

Наука — виробництву

УДК 550.341

ПРОБЛЕМА ВИКОРИСТАННЯ ГІДРОТЕРМАЛЬНОЇ ЕНЕРГІЇ ЗЕМЛІ ЯК АЛЬТЕРНАТИВИ ВУГЛЕВОДНЕВИМ ДЖЕРЕЛАМ ЕНЕРГОНОСІВ В УКРАЇНІ

О.О.Орлов, В.Г.Омельченко

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 40155

e-mail: ovg eo@n ung. edu. ua

Коротко описуються геотермічні критерії, якими характеризується тепловий режим Землі. Наводиться інформація про заміряні температури в свердловинах по всій території України, яка зіставляється з розподілом інтенсивності теплового потоку Землі на території України. Розглядаються методи використання петротермальної і гідротермальної енергії в адміністративних областях України.

Ключові слова: земля, геотермічні критерії, тепловий режим, гідротермальна енергія.

Кратко рассматриваются геотермические критерии, характеризующие тепловой режим Земли. Приводится информация о замерах температур в скважинах по всей территории Украины, которые сопоставляются с данными о распределении интенсивности теплового потока Земли на территории Украины. Рассматриваются методы использования петротермальной и гидротермальной энергии в административных областях Украины.

Ключевые слова: земля, геотермические критерии, тепловой режим, гидротермальная энергия.

Geothermal criteria characteristic to the thermal conditions of the Earth are shortly described. Given are the data about measured temperatures within the boreholes on the whole territory of Ukraine which are compared with the distribution of the rate of the Earth heat flux on the territory Ukraine. The methods of petrothermal and hydrothermal power application in the administrative regions of Ukraine are considered.

Keywords: Earth, geothermal criteria, rate, hydrothermal power.

Поверхневі джерела термальних вод, а також пластові термальні води, що залягають в осадовій оболонці земної кори, використовувалися людством ще до початку нашої ери. Відомо, що термальні води із джерел і колодязів застосовувалися в давньому Римі для обігрівання штучних басейнів і лазень вельможних патриціїв. І у наш час у деяких областях Італії використовують термальні пластові води в побутових і, навіть, промислових цілях, яскравим прикладом чого може бути експлуатація родовища високотемпературних вод Лардерелло в області Тоскано, де ще в минулому столітті видобували пару, на якій працювала побудована електростанція потужністю 200 тис. кВт на рік. У Каліфорнії (США) в районі розвитку гейзерів споруджені електрогенератори виробляють електроенергію сумарною потужністю понад 400 тис. кВт на рік. Можна навести також приклади промислового використання енергії термальних вод у Новій Зеландії та в інших країнах.

Не зважаючи на те, що Україна володіє значним енергетичним потенціалом підземних термальних вод, про що свідчать прямі заміри

температур у пробурених свердловинах в усіх трьох нафтогазоносних регіонах (Західному, Східному і Південному) проблема використання гідротермальних ресурсів як першочергове завдання тут до даного часу не розглядається. Замість серйозного вирішення вказаної проблеми державні чиновники радять обігрівати житлові та службові будівлі шляхом спалювання соломи, деревинних відходів (стружки, із якої виробляють чудовий будівельний матеріал - плити ДСП) та, навіть, деревини. Так, наприклад, у місті Івано-Франківську на початку опалювального сезону 2009-2010 року перед телекамерою для державного чиновника спалили зібрану із наколишніх населених пунктів солому і деревинну стружку в такій кількості, що потім цілий місяць у магазинах не було в продажі ДСП. Не можна також переводити опалення будинків і, особливо промислових будівель, на вугілля. Ми живемо у ХХІ, а не у ХVІІІ столітті, коли в Україні можна було зустріти спорадично тільки кузні та дуже малі (що тільки виникали) індустріальні установи, які спалювали вугілля в дуже малому об'ємі, що на той час ще не могло значною мірою за-

бруднювати атмосферу. До речі, вугілля є дуже цінною сировиною для багатьох галузей промисловості.

Одним із перспективних екологічно чистих і вигідних енергетичних джерел, альтернативних вуглеводневому і вугільному паливу в Україні є, безумовно, теплова енергія термальних вод.

Ще наприкінці ХІІІ століття геологами було встановлено, що температура в надрах осадової оболонки Землі з глибиною зростає і залежить від геологічної будови району. Для того, щоб оцінити зростання температури, були введені поняття "геотермічного ступеня" і "геотермічного градієнта". Геотермічний ступінь (G) – це віддаль по вертикалі в метрах, що відповідає збільшенню температури на 1°C . Геотермічний ступінь на глибині (H) визначається за формулою:

$$G = (H - h) / (T - t),$$

де: h – товщина поверхневого шару (в метрах), нижче якого температура з глибиною закономірно зростає, t – середньорічна температура у певному районі або області. Середнє значення геотермічного ступеня в земній корі у світі дорівнює 33 м на 1°C . Геотермічний градієнт – це величина обернена до геотермічного ступеня, тобто це – кількісне значення температури в градусах за Цельсієм, що змінюється на 100 м зміни глибини. В середньому у світі геотермічний градієнт дорівнює $3,33^{\circ}\text{C}$ на 100 м.

