині та на поверхні Землі визначає її теплове поле. Воно формується тими самими процесами, що й тепловий потік – під впливом джерел тепла і процесів його передачі. Джерела тепла умовно поділяють на первинні та вторинні. Первинні – визначаються процесами, які перетворюють в тепло енергію позаземного походження (енергія радіоактивного розпаду, земних припливів, гравітаційну) і визначають тепловий режим конкретної території і планети в цілому. Вторинні джерела визначаються процесами, що перетворюють на тепло енергію внутрішньо-земного походження (енергію тектонічних рухів, хімічних реакцій, фазових перетворень). Вони найчастіше визначають місцеві аномалії, тому обмежені в просторі, часі і потужності. Передача тепла здійснюється через теплопровідність, випромінювання і конвекцію.

Сучасний рівень розвитку науки і техніки дозволяє використовувати геотермічну енергію, акумульовану в різних горизонтах земної кори. Геотермічний градієнт земної

кори змінюється в горизонтальному і вертикальному напрямках залежно від особливостей геолого-структурних регіонів: величини теплового потоку, гідродинамічних умов і теплофізичних властивостей гірських порід. Теплова енергія Сонця в межах річної циклічності визначає тепловий стан невеликого поверхневого шару земної кори, що поширюється на глибину 20-30 м, де існує зона відносно постійних річних температур. Зміни температури в породах нижче перших двох-трьох десятків метрів проходить досить плавно.

Важливе значення для використання теплових ресурсів має поверхнєве геотермічне поле. Температура ґрунту є виключно важливим елементом ґрунтового клімату. Встановлено ряд закономірностей просторово-часової зміни температури ґрунту у зв'язку з тепловими властивостями різних ґрунтів, процесами теплообміну в них, рослинним покривом, рельєфом поверхні тощо. Теплові ресурси ґрунту залежать не тільки від кількості сонячної радіації, що приходить на денну поверхню, але й від теплових властивостей самих ґрунтів: їхньої теплопровідності, теплоємності і температуропровідності, які залежать від мінералогічного складу ґрунтів, їх вологості і пористості. Теплопровідність мінералів ґрунту в 100 разів (а ґрунтової води – в 24 рази) перевищує теплопровідність ґрунтового повітря. Теплопровідність ґрунтів залежатиме від того, чим будуть зайняті ґрунтові пори – повітрям чи водою. Суттєво впливає на теплопровідність ґрунтів їхній гранулометричний склад. Глинисті ґрунти мають малу теплопровідність, суглинисті і супіщані середню, а піщані – високу. В основному величина теплопровідності залежить від щільності ґрунту і вологості. Гумусовий горизонт ґрунтів володіє малою теплопровідністю, тому нагрівається більше, ніж нижні шари, які більш теплопровідні. Із збільшенням вологості нижніх шарів ґрунтів теплопровідність їх на глибині 150-160 см збільшується на 0,5% на кожні 5% вологості. Зміни теплопровідності ґрунтів протягом доби слідує за добовим ходом вологості ґрунтів. Максимальна теплопровідність ґрунтів спостерігається в період їх максимальної вологості – 6-7 година ранку. В цей час ґрунт швидко втрачає тепло. Протягом вегетаційного періоду теплопровідність ґрунтів змінюється відповідно до змін вологості.

Теплоємність ґрунтів також зумовлює процеси нагрівання і охолодження ґрунтів, визначаючи їх тепломісткість. Теплоємність виражається через об'ємну теплоємність, під якою мають на увазі кількість тепла в калоріях, необхідне для нагрівання 1 см³ ґрунту на 1⁰С. Величина теплоємності ґрунтів залежить від їхнього мінералогічного складу і вмісту вологи. Для більшості сухих ґрунтів величина об'ємної теплоємності коливається в дуже вузьких межах – від 0,17 до 0,20 кал/см³/град. Наприклад, теплоємність води становить 1 кал/см³/град. Найменшу об'ємну теплоємність при максимальній гігроскопічності мають дерново-буроземні ґрунти, найвищу – торфи. При повному насиченні ґрунту водою максимальні значення теплоємності характерні для торфів (0,93 кал/см³/град). Найменші величини об'ємної теплоємності властиві піщаним ґрунтам, яка при повній вологоємності для метрового шару ґрунту складає біля 0,67 кал/см³/град. Теплоємність, як і теплопровідність, має добовий хід, який слідує за добовими коливаннями вологості ґрунту. Вологі ґрунти холодніші від сухих. У межах ґрунтового профілю теплоємність збільшується з глибиною (для всіх ґрунтів) і на глибині 140-160 см коливається від 0,29 до 0,44 кал/см³/град.

