

МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛОВИХ ПРОЦЕСІВ У ЗОНІ СУЧАСНОЇ АКТИВІЗАЦІЇ ДНІПРОВСЬКО-ДОНЕЦЬКОЇ ЗАПАДИНИ

М.В. Лубков

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

На основі варіаційної скінченноелементної методики для нестационарної задачі теплопровідності з урахуванням радіогенного тепловиділення порід проведено моделювання локальних теплових процесів у зоні сучасної активізації (СА) Дніпровсько-Донецької западини (ДДЗ). Показано, що характер розподілу теплового поля в околі локальних температурних аномалій залежить від потужності цих аномалій, їх стабільності і місця розміщення відносно горизонтів земної кори. Встановлено, що за умови стійкості температурних аномалій у часі їх розміри помітно не впливають на результуючий розподіл температурного поля. Виявлено, що процеси прогрівання земної кори в околах локальних температурних аномалій відбуваються дуже повільно (порядку декількох мільйонів років). Тому в умовах СА ДДЗ верхні шари земної кори можуть бути прогрітими тільки в місцях, де джерела локальних температурних аномалій розміщуються відносно близько до земної поверхні.

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

Вступ. Дніпровсько-Донецька западина (ДДЗ) є складовою частиною Дніпровсько-Донецького рифту і розміщується на північному сході української частини Східноєвропейської дорифейської плити. Система глибинних розломів ДДЗ простягається з південного сходу на північний захід і утворює полосу опущених по вказаних порушеннях блоків і мікроблоків кристалічного фундаменту [16]. У ДДЗ виділяють такі типи дислокацій [4]: 1) дорифтові розломи архейсько-протерозойського віку; 2) рифтові пізньодевонські розломи, які простягаються вздовж осі западини поперек відносно дорифтових розломів; 3) скидові після-рифтові регіональні та локальні розриви в осадовому чохла ДДЗ. За сучасними геологічними та геофізичними даними центральна і південно-східна частини ДДЗ за останні ~3–5 млн років зазнали сучасної активізації (СА) [3, 5, 6, 8, 14].

За геологічними даними, впродовж останніх 3 млн років у центральній і особливо південно-східній частині западини амплітуда підняття земної поверхні збільшилась на 100 м, при цьому зони цих підняття зафіксовано на північ за межами западини у південно-східній частині схилу Воронезького кристалічного масиву. Спостерігається активізація поздовжніх і поперечних розломів. У приповерхневих шарах земної кори зафіксовано циркуляцію по проникних зонах активізованих розломів глибинних високонапірних гарячих флюїдів, склад розчинених солей і газів яких відрізняється від їхнього складу в осадовому чохла.

За геофізичними даними, мантійний поверх СА ДДЗ являє собою перегрітий і частково розплавлений об'єм речовини в інтервалі глибин приблизно 50–100 км. Коровий поверх є зоною

часткового плавлення на глибинах порядку 20 км, над цією зоною розміщується зона флюїдизації потужністю до 10 км. Вище цієї зони флюїди поширені тільки в зонах активізованих проникних розломів. Збурення теплового потоку в зоні СА ДДЗ пов'язане із зонами локальних розломів, по яких переміщуються глибинні флюїди. Просторовий перегрів від глибинних джерел на сучасному етапі ще не досяг широких приповерхневих шарів земної кори. Зафіксовані від'ємні швидкісні аномалії у корі та верхніх горизонтах мантиї у зонах СА ДДЗ. Зареєстрована від'ємна мантійна гравітаційна аномалія (понад 20 мГал) приблизно відповідає зовнішній межі теплового розущільнення мантиї у зонах СА ДДЗ.

