

Прояви сучасної дегазациї в тепловому потоці та глибинній будові (на прикладі Лохвицького блока Дніпровсько-Донецької западини)

О.В. Усенко, А.П. Усенко, 2022

Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України, Київ, Україна

Надійшла 7 червня 2022 р.

В статті наведено розрахунок ТП в Лохвицькому блоці ДДЗ, побудована схема розподілу ТП, встановлено зв'язок розподілу ТП з зонами активізованих глибинних розломів кристалічного фундаменту, будовою осадового чохла Срібненської депресії та її найближчого оточення. В межах Лохвицького блоку тепловий потік на площі змінюється мало та є близьким до середнього — 40 мВт/м^2 . На всіх родовищах встановлено підвищення градієнту на $20\text{—}30 \text{ }^\circ\text{C/м}$, яке відбувається при перетині тектонічних, стратиграфічних та літологічних границь, які у багатьох випадках контролюють і розміщення покладів вуглеводнів.

Зміна температури та складу води на глибині, де відзначається стрибок градієнту, дозволяє припускати, що його причина — сучасна гідротермальна діяльність. Для встановлення розташування місць її прояву залучені результати геофізичних досліджень, в яких встановлено розташування розломних зон та зон розуцільнення, до яких тяжіють поклади вуглеводнів. Зв'язок зон розвантаження термальних вод з розломами підтверджується їх збагаченням воднем, гелієм, присутністю часток самородних металів.

Розломні зони, що обмежують Срібненську депресію та трансрегіональний тектонічний шов Херсон—Смоленськ, проявлені в будові кори, встановлені за дво-вимірною моделлю швидкості сейсмічних *P*-хвиль у земній корі (профіль GEORIFT 2013). Залучення результатів сейсмотомографічних досліджень виявляє складну будову мантиї безпосередньо під територією, що вивчалася.

На сьогодні територія Лохвицького блоку є детально вивченою багатьма методами. Геологічні, гідрогеологічні та геофізичні дослідження, в тому числі особливості розподілу ТП, потребують узгодження в рамках єдиної моделі.

Ключові слова: Дніпровсько-Донецька западина, тепловий потік, градієнт, гідротермальна діяльність, розломні зони, профіль ГСЗ, сейсмотомографічна модель.

Вступ. У роботі досліджено Лохвицький блок Дніпровсько-Донецької западини (ДДЗ), значну частину якого займає Срібненська депресія. Розраховано геотермічний градієнт і тепловий потік (ТП), виявлено особливості розподілу параметрів теплового поля. Головну увагу приділено пошукам причин змін температури та геотермічного градієнта. Для цього залучено додаткові геологічні, гідрогеологічні та геофізичні відомості.

Актуальність роботи визначається практичними задачами, пов'язаними з пошуками покладів вуглеводнів, водню та гелію. Сьогодні їх ендегенна природа не викликає сумнівів [Лукин, 2005; Шестопапов и др., 2018;

Лукин, Шестопапов, 2021]. Питанням залишається первинне джерело глибинних флюїдів, які поблизу поверхні перетворюються на гідротермальні розчини.

У попередніх дослідженнях було встановлено, що розподіл теплових характеристик північно-західного борту та центральної частини ДДЗ має особливості [Усенко, 2017; Усенко, Усенко, 2018, 2020, 2021]. Значення ТП на площі змінюються мало та близькі до середнього — 40 мВт/м^2 , тоді як геотермічний градієнт залежить від розташування покладів вуглеводнів як за площею, так і за глибиною. У більшості свердловин при перетині тектонічних, стратигра-

фічних і літологічних границь, які у багатьох випадках контролюють і розміщення покладів вуглеводнів, відбувається підвищення градієнта на 20—30 °С/м. Суттєва зміна (стрибок) градієнта може мати два чинники: збільшення (зменшення) теплопровідності порід чи вплив теплоносія. Різні значення градієнта встановлені на відрізках безпосередньо над покладами та під ними. Різниця теплопровідності колекторів (пісковиків і вапняків нижнього карбону ДДЗ — 1,7—2,1 Вт/м · °С) і непроникних порід (глин та аргілітів — 1,4—1,7 Вт/м · °С) не може забезпечити подібної зміни умов теплопередачі. Тому було висунуто припущення, що чинником зміни градієнта є термальний розчин. Переміщення подібного теплоносія контролюється проникними зонами розломів осадового чохла та наявністю порід з високими колекторськими властивостями [Усенко, Усенко, 2020, 2021]. Проте результати геотермічних досліджень дають змогу висувати тільки припущення, яке може бути обґрунтовано лише в разі допомоги залучення додаткових даних.

Лохвицький блок ДДЗ та Срібненська депресія є ідеальними об'єктами для подібного дослідження, тому що їх геологічну будову досконально вивчено [Лукин, 1997; Лукин, Шестопапов, 2021]. Також існує великий обсяг гідрогеологічної інформації [Лукин, 2005; Шестопапов и др., 2018; Лукин, Шестопапов, 2021]. На родовищах південного борту ДДЗ О.Ю. Лукіним показано зв'язок розташування покладів з проявами гідрогеологічної інверсії — зміни хімічного складу води внаслідок сучасної гідротермальної діяльності [Лукин, 1997, 2005; Шестопапов и др., 2018]. Результати фізико-математичного моделювання [Старостенко и др., 2015, 2017; Starostenko et al., 2018; Цветкова и др., 2019, 2020а, б] дають змогу провести зіставлення розподілу геотермічних характеристик поблизу поверхні з розломно-блоковою тектонікою та будовою кори і мантії [Shstopalov et al., 2021]. Таким чином можна обґрунтувати зв'язок підвищення температур у свердловинах з гідротермальною діяльністю.

Мета роботи — встановлення проявів

сучасної дегазації, пошук шляхів міграції та джерела глибинних флюїдів.

Задачі роботи: вивчення розподілу параметрів теплового поля на площі та з глибиною, їх інтерпретація із залученням геологічних і гідрогеологічних досліджень, узагальнення всієї наявної інформації про будову кори та мантії, отримані за результатами геофізичного моделювання.

Методику розрахунку ТП у свердловинах детально розглянуто в публікаціях [Усенко, Усенко, 2018, 2020]. Для розрахунку параметрів ТП використано виміри температур у свердловинах ДДЗ, що виконані ДГП «Укргеофізика» протягом 1970—1983 рр. при пошукових і розвідувальних роботах. Розрахунок геотермічних характеристик проведено в 368 свердловинах на 67 родовищах вуглеводнів, розташованих у Срібненській депресії та її ближньому оточенні — на північному та південному бортах ДДЗ. Обґрунтування можливості розрахунку ТП за результатами вимірювань температур, здійснених безпосередньо під час буріння, наведено в публікаціях [Усенко, 2014, 2017; Усенко, Усенко, 2018, 2020]. Розташування досліджуваної території показано на рис. 1.

Середній геотермічний градієнт розрахований як сума градієнтів на відрізках між точками вимірювання температур. Враховано довжину інтервалів між замірами. Градієнт до першого заміру в свердловині розраховано від поверхні, температура якої дорівнює 8,0 °С. Середню теплопровідність для порід кожного періоду наведено з урахуванням потужності кожного літологічного різновиду в досліджуваних районах. Використано дані Р.І. Кутаса за працею [Старостенко и др., 2015]. Палеокліматична та гідрогеологічна поправки на глибинах вимірів, більших за 4000 м, є дуже незначними (менше 1 °С) і тому не враховувалися. Значення ТП розраховано в кожній свердловині як добуток середнього геотермічного градієнта на середню теплопровідність в інтервалі поверхня—забій.

На **Світличному родовищі** заміри проведено в п'яти свердловинах (рис. 2,3, табл.1), останні на глибинах, що відповідають розташуванню девонських порід. Зміну граді-

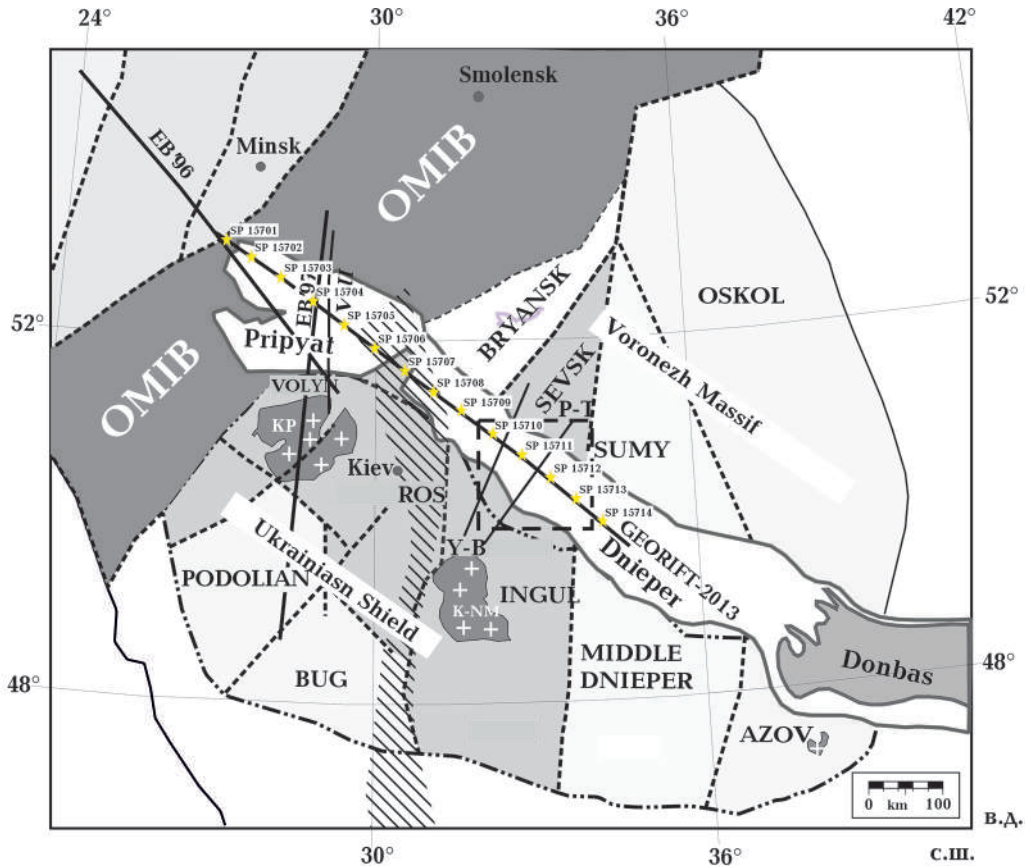


Рис. 1. Тектонічна схема Сарматії і Осницько-Мікашевицького вулканно-плутонічного поясу та розташування сейсмічних профілів за [Bogdanova et al., 2006; Starostenko et al., 2018], з доповненнями: 1 — архейська кора (PODOLAN — Подільський, BUG — Бузький, MIDDLE DNIPER — Середньопридніпровський, AZOV — Призовський мегаблоки УЩ), 2 — палеопротерозойська кора (VOLYN — Волинський, ROS — Росинський, INGUL — Інгульський мегаблоки УЩ), 3 — Осницько-Мікашевицький вулканно-плутонічний пояс (ОМІВ), 4 — плутони анортозитів-рапаківі (КР — Коростенський, КНМ — Корсунь-Новомиргородський); 5 — складчаста споруда Донбасу; 6 — тектонічна зона Одеса—Гомель; 7 — межа Українського щита; 8 — основні розломи, що обмежують мегаблоки Українського щита та Воронежського кристалічного масиву; 9 — положення сейсмічних профілів та їх назви (ЕВ-96 — Евробридж 96, ЕВ-97 — Евробридж 97, Y-B — Яготин—Батурын, P-T — Пирятин—Талалаївка. Прямокутником позначено район досліджень.

