УДК 550.36

ОСОБЛИВОСТІ ЛОКАЛЬНИХ ТЕПЛОВИХ ПРОЦЕСІВ У РЕГІОНІ ДНІПРОВСЬКО-ДОНЕЦЬКОЇ ЗАПАДИНИ

М.В. Лубков

Полтавська гравіметрична обсерваторія Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України, вул. Мясоєдова, 27/29, Полтава 36029, Україна, e-mail: mikhail.lubkov@mail.ru

З метою дослідження аномальних локальних теплових процесів у регіоні Дніпровсько-Донецької западини (ДДЗ) на основі варіаційної скінченно-елементної методики для нестаціонарної задачі теплопровідності змодельовано локальні приповерхневі теплові процеси у зоні сучасної активізації ДДЗ. Показано, що процеси нагріву приповерхневих зон осадових порід земної кори в околах аномальних температурних джерел ДДЗ, які зумовлені переміщенням гарячих флюїдів по активізованих розломах, суттєво залежать від етапу розігріву і наявності у навколишніх зонах високотеплопровідних соляних масивів. У випадку нестабільності аномальних температурних джерел за часом загальна картина розвитку локальних теплових полів визначатиметься періодами їх відносної активності. За розташуванням локальних теплових полів на земній поверхні та їх кількісними характеристиками (поверхневий тепловий потік, температурні градієнти) можна локалізувати місця активізованих глибинних розломів та пов'язані з ними процеси накопичення вуглеводневої сировини в регіоні ДДЗ.

Ключові слова: комп'ютерне моделювання, локальні теплові процеси, зона сучасної активізації ДДЗ.

Вступ. Дніпровсько-Донецька западина (ДДЗ) є складовою частиною Дніпровсько-Донецького рифту і розміщена на північному сході української частини Східноєвропейської літосферної плити. ДДЗ – це система глибинних розломів, які простягаються з південного сходу на північний захід і утворюють смугу опущених уздовж розломів блоків і мікроблоків кристалічного фундаменту [14, 15]. У межах ДДЗ виділяють такі порушення [3, 4, 14, 15]: 1) дорифтові розломи архейсько-протерозойського походження; 2) рифтові пізньодевонські розломи, які простягаються вздовж осі западини і розташовані поперечно стосовно дорифтових розломів; 3) скидові післярифтові регіональні та локальні розриви в осадовому чохлі западини. Згідно із сучасними геологічними і геофізичними даними, центральна, південно-східна і частково південно-західна частини ДДЗ за останні 3–5 млн років зазнають сучасної активізації (СА) [2, 4, 5]. Цей процес проявляється в активізації поздовжніх та поперечних розломів ДДЗ, появі у приповерхневих шарах земної кори циркуляції глибинних високонапірних гарячих флюїдів – розчинених солей і газів, що відрізняються за складом від речовин осадового чохла. Флюїди циркулюють по проникливих зонах активізованих розломів. Збурення теплового потоку в зоні СА ДДЗ передусім пов'язане із зонами окремих локальних розломів, по яких проходять глибинні флюїди, тому що просторовий перегрів від глибинних джерел на сучасному етапі ще не досяг приповерхневих шарів земної кори.

Для розуміння сучасних геотектонічних процесів, які відбуваються в регіоні ДДЗ, і пов'язаних з ними процесів генерації, міграції та накопичення вуглеводневої сировини важливе значення має дослідження локальних геотермічних режимів, що контролюють різні фізико-хімічні і геодинамічні процеси. Взагалі цим питанням присвячено багато робіт [2–7, 9, 10, 12, 15, 16]. Насамперед слід відзначити роботи В.В. Гордієнка, Р.І. Кутаса та їх колег, в яких досліджено різні геофізичні та геологічні аспекти СА тектоносфери в регіоні ДДЗ і пов'язані з цим теплові процеси. Ступінь вивченості ДДЗ у геологічному сенсі дає змогу побудувати достатньо точні карти теплових полів регіону. Втім, як зазначено в монографії [15], на розподіл температур у приповерхневих шарах земної кори істотно впливають природні, техногенні та екологічні фактори, окремо зміни клімату, динаміка підземних вод, розробка родовищ корисних копалин тощо. Тому для виявлення регіональних особливостей локальних теплових полів ДДЗ важливе значення мають геотермічні дані, які отримано у достатньо глибоких свердловинах. На рис. 1 представлена карта, що характеризує розподіл температур у регіоні ДДЗ на глибині 3000 м [15]. За даними вимірювань у свердловинах ДДЗ установлено, що температура на глибині 1000 м змінюється від 25 до 40–45 °С, при цьому фонові значення температури становлять 28–33 °С. Температури, що виходять за фоновий інтервал, характеризують локальні ділянки або структури, які часто розміщуються над соляними диапірами або в прибортових зонах западини. На глибині 2000 м температури досягають 50–78 °С, при цьому фонові значення дорівнюють 53–65 °С. На глибині 3000 м температури підвищуються до 70–115 °С, на окремих структурах – до 120 °С. На основі варіаційної скінченно-еле-

© М.В. Лубков

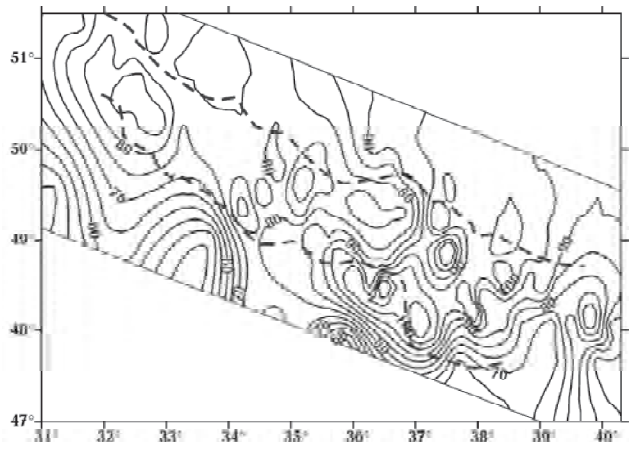

Рис. 1. Карта розподілу температур (°С) у регіоні Дніпровсько-Донецької западини на глибині 3000 м [15]

Fig. 1. The map of temperature distribution (°C) in the region of Dnepr-Donetsk depression at the deep of 3000 m [15]