За даними геотермічних досліджень не можна вважати, що температура (як це спостерігається з глибиною у верхніх шарах земної кори) так само зростає і в її нижніх шарах, а також у глибинних оболонках планети. Наведемо такі розрахунки [12]. Радіус Землі вздовж великої осі дорівнює 6377397 м. Якщо вважати, що збільшення температури відбувається закономірно однаково по всьому радіусу Землі згідно закономірності збільшення G , то в центрі земної кулі температура мала б бути 193254°C . Це неможливо, адже земна куля не витримала б такої температури і перетворилася на газоподібну речовину. Відомо, що навіть на поверхні Сонця, згідно з астрофізичними дослідженнями, температура не перевищує 900°C . Закономірне збільшення температури, відповідно геотермічного ступеня, пов'язане з радіоактивним шаром Землі, товщина якого дорівнює, згідно з дослідженнями В.Г.Хлопіна 91км [19]. Вважається, що геотермічний ступінь нижче сіалічної оболонки різко збільшується і температура в напрямку до центру Землі, починаючи з покривлі сімачної оболонки, підвищується дуже повільно і в центрі Землі не повинна перевищувати $2000-4000^{\circ}\text{C}$. За В.О. Магницьким, на глибині 100 км температура дорівнює приблизно 1300°C . Тому вважається, що геотермічний ступінь, встановлена для верхніх шарів земної кори, зберігається до глибини близько 20 км. Нижче збільшення температури сповільнюється [17, 19].

У верхніх шарах земної кори встановлена наявність занижених значень геотермічного ступеня по відношенню до середньої її величи-

ни по світу в межах міжгірських і передгірських прогинів, де гірські породи знаходяться в умовах тектонічних напружень (геотермічний градієнт відповідно збільшується). Те саме спостерігається в районах розвитку магматичних і вулканічних процесів. В межах стабільних платформ і, особливо, на щитах геотермічний ступінь збільшується, а геотермічний градієнт зменшується (за даними Д.І.Дьяконова - до $0,9-0,6^{\circ}\text{C}$ на 100м).

Що стосується природи тепла Землі, то щодо цієї проблеми існує багато теорій і гіпотез. Але з впевненістю можна сказати, що походження тепла Землі пов'язане як з екзогенними, так і з ендегенними процесами. Насамперед, слід зазначити, що Земля постійно одержує теплову енергію від Сонця, яка за межами земної атмосфери оцінюється у $2 \text{ кал}/60 \text{ сек}$ на $0,01 \text{ м}^2$ [3]. Одна частина цієї енергії відбивається, а інша - поглинається атмосферою, ґрунтом та поверхневими, не глибоко зануреними шарами корінних порід осадової оболонки Землі, а також поверхневими водами, частина яких може мігрувати у низ тектонічними розломами, де відбувається їх каптаж у підґрунтових пластах з аномально низькими пластовими тисками, які ми називаємо п'єзомінімумами. Існує також астрономічна гіпотеза про виділення тепла в космосі за рахунок ущільнення небесних тіл і взаємопритягання космічних матеріальних частинок, що також обумовлює поступлення певної кількості тепла на Землю [3]. Має право на існування також гіпотеза, за якою природа теплових процесів у надрах Землі пов'язана з поступовим її застиганням [1, 21]. Крім того, значна кількість авторів достатньо обґрунтовано вважає, що в земній корі відбувається розігрівання гірських порід за рахунок складкоутворюючих процесів, а також в результаті рухів великих блоків гірських порід у різних напрямках (фрикційний ефект) за яких механічна енергія переходить у теплову [10,16]. Крім вказаного на даний час одержано результати наукових досліджень осадової оболонки земної кори, які свідчать про суттєву роль магматичних процесів і вулканізму, а також впливу їх на фізико-хімічне перетворення гірських порід, за яких виділяється тепло. Впливають і висхідні рухи гарячих ювенільних вод по тектонічних розломах та сублатеральних переміщеннях пластових вод у проникних товщах осадової оболонки Землі, за яких розігріваються вищезалігаючі товщі гірських порід.

Але на даний час більшість вчених в галузі геотермії надають перевагу у вивченні проблеми походження тепла Землі постійно діючим радіоактивним процесам, які є головними причинами теплових потоків Землі. Астрогеологи приділяють також велику увагу гравітаційним конвекційним потокам (переміщенням) мантійної речовини у підкорових оболонках Землі [1].

Головними фізичними критеріями, що характеризують теплові процеси в надрах Землі і застосовуються при розрахунках, окрім розглянутих вище геотермічного ступеня та геотермічного градієнта, є температура гірських порід,

теплота (тепловий потік), теплоємність і теплопровідність. Температура вимірюється за шкалою Цельсія, вихідними значеннями якої є 0°C і 100°C , що відповідають точкам замерзання і кипіння прісної води. Початкова позначка температури, що відповідає мінімальному її значенню, нижче якої вона опуститися не може та котра Кельвіном названа "абсолютним нулем" (0°K), дорівнює мінус $273,15^{\circ}\text{C}$. Теплота (тепловий потік) Землі вимірюється в калоріях. Одна калорія – це кількість теплоти, необхідна для нагрівання $0,001$ кг прісної води на 1°C (прийнято від $14,5^{\circ}\text{C}$ до $15,5^{\circ}\text{C}$). У практичних розрахунках частіше застосовують "велику" калорію (ккал), що дорівнює 1000 калорій.

Теплоємність того чи іншого матеріального тіла дорівнює кількості теплоти, що необхідна для збільшення його температури на 1°C . Наприклад, теплоємність граніту дорівнює $0,155$ кал., вапняку - від $0,16$ до $0,23$ кал., пісковиків - від $0,19$ до $0,22$ кал. Питому теплоємність одержують із добутку величини теплоємності матеріального тіла на величину її густини [3]. Теплопровідність матеріального тіла - це властивість передавати теплову енергію без переміщення тіла і без променевого теплообміну. В металічних кристалах механізмом теплопровідності є передавання енергії електронами в матеріальних тілах, а якщо тіла володіють властивостями діелектриків, то теплопровідність, в основному, пов'язана з енергією коливань зв'язаних вузлів молекулярної ґратки тіла. Теплопровідність, як правило, виражається в позасистемних одиницях $\{\text{кал/сек}\cdot\text{см}^2 \times \text{температурний градієнт } (^{\circ}\text{C/см}), \text{ або ккал/год} \times \text{м}^2 \times \text{температурний градієнт } (^{\circ}\text{C/м})\}$ [20].