Fig. 1. Tectonic scheme of Sarmatia and Osnitsky-Mikashevitsky volcanic-plutonic belt and location of seismic profile according to [Bogdanova et al., 2006; Starostenko et al., 2018], with additions: 1 — Archean crust (PODOLAN — Podilsky, BUG — Buzhsky, MIDDLE DNIPER — Middle Dnieper, AZOV — Prizovsky megablocks of the Ukrainian Shield (USH)), 2 — Paleoproterozoic crust (VOLYN — Volyn, ROS — Rosinsky, INGUL — Ingul — Megablocks of the USH), 3 — Osnitsa-Mikashevitsky volcanic-plutonic belt (OMIB), 4 — plutons of anorthosites-rapakivite (KR — Korosten, KNM — Korsun-Novomyrhorod); 5 — folded structure of Donbass; 6 — tectonic zone Odesa—Gomel; 7 — the border of the Ukrainian Shield; 8 — the main faults limiting the megablocks of the Ukrainian Shield and the Voronezh Massif; 9 — position of seismic profiles and the irnames. Seismic profiles: EV-96 — Eurobridge 96, EV-97 — Eurobridge 97, Y-B — Yagotyń—Baturyn, PT — Pyryatyn—Talalaivka. The rectangle shows the research area.

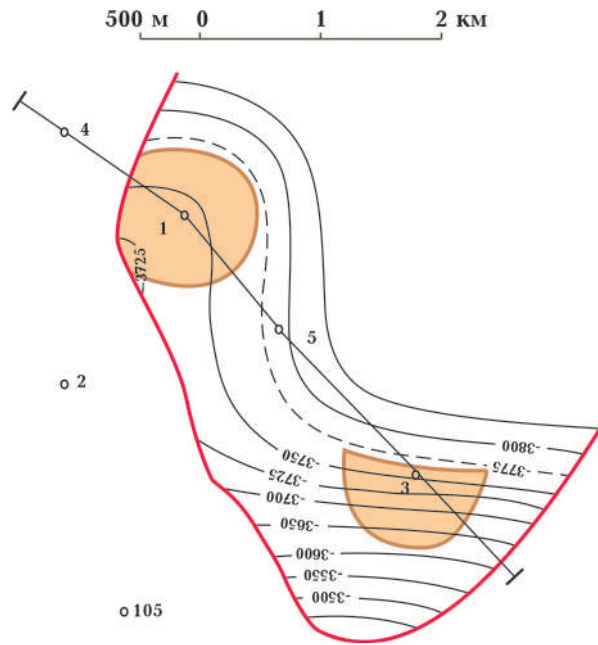


Рис. 2. Схема розташування свердловин на Світличному газовому родовищі [Атлас ..., 1984].
 Fig. 2. Layout of wells at Svitlichny gas field [Arsiriy et al., 1984].

ента визначено в свердловинах 1, 3, 5. Збільшення градієнта виявлено в свердловинах, які, як і поклади вуглеводнів, розташовані на північ від розлома. В них ТП підвищений до 46 мВт/м^2 . У свердловинах, що знаходяться поза зоною, обмеженою розломом, градієнт на цих глибинах знижується, що може вказувати на існування порожнин, які під час буріння заповнюються холод-

ним буровим розчином. ТП становить $38\text{—}41 \text{ мВт/м}^2$.

Ті ж особливості проявлені і на **Свиридівському родовищі** (рис. 4, 5, табл. 2). У свердловинах, де виконано по одному заміру температури, визначити розподіл градієнта з глибиною неможливо. Втім загальне підвищення градієнта і ТП є достатнім свідченням, що зміна градієнта відбуваєть-

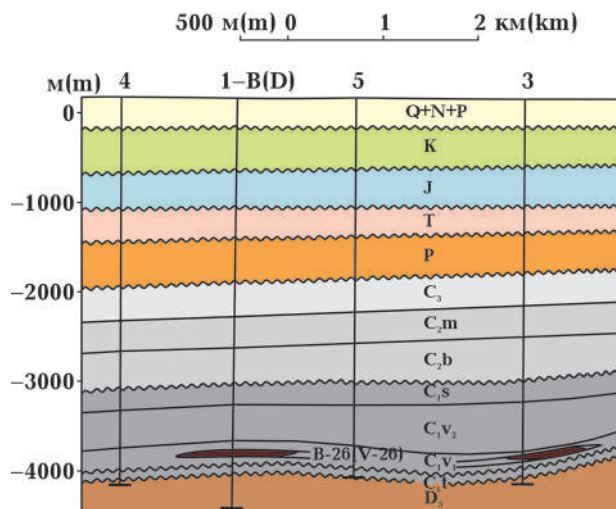


Рис. 3. Геологічний розріз, свердловини на Світличному газовому родовищі [Атлас ..., 1984].
 Fig. 3. Geological section, wells at the Svitlichny gas field [Arsiriy et al., 1984].

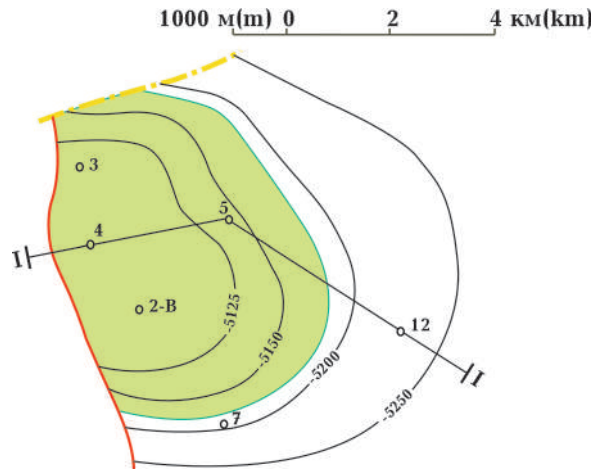


Рис. 4. Схема розташування свердловин на Свиридівському газовому родовищі [Атлас ..., 1984].

Fig. 4. Layout of wells at Sviridovsky gas field [Arsiriy et al., 1984].

ся. Розташування покладів контролює розлом, що перетинає візейські шари та не продовжується в серпуховських.

Так само було розраховано градієнт і ТП у межах усього Лохвицького блока (табл. 3).

У кожній свердловині та на кожному родовищі встановлено коливання цих параметрів у широких межах. Градієнт від поверхні становить в середньому 21—22 °С/км. При перетині покладів вуглеводнів, що в Лохви-

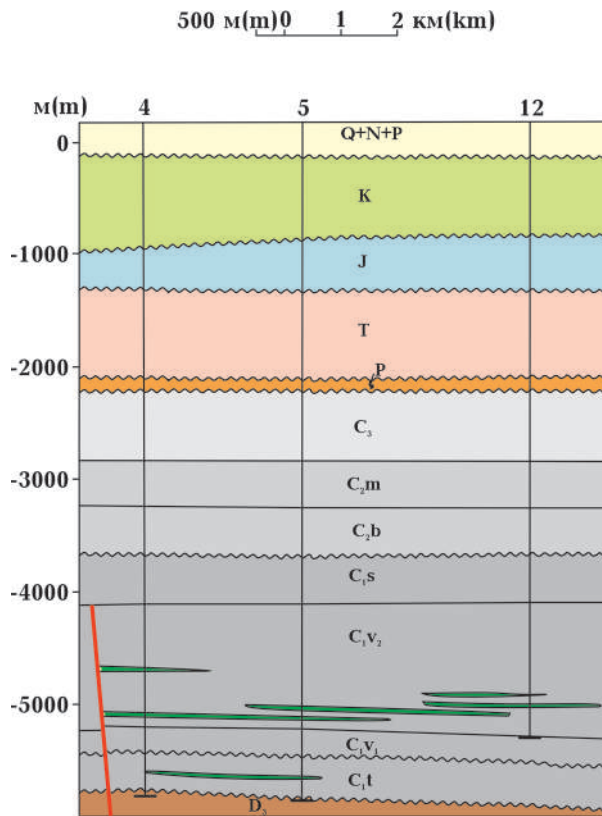


Рис. 5. Геологічний розріз, свердловини на Свиридівському газовому родовищі [Атлас ..., 1984].

Fig. 5. Geological section, wells at Sviridovsky gas field [Arsiriy et al., 1984].

Т а б л и ц я 1 . Розрахунок геотермічного градієнта та теплового потоку на Світличному родовищі

Номер свердловини	Глибина, м	Температура, °С	Теплопровідність, мВт/(м·°С)	Градієнт, °С/км	Тепловий потік, мВт/м ²
1	2860	70	1,85	23	46
	4490	118		29	
2	2780	73	1,87	24	41
	4090	96		17	
				22	
3	3950	93,5	1,91	22	46
	4080	103		73	
	4240	109		37	
4	2300	60	1,89	24	38
	4250	92		16	
				20	
5	1960	46	1,87	21	43
	2900	75		30	
	4150	102		21	
				23	

Т а б л и ц я 2 . Розрахунок геотермічного градієнта і теплового потоку на Свиридівському родовищі

Номер свердловини	Глибина, м	Температура, °С	Теплопровідність, мВт/(м·°С)	Градієнт, °С/км	Тепловий потік, мВт/м ²
1	3000	74	1,82	23	46
	4320	115		31	
2	4100	94,5	1,84	21	43
	5200	125,5		28	
	5980	142		21	
3	4300	106,5	1,84	23	45
	5600	129		17	
	5950	151		63	
8	3760	81	1,82	24	37
	4100	91		20	
10	5470	141,5	1,84	29	45
				21	
12	4020	93,5	1,82	25	43
				24	
				24	

Т а б л и ц я 3 . Результати розрахунку геотермічних характеристик на родовищах Лохвицького блока ДДЗ

Номер	Назва	Кількість свердловин	Коливання ТП, мВт/м ²	Стрибки градієнта, °С/км (кількість свердловин)	Середній градієнт, °С/км	Середній ТП, мВт/м ²
1	Турутинське	2	43—44	—	24	44
2	Володимирське	3	43—49	37 (1)	24	46
3	Софіївське	9	37—45	28—31 (5)	24	42
4	Ромашівське	2	44—48	35—44 (2)	23	46
5	Нинівське	4	44—48	34 (4)	24	47
6	Бережівське	7	39—45	28—42 (6)	22	41
7	Скороходівське	8	37—44	41—44 (3)	22	42
8	Великобубнівське	11	34—49	34	24	42
9	Північноярошівське	3	38—40	—	21	39
10	Ярошівське	11	38—43	—	22	41
11	Матлахівське	9	39—48	30—32 (3)	24	43
12	Талалаївське	5	35—45	37—45 (3)	22	48
13	Східнорогинцівське	2	40—44	50	23	42
14	Монастирищинське	10	39—51	26—40	22	45
15	Петрушівське	6	37—42		22	41
16	Сологубівське	2	45,46	26	24	46
17	Житнє	3	36—46	—	22	40
18	Тростянецьке	2	36—40	—	—	38
19	Миколаївське	4	44—48	33—45 (4)	22	46
20	Зимницьке	3	32—41	35 (1)	18	35
21	Артюхівське	11	37—50	26—46 (8)	23	45
22	Корживське	12	37—46	27—30 (4)	20	41
23	Південноафанасіївське	8	39—55	27—30 (3)	22	45
24	Прилуцьке	3	42—51	29—31 (3)	22	46
25	Маківське	1	38	25	18	38
26	Волошківське	2	37—41	—	22	38
27	Ярмолинцівське	6	39—45	29—34	21	41
28	Щурівське	6	37—42	28—42 (2)	22	40
29	Шумське	3	39—45	34—80 (2)	23	42
30	Перекопівське	3	38—40	27	21	39
31	Мільківське	4	36—47	54 (1)	22	41