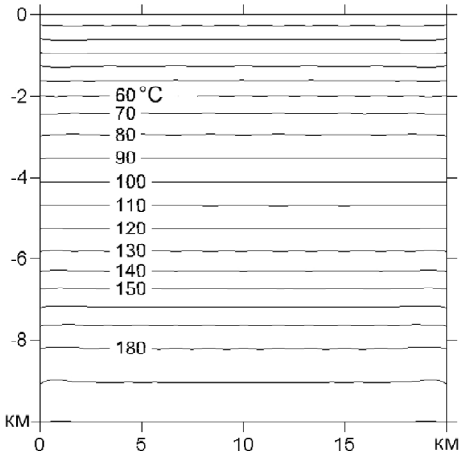

Рис. 2. Розподіл фонового температурного поля з урахуванням радіогенного тепловиділення порід у Полтавському мегаблоці Дніпровсько-Донецької западини [11]

Fig. 2. The phone temperature distribution with calculation of rock radiogenic heat irradiation in the Poltava megablock of Dnepr-Donetsk depression [11]

ментної методики для нестаціонарної задачі теплопровідності з урахуванням радіогенного тепловиділення порід земної кори, виходячи з гіпотези про рифтове походження ДДЗ у статті [11], наведено розподіли середніх фонових температур земної кори в цьому регіоні. Отримані дані добре узгоджуються з даними спостережень (рис. 2). У монографії [15] зазначено, що в регіоні ДДЗ локальні теплові аномалії тісно пов'язані з активними розломами і циркуляцією гарячих флюїдів у них та соляною тектонікою і як наслідок з нафтогазовими родовищами, тому становить інтерес детальне дослідження локальних аномальних теплових процесів, що відбуваються під впливом зазначених факторів у місцях можливого розміщення вуглеводневої сировини, тобто в приповерхневих осадових шарах земної кори.

У статті на основі варіаційної скінченно-елементної методики для нестаціонарних задач теплопровідності описано чисельне моделювання локальних теплових процесів земної кори у приповерхневих шарах земної кори в зоні СА ДДЗ.

Постановка і метод розв'язання задачі. Виходячи з того факту, що місця появи і розміщення джерел температурних аномалій в осадових породах земної кори в зоні СА ДДЗ тісно пов'язані з геометрією розломів, по яких циркулюють гарячі флюїди і які мають достатньо протяжну структуру, теплові поля, що з'являються в околах цих джерел, можна розглядати як плоскі. Нехтуючи анізотропією теплофізичних властивостей навколишніх осадових порід, яка може бути пов'язана з їх неоднорідним складом і тріщинуватістю, скористаємося двовимірною ізотропною нестаціонарною тепловою моделлю. У цьому випадку загальна постановка задачі теплопровідності, за наявності об'ємних джерел тепла, в декартовій системі координат (x, y), що пов'язана з протяжним розломом, має вигляд [11]:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a\left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2}\right) + \frac{q}{c\rho}; \qquad (1)$$

$$T(t=0) = T_0; \qquad (2)$$

$$\lambda \mathrm{grad} T = \alpha(T - T_c). \qquad (3)$$

Тут (1) – рівняння теплопровідності; (2) – початкова умова; (3) – гранична умова конвективного теплообміну з навколишнім середовищем; $T(x, y, z)$ – температура, як функція координат і часу; a – коефіцієнт температуропровідності; q – об'ємне тепловиділення радіогенних порід; c – питома теплоємність; T_0 – початкова температура; λ – коефіцієнт теплопровідності; α – коефіцієнт тепловіддачі середовища; T_c – температура середовища.

Підкреслимо, що гранична умова конвективного теплообміну з навколишнім середовищем (3) відображує найзагальніший випадок теплових граничних умов. Отже, якщо значення коефіцієнта тепловіддачі середовища поблизу межі ділянки за абсолютною величиною значно перевищує значення заданих коефіцієнтів теплопровідності, то умова (3) на цій межі буде еквівалентною умові завдання на ній постійної температури. Якщо температура на межі шарів за абсолютною величиною значно менша за температуру навколишнього середовища, то умова (3) на цій межі буде еквівалентною умові завдання на ній постійного теплового потоку.

Для розв'язання нестаціонарної задачі теплопровідності (1)–(3) застосуємо варіаційний скінченно-елементний метод, що приводить до розв'язання варіаційного рівняння теплопровідності:

$$\delta I(T) = 0. \qquad (4)$$

Тут $I(T)$ – функціонал задачі теплопровідності (1)–(3), який має вигляд [12]:

© М.В. Лубков

$$I(T)=$$
$$=\frac{1}{2}\iint_S\left\{\lambda\left[\left(\frac{\partial T}{\partial x}\right)^2+\left(\frac{\partial T}{\partial y}\right)^2\right]+2\int_{T_0}^{T}\frac{\lambda}{a}\frac{\partial T}{\partial t}dT-2qT\right\}dxdy- \quad (5)$$
$$-\frac{1}{2}\int_L\alpha(T-2T_c)Tdl;$$

S – площа перерізу досліджуваної області; L – контур, який охоплює площу S; dl – елемент контуру.

Для розв'язання варіаційного рівняння (4) застосовано восьмивузловий ізопараметричний чотирикутний скінченний елемент [13]. Як глобальну систему координат, де об'єднуються всі скінченні елементи, на які розбито площу S, використано декартову систему (x, y). Як локальну систему координат, де в межах скінченного елемента визначаємо функції апроксимації φ_i і проводимо чисельне інтегрування, використано нормалізовану систему координат (ξ, η) [11, 13]. У цій системі координат початкову температуру, температуру навколишнього середовища, коефіцієнт тепловіддачі цього середовища, а також похідні від температури по координатах апроксимуємо у такий спосіб:

$$x=\sum_{i=1}^{8}x_i\varphi_i;\ y=\sum_{i=1}^{8}y_i\varphi_i;\ T=\sum_{i=1}^{8}T_i\varphi_i;$$
$$T_0=\sum_{i=1}^{8}T_{0i}\varphi_i;\ T_c=\sum_{i=1}^{8}T_{ci}\varphi_i;\ \alpha=\sum_{i=1}^{8}\alpha_i\varphi_i;$$

$$\frac{\partial T}{\partial x}=\sum_{i=1}^{8}T_i\Psi_i;\ \frac{\partial T}{\partial y}=\sum_{i=1}^{8}T_i\Phi_i; \quad (6)$$
$$\Psi_i=\frac{1}{|J|}\left(\frac{\partial\varphi_i}{\partial\eta}\frac{\partial y}{\partial\xi}-\frac{\partial\varphi_i}{\partial\xi}\frac{\partial y}{\partial\eta}\right);$$
$$\Phi_i=\frac{1}{|J|}\left(\frac{\partial\varphi_i}{\partial\xi}\frac{\partial x}{\partial\eta}-\frac{\partial\varphi_i}{\partial\eta}\frac{\partial x}{\partial\xi}\right);$$

де $J=\frac{\partial y}{\partial\xi}\frac{\partial x}{\partial\eta}-\frac{\partial y}{\partial\eta}\frac{\partial x}{\partial\xi}$ – якобіан переходу між системами (x, y) і (ξ, η).