Температуропровідність ґрунту характеризує зміни температури ґрунту в часі, а також з глибиною. Вона визначає швидкість поширення в ґрунті температурних змін при нагріванні та охолодженні. Найбільшою температуропровідністю відзначаються піщані і супіщані ґрунти, найменшою – суглинисті. Максимальні відмінності в температуропровідності для цих різновидів ґрунтів спостерігаються весною. До осені температура піщаних, супіщаних і суглинистих ґрунтів вирівнюється у зв'язку із вивільненням надлишків вологи шляхом випаровування та інфільтрації з ґрунтів

важкого гранулометричного складу через їхню високу теплоємність. Така залежність температури ґрунту від його гранулометричного складу характерна для всіх горизонтів ґрунтового профілю і в материнської породи.

Температура глибоких шарів ґрунтів (150-180 см) є однією з важливих їх термічних характеристик. Аналіз даних метеорологічних спостережень дозволяє відповідно до напрямку температурного градієнта виділити три періоди у річному циклі температури ґрунтів: період випромінювання (зима, рання весна, пізня осінь), період інсоляції (пізня весна, літо) і період вирівнювання температури ґрунту з глибиною (квітень, вересень).

Геотермальні системи та тепловий насос

Дані про теплове поле визначають доцільність використання відповідної геотермальної системи в кожному конкретному регіоні.

Температура всередині земної кори в невулканічних районах зростає переважно на 35-40 К (в залежності від регіону) з кожним кілометром глибини. Оскільки для економічно ефективного генерування струму необхідні температури понад 100 °С, тому з метою виробництва електроенергії слід передбачати свердловини глибиною 3000 – 6000 метрів. В такому випадку електростанція може працювати за системою Hot-Dry-Rock (HDR). До гарячих неводоносних горизонтів гірських порід, які залягають на великій глибині, пробурюються свердловини (рисунок 1). При цьому, як мінімум одна свердловина (зонд) передбачається для нагнітання води в підземелля, а інша – для відведення гарячої води із надр. Вода закачується під дуже високим тиском на глибину в породу, утворюючи у ній при цьому нові протоки, або розширюючи вже існуючі (виникає так званий резервуар). Таким чином, із природніх та штучних тріщин в породах утворюється геотермальний теплообмінник. Нагріта ж вода виводиться із глибинного теплообмінника на поверхню і подається до турбін, де і виробляється електричний струм. Після охолодження ця ж вода знову подається свердловиною до глибинного теплообмінника (резервуар).

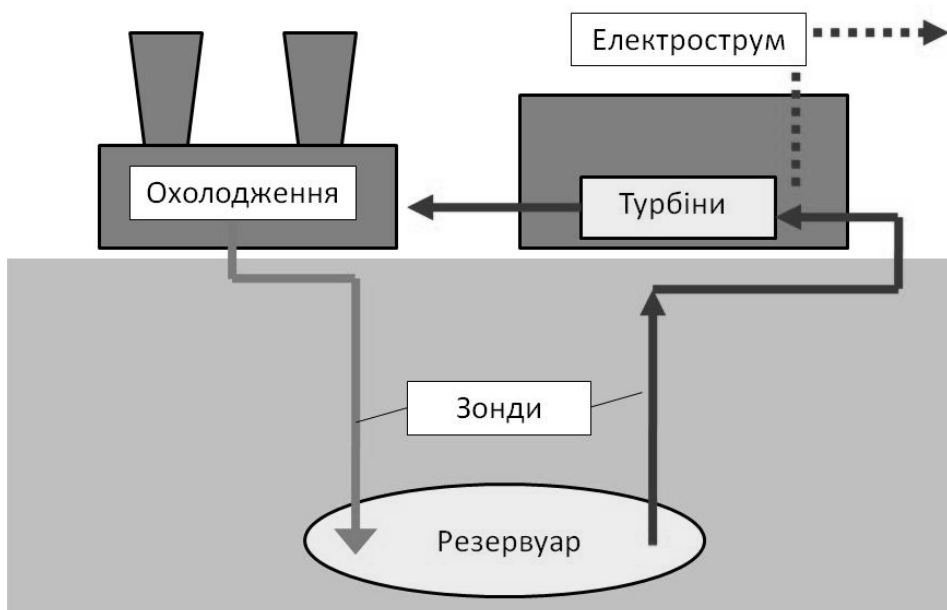


Рисунок 1: Принципова схема геотермальної електростанції.