Передавання теплоти в Землі здійснюється трьома головними способами:

- контактним (кондуктивним) шляхом, коли передавання теплоти проходить від більш нагрітої до менш нагрітої матеріальної частинки;
- механічним (конвективним), шляхом переміщення нагрітих матеріальних частинок газу або рідини;
- променевим теплообміном, електромагнітним опромінюванням матеріальних тіл, яке проявляється при їх порівняно значному нагріванні. Наприклад, при нагріванні певних силікатних гірських порід до $200\text{-}300^{\circ}\text{C}$ променевий теплообмін в осадовій оболонці земної кори відіграє не меншу роль, ніж кондуктивне перенесення теплоти. Для малих температур ефект променевого теплообміну проявляється тільки в умовах вакууму [3].

Гідротермальні води зосереджені в гірських породах, що володіють колекторськими властивостями (піски, пісковики, органогенні вапняки, тріщинуваті хемогенні вапняки і доломіти). Їх накопичення (поклади і родовища) формуються в пастках різного типу (пластових склепінних, пластових тектонічно екранованих, літологічно обмежених, стратиграфічно обмежених та інших). Значну роль у формуванні, і, особливо, збереженні в них тепла, відіграють покришки з низькими значеннями питомої теплопровідності. За Ж. Гогелемю [3] питома теп-

лопровідність гірських порід (n) складає ($n \cdot 10^{-3}$ кал/сек $\cdot\text{см}^2$ за температурного градієнту в 1°C/см): крейда – $2,2$; сланець (метаморфізований аргіліт) – $2,0\text{-}4,0$; граніт – $5,7$; вапняк – $5,0\text{-}7,0$, мармур – $7,5$; доломіт – $10,0$; дуніт – $12,0$; кварцит – $13,0$; кам'яна сіль (галіт) – $27,0$.

При тектонічному порушенні порід покришок в рухомих зонах Землі, у випадку їх малої товщини і малих глибин залягання природних резервуарів, насичених термальними водами, формуються гейзери, тобто виходи термальних вод (часто мінералізованих) на денну поверхню.

При високій аномальності тиску висота гейзерових фонтанів може сягати понад 5 метрів. Із гейзерових вод дуже часто відкладається мінеральна речовина, в результаті чого на поверхні формуються екзотичні форми евапоритів. З часом гейзери, після втрати своєї пластової енергії, можуть "згасати". Якщо у водоносний пласт гейзера тектонічними розривами здійснюється надходження гарячих вод із залягаючих нижче флюїдоносних шарів або здійснюється підтікання гарячих вод за рахунок надходження вод із залягаючих нижче ділянок пласта водонапірної системи, то гейзери перебувають у "робочому стані" дуже довгий час. Нам довелося спостерігати такі геологічні феномени в горах Атласу, в районі міста Хамман-Маскутин (Алжир), де із мінералізованих вод існуючих в минулому гейзерів відкладалися евапорити у вигляді конусів висотою $1\text{-}2$ метри. Форма їх подібна до копиці складеного сіна у сільських районах Передкарпаття (рис. 1), а на схилах горбів у рельєфі місцевості екзотичних натічних форм із кальцитового матеріалу (CaCO_3) – (рис. 2). Гейзери (як діючі, так і "затухлі"), природа яких пов'язана з гідротермальними водами, відомі в Росії (п-в Камчатка), США (Іеллоустонський парк), Ісландії, Новій Зеландії.

Розглянемо температурні умови розкритих свердловинами відкладів осадової оболонки Землі і насичуючих їх флюїдів на території України.

Найбільш сприятливі температурні умови в осадових відкладах існують на заході України в Закарпатському прогині, а також на півдні України на Скіфській плиті та в Індольському прогині, де середні значення геотермічного ступеня знижуються відповідно до $17,5\text{ м/}1^{\circ}\text{C}$ (Русько-Комарівське газове родовище) і до $15,3\text{ м/}1^{\circ}\text{C}$ (Глібівське газове родовище). Геотермічні градієнти в цих родовищах відповідно збільшуються до $4,76^{\circ}\text{C}$ і $4,17^{\circ}\text{C}$ на 100 м . В порівнянні з середнім значенням геотермічних характеристик по світу у вказаних регіонах України температурні умови можуть вважатися аномальними. Дані про середньорічні температури повітря (t), товщини шару з постійною температурою ($h_{\text{ном}}$) і розраховані геотермічні ступені для всіх нафтогазоносних регіонів України наводяться в таблиці 1. Методика визначення аномальності температурних умов наводиться в [11, 13].



Рисунок 1 – Евапорити, що утворились від гейзерів на околиці міста Гюельма Маскутін (фото О.О.Орлова [14])



Рисунок 2 – Екзотичні евапоритові натічні форми [14]

Таблиця 1 – Температури і геотермічні ступені у природних резервуарах в нафтогазоносних областях України (за О.О.Орловим [1980, 1982, 2009])

Родовище, площа	Глибина Н, м	Заміряна температура в пласті, °С на глибині Н	Геотермічний ступінь на глибинах Н	Коефіцієнт аномальності початкового пластового тиску, K_a
1	2	3	4	5
п. 1.1 Закарпатський прогин				
Русько-Комарівське (газове)	1019	68,0	17,5	1,15
-//-	1663	94,0	19,8	1,20
Станівське (газове)	300	37,0	17,5	1,21
Королівське (газове)	710	48,0	18,7	1,07
Солотвинське (газове)	1340	49,0	34,3	1,09
-//-	1530	55,0	33,9	1,11
Дібровське (газове)	1492	91	18,4	1,14
Мартівське (CO ₂)	600	38	21,2	1,00
-//-	900	50	22,5	1,00