32	Лелеківське	17	34—48	26—48 (4)	22	41
33	Савинківське	3	33—35	—	20	34
34	Кампанське	5	38—42	26—53 (2)	21	40
35	Анастасіївське	19	37—55	30 (2)	21	40
36	Андріяшівське	5	38-44	28 (3)	21	41
37	Кулябчинське	4	39-44	33-36 (3)	20	42
38	Липоводолинське	3	42-44	28 (3)	22	42
39	Південноберестівське	1	—	—	22	43
40	Озерянське	8	39-48	27-34 (6)	21	41
41	Василівське	4	39-46	28-34 (2)	22	42
42	Русанівське	2	45	35-36 (2)	23	45
43	Луценківське	2	36-41	—	20	39
44	Глинсько-Розбишівське	1	—	—	—	48
45	Валюхівське	8	39—51	28—33 (6)	22	45
46	Світличне	5	38—49	29—37 (3)	22	45
47	Свиридівське	6	38—46	28—45 (4)	22	43
48	Рудівсько-Червонозаводське	5	38—44	32—46 (3)	22	42
49	Левківське	1	45	26	—	45
50	Богданівське	1	46	27	—	46
51	Гадяцьке	9	40—48	40—60 (2)	24	42
52	Клинсько-Краснознаменське	3	40—44	26—53 (2)	22	41
53	Кехедівсько-Голотвищенське	3	39—42	26	22	40
54	Свистунківсько-Червонолуцьке	1	40	—	22	40
55	Середняківське	1	45	—	—	45
56	Білоусівське	14	34—53	25—73 (8)	21	42
57	Скоробагатьківське	10	43—48	29—35 (9)	22	45
58	Чорнухинське	6	33—47	28 (1)	21	41
59	Прирічне	1	36	—	20	36
60	Харківцівське	3	42—48	27—54 (3)	23	45
61	Яблунівське	37	37—46	29—52	24	42
62	Селюхівське	4	47—50	29—63 (3)	24	49
63	Перевозівське	1	45	37	21	45
64	Комишнянське	8	41—46	27—68 (4)	21	43
65	Олівське	2	44	28—34 (2)	21	44
66	Горобіївське	1	—	—	21	38
67	Гнідинцівське	10	40	24—29	22	46

цькому блоці розташовані переважно в нижньовізейських шарах, його значення різко змінюється. У більшості випадків відбувається стрімке зростання градієнта, але інколи фіксується падіння до $17\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{км}$. Розрахунки геотермічного градієнта, наведені в статтях [Усенко, Усенко, 2018, 2020] і виконані в цьому дослідженні, показують, що стрибок градієнта зафіксовано на всіх родовищах, де є достатня кількість вимірів — більше трьох на родовищі та більше двох у свердловині.

Для визначення загального ТП використано заміри в глибоких свердловинах. Значення ТП коливаються від 33 до $53\text{ мВт}/\text{м}^2$ (найпоширеніше — $42\text{ мВт}/\text{м}^2$). Розбіжності значень середнього ТП у свердловинах, що знаходяться в межах одного родовища, можуть у середньому становити 10 одиниць. Цю особливість виявлено і для західної частини Полтавського блока ДДЗ [Усенко, Усенко, 2020].

Закономірності розподілу ТП на площі (рис. 6) збігаються з визначеними Р.І. Кутасом за вимірами температур у глибоких свердловинах з усталеним тепловим режимом [Старостенко и др., 2015]. Центральна частина блока (Срібненська депресія) характеризується незначним зниженням ТП, і її можна оконтурити ізолінією $40\text{ мВт}/\text{м}^2$. На захід, схід і південний схід відбувається збільшення ТП ($45\text{ мВт}/\text{м}^2$). Цифри біля родовищ відповідають середнім значенням, розподіл яких на площі фіксує плавну зміну ТП, що дає змогу проводити ізолінії через $5\text{ мВт}/\text{м}^2$.

Зіставлення розподілу ТП на площі з глибиною розміщення межі, на якій відбувається різка зміна градієнта вздовж профілю Пирятин—Талалаївка (рис. 7), дає змогу зробити висновок, що зменшення значення ТП у центральній частині ДДЗ спричинено збільшенням відрізка, на якому градієнт становить $21\text{—}22\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{км}$. Інакше кажучи, це зменшення визначає збільшення потужності осадового чохла, а не інтенсивність надходження глибинного тепла.

Гідрогеологічні докази сучасної гідротермальної активності. Визначення теплових параметрів дає змогу лише припусти-

ти наявність чинників підвищення температури з глибиною. Зв'язок зростання градієнта на глибині розташування покладів з сучасною гідротермальною діяльністю доводять результати геологічних та гідрогеологічних досліджень. Згідно з даними О.Ю. Лукіна, на родовищах центральної частини ДДЗ під розсолами хлоркальцієвого типу виявлено високонапірні термальні гідрокарбонатно-натрієві води з низькою мінералізацією та високою газонасиченістю [Лукин, 1997]. Встановлено ознаки надзвичайно швидкого вторгнення розчинів (аномально високий пластовий тиск, інжекції опріснених термальних вод і парогазових струменів по незгідностях, різкі межі з розсолами) і процеси дегідратації. Саме таку картину з припливом термальних вод, напір яких різний навіть у межах одного родовища та змінюється у часі, демонструє розподіл температур у свердловинах.

У свердловині 1 Світличного родовища (див. рис. 2, 3, табл. 1) в інтервалі 3791—3818 м були отримані припливи води з підвищеним вмістом розчиненого газу. При остиганні рідини мінеральна суспензія осаджувалась на дно, на поверхні утворювалась гідрофобна масляниста плівка, над рідиною скупчався газ гелієво-вуглеводнево-азотного складу. Рідина є високомінералізованою (вище $150\text{ г}/\text{кг}$) пластовою водою хлоркальцієвого типу з відношенням $\text{Na}/\text{Cl}=0,55$ і підвищеним вмістом броду, бору, амонію і калію. Плівка, що утворилась на поверхні води, є сумішшю нафтових, метанових й ароматичних вуглеводнів. Твердофазний залишок є сумішшю каолініту, хлориту, гетиту, анкериту, сидериту, твердого бітуму (антраксоліту), польового шпату, анатазу, цинкіту, бариту, циркону, а також частинок самородних металів (міді, цинку) [Лукин, Шестопапов, 2021].

Підвищення градієнта (див. табл. 1) відбувається на глибині близько 4000 м, тобто безпосередньо під покладами. Накопичення вуглеводнів та інших газів відбувається в колекторах — вапняках нижньовізейського атолу, розташованих на 200 м вище в зоні утрудненого водообміну. Тому вода належить до хлоркальцієвого типу. Там, де проводилися опробування безпосередньо

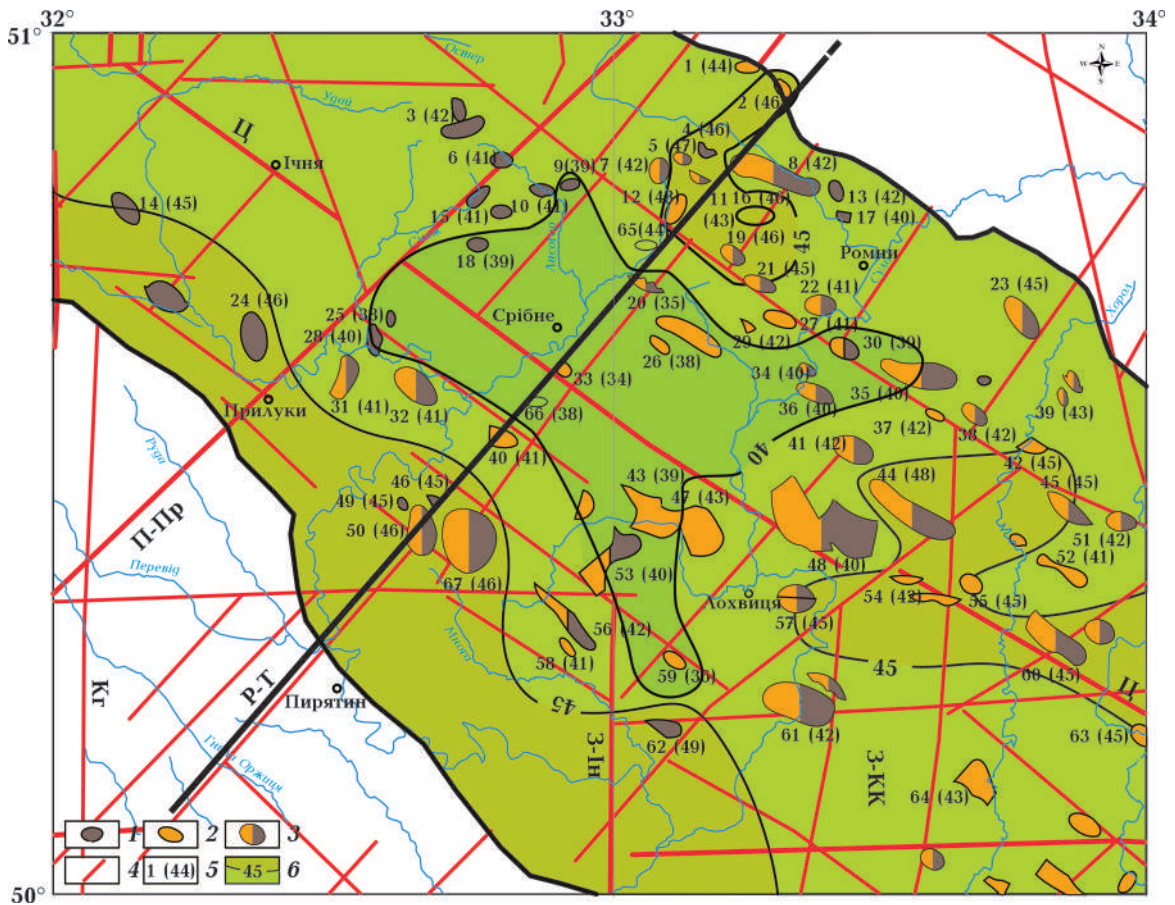


Рис. 6. Розподіл ТП на родовищах вуглеводнів Лохвицького блока ДДЗ (Срібненська депресія та її оточення): 1 — нафтові родовища, 2 — газові родовища, 3 — нафтогазові родовища. 4 — розломи, за [Старостенко і др., 2015], 5 — номери родовищ за табл. 3 (в дужках — розраховані значення середнього ТП), 6 — ізолінії ТП. Р-Т — профіль ГСЗ Пірятин—Талалаївка. Розломи: Ц — Центральний (Осьовий), П-Пр — Переяслав-Хмельницький—Прилуцький, З-Ін — Західноінгулецький, З-КК — західні Криворізько-Кременчуцькі (насуви, що із заходу обмежують продовження ККЗ).

Fig. 6. Heat flow distribution at the Lohvitsia block of DDb (Sribnenska depression and its surroundings). Legend: 1 — oil fields, 2 — gas fields, 3 — oil — oil-and-gas fields, 4 — faults by work [Starostenko et al., 2015], 5 — numbers of fields according to the Tabl. 3, in brackets — calculated values of the average heat flow, 6 — heat flow isolines. P-T — profile DSS Pyryatyn—Talalaivka. Faults: Ц — Central (Axial), П-Пр — Pereyaslav-Khmelytsky—Pryluky, З-Ін — Western Inguletsky, З-КК — Western Kryvyi Rih-Kremenchug (thrusts that from the west limit for the continuation of З-КК).