Якщо глибинну геотермічну енергію можна безпосередньо використовувати для нагріву робочого тіла при виробленні електричного струму на геотермальних електростанціях, то енергія ґрунту потребує підвищення її температурного рівня навіть у випадку опалення будівель. Це завдання під силу тепловому насосові – тепловій машині, яка працює за оберненим до холодильної установки термодинамічним циклом (рисунок 2). Компресором K прокачує холодоагент через радіатор P та випаровувач B , які з'єднані відповідно з колом опалення та колом теплоносія. При цьому розширене після розширювального клапана PK робоче тіло відбирає тепло ґрунту у випаровувачі B і віддає його колу опалення в радіаторі P після стиснення компресором K .

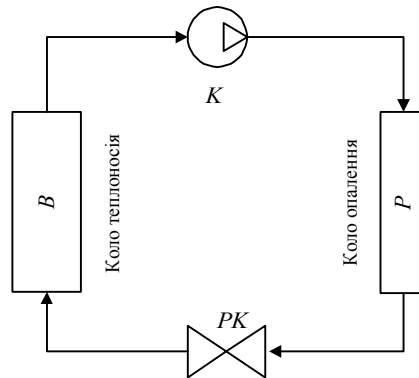


Рисунок 2: Принципова схема теплового насосу.

Приклад застосування теплового насосу для опалення будівлі проілюстровано на рисунку 3. Тепловий насос 2 під'єднаний з одного боку до системи опалення будинку (резервуар 3), а його випаровувач підключений до колектора (А) або до земляного зонда (В). Ефективність роботи такої системи залежить від досконалості конструкції і регулювання самого теплового насосу та від геологічних властивостей місцевості, на якій споруджено будівлю. Саме тому є досить важливим встановити можливість використання теплового насосу з огляду на особливості геології та теплового поля [2].