Продовження таблиці 1

1	2	3	4	5
Грушевська площа	1000	52	23,7	1,00
-//-	3170	124	27,8	1,04
Буштинська площа	450	33	19,4	1,38
-//-	1530	102	16,6	1,14
Тереблянська площа	500	28,7	26,7	1,2
-//-	1000	59,3	20,3	1,2
Середнє значення геотермічного ступеня у межах досліджуваних глибин становить для Закарпатського прогину 22,5 м на 1°C за $h_{\text{пост}}=3$ м і $t = 10^\circ\text{C}$				
п. 1.2 Внутрішня зона Передкарпатського прогину і Скибової зони Карпат				
Старо-Самбірське	3460	89	43,2	1,34
Бориславське	2350	64	42,7	1,37
Орів-Уличнянське	3767	93	43,8	1,15
Стинявське	3785	102	40,7	1,08
Північно-Долинське	3255	80	43,1	1,04
Долинське	2303	66	40,4	1,27
Долинське	3204	76	47,8	1,18
Космацьке	2950	86	38,3	1,23
Росільнянське	3002	75	45,4	1,3
Гвіздецьке	1457	38,85	48,7	1,9
-//-	1690	41,85	51,4	1,8
-//-	1919	46,85	51	1,7
-//-	1985,5	47,5	51,5	2,02
Пнівське	2390	57	49,7	—
Битківське	2475	48	63,3	1,12
площа Луги, св.№1	3000	78	43,4	—
площа Луги, св.№1	4000	100	43,9	—
площа Луги, св.№1	5000	120	45,0	1,72
площа Луги, св.№1	6000	140	45,7	1,61
Пл. Шевченково, св.№1	4000	102	42,0	1,48
-//-	5000	121	43,8	1,50
-//-	6000	140	45,8	1,55
-//-	7000	140	26,5	1,55
Середнє значення геотермічного ступеня у межах досліджуваних глибин становить для Внутрішньої зони прогину і Скибової зони Карпат 42,2 м на 1°C за $h_{\text{пост}} = 3$ м і $t = 9^\circ\text{C}$				
п. 1.3 Зовнішня зона Передкарпатського прогину				
Залужанське	2075,5	65	37	1,08
Пинянське	2058	64	37,4	1,17
Садковицьке	1345	37	47,9	0,87
Кавське	851	33	35,3	0,9
Мединицьке	1393	59	27,8	0,98
Більче-Волицьке	1116	42,7	33	0,95
Угерське	1091	39	36,3	0,93
Косівське	792	26	46,4	0,90
Ковалівсько-Черешенське	2025	66	35,5	0,91
Великомостівська площа	2394	60	46,9	1,04
Середнє значення геотермічного ступеня у межах досліджуваних глибин становить для Зовнішньої зони 38,4 м на 1°C за $h_{\text{пост}} = 3$ м і $t = 9^\circ\text{C}$				

Продовження таблиці 1

1	2	3	4	5
п. 1.4 Львівський палеозойський прогин Волино-Подільської плити				
Великомостівське	2330	60	45,6	1,04
Локачівське	815	23	40,3	1,04
-//-	860	27	45,1	1,10
-//-	910	29	45,4	1,05
Середнє значення геотермічного ступеня у межах досліджуваних глибин становить для Львівського палеозойського прогину Волино-Подільської плити 44,1 м на 1°C за $h_{ном} = 3$ м і $t = 9$ °C				
п. 1.5 Дніпровсько-Донецька западина				
Монастирищенське	3355	97	37,6	1,10
Прилуцьке	1602	63	29,1	1,16
Мільковське	3000	89	36,9	1,03
Лесяківське	1850	48	46,1	1,02
Богданівське	2495	85	31,9	1,09
Гнідинцівське	1730	45	46,6	1,02
Великобубнівське	3105	95	35,6	1,02
Чижівське	3750	105	38,6	1,07
Глинсько-Розбишівське	3748	101	40,2	1,13
Новотроїцьке	3400	87	42,9	1,04
Чорнухинське	2957	84	38,8	1,00
Рибальське	3384	91	40,7	1,17
Малосорочинське	2257	79	31,7	1,06
Потічанське	1720	59	33,6	1,03
Лиманське	1700	54	36,8	1,00
Зачепилівське	1350	36	48,0	1,10
Машівське	4060	108	40,5	1,11
Опішнянське	3695	101	39,6	1,22
Солохівське	3120	88	38,9	1,20
Новогригорівське	2000	70	32,1	1,00
Перещепинське	2640	75	39,3	1,02
Східно-Новоселівське	1922	53	42,6	1,01
Миколаївське	2693	94	32,7	1,02
Західно-Соснівське	3676	78	52,4	1,07
Шебелинське	2430	64	43,3	1,15
Мирлобівське	2420	73	37,1	1,04
Голубівське	984	31	42,6	1,05
Левенцівське	750	30	33,9	1,02
Західно-Хрестищенське	3400	76	49,9	1,18
Мелехівське	3100	72	45,5	1,19
Верхньоланнівське	3400	74	51,4	1,18
Західномедведицьке	3190	75	47,5	1,26
Кременівське	2215	64	39,4	1,10
Волохівське	3060	83	40,7	1,02
Краснопопівське	2311	92	27,4	—
Борівське	1510	55	35,0	1,02
Вергунське	1165	35	43,0	1,05
Вільхівське	1669	57	33,9	1,05
Середнє значення геотермічного ступеня у межах досліджуваних глибин становить для ДДЗ 39,5 м на 1°C за $h_{ном} = 4$ м і $t = 8$ °C				