Виходячи з варіаційного рівняння (4) і вважаючи, що вузлові значення від похідних температури за часом $\frac{dT_i}{dt}$ є відомими величинами і не змінюються, складемо систему диференціальних рівнянь для k-го вузла p-го скінченного елемента:

$$\frac{\partial I_p}{\partial T_k}=\sum_{i=1}^{8}\{H_{ki}^p\frac{dT_i}{dt}+(P_{ki}^p+Q_{ki}^p)T_i-Q_{ki}^pT_0^i\}-q_k^p=0; \quad (7)$$

$$H_{ij}^p=\int_{-1}^{1}\int_{-1}^{1}\frac{\lambda^p}{a^p}\varphi_i\varphi_j|J|\,d\xi d\eta;$$
$$P_{ij}^p=\int_{-1}^{1}\int_{-1}^{1}\lambda^p(\Psi_i\Psi_j+\Phi_i\Phi_j)|J|\,d\xi d\eta;$$
$$Q_{ij}^p=\int_L\alpha\varphi_i\varphi_j dl;\ q_i^p=\int_{-1}^{1}\int_{-1}^{1}q^p\varphi_i|J|\,d\xi d\eta.$$

Для розв'язання системи лінійних диференціальних рівнянь першого порядку (7) за початкових умов (6) використаємо метод скінченних різниць, в якому апроксимацію похідної за часом здійснюємо на основі неявної різницевої схеми:

$$\frac{dT}{dt}=\frac{T(t+\Delta t)-T(t)}{\Delta t}. \quad (8)$$

Підставивши вираз (8) у систему (7), отримуємо систему лінійних алгебричних рівнянь

$$\sum_{i=1}^{8}\left\{\left(\frac{1}{\Delta t}H_{ki}^p+P_{ki}^p+Q_{ki}^p\right)T_i(t+\Delta t)-\right.$$
$$\left.-\frac{1}{\Delta t}H_{ki}^pT_i(t)-Q_{ki}^pT_0^i\right\}-q_k^p=0 \quad (9)$$
$$(k=1-8).$$

Підсумовавши рівняння (9) за всіма скінченними елементами, отримаємо глобальну систему лінійних алгебричних рівнянь, що дає змогу знаходити невідомі значення температури в момент часу $t+\Delta t$ через їх значення в попередній момент часу t. Глобальну систему рівнянь розв'язуємо за чисельним методом Гауса без вибору головного елемента [13]. В результаті розв'язання температуру визначено в усіх вузлових точках скінченно-елементної сітки. За знайденими вузловими значеннями температуру обчислюємо у довільній точці області в заданий момент часу.

Моделювання локальних теплових процесів у зоні СА ДДЗ. Для моделювання локальних теплових процесів у приповерхневих осадових шарах земної кори в зоні СА ДДЗ виберемо осереднений літологічний склад, характерний для верхніх осадових порід западини [1]. Верхні 2 км займають глини і алеврити, нижче залягають пісковики, також можливі наслідки соляної тектоніки – соляні подушки або штоки. Для характеристики теплопровідності та температуропровідності вказаних порід візьмемо їх середні значення [8]: глини, алеврити – 1,30 Вт/(м·°С), $5{,}05\cdot10^{-7}$ м²/с; пісковики відповідно – 2,27; $9{,}28\cdot10^{-7}$; кам'яна сіль – 4,10; $15{,}60\cdot10^{-7}$. З огляду на те що значення теплопровідності розглянутих порід дуже низькі, а коефіцієнти тепловіддачі гарячих флюїдів, які циркулюють по