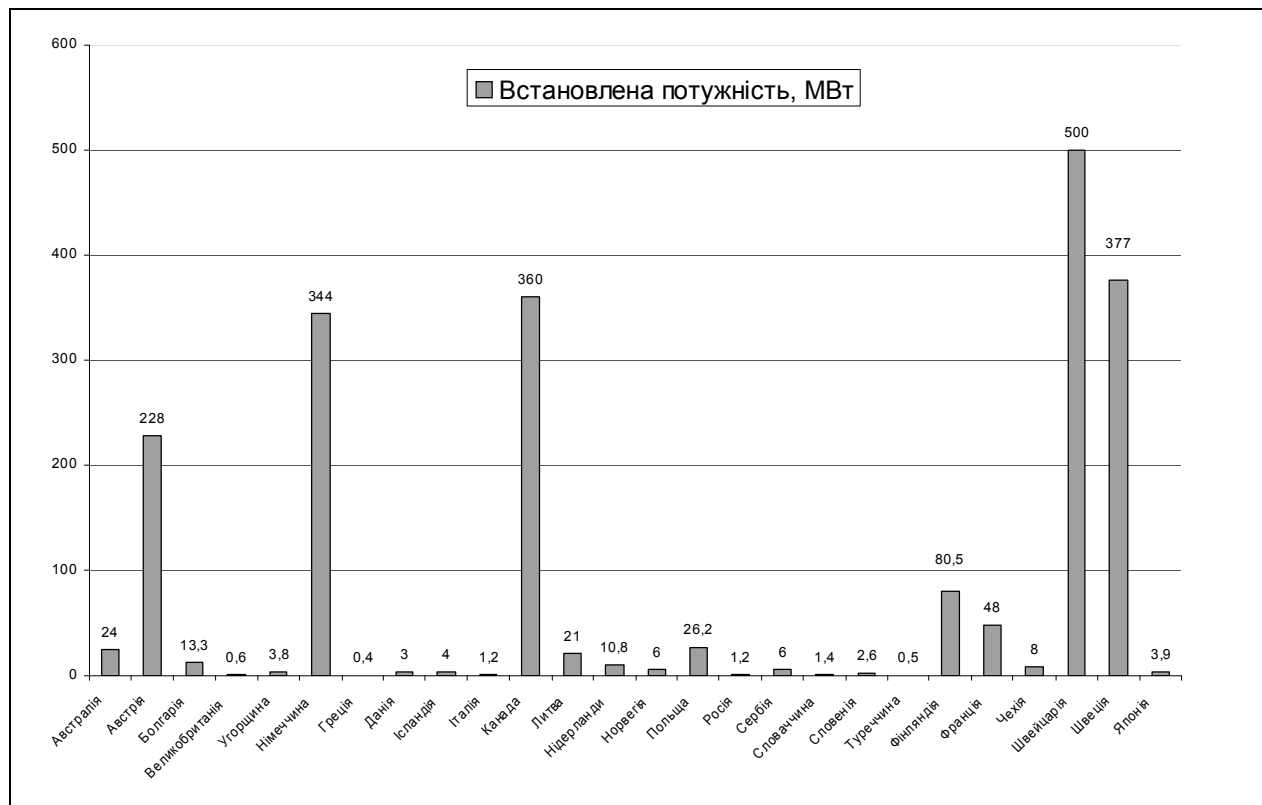


Рисунок 4: Поширення теплових насосів у світі в 2000-му році.

Найбільш яскраво прослідковується ця тенденція на прикладі Німеччини та Швейцарії (рисунок 5). У Швейцарії теплові насоси почали встановлюватися вже у 80-х роках минулого століття. На початок 2000-го року кількість встановлюваних за рік теплонасосів у Швейцарії перевищувала аналогічні дані в Німеччині. Ще до 2002-2004 року поширення теплових насосів у Німеччині проходило досить повільними темпами. Проте, вже починаючи з 2005-го року прослідковується стабільна тенденція до зростання кількості встановлених теплонасосів. Одним із вагомих факторів цього зростання є, звичайно, ціна традиційних енергоносіїв – нафти і газу, яка за останні роки інтенсивно зростала. Іншим суттєвим фактором є поступове зниження цін на теплонасосні установки. Технологія стає щораз доступнішою для масового споживача. Так, ще у 1982-му році вартість середнього теплового насосу у Швейцарії становила 41000 CHF, а вже у 2003-му році вартість теплонасосу такого ж класу становила 19060 CHF.