Продовження таблиці 1

1	2	3	4	5
п. 1.6 Скіфська плита (Крим) і Індольський прогин (Керченський півострів)				
Чорноморське (Скіф. плита)	2144	108	21,9	0,51
Карлавське -//-	3342	131	27,6	0,99
Краснополянське -//-	1096	61	21,6	1,00
Західно-Октябрське -//-	3380	107	34,9	1,19
Октябрське -//-	2709	95	31,9	1,10
Міжводненська пл. -//-	225	25	15,3	0,84
Кіровське -//-	987	67	17,4	0,94
Глібівське -//-	918	60,25	15,3	1,19
-//- -//-	1090	63,5	20,5	1,00
Джанкойське -//-	545,5	36	21,2	1,14
Стрілкове -//-	475	28	26,8	0,99
Мошкарівське (Ін-дол. прогин)	1767	80	23,7	1,52
Куйбишевське -//-	2133	95	25,2	1,88
Малобабченське -//-	272	20,8	25,4	—
Середнє значення геотермічного ступеня у межах досліджуваних глибин становить для Північного Криму і Керченського півострова 23.5 м на 1°C за $h_{\text{пост}} = 2$ м і $t = 10.4^\circ\text{C}$				
п. 1.7 Передобрудзький прогин				
Східно-Саратське	2630	-	-	1,0
Жовтоярське	3100	78	45.5	1,1
Середнє значення геотермічного ступеня у межах досліджуваних глибин становить для Передобрудзького прогину 22.8 м на 1°C за $h_{\text{пост}} = 3$ м і $t = 10^\circ\text{C}$				

Як видно із таблиці 1 (п.1.1), у Закарпатському прогині найбільш високі температури в пробурених свердловинах зафіксовані у розрізах Русько-Комарівського газового родовища (Мукачівська западина) та Королівського і Дібрівського газових родовищ (Солотвинська западина).

Температурні умови в Закарпатському прогині ймовірно пов'язані з проявами в недавньому геологічному минулому магматичних і вулканічних процесів. У надрах Закарпатського прогину мало місце застигання магматичних інтрузивних тіл порід, що спостерігається в неоген-палеогенових відкладах розрізу Русько-Комарівського родовища газу [6]. Крім цього, в Закарпатському прогині відклалися в неогеновий час вулканогенні осади, представлені дацитовими і ріоліт-дацитовими туфами та туфитами, які сприяють збереженню високих температур та аномальності пластових тисків у деяких природних резервуарах. Подібну роль в неогенових відкладах Закарпатського прогину відіграють, ймовірно, і відклади солі.

За дослідженнями Р.І.Кутаса [7, 8, 9] і узагальнених даних Ю.З.Крупського в Закарпатському прогині тепловий потік є максимальним в Карпатському регіоні, де він перевищує величину 2 Мккал/0,01м²·сек, в той час, як у складчастих Карпатах він зменшується до 1,2 Мккал/0,01м²·сек. Подібні значення теплового потоку існують в Словенській, Панонській і Трансільванській западинах [6].

На карті теплового поля України, складеної В.В.Гордієнко (рис.3 [4]), інтенсивність те-

плогового потоку в Закарпатській западині в західному напрямку від міста Ужгород сягає понад 90 МВт/м². У східному напрямку від Закарпатської западини інтенсивність теплового потоку поступово зменшується, і в зоні Кросно, Скибовій зоні Карпат та у Внутрішній зоні Передкарпатського прогину величини інтенсивності теплового потоку коливаються в межах 50-70 МВт/м², сягаючи максимальних величин на ділянці Мармарошського масиву в районі міста Рахів, та на не великій ділянці в північно-західній частині зони Кросно і в районах міст Львів та Чернівці (60-70 МВт/м²), а також в районі с. Великі Мости Львівського палеозойського прогину Волино-Подільської плити (50-60 МВт/м²).

Заміряні початкові пластові тиски в свердловинах Закарпатського прогину (див. табл. 1, п.1.1) як правило є підвищеними. Максимальні коефіцієнти аномальності початкового пластового тиску (Ка) становлять 1.20 (Русько-Комарівське родовище, глибина 1663 м); 1.21 (Станівське родовище, глибина 300 м); 1.38 (Буштинська площа, глибина 450 м). На нашу думку, це може бути обумовлено тут не тільки тектонічними причинами, але і діючими тепловими потоками. Підвищена аномальність пластових тисків у природних резервуарах Закарпатського прогину сприятиме експлуатації покладів термальних вод фонтанним способом і подальшому транспортуванню їх до споживача.

Використання термальних вод із пробурених свердловин на родовищах, які обводнилися, а також свердловин, які, можливо, необхід-

но пробурити з метою розкриття покладів термальних вод, значно скоротить використання природного газу для опалення будинків і промислових підприємств у Закарпатській адміністративній області України.

В інших західних нафтогазоносних зонах України, а саме: в Скибовій зоні Карпат, Внутрішній та Зовнішній зонах Передкарпатського прогину інтенсивність теплового потоку в порівнянні із Закарпатським прогином за даними [4] зменшується.

Але заміряні температури в свердловинах вказаних областей свідчать про підвищені температурні умови природних резервуарів, насичених нафтою, газом і водою. При цьому у Внутрішній зоні Передкарпатського прогину завдяки інтенсивній дії тектонічних складкоутворюючих сил [11, 12, 14] майже всі флюїдоносні природні резервуари характеризуються високими коефіцієнтами аномальності початкових пластових тисків (див.табл.1, п.1.2). Найбільші з них в надрах родовищ: Гвіздецького (2.02, глибина 1985,5м); Бориславського (1.37, глибина 2350м); Росільнянського (1.30, глибина 3002м), на площах Луги і Шевченково (відповідно 1.72 і 1.55, на глибинах 5000-6000м). Високі пластові тиски флюїдів у природних резервуарах Внутрішньої зони Передкарпатського прогину сприятимуть транспортуванню їх на денну поверхню і відтак трубопроводами до споживача.