© М.В. Лубков

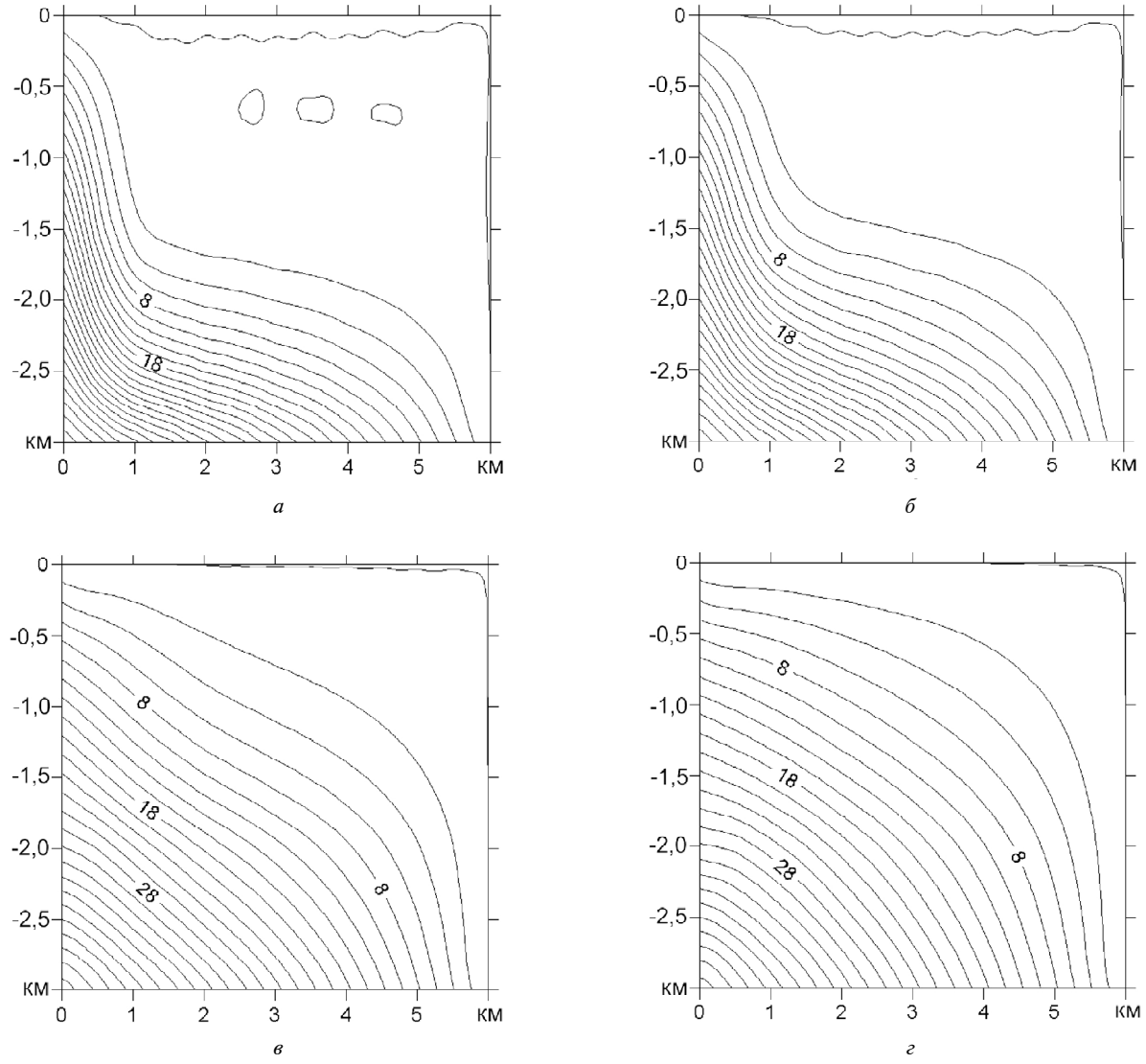

Рис. 3. Розподіли аномальних теплових полів у зоні сучасної активізації Дніпровсько-Донецької западини у випадку підняття стійких локальних температурних аномалій до рівня 2 км в осадовому шарі, який складається з глинистих і піщаних порід: *а* – після $5 \cdot 10^3$ років; *б* – $1 \cdot 10^4$ років; *в* – $3 \cdot 10^4$ років; *г* – $5 \cdot 10^4$ років

Fig. 3. Abnormal heat field distributions in the modern activity zone of Dnepr-Donetsk depression in case of steady local temperatures anomalies rising to the level of 2 km in sedimentary layer that consists of clay and sandstone rocks: *а* – after $5 \cdot 10^3$ years; *б* – $1 \cdot 10^4$ years; *в* – $3 \cdot 10^4$ years; *г* – $5 \cdot 10^4$ years

розломах, в зоні СА доволі високі, під час задання теплових аномалій можна використовувати граничні умови для сталої температури. Задавши джерела температурних аномалій у відповідних стратиграфічних рівнях осадового шару, слідкуватимемо, щоб результуючі значення температурного поля корелювали з даними температурних аномалій, які зафіксовані в ДДЗ. Виходячи з цих міркувань вважатимемо, що в разі виникнення стійких локальних температурних аномалій (ділянок перегріву в околах циркулюючих гарячих флюїдів), аномалія температури на глибині 3 км дорівнює в середньому 50 °С, на глибині 2 км – 30 °С, на глибині 1 км – 20 °С, на глибині 0,5 км – 10 °С. Під аномальним значенням температури розумітимемо різницю між фактичним і середнім фоновим значеннями температури у певній точці земної кори. Як середнє фонове температурне поле ДДЗ вибрано, зважаючи на її рифтову природу [11], розподіл фонового температурного поля з урахуванням радіогенного тепловиділення порід у Полтавському мегаблоці западини (рис. 2). Під час моделювання розглядатимемо прямокутні фрагменти теплових полів (3 км у глибину та 6 км по горизонталі), симетричні відносно активного вертикального розлому, вздовж якого циркулюють глибинні гарячі флюїди, що створюють відповідні локальні температурні аномалії. При цьому вважатимемо, що відносна температура на межах досліджуваної ділянки, за винятком вертикальної частини, де підтримується аномальна температура, а також початкова аномальна температура прямокутного фрагмента дорівнюють нулю.

На прикладі рис. 3 і 4, *а* можна прослідкувати розвиток аномальних теплових полів у солевміс-