гідротермальних розчинів, встановлено їх гідрокарбонатно-натрієвий склад. Наприклад, на Мачуському родовищі газоносний пласт відкрито при бурінні параметричної свердловини 500 у турнейській карбонатній товщі (глибина 5190—5247 м), а на глибині 5208 м у свердловині виявлено зону аномально високого пластового тиску — 94,9 МПа [Лукин, 1997]. Температури розчинів, визначені за вмістом кремнезему, дорівнюють 180—220 °С (за безпосередніми вимірами — 150 °С [Усенко, Усенко, 2020]).

Вони мають невисоку (до 25 мг/л) мінералізацію, значний вміст двовалентного заліза (до 300 мг/л), бору (до 10 мг/л), кремнезему (до 0,2 мг/л), наявний глинозем. У складі залізисто-глиноподібного залишку значно підвищені концентрації бору, стронцію, барію, хрому, титану, ванадію, цинку, свинцю, лантану, ртуті тощо. Гідрогеологічна інверсія проявлена на Руденківському та Солохівському родовищах ДДЗ [Лукин, 1997]. Там також зафіксовано підвищення градієнта в середньому на 20 одиниць при перетині

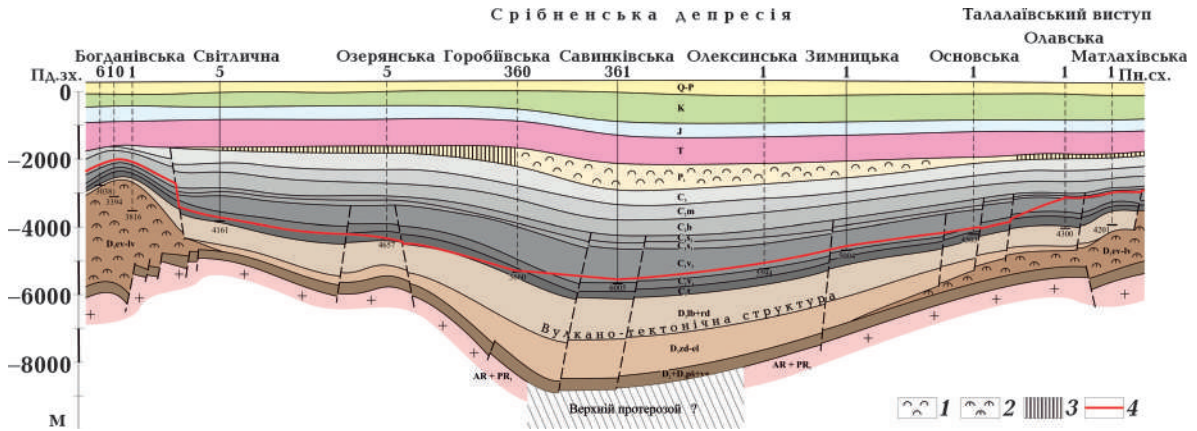


Рис. 7. Геологічний розріз Срібненської депресії та її обрамлення за профілем Пирятин—Талалаївка [Лукин, Шестопалов, 2021]: 1 — солонесні відклади, 2 — сольові штоки, 3 — рифогенно-карбонатні осади, 4 — червона лінія поєднує відрізки, на яких встановлено збільшення градієнта в свердловинах.

Fig. 7. Geological section of Sribnenska depression and its framing along the Piryatin—Talalaivka profile [Lukin, Shestopalov, 2021]: 1 — saliferous deposits (P1), 2 — salt domes (D3), 3 — rhyphogenic-carbonate facies, 4 — red line combins segments on which the increase of a gradient in wells is established.

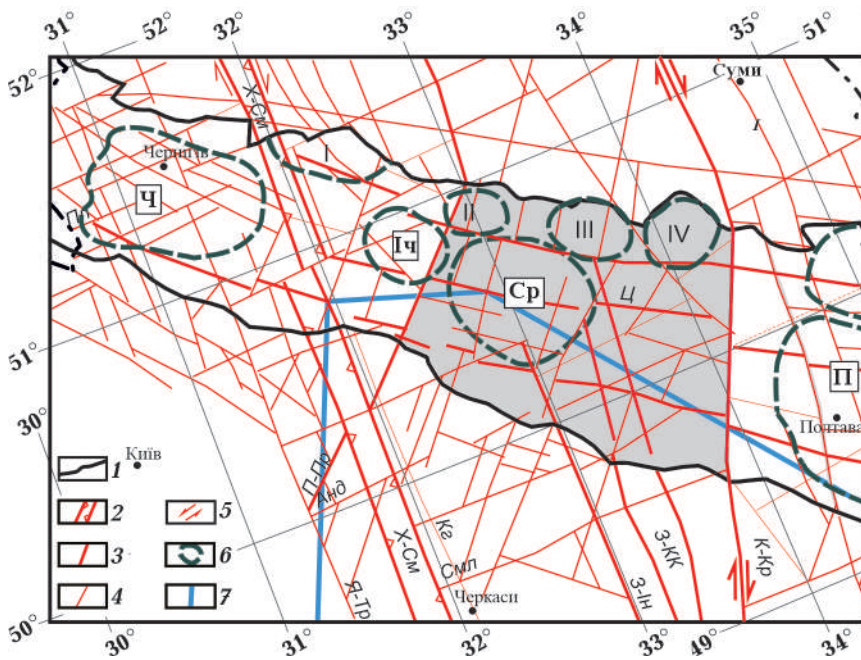


Рис. 8. Схема розломної тектоніки консолідованої кори ДДЗ (північно-західна частина), за [Старостенко і др., 2015], розташування кільцевих структур північного борту та центральної частини ДДЗ [Пашова і др., 2013]: 1 — межа ДДЗ, 2 — трансрегіональний тектонічний шов Херсон—Смоленськ, 3 — головні розломи грабена у поздовжніх розломів, 4 — другорядні розломи грабена, 5 — зміщення вздовж розломів, 6 — кільцеві структури, 7 — межа максимального північно-східного поширення високошвидкісної перехідної зони верхньої мантії [Цветкова і др., 2019]. Сірим кольором позначений Лохвицький блок ДДЗ. Розломи: Ц — Центральний

(Осьовий), Я-Тр — Ядлівсько-Трахтемирівський, П-Пр — Переяслав-Хмельницький—Прилуцький, Пл — Поліський, З-Ін — Західноінгулецький, З-КК — західні Криворізько-Кременчуцькі (насуви, що із заходу обмежують продовження ККЗ), К-Кр — Криворізько-Крупецький. Кільцеві структури (букви в квадратах) [Пашова та ін., 2013]: Ч — Чернігівська, Іч — Ічнянська, Ср — Срібненська, П — Полтавська. Кільцеві структури центральної та північної прибортвової зони: І — Загорівська, ІІ — Дмитріївська, ІІІ — Роменська, ІІІІ — Синявська.

Fig. 8 Fault tectonic scheme of consolidated crust of DDb (north-western part) by [Starostenko et al., 2015], location of the ring structures northern board of DDb [Pashova et al., 2013]: 1 — DDb boundary, 2 — Kherston—Smolensk transregional tectonic seam, 3 — main graben faults of longitudinal faults, 4 — secondary graben faults, 5 — displacement along faults, 6 — ring structures, 7 — limit of maximum north-eastern distribution of high-speed transitional zone of the upper mantle [Tsvetkova et al., 2019]. The Lokhvytsia DDB block is marked in gray. Faults: Ц — Central (Axial), Я-Тр — Yadlivsko-Trakhtemirovsky, П-Пр — Pereyaslav-Khmelnytsky—Pryluky, Пл — Polissya, З-Ін — Western Inguletsky, З-КК — Western Kryvyi Rih-Kremenchug, К-Кр — Kryvyi Rih-Krupetsky. Ring structures (letters insquares) [Pashova et al., 2013]: Ч — Chernihiv, Іч — Ichnia, Ср — Sribnenska, П — Poltava. Ring structures of central and northern near border zones: І — Zagorivska, ІІ — Dmytriivska, ІІІ — Romenska, ІІІІ — Synyavska.

нафтогазоносних шарів [Усенко, Усенко, 2020].

У поверхневих водах Срібненської структури встановлено підвищений вміст урану [Лукин, Шестопапов, 2021]. У кристалічному фундаменті Українського щита (УЩ) від тектонічного шва Херсон—Смоленськ до Криворізько-Крупецького розлому поширені уранові метасоматити. Логічним є припущення їх існування і в кристалічному фундаменті ДДЗ у цих межах. При просочуванні гідрокарбонато-натрієвих термальних вод відбувається розчинення мінералів урану в лужних розчинах і перенесення у вигляді ураніл-карбонатних комплексів $[\text{UO}_2(\text{CO}_3)_3]^{4-}$ [Усенко, 2013]. Тому в поверхневих водах над зонами розломів фіксується його аномальний вміст.

Непрямим доказом проявів гідротермальної діяльності в межах ДДЗ є сучасна активність тектонічного шва Херсон—Смоленськ на УЩ на перетині з широтною Суботсько-Мошоринською розломною зоною. У межах Новокостянтинівського рудного поля вилив термальних мінералізованих вод відбувається безпосередньо на поверхню та супроводжується виділенням горючого газу, що містить до 10 % метану. Присутні частки самородних металів (Pb, Sn, Zn, Cu, Fe, Ni) та їх природних сплавів [Старостенко и др., 2014].

У надглибокій свердловині СГ-8 Криворізько-Кременчуцької зони (ККЗ) УЩ встановлено ділянки, де кількість відкритих тріщин, пов'язаних із сучасною тектонічною активністю, становить до 40 % загальної кількості, при середній 5—20 %. У процесі буріння відбувається виділення газів (CO, CO₂, H₂, N₂, He) з тектонічних зон. Найбільшим є вміст вуглекислого газу та гелію, особливо з наближенням забою до Тарапаківського насуву та при його перетині, на глибинах 5 км і більше. На глибині 1750 м встановлено гідрогеологічну інверсію: хлоридно-гідрокарбонатно-натрієво-кальцієві води змінюються гідрокарбонатно-хлоридно-сульфатно-натрієво-кальцієвими [Криворожская ..., 2011]. Безпосередньо під Срібненською депресією знаходиться північне продовження ККЗ (див. рис. 8).

Використання геофізичних моделей для визначення неоднорідностей будови кори та мантії, наявності розломних зон.

Розломні зони, з якими пов'язана сучасна гідротермальна діяльність, продовжуються в ДДЗ і на Воронезький кристалічний масив та відіграють суттєву роль у сучасній глибинній будові. Схема розломної тектоніки консолідованої кори створена на підставі узагальнення результатів геофізичних досліджень: з використанням моделі редукованого за вплив осадового чохла гравітаційного поля в комплексі з моделлю аномального магнітного поля та його регіональної складової (рис. 8). І. К. Пашкевич із співавторами показала, що розгалужена мережа розломів у осадовому чохла має тісний зв'язок з розломами кристалічної кори, що проявляється відповідно до їх генеральних простягань. Найрозвиненішими в западині є поздовжні розломи. Серед них чітко фіксується Центральний розлом (або Осьовий, який збігається з віссю рифту) і розломи, що відокремлюють центральний грабен від його бортових частин [Старостенко и др., 2015, 2017]. По них відбувається ступінчасте заглиблення кристалічного фундаменту (див. рис. 7). Розломи, ортогональні до поздовжніх, найбільш поширені в Лохвицькому сегменті, який із заходу обмежується розломом Переяслав-Хмельницький—Прилуки, а зі сходу—Криворізько-Крупецьким. Срібненська депресія зі сходу обмежена Криворізько-Кременчуцькими західними насувами, які є продовженням в ДДЗ Західного та Терпаковського насувів ККЗ. Усі розломні зони є надрегіональними. Поперечні простежуються на УЩ та Воронезький кристалічний масив, що доводить їх докембрійський вік, поздовжні поєднують Прип'ятський прогин, ДДЗ та Донбас. Усі ці розломні зони є активними, тектонічні рухи по них відбуваються останні 3 млн років [Верховцев, 2006].