Температурні характеристики флюїдоносних природних резервуарів Зовнішньої зони Передкарпатського прогину представлені в таблиці 1-п.1.3. Визначені K_a початкових пластових тисків в природних резервуарах цієї області нижчі ніж у Внутрішній зоні Передкарпатського прогину, оскільки ця зона є вже платформним схилом Східно-Європейської платформи і складена консолідованими мезопалеозойськими і більш древніми породами, які не піддавалися інтенсивному складкоутворенню під час Альпійського тектогенезу. Але в цій зоні відкрито вже велика кількість водоносних і газоносних природних резервуарів у сарматських і торгонських відкладах на невеликих глибинах [10, 14], які володіють температурами до 65°C. До того ж тут багато газових родовищ, що знаходяться на завершальній стадії експлуатації. Більшість з них мала газоводонапірний режим роботи. Безумовно, свердловини, що обводнилися в Зовнішній зоні Передкарпатського прогину, разом із свердловинами високонапірних природних резервуарів Внутрішньої зони раціонально не ліквідувати, а використовувати як видобувні термальних вод, які є альтернативою нафтогазовим енергоносіям для забезпечення теплом будинків у населених пунктах Львівської, Івано-Франківської і Чернівецької адміністративних областей.

На території Волино-Подільської плити відкрито на даний час тільки одне промислове газове родовище – Локачі (теверська серія нижнього і лопушанська, пелчинська, струтинська світи середнього девону) і одне родовище газу, що за запасами не визнане промисловим (ейфельський і живецький яруси середнього дево-

ну). Але на Волино-Подільській плиті геофізичними дослідженнями і структурно-пошуковим бурінням на нафту і газ встановлено понад 55 локальних структур, що ускладнюють діапазон відкладів від кембрію, силуру і девону до сучасних утворень. Всюди із пробурених свердловин одержано значні припливи води, часто з газонафтопроявами [2]. Замірам температур у свердловинах, на жаль, не приділялось особливої уваги. Однак із корінних порід, починаючи вже з глибин в декількох сотнях метрів, поступаючі води, із усної інформації працівників бурових установ, були теплими. Заміряна температура на глибині 2330 м на площі Великі Мости дорівнювала 60°C (табл. 1, п. 1.4). Перспективи наявності термальних вод і їх використання у Волинській і Тернопільській адміністративних областях безумовно повинні увійти до плану геологічних досліджень у найближчому майбутньому.

Що стосується центральної частини території Східно-Європейської платформи (Український кристалічний щит і далі до Воронежського масиву), то вона, в принципі, характеризується слабкою інтенсивністю теплового потоку (від 30 до 40 МВт/м²). Деяке підвищення інтенсивності теплового потоку, згідно з картою теплового потоку [4] на окремих ділянках збільшується у напрямку Дніпровсько-Донецької западини (ДДЗ), але не перевищує 50-60 МВт/м² (район м. Полтава). Суттєве підвищення інтенсивності теплового потоку (60-70 МВт/м²) спостерігається в області зануреної гірської споруди Донбасу на північний захід від міста Донецька (рис.3).

Безпосередньо в ДДЗ, що простягається з північного заходу на південний схід на територіях Чернігівської, Київської, Сумської, Полтавської та Харківської областей і далі через перехідну зону з'єднується із складчастою спорудою Донбасу, заміри температур в свердловинах свідчать про підвищені температури у відкритих нафтових (північно-західна частина ДДЗ), газоконденсатних (центральна частина ДДЗ) і газових (південно-східна частина ДДЗ) родовищах (див. табл. 1, п. 1.5). Поклади нафти, газоконденсату і газу в ДДЗ, як правило, характеризуються підвищеною аномальністю початкових пластових тисків. Майже всі вуглеводневі родовища північно-західної і центральної частин ДДЗ є на завершальному етапі експлуатації (за сучасного рівня видобувної техніки) або в стадії обводнення продуктивних горизонтів, що дає підстави розглядати природні резервуари деяких з них як об'єкти експлуатації термальних вод в кожній із вказаних адміністративних областей.

На півдні України зона підвищеної інтенсивності теплового потоку охоплює велику територію Індольського прогину (Керченський півострів і на північ від нього), проходить через Скіфську плиту (Крим) і далі простягається в напрямку Добруджинського прогину (50-60 МВт/м²). Максимальних значень інтенсивність теплового потоку сягає на північ від міста Симферополя і на Тарханкутському півострові