© М.В. Лубков

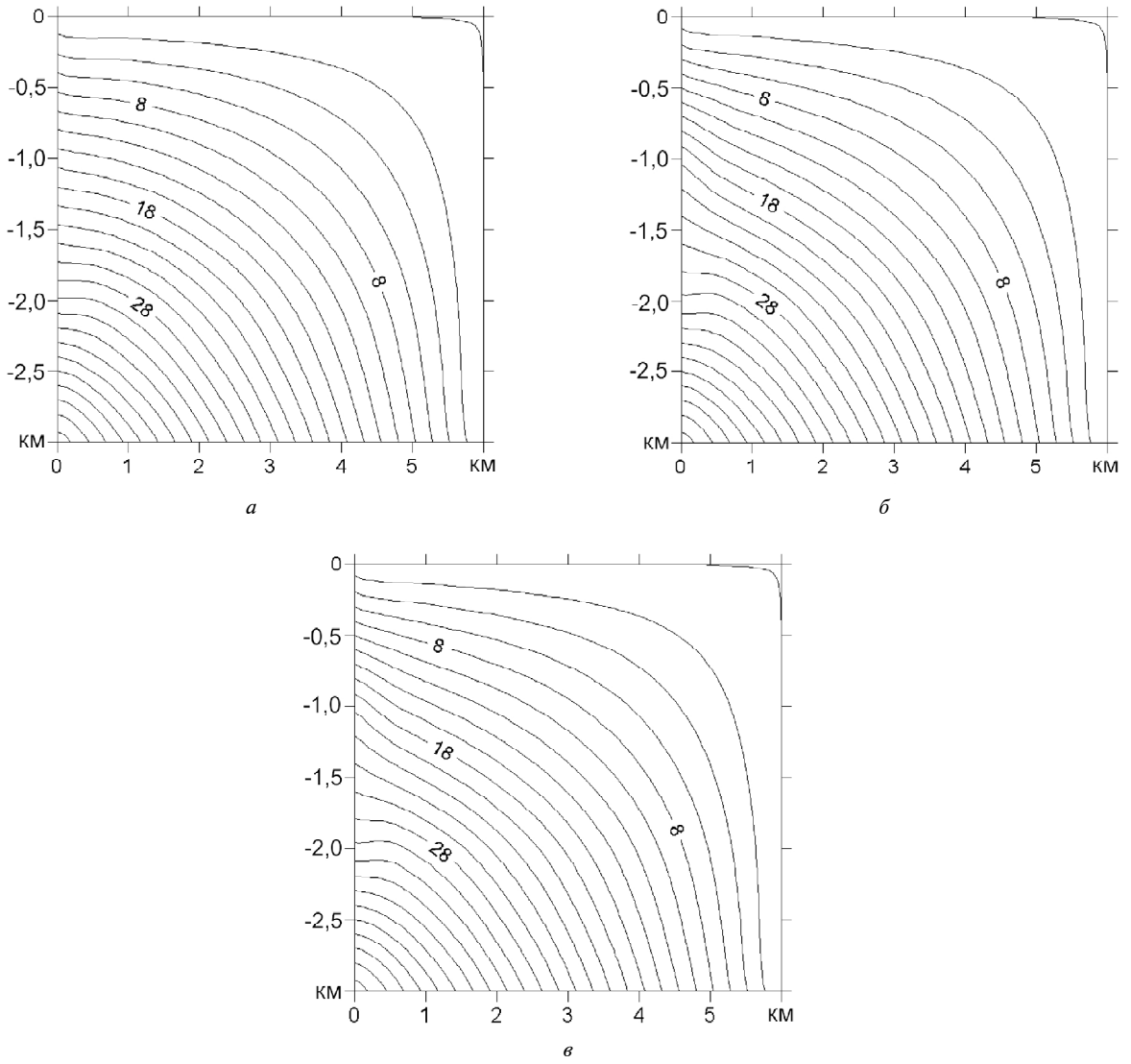

Рис. 4. Розподіли встановлених аномальних теплових полів у осадовому шарі, який складається з глинистих і піщаних порід, у зоні сучасної активізації Дніпровсько-Донецької западини у випадку підняття стійких локальних температурних аномалій до рівнів: *а* – 2; *б* – 1; *в* – 0,5 км

Fig. 4. Steady abnormal heat field distributions in sedimentary layer that consists of clay and sandstone rocks in the modern activity zone of Dnepr-Donetsk depression in case of steady local temperatures anomalies rising to the levels: *а* – 2; *б* – 1; *в* – 0,5 km

ному приповерхневому осадовому шарі земної кори. Так, через $5 \cdot 10^3$ років після проникнення гарячих флюїдів до межі глинистих порід (~2 км глибини) аномальний перегрів у приповерхневому шарі відбувається у локальній частині ділянки розміром до 1,5 км по горизонталі. Через $1 \cdot 10^4$ років цей розмір збільшується до 2,5 км. Через $3 \cdot 10^4$ років перегрівання зазнає достатньо простора зона, в міру віддалення від джерела нагріву в горизонтальному напрямку температура знижується за лінійним законом. Через $5 \cdot 10^4$ років спостерігається близький до рівномірного перегрів локальної частини ділянки розміром до 5,5 км по горизонталі. Через $1 \cdot 10^5$ років, за умови стійкості в часі джерел аномальної температури, настає встановлене стратиграфічно рівномірне перегрівання у локальній напівділянці розміром до 6 км по горизонталі. Аналіз рис. 4 показав, що виявлені локальні теплові поля в околах температурних аномалій ДДЗ, за умови їх стійкості за часом, мало залежать від рівня розташування аномальних джерел температури щодо земної поверхні. Наявність соляної подушки під глинистими породами на початкових етапах перегріву приводить до інтенсивнішого прогрівання соляної підложки та нижніх глинистих шарів порівняно із солевмісним шаром (рис. 5). Однак після достатньо тривалого періоду нагрівання (~$3 \cdot 10^4$ років) відмінності у відповідних локальних полях поступово зменшуються. Наявність соляного штоку вздовж лінії розлому, де циркулюють гарячі флюїди, зумовлює суттєве перегрівання навколишнього середовища (рис. 6). Це особливо помітно на фоні солевмісного шару. Тут спостерігається не тільки підняття характерних аномальних ізотерм, а й помітне розширення зони перегріву. Ймовірно, в подібних випадках найбільш підвищеними є локальні теплові поля в

© М.В. Лубков

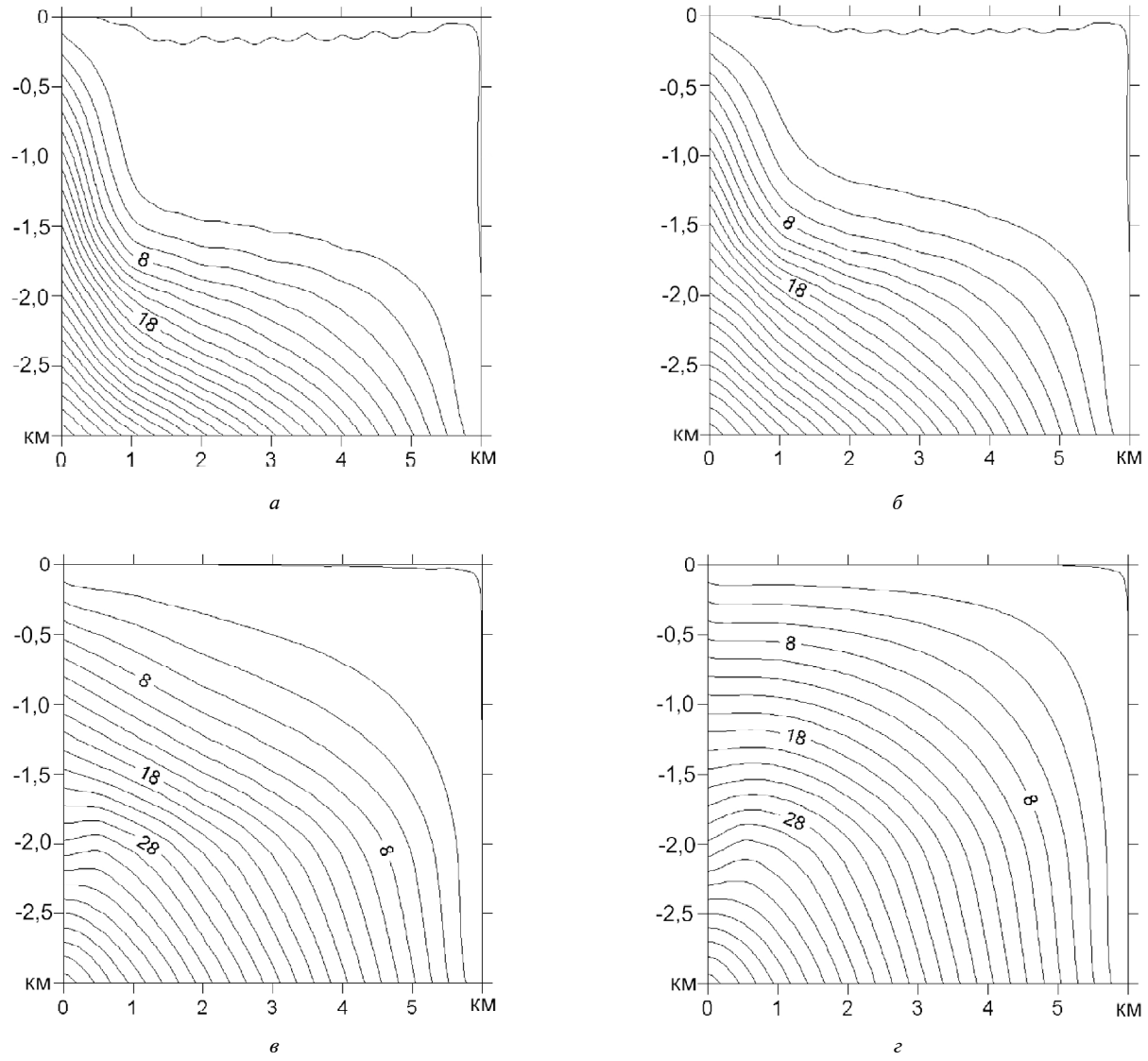

Рис. 5. Розподіли аномальних теплових полів в зоні сучасної активізації Дніпровсько-Донецької западини у випадку підняття стійких локальних температурних аномалій до рівня 2 км в осадовому шарі, який під глинистими породами містить соляну подушку: *а* – після $5 \cdot 10^3$ років; *б* – $1 \cdot 10^4$ років; *в* – $3 \cdot 10^4$ років; *г* – $1 \cdot 10^5$ років