Кристалічний фундамент ДДЗ розбитий густою сіткою розломів різного рангу та різної глибини. Це підтверджує думку, що дно рифтового басейну є ситом, через отвори якого надходить ендегенна речовина [Лисицин, 1978], а у розвитку палеорифто-

вих систем існували етапи винесення ендогенної речовини не тільки у формі літогенних продуктів вулканізму, а й у вигляді гідротермально-ексталяційного виносу кремнезему, сполук заліза, фосфору та ін. Не викликає сумніву, що стратиформне зруденіння, «конкреційні» прошарки, желвакоподібні і кулясті стяжиння, пелітова речовина є індикаторами ендогенної речовини в процесах осадоагроадаженія [Лукин, 1997].

За дослідженнями О.Б. Гінтова, розломи кристалічного фундаменту — зони, ширина яких може досягати 7—25 км. Вік зон розломів ранній протерозой, рідше — неогархей. Вони є проникними для розчинів і флюїдів, бо гірські породи, що їх складають, зазнали дилатансійного розпушення. Практично всі зони розломів зазнали кількох фаз активізації, а переміщення їх крил мають реверсний характер, що важливо для процесів рудо- і газогенезу, тому що при зміні напрямку зміщення прирозломні і внутрішньорозломні структури стиснення стають структурами розтягнення і навпаки [Гинтов, 2005, 2014]. Для даного дослідження важливо встановити глибину цих розломів, можливість їх подовження в мантію. Наявність наскрізних розломних зон може бути доказом глибинності первинного джерела речовини гідротермальних розчинів.

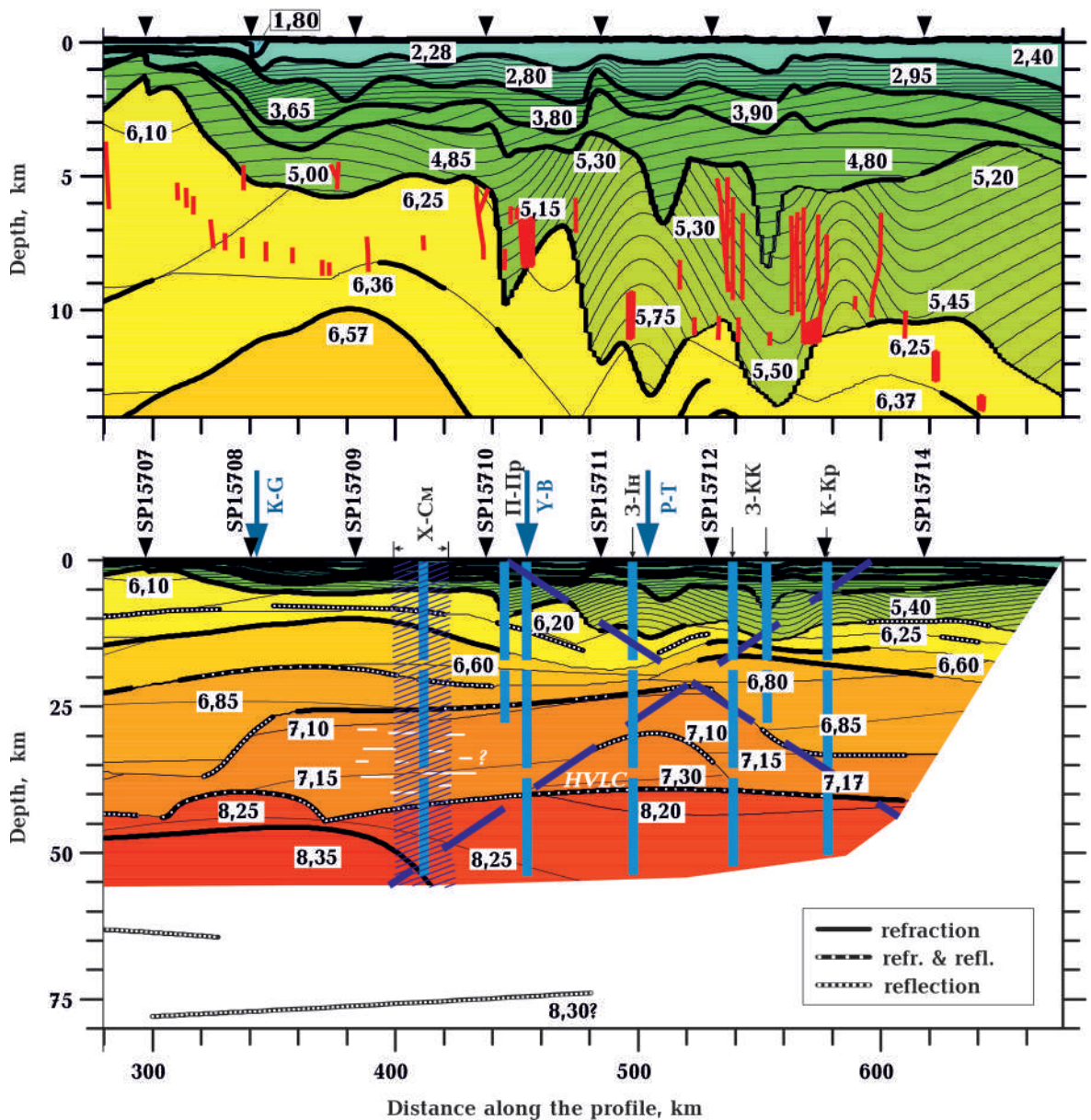
Розташування покладів значною мірою контролюється наявністю колекторів — карбонатних споруд ранньовізейського мегаатолу [Лукин, Шестопапов, 2021]. Поширення споруд атолу пов'язане з тими ж розломними зонами, що і межі Срібненської депресії. Проникні зони, по яких надходили гідрокарбонатні розчини, утворились в протерозой, тобто вони вже існували у візейській

час. Збагачення води карбонатами внаслідок розвантаження гідротерм привело до збільшення біомаси, яка буде карбонатні споруди над поздовжніми розломами, що відокремлюють борти ДДЗ, розломною зоною Переяслав-Хмельницький—Прилуки та західними Криворізько-Кременчуцькими насувами. Всі ці розломні зони та Срібненська депресія, яку вони обмежують, чітко проявлені на картах аномального магнітного, гравітаційного полів і залишкових аномалій гравітаційного поля [Лукин, Шестопапов, 2021].

Переміщення гідротермальних розчинів, вивчене, наприклад, у свердловині СГ-8, відбувається по новоутворених відкритих тріщинах [Криворожская ..., 2011]. Області розущільнення консолідованої кори, що виявлені за результатами 3D гравітаційного моделювання, на північно-західному борті Лохвицького блока розташовані на глибинах 20 та 30 км, на південно-західному борті — на поверхні кристалічного фундаменту [Старостенко и др., 2015]. Зони розущільнення позначаються різким збільшенням кількості родовищ вуглеводнів, що пов'язано також з розташуванням колекторів ранньовізейського атолу саме вздовж цих розломних зон.

Профіль Георифт 2013 проходить вздовж Центрального розлому ДДЗ (див. рис. 1) [Starostenko et al., 2018]. На сейсмічній моделі відображено коливання сейсмічних меж в осадовому чохлі. На геологічному розрізі вони відповідають різким заглибленням залягання девонських вулканітів та осадів нижнього карбону. Продовження розломних зон, встановлених за геологічними даними, фіксує їх відображення в будові нижньої частини кори і навіть верхньої мантії (рис. 9). Під ДДЗ простежено підйом поверхні Мохо до

Рис. 9. Спрощена модель будови літосфери за двовимірною моделлю швидкості сейсмічних P -хвиль по профілю GEORIFT 2013 [Starostenko et al., 2018]. Трикутники — положення пунктів вибуху. Сині стрілки — перехрестя з сейсмічними профілями (К-Г — Київ—Гомель, У-В — Яготин—Батурич, Р-Т — Пирятин—Талалаївка). Кольором показано розподіл швидкостей V_p зі значеннями в білих прямокутниках: осадовий чохол (2,0—4,8 км/с), ущільнені осадів (4,8—5,7 км/с), верхня кристалічна кора (6,0—6,4 км/с), середня кора (6,4—6,9 км/с), нижня кора (7,0—7,1 км/с), високошвидкісне тіло (7,1—7,15 км/с), високошвидкісна нижня кора (7,35 км/с), верхня мантія (8,2—8,25 км/с), високошвидкісна верхня мантія (8,2—8,4 км/с). Лінії — основні сейсмічні границі, проінтерпретовані відповідно до заломлених (refraction), заломлених і відбитих (refr. & refl.) і відбитих (reflection) P -хвиль відповідно.



HVLC — зона з великими відбиттями в нижній корі. Тектонічний шов Херсон—Смоленськ (штрихові лінії) і міжсегментні розломи ДДЗ (синій пунктир) показано за [Пашкевич, Русаков, 2021]. Червоним (верхня панель) винесено розломи, встановлені за геологічними даними [Starostenko et al., 2018]. Черні стрілки — положення розломів кристалічного фундаменту за рис. 8. (скорочення див. на рис. 8). Голубим пунктиром (нижня панель) позначено їх продовження в нижній корі та верхній мантії.

Fig. 9. A simplified model of the structure of the lithosphere based on a two-dimensional model of the speed of seismic P waves according to the GEORIFT 2013 profile [Starostenko et al., 2018]. Triangles are the positions of the explosion points. Blue arrows are intersections with seismic profiles (K-G — Kyiv—Gomel, Y-B — Yagotyń—Baturin, R-T — Pyryatyn—Talalaivka). Colors represent the distribution of speeds V_p with values in km/s in white rectangles: sedimentary cover (2.0—4.8 km/s), compacted sediments (4.8—5.7 km/s), upper crystalline crust (6.0—6.4 km/s), middle crust (6.4—6.9 km/s), lower crust (7.0—7.1 km/s), high-speed body (7.1—7.15 km/s), high-speed lower crust (7.35 km/s), upper mantle (8.2—8.25 km/s), high-speed upper mantle (8.2—8.4 km/s). Lines — the main seismic boundaries, interpreted according to refraction, refraction and reflection (refr. & refl.) and reflection P waves, respectively. HVLC is a zone with large reflections in the lower cortex. The Kherson—Smolensk tectonic seam (dashed lines) and intersegmental faults of the DDZ (blue dotted line) are shown according to [Pashkevich, Rusakov, 2021]. Red (upper panel) shows faults established according to geological data [Starostenko et al., 2018]. Black arrows are the positions of the faults of the crystalline foundation in Fig. 8. (abbreviation see Fig. 8). The blue dotted line (lower panel) indicates their elongation in the lower crust and upper mantle.

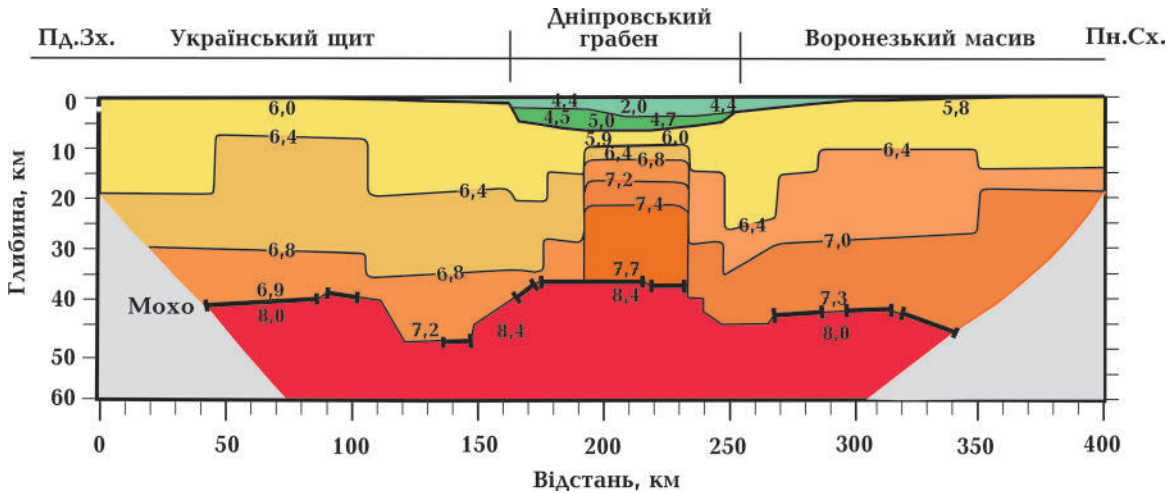


Рис. 10. Спрощена P -швидкісна модель Дніпровського грабена за профілем Пирятин—Талалаївка [Plchenko, 1996]. Потовщені лінії відповідають заломним горизонтам, тонкі лінії — ізолініям швидкості в км/с. Шари осадового заповнення (девонського віку і молодші) показано зеленим кольором.