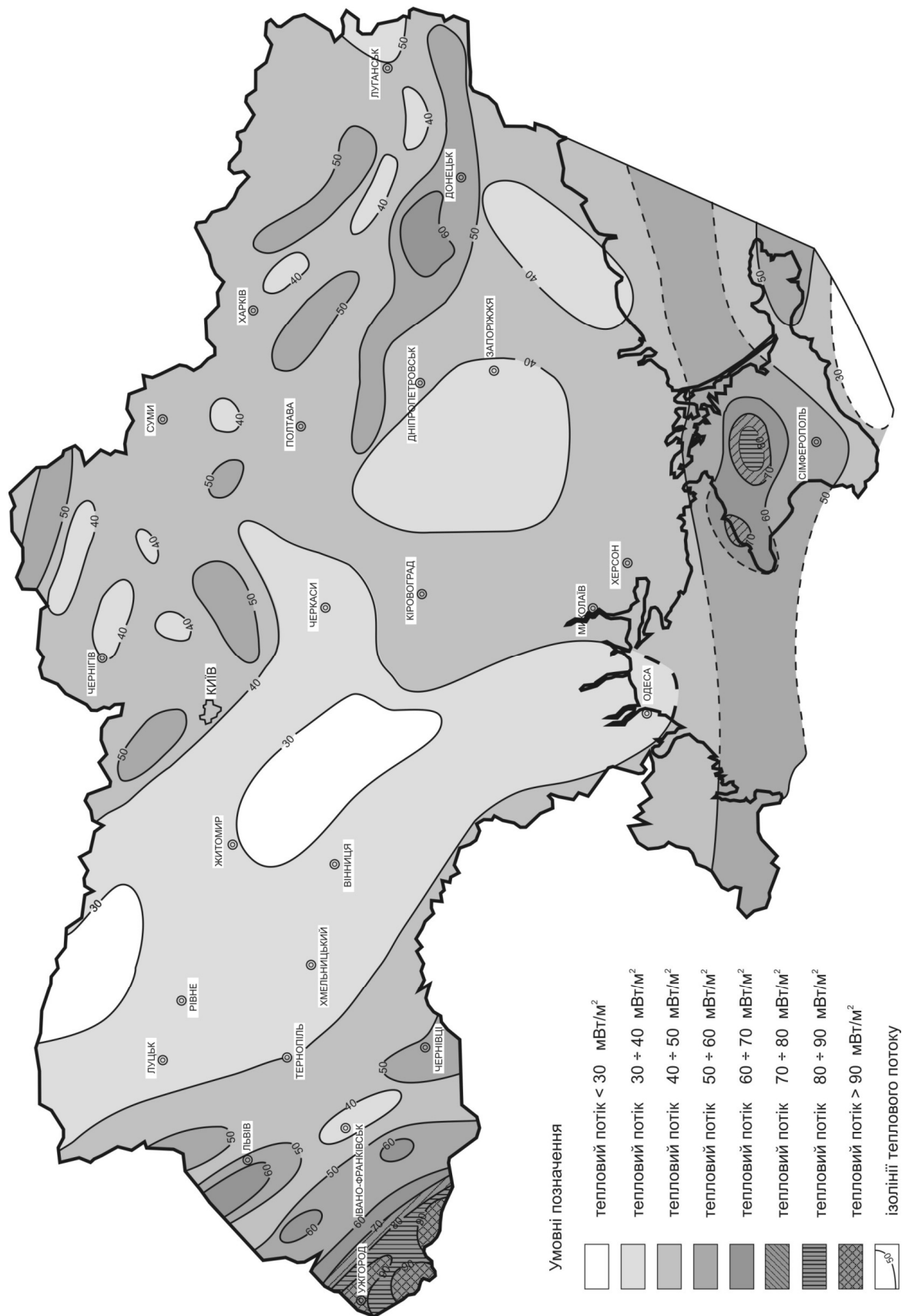


Рисунок 3 – Карта інтенсивності теплового потоку території України (за В.В. Гордієнко [4])

в районі Глібівського родовища газу на Новоселівському піднятті, що співпадає також із замірами температур і підрахунками геотермічних ступенів в свердловинах вказаного родовища (див. табл. 1, п. 1.6).

Замірні температури на Скіфській плиті (Кримський півострів) і в Індольському прогині (Керченський півострів) свідчать, що флюїдоносні природні резервуари знаходяться, починаючи від глибини 225м (Міжводненська площа) до 3342м і 3380м (відповідно Карлавське та Західно-Октябрьське нафтові родовища), за сприятливих температурних умов і можуть бути використані для видобутку гідротермальної енергії з метою опалення житлових будинків та об'єктів місцевої промисловості. Стосовно західної частини півдня України (Передобруджинський прогин), то тут на даний час ще пробурено мало глибоких свердловин із замірами температур. У розрізі Жовтоярського нафтового родовища заміряна температура на глибині 3100 м дорівнює 78°C (див. табл. 1, п. 1.7).

Виснаження традиційних енергетичних джерел, особливо ресурсів газу в осадовій оболонці земної кори, із року в рік поглиблює увагу фахівців до проблеми пошуку альтернативних джерел енергії. На даний час проблема використання геотермальних ресурсів Землі є дуже актуальною.

Щодо порушеної проблеми існує два напрямки: 1 – використання петротермальної енергії Землі; 2 – використання енергії гідротермальних флюїдів. Так використання на практиці петротермальної енергії пов'язане з великими труднощами і величезними затратами коштів оскільки потребує буріння спеціальних свердловин на глибини, де залягають розігріті із значною теплоємністю гірські породи (наприклад, граніти). Для закачування в них води слід буде застосовувати методи штучного утворення в них великих тріщин, потім дрібних і тільки після цього можна в тріщинну породу закачати воду з денної поверхні, а нагріту воду викачати через інші свердловини для використання її тепла. Існуюча ідея, що нами запатентована у 2002 році [12], передбачає закачування у тріщини консолидованих порід рідкої вибухової речовини (ракетного палива), а відтак – ще не впроваджена у виробничих умовах. Відомі способи тріщиноутворення (гідророзрив пласта та інші) в консолидованих породах на великих глибинах, на нашу думку, не зможуть забезпечити формування необхідних колекторських властивостей порід (ємкісних і фільтраційних) для здійснення прокачування через них значних об'ємів води та їх розігрівання і досягнути рентабельності процесу опалення побутових, і особливо, промислових об'єктів.

Використання гідротермальних ресурсів є значно простішим і набагато економічно вигіднішим, особливо в Україні, де в нафтогазоносних регіонах пробурено вже тисячі глибоких свердловин, значна частина яких вже обводнилася, або знаходиться на стадії обводнення.

Використання енергії термальних вод передбачає два основних типи робіт. Це – використання пари із глибоких і надглибоких свердловин з дуже розігрітих відкладів та використання термальних вод з температурою меншою 100°C.

При використанні пари, теплоносії надходить трубопроводами до турбін різного типу електростанцій (як свідчить американський досвід використання пари в Каліфорнії – до електростанцій невеликої потужності), відтак відпрацьована пара після охолодження конденсується у воду і утилізується. Взагалом спосіб використання пари на детально описане в літературі.

Розробка родовищ термальних вод не відрізняється від способу використання пари із свердловин. В принципі пароутворення з гарячої води (температурою нижче 100°C) можна спровокувати шляхом встановлення у місці виходу води із свердловини рефрежераторної системи в комбінації з пристроями, що змінюють тиск на воду [3]. Однак (наприклад, у Рейк'явіку, Ісландія) гарячу воду подають безпосередньо у розподільчу мережу, а відтак під штучно створеним тиском транспортують трубопроводами до споживачів.