Fig. 5. Abnormal heat field distributions in the modern activity zone of Dnepr-Donetsk depression in case of steady local temperatures anomalies rising to the level of 2 km in sedimentary layer that under clay rocks has salt pillow: *а* – after $5 \cdot 10^3$ years; *б* – $1 \cdot 10^4$ years; *в* – $3 \cdot 10^4$ years; *г* – $1 \cdot 10^5$ years

околах аномальних температурних джерел у зоні СА ДДЗ.

Висновки. Загальний аналіз отриманих результатів показав, що процеси перегрівання приповерхневих шарів осадових порід земної кори в околах аномальних температурних джерел ДДЗ, зумовлених переміщенням гарячих флюїдів по активізованих розломах, суттєво залежать від етапу розігріву і наявності в навколишньому середовищі високотеплопровідних соляних масивів. Так, у солевмісному осадовому шарі земної кори на початкових етапах розігрівання (~$5 \cdot 10^3$ років після проникнення гарячих флюїдів до межі глинистих порід) аномальний перегрів відбувається в межах приповерхневої ділянки радіусом ~1,5 км. За подальшого перегрівання цей радіус поступово збільшується до ~5 км. Через $1 \cdot 10^5$ років за умови стабільності аномальних локальних температурних джерел встановлюється стратиграфічно рівномірний урівноважений підвищений тепловий режим у приповерхневій ділянці радіусом приблизно 6 км. За результатами моделювання, у випадку стабільності за часом характерних для регіону ДДЗ аномальних температурних джерел, рівень їх підняття відносно земної поверхні помітно не впливає на результуюче встановлене аномальне локальне теплове поле. Втім у разі порушення умов стабільності цей вплив може бути помітним. Наявність соляної подушки під масивом глинистих порід на початкових етапах розігрівання приводить до інтенсивного перегріву соляної підложки та навколишніх глинистих порід. Однак за умови стабільності аномальних температурних джерел у межах достатньо тривалого

© М.В. Лубков

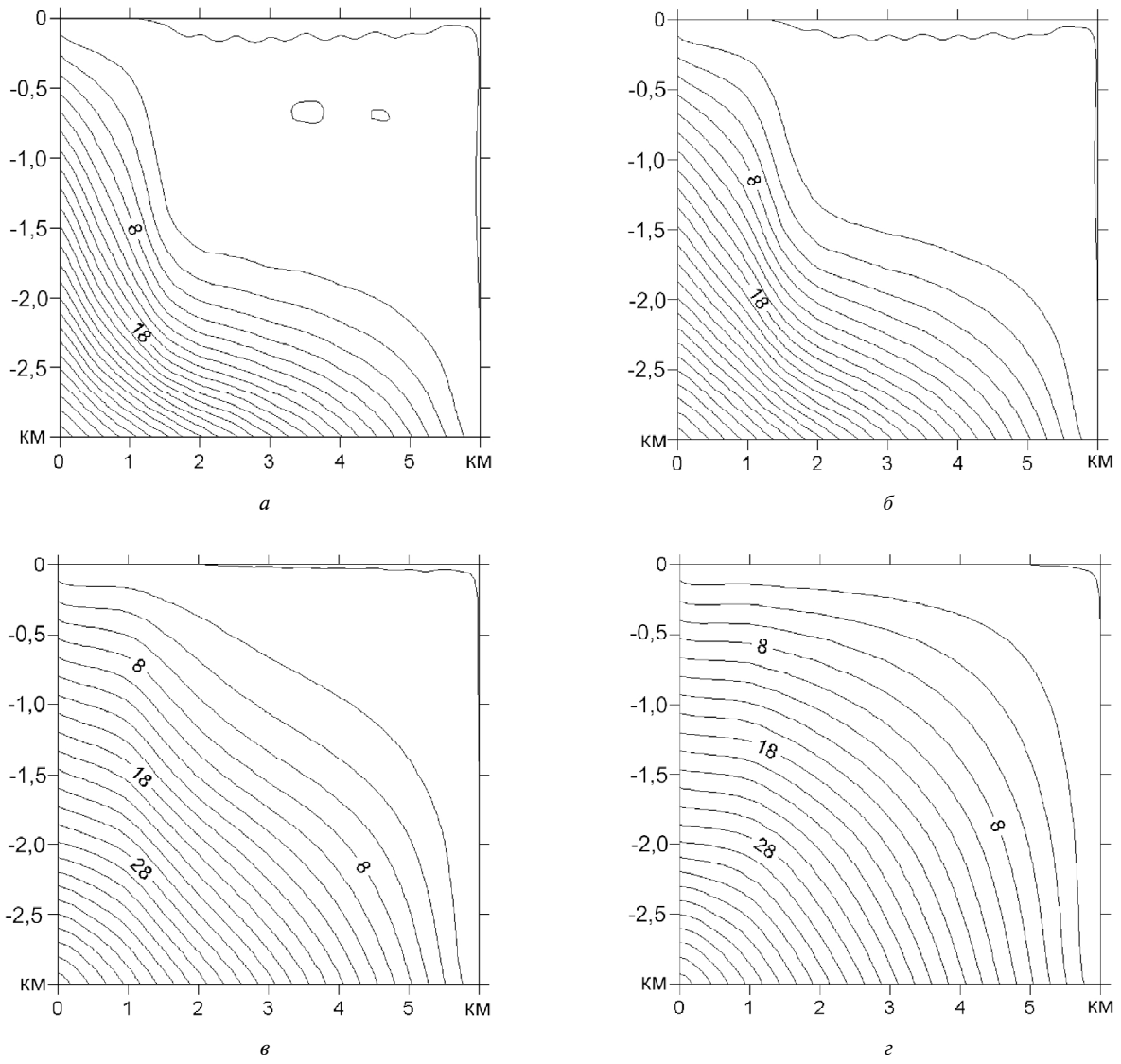

Рис. 6. Розподіли аномальних теплових полів у зоні сучасної активізації Дніпровсько-Донецької западини у випадку підняття стійких локальних температурних аномалій до рівня 2 км в осадовому шарі, який містить соляний шток (півширина 1 км): *а* – після $5 \cdot 10^3$ років; *б* – $1 \cdot 10^4$ років; *в* – $3 \cdot 10^4$ років; *г* – $1 \cdot 10^5$ років