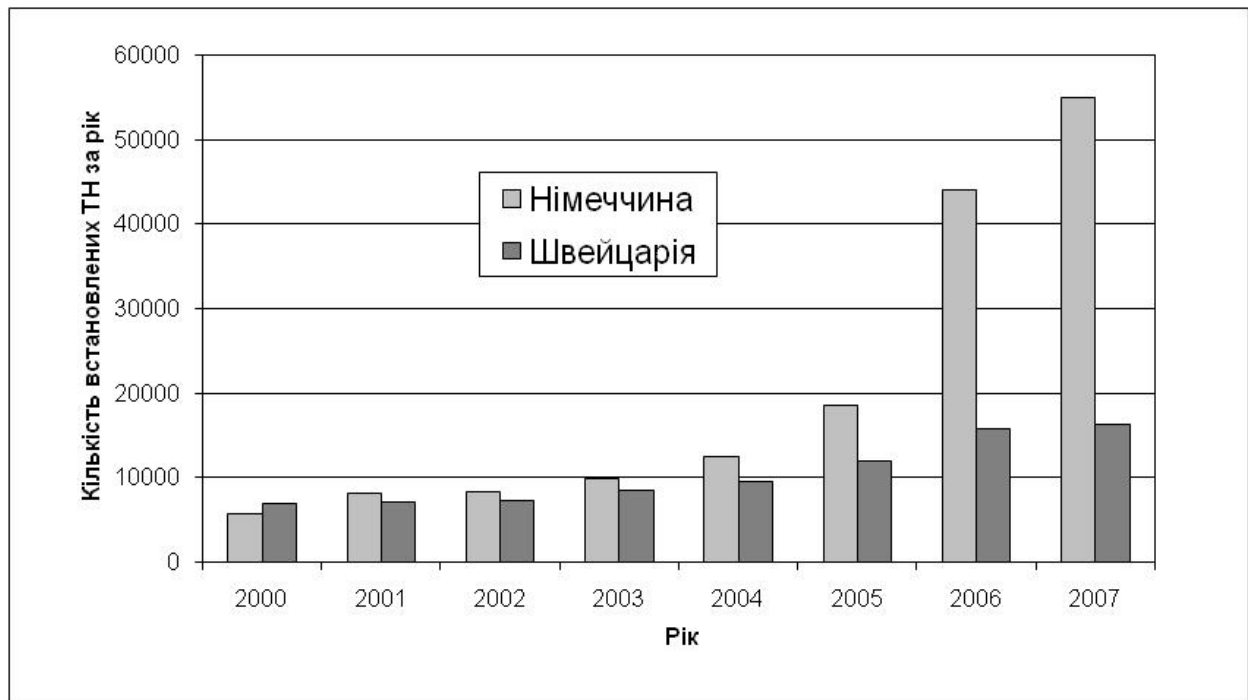


Рисунок 5: Ріст чисельності встановлених теплових насосів в Німеччині та Швейцарії [3].

На підставі досвіду цих держав, в рамках ЄС проводиться дослідження з метою забезпечення подальшого зростання кількості встановлених теплонасосів та геотермічних станцій. Європейська Рада з Геотермальної енергії (EGEC- European Geothermal Energy Council) передбачає, що вже починаючи з 2008-го року потужність встановлених опалювальних установок на базі геотермії зросте до 2030-го року у 8 разів. Потужність геотермічних електричних станцій має зрости з теперішніх 1 000 МВт до 30 000 МВт.

При цьому також передбачається здешевшення коштів на виробництво енергії. Це стосується як вартості одного кВт год. енергії для потреб опалення, так і ціни на 1 кВт год., виробленого на геотермальній електричній станції.

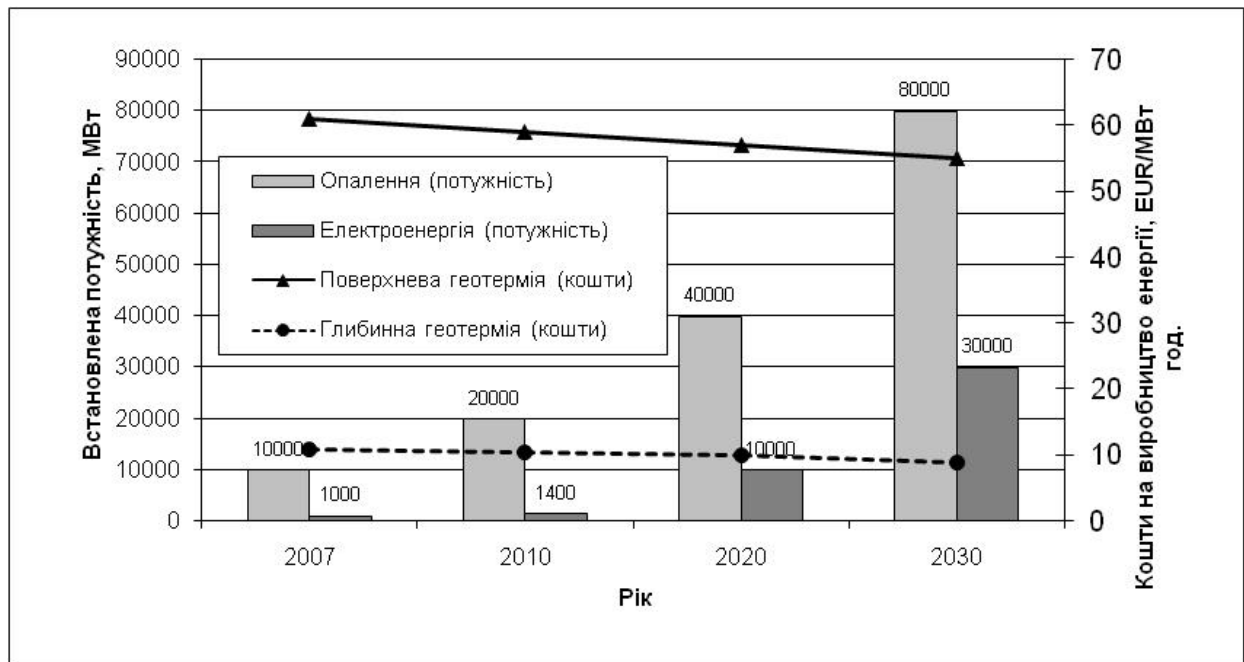


Рисунок 7: Прогноз використання геотермії в країнах Європи [3].