У разі використання теплової енергії термальних вод виникає проблема утилізації цих вод після їх охолодження і конденсації пари, оскільки пластові води із глибин осадової оболонки Землі, як правило, є мінералізованими, і утилізувати їх у гідромережі на поверхні, тобто скидання їх в річки та інші водойми без спеціальної обробки неприпустимо. А очищення пов'язане із значними витратами. Проте в нафтогазопромисловій справі можливий "circlegrossess" (коловий процес), коли конденсат залишається на поверхні, а сухий газ закачується в той же газоконденсатний природний резервуар. Розробка ведеться у такий спосіб по колу до повного виснаження конденсату із газоконденсатного покладу. Коловий процес при експлуатації гідротермальних покладів буде ефективним, оскільки у разі його застосування не потрібно шукати шляхів утилізації пластових мінералізованих вод на поверхні. Тому досягається довготривала підтримка пластового тиску в покладі термальних вод.

Література

- 1 Горшков Г.П. Общая геология / Г.П.Горшков, А.Ф.Якушева. – М.: Изд-во Московского государственного университета, 1962. – 592 с.
- 2 Доленко Г.Н. Геология и нефтегазоносность Вольно-Подольской плиты / Г.Н.Доленко, Б.П.Ризун, Ю.Н.Сеньковский. – К.: Наукова думка, 1980. – 106 с.
- 3 Гогель Ж. Геотермия / Ж. Гогель. – М.: Мир, 1978. – 171 с.
- 4 Гордиенко В.В. Карта теплового потока территории Украины и Молдовы 1:2500000 / В.В.Гордиенко // В атласі: Геологія і корисні копалини України. – Київ: вид-во Інституту геофізики НАН України, 2001. – С.24.

- 5 Кларк С. Справочник геофизических констант горных пород / С. Кларк. — М.: Мир, 1969. — 543 с.
- 6 Крупський Ю.З. Геодинамічні умови формування і нафтогазоносність Карпатського та Волино-Подільського регіонів України / Ю.З.Крупський.- К.: вид-во УкрДГРІ, 2001. — 144 с.
- 7 Кутас Р.И. Геолого-геофизический анализ и карта тепловых потоков для территории Европейской части СССР / Р.И.Кутас, Е.А.Любимова, Я.В. Смирнов // Исследование теплового и электромагнитного полей в СССР. — М.: Наука, 1975. — 124с.
- 8 Кутас Р.И. Тепловой поток и структура литосферы / Тези міжнар. конф. ["Глибинна будова та нетрадиційне використання надр Землі"]. — Київ, 1996. — С. 195-196.
- 9 Кутас Р.И. Тепловая модель литосферы Восточных Карпат / Тези міжнар. конф. ["Глибинна будова та нетрадиційне використання надр Землі"]. — Київ, 1996. — С. 196-197.
- 10 Лурье Р.И. Геотермические аномалии и нефтегазоносность (на примере юго-восточной части Восточно-Европейской платформы): Автореф. докт. Диссертации. — 1989. — 38 с.
- 11 Орлов А.А. Аномальные пластовые давления в нефтегазоносных обалстях Украины / А.А.Орлов. — Львів: изд-во "Вища школа" при Львов. гос. университете, 1980. — С. 109-113.
- 12 Орлов О.О. Нафтогазопромислова геологія / О.О.Орлов, М.І.Євдошук, В.Г.Омельченко, М.І.Чорний, О.М.Трубенко. — К.: Наукова думка, 2005. — 427 с.
- 13 Орлов О.О. Методика кількісного визначення температурного впливу на енергетичні властивості покладів вуглеводнів / О.О.Орлов, В.Г.Омельченко, О.М.Трубенко, Т.В.Омельченко // Науковий вісник ІФНТУНГ. — 2009. — №2(20). — С.37-43.
- 14 Орлов О.О. Геодинамічна концепція походження аномальних пластових тисків в осадковій оболонці земної кори та методи їх прогнозування / О.О.Орлов. — Івано-Франківськ: Факел, 2007. — 276 с.
- 15 Пат. 47294 UA, МПК G01V 3/00. Спосіб гідровибухового розриву пласта / Орлов О.О, Трубенко О.М., Локтев А.В., Омельченко В.Г.; Орлов Олександр Олександрович, Трубенко Олександр Миколайович, Локтев Андрій Валентинович, Омельченко Валерій Григорович. — № u2002021685; заявл. 28.02.2002, Бюл. № 7. — 4 с.
- 16 Осадчий В.Г. Геотермические критерии нефтегазоносности недр / В.Г.Осадчий, А.И.Лурье, В.Ф.Ерофеев. — К.: Наукова думка, 1976. — 143 с.
- 17 Серпухов В.И. Радиоактивность и тепло Земли: в кн. Курс общей геологии. — Москва: Госнаучтехиздат литературы по геологии и охране недр, 1960. — 592 с.
- 18 Павлов С.Д. Применение геотермических методов исследований в процессе контроля за разработкой газовых месторождений / С.Д.Павлов. автореферат диссертации на соиск. уч. степени кандидата г.-м. наук. — Ивано-Франковск, 1984. — 17 с.
- 19 Чарыгин М.М. Теплота Земли; в кн. Общая геология. — М.: Гостоптехиздат нефтяной и горно-топливной литературы, 1963. — 592 с.
- 20 Яворский В.М. Справочник по физике / В.М. Яворский, А.А. Деглаф. — М.: Наука, 1977. — 902 с.
- 21 Goguel J. Notes sur le refroidissement du Globe. Arral. de Géophys. VI, fax.3, 1948. — p.p. 253-258.

Стаття надійшла до редакційної колегії
18.02.10

Рекомендована до друку професором
Федоришиним Д.Д.