Fig. 6. Abnormal heat field distributions in the modern activity zone of Dnepr-Donetsk depression in case of steady local temperatures anomalies rising to the level of 2 km in sedimentary layer that has salt stock (halfwidth 1 km): *а* – after $5 \cdot 10^3$ years; *б* – $1 \cdot 10^4$ years; *в* – $3 \cdot 10^4$ years; *г* – $1 \cdot 10^5$ years

проміжку часу (~$3 \cdot 10^4$ років) еволюція локальних теплових полів майже не відрізняється від такої для солевмісних шарів. Наявність соляного штоку вздовж лінії розлому, по якому піднімаються стабільні гарячі флюїди, спричинює суттєвий перегрів навколишнього середовища. Спостерігається не тільки підняття характерних ізотерм, а й помітне розширення локальної ділянки перегріву приповерхневих глинистих порід. Слід зазначити, що у разі нестабільності аномальних температурних джерел у часі картина розвитку аномальних локальних теплових полів визначатиметься періодами їх відносної стабільності. Підсумковий аналіз розвитку аномальних локальних теплових полів у зоні СА ДДЗ показав, що за їх розташуванням на земній поверхні та кількісними характеристиками (поверхневий тепловий потік, температурні градієнти в різних напрямках) можна локалізувати місця активізованих глибинних розломів та пов'язані з ними процеси циркуляції гарячих флюїдів. Надійне виявлення місць циркуляції глибинних флюїдів, які стимулюють процеси перенесення та накопичення вуглеводнів [12, 15], значно підвищує ймовірність знаходження пасток вуглеводневої сировини у приповерхневих осадових шарах регіону.

1. *Айзенберг Д.Е.* Геология и нефтегазоносность Днепровско-Донецкой впадины. Стратиграфия / Д.Е. Айзенберг, О.И. Берченко, Н.Е. Бражникова. – К.: Наук. думка, 1988. – 147 с.
2. *Арясова О.В.* Тепловое поле на северо-востоке Украины / О.В. Арясова, В.В. Гордиенко, И.В. Гордиенко // Доповіді НАН України. – 2011. – Вып. 5. – С. 113–117.

© М.В. Лубков

3. *Геология* и нефтегазоносность Днепровско-Донецкой впадины. Глубинное строение и геотектоническое развитие / В.К. Гавриш, Г.Д. Забелло, Л.М. Рябчун [и др.]; под ред. В.К. Гавриша. – К.: Наук. думка, 1989. – 208 с.
4. *Гордиенко В.В.* Активизация тектоносферы и месторождения углеводородов / В.В. Гордиенко // Геофизический журнал. – 2011. – Т. 33, № 3. – С. 75–101.
5. *Гордиенко В.В.* Современная активизация Днепровско-Донецкой впадины / В.В. Гордиенко, И.В. Гордиенко, И.М. Логвинов // Материалы междунар. конф. "Современное состояние наук о Земле". – М.: Изд-во МГУ, 2011. – С. 472–476.
6. *Гордиенко В.В.* Глубинные процессы в тектоносфере Украины / В.В. Гордиенко, О.В. Усенко – К.: Ин-т геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины, 2003. – 147 с.
7. *Днепровско-Донецкая* впадина (геофизика, глубинные процессы) / В.В. Гордиенко, И.В. Гордиенко, О.В. Завгородняя [и др.]. – К.: Корвин пресс, 2006. – 142 с.
8. *Дортман Н.Б.* Физические свойства горных пород и полезных ископаемых (петрофизика). Справочник геофизика / Н.Б. Дортман. – М.: Недра, 1976. – 527 с.
9. *Кутас Р.И.* Тепловое поле Украины / Р.И. Кутас, В.В. Гордиенко. – К.: Наук. думка, 1971. – 140 с.
10. *Кутас Р.И.* Поле тепловых потоков и геотермическая модель земной коры / Р.И. Кутас. – К.: Наук. думка, 1978. – 148 с.
11. *Лубков М.В.* Моделирование фоновых температурных полей ДДВ / М.В. Лубков // Геодинамика. – 2009. – № 1 (8). – С. 91–96.
12. *Лукин А.Е.* Литолого-динамические факторы нефтегазонакопления в авлакогенных бассейнах / А.Е. Лукин. – К.: Наук. думка, 1997. – 224 с.
13. *Образцов И.Ф.* Метод конечных элементов в задачах строительной механики летательных аппаратов / И.Ф. Образцов, Л.М. Савельев, Х.С. Хазанов. – М.: Высшая школа, 1985. – 329 с.
14. *Соллогуб В.Б.* Литосфера Украины / В.Б. Соллогуб. – К.: Наук. думка, 1986. – 184 с.
15. *Старостенко В.И.* Тектоника и углеводородный потенциал кристаллического фундамента Днепровско-Донецкой впадины / В.И. Старостенко, О.М. Русаков, И.К. Пашкевич, Р.И. Кутас, М.И. Орлюк – К.: Галактика, 2015. – 211 с.
16. *Тепловое* поле территории Украины / В.В. Гордиенко, И.В. Гордиенко, О.В. Завгородняя [и др.]. – К.: Знание Украины, 2002. – 170 с.

Надійшла до редакції 29.10.2015 р.

ОСОБЕННОСТИ ЛОКАЛЬНЫХ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ В РЕГИОНЕ ДНЕПРОВСКО-ДОНЕЦКОЙ ВПАДИНЫ

М.В. Лубков

Полтавская гравиметрическая обсерватория Института геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины, ул. Мясоедова, 27/29, Полтава 36029, Украина, e-mail: mikhail.lubkov@mail.ru

С целью исследования аномальных локальных тепловых процессов в регионе Днепровско-Донецкой впадины (ДДВ) на основе вариационной конечно-элементной методики для нестационарной задачи теплопроводности проведено моделирование локальных приповерхностных тепловых процессов в зоне современной активизации ДДВ. Показано, что процессы нагрева приповерхностных областей осадочных пород земной коры в окрестностях аномальных температурных источников ДДВ, вызванных перемещениями горячих флюидов по активизированным разломам, существенно зависят от этапа разогрева и наличия в окружающих областях высокотеплопроводных соляных массивов. В случае нестабильности аномальных температурных источников во времени общая картина развития локальных тепловых полей будет определяться периодами их относительной активности. По расположению локальных тепловых полей на земной поверхности и их количественным характеристикам (поверхностный тепловой поток, температурные градиенты) можно локализовать места активизированных глубинных разломов и связанные с ними процессы накопления углеводородного сырья в регионе ДДВ.