З огляду на перспективи використання геотермії, в багатьох державах світу на даний час інтенсивно збираються і готуються детальні дані щодо теплового поля. Насьогодні в США вже складені пакети докладних карт геотермічних ресурсів, які відображають відповідні параметри теплового поля. Такі карти дають інформацію про рівні температур для глибин 3,5 – 10 км з кроком в 1000 м, величини теплопровідності, ґрунтові температури, тощо. Ця інформація значно спрощує проектування майбутніх геотермальних станцій та полегшує процес розрахунку теплонасосних установок.

Теплове поле України

Виходячи із наведених вище фактів, докладне дослідження теплового поля України є вкрай необхідним на даний час.

В Україні закладено понад 12 тисяч свердловин для визначення теплового поля, більшість із яких детально вивчені та проаналізовані В. Гордієнком. В Україні використання геотермічної енергії поки що йде шляхом використання тільки термальних вод, приурочених переважно до районів давньої вулканічної діяльності (Вулканічні Карпати). Проте нечисленні родовища термальних вод в Україні характеризуються малою продуктивністю свердловин і низькою температурою термальних вод (переважно до 60 °C).

Величина геотермічного градієнта змінюється від 8-12 град/км в області Українського кристалічного щита, і до 100 град/км біля лавових вогнищ, або в ділянках розвантаження термальних вод в зоні головних тектонічних розломів. На більших глибинах температурний режим визначається глибинним потоком тепла і віковою геологічною циклічністю сонячної інсоляції. Нижче шару постійних температур остання підвищується з середнім градієнтом температури 3 °C на 100 м. Наявність температурного градієнта визначає існування глибинного теплового потоку, який передається теплопровідністю і направлений до поверхні Землі.

В межах України географія глибинного теплового потоку досить різна. На ділянці Українського кристалічного щита фонові величини теплового потоку складає 40-50 мВт/м². У межах щита спостерігаються також аномальні регіони, де величина теплового потоку підвищується до 50-60, а то й до 70 мВт/м². Переважно це тектонічно активні райони Приазовської височини на контакті з Південно-Українською монокліналю. В межах останньої фоновий тепловий потік досить високий – 50-60 мВт/м², а в окремих районах він підвищується до 60-70 мВт/м². Особливо значні теплові аномалії приурочені до субширотного тектонічного розлому вздовж Південно-Української монокліналі і Скіфської плити (п-ів Тарханкут-Перекоп). У межах Скіфської плити фонові значення глибинного теплового потоку високі – 60-70 мВт/м². Дуже високий тепловий потік можна простежити на заході Кримського півострова у районі оз. Саки – 70-80 мВт/м². Аномально високі значення цього показника на Керченському півострові, де активно розвивається поверхневий псевдовулканізм (грязеві вулкани).

Досить низьке глибинне теплове поле спостерігається в межах Дніпровсько-Донецькій (ДДЗ) западині з фоновими показниками 40-45 мВт/м². Активність теплового потоку ДДЗ зростає в контактній зоні Західного і Східного Донбасу (Кіровоград, Павлоград, Синельникове) (40-50 мВт/м²), а також в областях розвиненої сольової тектоніки (Полтавська область). Дуже високі показники теплового потоку фіксують у зоні поширення пізньопалеозойського кам'яновугільного басейну Донецького кряжу. В цьому районі фонові значення теплового потоку становлять 50-60 мВт/м², в той час як аномальні значення цього показника перевищують 70-80 мВт/м², а ізолінії високого теплового поля мають витягнуту форму вздовж основних вугільних масивів. У межах Волино-Подільської плити розподіл теплового потоку в основному рівномірний (40-50 мВт/м²) з незначними відхиленнями в прикарпатській частині Львівського тектонічного прогину (60-70 мВт/м²). Карта глибинного теплового потоку Передкарпатського прогину майже повторює особливості розподілу теплового потоку в межах плити, але з дещо вищими аномаліями на контакті Скибової зони і Горганського хребта, а також в районі Вулканічних Карпат (70-80 мВт/м²).

Найвищі значення глибинного теплового потоку України спостерігаються в межах Закарпатського прогину з фоновими показниками 80-100 мВт/м² й аномальними проявами в 100-120 мВт/м², що зумовлено відносно недавньою активною вулканічною діяльністю. Таким чином, у межах України спостерігається закономірний регіональний розподіл щільності геотермічних ресурсів з високими значеннями в межах Південно-Української монокліналі (південь Одеської, Миколаївської, Херсонської, Запорізької областей), Кримського півострова, Дніпровсько-Донецького вугільного басейну, Волино-Подільської плити, і особливо високим тепловим полем Закарпатського прогину. Визначені регіони характеризуються підвищеним тепловим полем і на відносно незначних глибинах від земної поверхні (150-200 м).