Fig. 10. Simplified P velocity model of the Dnieper graben on the Piryatin—Talalaivka profile [Plchenko, 1996]. Thickened lines correspond to refractive horizons, thin lines — isolines of speed in km/s. Sedimentary layers (Devonian and younger) are shown in green.

глибини 35 км (рис. 10) [Plchenko, 1996; Старостенко и др., 2015].

Тектонічна зона Одеса—Гомель (центральна частина відповідає розташуванню профіля Київ—Гомель, К-Г на рис. 9), що поділяє Прип'ятський прогин та ДДЗ (див. рис. 1), відображена виступом Мохо й обмежує із заходу високошвидкісне тіло (з $V_p = 7,1$ км/с), що простягається на схід під Чернігівським та Лохвицьким блоками. При перетині насувів, що обмежують зі сходу продовження в ДДЗ Криворізько-Кременчуцької зони (З-КК), його потужність зменшується. Воно зникає на межі між Лохвицьким та Ізюмським блоками в зоні Криворізько-Крупецького розлому (К-Кр).

Всередині високошвидкісного тіла виявлена ділянка з локальними інтенсивними відбиттями. Її центр збігається з трансрегіональним швом Херсон—Смоленськ [Пашкевич, Русаков, 2021], а ширина відповідає ширині Корсунь-Новомиргородського плутону, що знаходиться між Звенігородсько-Братською та Кіровоградською розломними зонами УЩ, які продовжуються у ДДЗ Ядлів-Трахтемирівським і Кагарлицьким розломами (див. рис. 8). Тектонічний шов

розташований за межами досліджуваної території, але його вплив на тектонічні рухи та будову Лохвицького блока є безперечним.

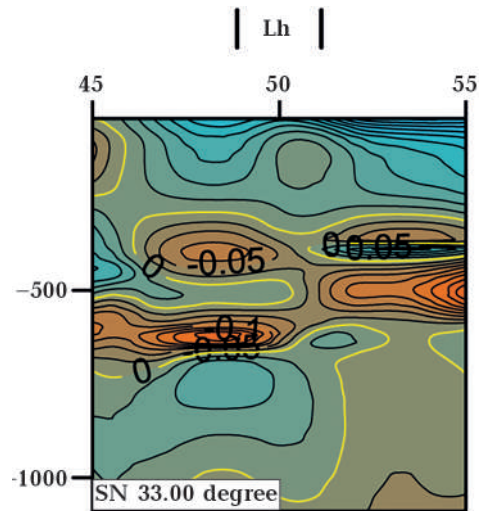


Рис. 11. Довготні вертикальні перетини тривимірної моделі мантії за 33° сх. д. до глибини 1100 м, що проходить крізь Лохвицький блок (Lh) ДДЗ [Цветкова и др., 2020 б].

Fig. 11. Longitudinal vertical sections of the three-dimensional model of the mantle at 33° east longitude to a depth of 1100 m, which passes through the Lokhvytsia block (Lh) DDB [Tsvetkova et al., 2020 b].

На профілі Георифт 2013 безпосередньо під Срібненською депресією всередині описаного вище блока розташоване високошвидкісне тіло ($V_p = 7,3$ м/с). Західноінгулецькому розлому відповідає його найбільш випукла частина. Його обмеження відбувається по розломній зоні Переяслав-Хмельницький—Прилуки на заході та західним насувам ККЗ на сході. Збільшення швидкості відбувається внаслідок насичення кори основними (ультраосновними) розплавами — її базифікації. За сейсмічними даними не можна встановити час базифікації. Однак не відкидається можливість її зв'язку із сучасною активізацією та гідротермальною діяльністю.

На профілі відображено складну будову розломної зони Переяслав-Хмельницький—Прилуки, що поділяє Чернігівський та Лохвицький блоки. Профіль перетинає його під кутом близько 30° , тому його ширина на профілі є трохи завищеною, але вона не менша за 20 км.

Існують деякі особливості будови кори. Тектонічний шов Херсон—Смоленськ контролює границю зміни швидкостей, тобто і речового складу мантії. Її розташування не збігається з межею поділу кори на переважно протерозойську на заході та переважно архейську на сході (див. рис. 1). У межах УЩ поділ на протерозойську та архейську частини кори відбувається по ККЗ, продовження якої чітко відображено на профілі різким заглибленням фундаменту між пунктами SP 15 712 та SP 15 713. Зона, в якій ще наявні архейські породи, але з'являються і протерозойські граніти, обмежена західними насувами ККЗ. Кіровоградські граніти (2,04—1,9 млрд років) широко поширені в Інгульському мегаблоці та західній частині Інгулецько-Криворізької шовної зони, тоді як у Середньопридніпровському блоці УЩ (на схід від ККЗ) наймолодші граніти мають архейський вік (2,62 млрд років [Щербак и др., 2005]). Поєднання тектонічного шва Херсон—Смоленськ і межі Криворізько-Крупецької зони є дотичною лінією до вигинів високошвидкісних тіл, як і границя, що проходить від неї до зони Переяслав-Хмельницький—При-

луки. У статті [Пашкевич, Русаков, 2021] також виділені ці нахилені границі, які позначені як межсегментні розломи ДДЗ.

Треба зазначити, що справжні розломи кристалічного фундаменту не можуть бути лінійними — це переривчасті складнобудовані зони ешелонуваних сколів, виражені кристалізаційною сланцюватістю, різними типами лінійності і смугастості, мігматитами і граніто-гнейсами, часто мілонітами і бластомілонітами, в яких під час активізації та розтягнення утворюються розкриті тріщини [Гинтов, 2005], проникні для розплавів і гідротермальних розчинів.

На профілі Пирятин—Талалаївка чітко відображено піднімання межі Мохо та розташування обох високошвидкісних тіл, які обмежені розломними зонами, що відділяють центральну частину грабена від бортових (див. рис. 10).

Вертикальні продовження розломних зон, проявлених у будові кристалічного фундаменту та осадового чохла, перетинають границі поширення високошвидкісних тіл, що є доказом їх занурення в мантію. Вони можуть служити шляхами для надходження мантійних розплавів і флюїдів.

Сейсмотомографічні дослідження (3D P -швидкісна модель мантії), представлені в статтях [Цветкова и др., 2019, 2020а, б], демонструють неоднорідну будову мантії та перехідної зони безпосередньо під ДДЗ та її оточенням. У перехідній зоні та нижній мантії під цією структурою проходить вертикальна границя, що розмежовує високо- та низькошвидкісні зони. Найбільш градієнтною є границя між високошвидкісною перехідною зоною, розташованою під Анатолійською плитою та Чорним морем, яка під ДДЗ змінюється на низькошвидкісну під Східноєвропейською платформою. Ця границя чітко простежується на довготному вертикальному перетині по 33° сх. д. (тобто безпосередньо під Західноінгулецькою розломною зоною) між 50 та 51° пн. ш. (рис. 11). Границя максимального поширення високошвидкісної перехідної зони в Лохвицькому блоці ДДЗ проходить уздовж його центральної частини (приблизно вздовж Центрального розлому) (див. рис. 8). Різка змі-

на її напрямку спостерігається по 32° сх. д., де від тектонічного шва Херсон—Смоленськ вона повертає на південь [Цветкова и др., 2019].

Також у верхній мантії безпосередньо під Лохвицьким блоком чітко проявлена шароподібна структура, яка відрізняється швидкостями P -хвиль. Ця структура відображається і на широтних перетинах від 50 до 51° пн. ш., і на перетинах від 32 до 33° сх. д. і не проявлена на перетині по 34° сх. д. (на межі Лохвицького та Ізюмського блоків ДДЗ) [Цветкова и др., 2020 б]. Її обмеження проходить під західними Криворізько-Кременчуцькими розломами. Її верхня кромка розташована на глибині близько 75 км. На профілі Георифт 2013 на цій глибині знаходиться рефлектор (див. рис. 9).

Отже, неоднорідності будови, проявлені в корі та на границі кора—мантія, за результатами сейсмотомографічних досліджень спостерігаються до глибини 1100 км.

Обговорення. Як чинник стрибка градієнта, контрольованого наявністю розломів, проникних шарів і колекторів, розглядається гідротермальний розчин, що водночас є носієм вуглеводневих сполук, водню та гелію. Це підтверджується гідрогеологічними даними. На глибинах, де відбувається стрибок градієнта, встановлено гідрогеологічну інверсію — появу термальних гідрокарбонатно-натрієвих вод. Вище цієї межі поширені розсоли хлоркальцієвого типу з низькою мінералізацією та високою газонасиченістю [Лукин, 1987; Лукин, Шестопалов, 2021].

Загальна модель гідротермальної діяльності, розглянута за складом протерозойських магматичних і метасоматичних порід уранових родовищ, розташованих уздовж тектонічного шва Херсон—Смоленськ в Інгульському мегаблоці УЩ [Усенко, 2013], передбачає утворення шару часткового плавлення на границі кора—мантія, проникнення лужних розплавів основного складу в кору, появу осередку гранітних розплавів та відокремлення від них термальних розчинів. Сукупність цих процесів супроводжувалася тектонічною діяльністю.

Надходження ультраосновних та основних розплавів відбувається по проникних

розломних зонах, що мають мантієне закладення та перетинають кору. Піднімання гідротермальних розчинів, що відокремлюються від шару часткового плавлення кори чи інтрузивних тіл, здійснюється з глибин не більше як за 10 — 20 км. Зіставлення із сейсмічним розрізом за профілем Георифт 2013 демонструє, що розломи, проявлені в кристалічному фундаменті та осадовій товщі, контролюють розташування високошвидкісних блоків у корі. Продовження розломів до межі кори і мантії, занурення тектонічного шва Херсон—Смоленськ в мантію є безсумнівними. Неоднорідності будови верхньої мантії та перехідного шару, відображені в сейсмотомографічній моделі, простежуються безпосередньо під Срібненською депресією до нижньої мантії. Це дає змогу припустити як робочу гіпотезу існування низки геодинамічних процесів, що на поверхні проявлені в гідротермальній діяльності.

Інтерпретація сейсмічної та сейсмотомографічної моделей є неоднозначною. Природа та час утворення неоднорідностей, проявлених у сучасній будові кори та мантії, є дискусійними. Зв'язок між гідротермальною діяльністю, що відбувається поблизу поверхні, та зміною швидкостей P -хвиль на глибині до 1000 км досить важко впевнено обґрунтувати. Наразі можна стверджувати, що розташування зон, де відбувається різка зміна швидкостей в нижній мантії та перехідному шарі, збігається з віссю грабена ДДЗ і трансрегіональним тектонічним швом Херсон—Смоленськ. Верхня границя тіла, що має знижені значення швидкості на сейсмотомографічній моделі, збігається з рефлектором на профілі ГСЗ. Головні розломи осадової товщі та кристалічного фундаменту досягають мантії. Над ними фіксують зони розущільнення кристалічної кори, появу біогенних і хемогенних осадів у карбоні, розміщення родовищ вуглеводнів. Сучасна гідротермальна діяльність проявлена у зміні температури та складу глибинних вод, збільшенні концентрацій урану в сучасних поверхневих водах.