Ключевые слова: компьютерное моделирование, локальные тепловые процессы, зона современной активизации ДДВ.

SPECIFIC FEATURES OF THE LOCAL HEAT PROCESSES IN THE REGION OF DNEPR-DONETSK DEPRESSION

M.V. Lubkov

Poltava Gravimetric Observatory of Institute of Geophysics, NAS of Ukraine, 27/29 Mysoedova Str., Poltava 36029, Ukraine, e-mail: mikhail.lubkov@mail.ru

Purpose. The Dnepr-Donetsk Depression (DDD) is part of the Dnepr-Donetsk rift located in the northern east of the Ukrainian part of the Eastern European lithospheric plate, DDD is a system of deep faults, which stretch from southern-east to northern west and form a band of blocks and microblocks of crystalline fundament falling down along the faults. According to the recent geophysical and geological data, the central, southern-east and partially southern-west parts of DDD during the last 3–5 ml years have been under action of modern geotectonic activity. These processes become apparent through tectonic activity of longitudinal and transversal DDD faults, and also due to circulation in the near surface crust layers of deep high push hot fluids. For better understanding of modern geotectonic processes which take

© М.В. Лубков

place in DDD region, as well as concurring processes of generation, migration and accumulation of hydrocarbon stuff, it is very important to investigate the local geothermal regimes that control the wide circle of physical-chemical and geodynamical processes.

Design/methodology/approach. On the basis of the variation finite element method for the non-stationary heat conductivity problem, we carried out modeling of the local near earth surface heat processes in the modern activity zone of DDD.

Findings. The results of computer modeling of the local near earth surface heat processes in the modern activity zone of DDD show that heating processes of the sedimentary regions near abnormal temperature sources, caused by displacements of hot fluids in the active faults, essentially depend on the heating stage and presence of surrounding high conductivity salt masses. In the case of abnormal temperature sources instability, the total picture of the local heat field development is to be defined based on their relative activity periods. So the character of the earth surface local heat fields' location and their quantitative characteristics (surface heat flux value, temperature gradients) permit to localize places of active deep faults and concurring processes of hydrocarbon stuff accumulation in the DDD region.

Practical value/implications. The obtained results can be used for practical geologic works to find sites of hydrocarbon stuff accumulation in the DDD region. For further studies, it would be interesting to use the presented method for more detailed investigation of specific oil-gas deposits structures in this region.

Keywords: computer modeling, local heat processes, modern activity zone of Dnepr-Donetsk Depression.

References:

1. Ayzenberg D.E., Perchenko O.I., Brazhnikova N.E. Geologiya i neftegazonosnost' Dneprovsko-Donetskoy vpadiny. Stratigrafiya. Kiev, Naukova dumka, 1988, 147 p.
2. Aryasova O.V., Gordienko V.V., Gordienko I.V. Teplovoe pole na severo vostoke Ukrainy [Heat field in the north east of Ukraine]. *Reports of the National Academy of Sciences of Ukraine*, 2011, no. 5, pp. 113-117.
3. Gavrish V. K., Zabello G. D., Ryabchun L. M. i dr. Geologiya i neftegazonosnost' Dneprovsko Donetskoy vpadiny. Glubinnoe stroenie i geotektonicheskoe razvitie. Kiev, Naukova dumka, 1989, 208 p.
4. Gordienko V.V. Tectonosphere activization and hydrocarbons deposits. *Geofizicheskiy zhurnal*, 2011, vol. 33, no. 3, pp. 75-101.
5. Gordienko V.V., Gordienko I.V., Logvinov I. M. Sovremennaya aktivizatsiya Dneprovsko-Donetskoy vpadiny. *Materialy mezhdunarodnoy konferentsii "Sovremennoe sostoyanie nauk o Zemle"*. Moscow, Moskovskiy gosudarstvennyy universitet, 2011, pp. 472-476.
6. Gordienko V.V., Usenko O.V. Glubinnye protsessy v tektonosfere Ukrainy. Kiev, Institut geofiziki imeni S.I. Subbotina NAN Ukrainy, 2003, 147 p.
7. Gordienko V.V., Gordienko I.V., Zavgorodnyaya O.V. et al. Dneprovsko-Donetskaya vpadina (geofizika, glubinnye protsessy). Kiev, Korvin press, 2006, 142 p.
8. Dortman N.B. Fizicheskie svoystva gornykh porod i poleznykh iskopaemykh (petrofizika): Spravochnik geofizika [Physical properties of rocks and useful fossils (petrophysics): Hand-book of geophysicist]. Moscow, Nedra, 1976, 527 p.
9. Kutas R.I., Gordienko V. V. Teplovoe pole Ukrainy. Kiev, Naukova Dumka, 1971, 140 p.
10. Kutas R.I. Pole teplovyh potokov i geotermicheskaja model' zemnoj kory. Kiev, Naukova Dumka, 1978, 148 p.
11. Lubkov M.V. Modeling of the phone temperature fields of DDH. *Heodynamika*, 2009, no. 1, issue 8, pp. 91-96.
12. Lukin A.E. Litologo-dinamicheskie faktory neftegazonakopleniya v avlakogennykh basseynakh. Kiev, Naukova Dumka, 1997, 224 p.
13. Obraztsov I.F., Savel'ev L.M., Khazanov Kh.S. Metod konechnykh elementov v zadachakh stroitel'noy mekhaniki letatel'nykh apparatov. Moscow, Vysshaya shkola, 1985, 329 p.
14. Sollogub V.B. Litosfera Ukrainy. Kiev, Naukova Dumka, 1986, 184 p.
15. Starostenko V.I., Rusakov O.M., Pashkevich I.K., Kutas R.I., Orljuk M.I. Tektonika i uglevodorodnyj potencial kristallicheskogo fundamenta Dneprovsko-Doneckoj vpadiny. Kiev, Galaktika, 2015, 211 p.
16. Gordienko V.V., Gordienko I.V., Zavgorodnyaya O.V. et al. Teplovoe pole territorii Ukrainy. Kiev, Znanie Ukrainy, 2002, 170 p.

Received 29/10/2015

© М.В. Лубков