Знання вищеописаних властивостей ґрунтів у просторовому вимірі дозволяє чітко представляти собі картину поверхневого теплового поля України.

Вплив гранулометричного складу на температуру ґрунтів найяскравіше проявляється у межах Волинського і Малого Полісся, яким притаманна висока строкатість ґрунтового покриву за гранулометричним складом. На Поділлі, де ґрунти суглинисті і глинисті, основною властивістю, що визначає температуру ґрунтів, є їх вологість. Восени і взимку ґрунти з високим вмістом вологи є найтеплішими.

Найтеплішими ґрунтами у межах Західного регіону України є ґрунти Закарпаття. Температура глибоких шарів ґрунтів під трав'янистим настилом коливається у залежності від властивостей ґрунтів і їх вологості. У піщаних дерново-підзолистих ґрунтах Полісся весняний перехід температури ґрунтів через +5⁰С на глибині 50 см

здійснюється на 8-10 днів раніше (внаслідок більшої сухості їх відносно суглинистих ґрунтів) ніж на чорноземах Подільської височини. Ця ж тенденція спостерігається і в нижніх горизонтах, але з глибиною відмінності зменшуються, складаючи в шарі 150-160 см біля 3-5 днів. Восени найбільш ранній перехід температури ґрунту через $+5^{\circ}\text{C}$ фіксують на сухіших ґрунтах, найпізніший – на найвологіших. Різниця між сухими і вологими ґрунтами в даті переходу температури становить 10-14 днів на глибині 20 см, збільшуючись до 20-40 днів на глибині 160 см, що пояснюється високими теплозапасами зволжених осінню ґрунтів.

Ґрунти Закарпатської низовини суттєво відрізняються за показниками переходу температури ґрунтів від решти територій Західного регіону України. На Закарпатті перехід температури через $+5^{\circ}\text{C}$ починається на 10 днів раніше і закінчується на 20-25 днів пізніше, ніж на Прикарпатті. З глибиною ця різниця ще більше зростає (тепліший і вологіший клімат). Так у Берегові температура $+20^{\circ}\text{C}$ на глибині 80 см тримається з кінця червня по серпень включно, а температура 10°C на глибині 140-200 см зберігається з травня по листопад. В ґрунтах інших областей Західного регіону України середньодобова температура ґрунтів у $+20^{\circ}\text{C}$ взагалі не фіксується (крім Полісся з тривалістю менше 1 місяця), тоді як температура $+10^{\circ}\text{C}$ на глибині 160-200 см утримується на 2-3 місяці менше. Суми активних температур $> +10^{\circ}\text{C}$ на глибині 160 см найвищі в ґрунтах Закарпатської низовини ($2700-3250^{\circ}\text{C}$), зменшуючись в напрямку Передкарпаття (2400°C), Поділля (2300°C) і Полісся (2100°C).

Поверхнєве і глибинне теплове поле України визначається цілим комплексом чинників і явищ позаземного і внутрішньо-земного походження, відзначається чіткими регіональними особливостями і характером вияву. Вирішення проблеми використання тепла Землі пов'язане з багатьма труднощами, однією з яких є дуже мала питома величина теплового потоку, віднесена до одиниці поверхні Землі за одиницю часу. Щоб використати тепловий потік, потрібні методи і способи його концентрації та передачі в місце використання.

Висновки

Отже, з точки зору геології в Україні склалися всі передумови для використання теплонасосної технології. У технічному плані, з огляду на розвиток науки і техніки в Україні, теж не може бути якихось обмежень у застосуванні цієї технології.

Відсутність достатньої проінформованості широких мас населення України щодо геотермії ускладнює поширення цих технологій в державі.

Література

1. www.unendlich-viel-energie.de
2. www.teplonasos.com.ua
3. Research Agenda for Geothermal Energy, Strategy 2008 to 2030. Proposals – draft^o1 v.02/10/2008. EGEC- European Geothermal Energy Council
4. The Future of Geothermal Energy, Impact of Enhanced geothermal Systems (EGS) on the United States in the 21st Century, Massachusetts Institute of Technology, 2006
5. Ким М. Г. Количественная оценка климата почв западных регионов Украины // Вестник Львовского университета. Серия географическая. Вып. 14, 1984.