Висновки. У межах Лохвицького блока ДДЗ ТП змінюються від 38 до 49 мВт/м². У

Срібненській депресії значення середнього ТП не перевищують 40 мВт/м^2 . Підвищення в середньому до 45 мВт/м^2 фіксуються на північному і південному бортах. Верхня частина розрізу характеризується сталим градієнтом $22 \text{ }^\circ\text{C/км}$. На всіх без винятку родовищах Срібненської депресії та її оточення встановлено стрибок градієнта при перетині покладів вуглеводнів чи на декілька сотень метрів нижче. Зміна градієнта проявлена не в усіх свердловинах, контролюється тектонічними та літологічними чинниками. Тому в межах одного родовища коливання значень ТП можуть досягати $10\text{—}12 \text{ мВт/м}^2$. Межа, на якій відбувається стрибок градієнта, проходить у нижньовізейських осадах, у більшості випадків на глибині розташування покладів вуглеводнів чи на декілька сотень метрів нижче. Знижені значення ТП у Срібненській депресії пов'язані зі способом розрахунку — збільшенням довжини відрізка до цієї межі.

Існує просторовий зв'язок між рівнем, на якому визначено стрибок градієнта, глибиною прояву гідрогеологічної інверсії (появою термальних вод гідрокарбонатно-натрієвого складу) та розміщенням покладів вуглеводнів. Це робить визначення розташування цієї межі важливою практичною задачею. Складна багатоярусна будова осадового чохла, в якому флюїдопроникні розломи, пористі пісковики та непроникні осадові шари розташовані на різних рівнях в різних частинах басейну, значно ускладнює вирішення цієї задачі. Між тим використання замірів температур, що проводяться на забоях свердловин безпосередньо в процесі буріння, надає один із способів її вирішення. Градієнт підвищується до $30\text{—}70 \text{ }^\circ\text{C/км}$ і залишається високим після проходження шару.

Можна стверджувати, що стрибок геотермічного градієнта виникає на глибинах розвантаження термальних розчинів. Відбувається зміна складу води (хлоридно-кальцієві води, поширені у верхній частині осадової товщі, змінюються на термальні гідрокарбонатно-натрієві), підвищення її температури та пластового тиску. Збагачення вуг-

леводневими сполуками, гелієм, воднем і металами може бути виключно наслідком зв'язку з первинно мантійними джерелами речовини.

Наявна на сьогодні геологічна та геофізична інформація дає змогу зробити впевнені висновки про можливість існування глибинних джерел збагачення гідротермальних розплавів. Розташування розломів кристалічного фундаменту дає можливість стверджувати, що вони є надрегіональними, утвореними в протерозої, але тектонічні рухи по них відбуваються і останні 3 млн років. На їх продовженні в межах УЩ встановлена сучасна гідротермальна діяльність. У межах Лохвицького блока над цими розломами в поверхневих водах вміст урану підвищений. Відбувається його сучасний перерозподіл за участю термальних гідрокарбонатно-натрієвих вод, в яких він є рухомих компонентом.

На профілі Георифт 2013 у будові мантії, кори та осадового чохла проявлені всі глибинні розломи. Так, чітко фіксується північно-західна межа Лохвицького блока — розлом Переяслав-Хмельницький—Прилуки, Інгулецько-Криворізький розлом, західні Криворізько-Кременчуцькі. Поздовжні розломи, що розділяють центральну частину грабена та його борти, відображені появою високошвидкісного тіла, яке вздовж грабена простягається від тектонічної зони Одеса—Гомель до Криворізько-Кременчуцької зони. Зміна фізичних властивостей мантії відбувається по трансрегіональному тектонічному шву Херсон—Смоленськ.

За сейсмотографічною моделлю в межах Лохвицького блока у верхній мантії залягає низькошвидкісне тіло, а вздовж Центрального розлому проходить границя інверсії швидкостей P -хвиль перехідного шару.

Отже, будова мантії та кори під Лохвицьким блоком ДДЗ є дуже складною, що дає змогу висувати гіпотезу про глибинні чинники сучасної гідротермальної діяльності.

Автори виражають щире вдячність доктору геол. наук Т.П. Сторовій за підтримку роботи та надані консультації.

Список літератури

- Атлас геологического строения и нефтегазонаосности Днепровско-Донецкой впадины.* Ред. Ю.А. Арсирый, А.А. Билык, М.И. Бланк. Киев: Изд. Мингео УССР, 1984. 190 с.
- Верховцев В.Г. Новітні вертикальні рухи земної кори території України, їх взаємовідношення з лінійними та кільцевими структурами. В кн.: *Енергетика Землі, її геолого-екологічні прояви, науково-практичне використання.* Київ: Вид-во КНУ, 2006. С. 129—137.
- Гинтов О.Б. *Полевая тектонофизика и ее применения при изучении деформаций земной коры Украины.* Киев: Феникс, 2005. 572 с.
- Гинтов О.Б. Схема периодизации этапов разломообразования в земной коре Украинского щита — новые данные и следствия. *Геофиз. журн.* 2014. Т. 36. № 1. С. 3—18. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v36i1.2014.116145>.
- Криворожская сверхглубокая скважина СГ-8.* Подред. Е.М.Шаремета. Донецк: Ноулидж, 2011. 555 с.
- Лисицин А.П. *Процессы океанской седиментации. Литология и геохимия.* Москва: Наука, 1978. 392 с.
- Лукин А.Е. Глубинная гидрогеологическая инверсия как глобальное синергетическое явление: теоретические и прикладные аспекты. Статья 2. Тектоно-геодинамические аспекты глубинной гидрогеологической инверсии. *Геол. журн.* 2005. № 1. С. 50—67.
- Лукин А.Е. *Литогеодинамические факторы нефтегазонакопления в авлакогенных бассейнах.* Киев: Наук. думка, 1997. 224 с.
- Лукин А.Е., Шестопапов В.М. Кольцевые тектономагматогенные структуры в зонах повышенной геодинамической нестабильности — первоочередные объекты поисков месторождений водорода. *Геофиз. журн.* 2021. Т. 43. № 4. С. 1—41. <https://doi.org/10.24028/gzh.v43i5.244038>.
- Пашова Н.Т., Кривошея В.А., Маріна Н.В., Федорчук Н.І. Кільцеві структури північної прибортової зони ДДЗ — глибинні канали міграції ВВ — аналоги «GASHIMNEY». *Азово-Черноморский полигон изучения геодинамики и флюидодинамики формирования месторождений нефти и газа. Тез. докл. XI Междунар. конф. «Крым-2013», Симферополь, 2013.* С. 32—33.
- Пашкевич И.К., Русаков О.М. Комплексная геолого-геофизическая характеристика зоны трансрегионального тектонического шва Херсон—Смоленск — глубинного долгоживущего магмо- и флюидопроводящего канала. *Геофиз. журн.* 2021. Т. 43. № 5. С. 111—126. <https://doi.org/10.24028/gzh.v43i5.244075>.
- Старостенко В.И., Лукин А.Е., Цветкова Т.А., Шумлянская Л.А. Геофлюиды и современное проявление активизации Ингульского мегаблока Украинского щита. *Геофиз. журн.* 2014. Т. 36. № 5. С. 3—25.
- Старостенко В.И., Русаков О.М., Пашкевич И.К., Кутас Р.И., Орлюк М.И., Куприенко П.Я., Макаренко И.Б., Максимчук П.Я., Козленко Ю.В., Козленко М.В., Легостаева О.В., Лебедев Т.В., Савченко А.С. *Тектоника и углеводородный потенциал кристаллического фундамента Днепровско-Донецкой впадины.* Киев: Галактика, 2015. 211 с.
- Старостенко В.И., Пашкевич И.К., Макаренко И.Б., Куприенко П.Я., Савченко А.С. Геодинамическая интерпретация геолого-геофизической неоднородности литосферы Днепровско-Донецкой впадины. *Доп. НАН України.* 2017. № 9. С. 84—94. <https://doi.org/10.15407/dopovidi2017.09.084>.
- Усенко А.П. Розподіл теплових характеристик в центральній частині південно-західного борту Дніпровсько-Донецької западини. *Доп. НАН України.* 2017. № 6. С. 58—61.
- Усенко А., Усенко О. *Анализ геотермических параметров на северо-западной части ДДВ.* Lap Lambert Academic Publishing, 2018. 141 с.
- Усенко А.П., Усенко О.В. Аналіз геотермічних параметрів нафтогазових родовищ центральної частини Дніпровсько-Донецької западини. *Геофиз. журн.* 2020. Т. 42. №3. С. 128—

146. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v42i3.2020.204705>.
- Усенко А.П., Усенко О.В. Визначення геотермічних параметрів, що відповідають за сучасну геотермальну діяльність у Дніпровсько-Донецькій западині та Донбасі. *Доп. НАН України*. 2021. № 6. С. 97—107. <https://doi.org/10.15407/dopovidi2021.06.09>.
- Усенко О.В. Месторождения полезных ископаемых Кировоградского рудного района Украинского щита: связь с глубинным процессом. *Геофиз. журн.* 2013. Т. 35. № 6. С. 128—145. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v35i6.2013.116523>.
- Цветкова Т.А., Бугаенко И.В., Заец Л.Н. Главная геодинамическая граница и сейсмическая визуализация плюмов Восточно-Европейской платформы. *Геофиз. журн.* 2019. Т. 41. № 1. С. 108—136. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v41i1.2019.158868>.
- Цветкова Т.А., Бугаенко И.В., Заец Л.Н. Скоростное строение под Днепровско-Донецкой впадиной и ее окружением. Ч. I. *Геофиз. журн.* 2020а Т. 42. № 2. С. 71—85. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v42i2.2020.201742>.
- Цветкова Т.А., Бугаенко И.В., Заец Л.Н. Скоростное строение под Днепровско-Донецкой впадиной и ее окружением. Ч. II. *Геофиз. журн.* 2020б. Т. 42. № 3. С. 145—161. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v42i3.2020.204706>.
- Шестопалов В.М., Лукин А.Е., Згонник В.А., Макаренко А.Н., Ларин Н.В., Богуславский А.С. *Очерки дегазации Земли*. Киев: Итексервис, 2018. 632 с.
- Щербак Н.П., Артеменко Г.В., Лесная И.М., Пономаренко А.Н. *Геохронология раннего докембрия Украинского щита*. Архей. Киев: Наук. думка, 2005. 244 с.
- Bogdanova, S.V., Gorbatshev, R., & Grad, M. (2006). EUROBRIDGE: new insight into the geodynamic evolution of the East European Craton. In D.G. Gee, R.A. Stephenson (Eds.), *European Lithosphere Dynamics* (Vol. 32, pp. 599—625). Geol. Soc. London. Memoir. <https://doi.org/10.1144/GSL.MEM.2006.032.01.36>.
- Ilchenko, T. (1996). Dnieper-Donets Rift: deep structure and evolution from DSS profiling. *Tectonophysics*, 268(1-4), 83—98. [https://doi.org/10.1016/S0040-1951\(96\)00221-1](https://doi.org/10.1016/S0040-1951(96)00221-1).
- Shestopalov, V., Lukin, O., Starostenko, V., Ponomarenko, O., Tsvetkova, T., Koliabina, I., Makarenko, O., Usenko, O., Rud, O., Onoprienko, A., Saprykin, V., Vardapelian, R. Prospects for exploration of hydrogen fields in riftogene structures of platforms (the case of the Dnieper-Donets Aulacogene). *Геофиз. журн.* 2021. Т. 43. № 5. С. 1—18. <https://doi.org/10.24028/gzh.v43i5.244038>.
- Starostenko, V., Janik, T., Yegorova, T., Czuba, W., Środa, P., Lysynchuk, D., Aizberg, R., Garetsky, R., Karataev, G., Gribik, Y., Farfuliak, L., Kolomiyets, K., Omelchenko, V., Komminaho, K., Tiira, T., Gryn, D., Guterch, A., Legosteva, O., Thybo, H., & Tolkunov A. (2018). Lithospheric structure along wide-angle seismic profile GEORIFT2013 in Pripjat-Dnieper-Donets Basin (Belarus and Ukraine). *Geophysical Journal International*, 212, 1932—1962. <https://doi.org/10.1093/gji/ggx509>.

The manifestations of modern degassing in the heat flow and deep structure (on the example of Lohvytsky block of Dnieper-Donetsk basin)

O.V. Usenko, A.P. Usenko, 2022

S.I. Subbotin Institute of Geophysics of the National Academy of Science of Ukraine, Kyiv, Ukraine

The article contains heat flow calculations in the Lohvytsky block and a scheme of the distribution of heat flow. We found the dependence of heat flow distribution with zones of activated deep faults of the crystal basement, sedimentary cover of Sribnenska depression and its surroundings. At the borders of Lohvytsky block the heat flow in the area changes only a little, staying close to the average value — 40 mWt/m². At all deposits the gradient increases by 20—30 °C/m, which happens at the intersection of tectonic, stratigraphic and lithological borders, which in many cases control the location of hydrocarbon deposits as well.

Changes of temperature and composition of waters at the depth where the gradient jumps let us assume that their reason is modern hydrothermal activity. To find its manifestations, we incorporated geophysical research that determined the fault zones and zones of decompression, to which hydrocarbon deposits tend. The connection between thermal water discharge zones and faults is confirmed by their enrichment with hydrogen, helium, and the presence of native metal particles.

Fault zones, which limit the Sribnenska depression and the Kherson—Smolensk transregional tectonic seam are shown at the crust structure, established by a two-dimensional speed model of seismic *P* waves in the Earth's crust (GEORIFT 2013 profile). The results of seismotomographic research show the complex structure of the mantle, directly under the study area.

Geophysical data demonstrate that faults manifested in the crystalline basement and sedimentary strata control the location of high-velocity blocks in the crust. The continuation of faults to the boundary of the crust and mantle is unquestionable. The inhomogeneities of the structure of the upper mantle and the transition layer, reflected in the seismotomographic model, can be traced directly under the Sribne depression to the lower mantle. This allows us to assume, as a working hypothesis, the existence of a chain of geodynamic processes that are manifested on the surface in hydrothermal activity.

Key words: Dnieper-Donetsk basin), heat flow, gradient, hydrothermal activity, fault zones, seismotomological model.

References

- Arsiriy, Yu.A., Bilyk, A.A., & Blank, M.I. (Eds.). (1984). *Atlas of the geological structure and oil-and-gas potential of the Dnieper-Donetsk depression*. Kiev: Publication of the Ministry of Geology of the Ukrainian SSR, 190 p. (in Russian).
- Verkhovtsev, V.G. (2006). The latest vertical movements of the Earth's crust on the territory of Ukraine, their relationship with linear and ring structures. In *Energy of the Earth, its geological and environmental manifestations, scientific and practical use* (pp. 129—137). Kyiv: Publishing house of KNU (in Ukrainian).
- Gintov, O.B. (2005). *Field tectonophysics and its application in the study of deformations of the Earth's crust of Ukraine*. Kiev: Feniks, 572 p. (in Russian).
- Gintov, O.B. (2014). Scheme of periodization of faulting stages in the Earth's crust of the Ukrainian Shield — new data. *Geofizicheskiy Zhurnal*, 36(1), 3—18. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v36i1.2014.116145> (in Russian).
- Sharemet, E.M. (Ed.). (2011). *Krivoy Rog super-*

- deep well SG-8. Donetsk: Noulidzh, 555 p. (in Russian).
- Lisitsin, A.P. (1978). *Processes of oceanic sedimentation. Lithology and geochemistry*. Moscow: Nauka, 392 p. (in Russian).
- Lukin, A.E. (2005). Deep hydrogeological inversion as a global synergetic phenomenon: theoretical and applied aspects. Article 2. Tectonic and geodynamic aspects of deep hydrogeological inversion. *Geologicheskij Zhurnal*, (1), 50—67 (in Russian).
- Lukin, A.E. (1997). *Lithogeodynamic factors of oil-and-gas accumulation in aulacogenous basins*. Kyiv: Naukova Dumka, 224 p. (in Russian).
- Lukin, A.E., & Shestopalov, V.M. (2021). Tectono-magmatogenerating structures in zones of increased geodynamic instability as priority objects for exploration of hydrogen fields. *Geofizicheskij Zhurnal*, 43(4), 3—41. <https://doi.org/10.24028/gzh.v43i4.239953> (in Russian)..
- Pasheva, N.T., Krivosheya, V.A., Marina, N.V., & Fedorchuk, N.I. (2013). Ring structures of the northern edge zone of RSD — deep channels of IW migration — analogues of «GASHIMNEY». *Azov-Chernomorsky polygon for studying geodynamics and fluid dynamics of the formation of oil-and-gas fields. Abstracts of the XI International Conference «Crimea-2013», Simferopol* (pp. 32—33) (in Ukrainian).
- Pashkevich, I.K., & Rusakov, O.M. (2021). Integrated geological-geophysical characterization of the zone of the Kherson—Smolensk transregional tectonic suture — deep long-lived magma- and fluid-conducting channel. *Geofizicheskij Zhurnal*, 43(5), 111—126. <https://doi.org/10.24028/gzh.v43i5.244075> (in Russian).
- Starostenko, V.I., Lukin, A.E., Tsvetkova, T.A., & Shumlyanskaya, L.A. (2014). Geofluids and up-to-date display of activization of the Ingul megablock of the Ukrainian Shield. *Geofizicheskij Zhurnal*, 36(5), 3—25. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v36i5.2014.111567> (in Russian).
- Starostenko, V.I., Rusakov, O.M., Pashkevich, I.K., Kutas, R.I., Orlyuk, M.I., Kuprienko, P.Ya., Makarenko, I.B., Maksimchuk, P.Ya., Kozlenko, Yu.V., Kozlenko, M.V., Legostaeva, O.V., Lebed, T.V., & Savchenko, A.S. (2015). *Tectonics and hydrocarbon potential of the crystalline basement of the Dnieper-Donetsk Depression*. Kiev: Galaktika, 211 p. (in Russian).
- Starostenko, V.I., Pashkevich, I.K., Makarenko, I.B., Kuprienko, P.Ya., & Savchenko, A.S. (2017). Geodynamic interpretation of the geological and geophysical heterogeneity of the lithosphere of the Dnieper-Donetsk Depression. *Dopovidi NAN Ukrainy*, (9), 84—94. <https://doi.org/10.15407/dopovidi2017.09.084> (in Russian).
- Usenko, A.P. (2017). Determination of thermal characteristics in the central part of the south-west side of the Dnieper-Donets Depression. *Dopovidi NAN Ukrainy*, (6), 58—61 (in Ukrainian).
- Usenko, A., & Usenko, O. (2018). *Analysis of geothermal parameters in the northwestern part of the Far East*. Laplambert Academic Publishing, 141 p. (in Russian).
- Usenko, A.P., & Usenko, O.V. (2020). Analysis of geothermic parameters of oil-and-gas deposits of the central part of the Dnieper-Donets Depression. *Geofizicheskij Zhurnal*, 42(3), 127—144. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v42i3.2020.204705> (in Ukrainian).
- Usenko, A.P., & Usenko, O.V. (2021). Determination of geothermal parameters responsible for modern geothermal activity in the Dnipro-Donetsk Basin and Donbas. *Dopovidi NAN Ukrainy*, (6), 97—107. <https://doi.org/10.15407/dopovidi2021.06.09> (in Ukrainian).
- Usenko, O.V. (2013). Deposits of minerals of the Kirovograd ore region of the Ukrainian Shield: connection with the deep process. *Geofizicheskij Zhurnal*, 35(6), 128—145. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v35i6.2013.116523> (in Russian).
- Tsvetkova, T.A., Bugaenko, I.V., & Zaets, L.N. (2019). The main geodynamic border and seismic visualization of plumes under the East European Platform. *Geofizicheskij Zhurnal*, 41(1), 137—152. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v41i1.2019.158868> (in Russian).

- Tsvetkova, T.A., Bugaenko, I.V., & Zaets, L.N. (2020). Speed structure of the mantle under the Dnieper-Donets Depression and its surroundings. Pt. I. *Geofizicheskiy Zhurnal*, 42(2), 71—85. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v42i2.2020.201742> (in Russian).
- Tsvetkova, T.A., Bugaenko, I.V., & Zaets, L.N. (2020). Speed structure of the mantle under the Dnieper-Donets Depression and its surroundings. Pt. II. *Geofizicheskiy Zhurnal*, 42(3), 145—161. <https://doi.org/10.24028/gzh.0203-3100.v42i3.2020.204706> (in Russian).
- Shestopalov, V.M., Lukin, A.E., Zgonnik, V.A., Makarenko, A.N., Larin, N.V., & Boguslavskiy, A.S. (2018). *Essays on the degassing of the Earth*. Kiev: Itekservis, 632 p. (in Russian).
- Shcherbak, N.P., Artemenko, G.V., Lesnaya, I.M., & Ponomarenko, A.N. (2005). *Geochronology of the Early Precambrian of the Ukrainian Shield*. *Archaeus*. Kiev: Naukova Dumka, 244 p. (in Russian).
- Bogdanova, S.V., Gorbatshev, R., & Grad, M. (2006). EUROBRIDGE: new insight into the geodynamic evolution of the East European Craton. In D.G. Gee, R.A. Stephenson (Eds.), *European Lithosphere Dynamics* (Vol. 32, pp. 599—625). Geol. Soc. London. Memoir. <https://doi.org/10.1144/GSL.MEM.2006.032.01.36>.
- Ilchenko, T. (1996). Dnieper-Donets Rift: deep structure and evolution from DSS profiling. *Tectonophysics*, 268(1-4), 83—98. [https://doi.org/10.1016/S0040-1951\(96\)00221-1](https://doi.org/10.1016/S0040-1951(96)00221-1).
- Shestopalov, V., Lukin, O., Starostenko, V., Ponomarenko, O., Tsvetkova, T., Koliabina, I., Makarenko, O., Usenko, O., Rud, O., Onoprienko, A., Saprykin, V., Vardapelian, R. Prospects for exploration of hydrogen fields in riftogene structures of platforms (the case of the Dnieper-Donets Aulacogene). *Геофиз. журн.* 2021. Т. 43. № 5. С. 1—18. <https://doi.org/10.24028/gzh.v43i5.244038>.
- Starostenko, V., Janik, T., Yegorova, T., Czuba, W., Środa, P., Lysynchuk, D., Aizberg, R., Garetsky, R., Karataev, G., Gribik, Y., Farfuliak, L., Kolomiyets, K., Omelchenko, V., Komminaho, K., Tiira, T., Gryn, D., Guterch, A., Legosteva, O., Thybo, H., & Tolkunov A. (2018). Lithospheric structure along wide-angle seismic profile GEORIFT2013 in Pripjat-Dnieper-Donets Basin (Belarus and Ukraine). *Geophysical Journal International*, 212, 1932—1962. <https://doi.org/10.1093/gji/ggx509>.