Розуміння не тільки на якісному й кількісному рівні теплових процесів, які відбуваються в межах земної кори у зоні СА ДДЗ, є необхідною ланкою для розв'язання важливих геологічних і геофізичних проблем регіону, наприклад проблем розвідки та добутку вуглеводневої сировини. Цим питанням присвячені публікації [2, 5–9, 13, 18]. Насамперед слід відзначити роботи В.В. Гордієнка та його колег, в яких розглянуто різні геофізичні погляди щодо СА тектоносфери у регіоні і пов'язаних з цим теплових процесів. Разом з тим ДДЗ є достатньо дослідженою у геологічному аспекті структурою. У її межах пробурена велика кількість глибоких свердловин, що дає змогу отримати достовірні дані щодо середніх фонових та аномальних температур (рис. 1). Цей факт разом з літологічною вивченістю [1, 4] суттєво полегшує задачу чисельного моделювання теплових процесів у земній корі в зоні СА ДДЗ.

У попередній статті автора [13] на основі варіаційної скінченноелементної методики для не-

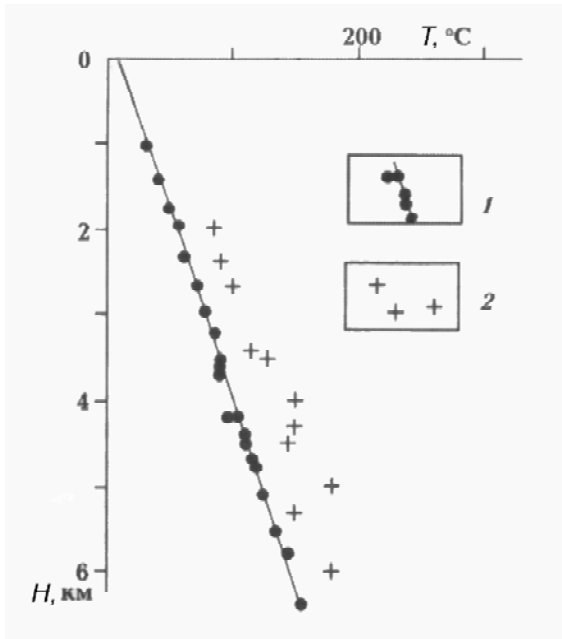


Рис. 1. Середні фонові (1) та максимальні (2) температури, виміряні у свердловинах [5]: 1 – фонові значення; 2 – максимальні значення

стаціонарної задачі теплопровідності з урахуванням радіогенного тепловиділення порід земної кори, виходячи з гіпотези про рифтове походження ДДЗ, були отримані розподіли середніх фонових температур її земної кори, які добре узгоджуються з даними спостережень у межах западини. На основі цієї методики зроблено спробу чисельного моделювання локальних теплових процесів земної кори у зоні СА ДДЗ.

Постановка і метод розв'язання задачі. Виходячи з того що місця появи і розміщення джерел температурних аномалій у земній корі в зоні СА ДДЗ тісно пов'язані з геометрією розломів, по яких циркулюють гарячі флюїди і які мають достатню протяжність, теплові поля, що виникають в околах цих джерел, можна розглядати як плоскі. Враховуючи радіогенне тепловиділення порід земної кори і нехтуючи анізотропією теплофізичних властивостей навколишніх порід, яка може бути зумовлена їх неоднорідним складом і тріщинуватістю, скористаємось двовимірною ізотропною нестационарною тепловою моделлю. У цьому випадку загальна постановка задачі теплопровідності, за наявності об'ємних джерел тепла, у декартовій системі координат (x, y) , яка зв'язана з протяжним розломом, має такий вигляд [13]:

рівняння теплопровідності

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

початкова умова

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

гранична умова конвективного теплообміну з навколишнім середовищем

$$\lambda \text{grad } T = \alpha(T - T_c). \quad (3)$$

Тут $T(x, y, t)$ – температура як функція координат і часу; a – коефіцієнт теплопровідності; 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) – це найзагальніший випадок теплових граничних умов. Так, якщо значення коефіцієнта тепловіддачі середовища поблизу межі області за абсолютною величиною значно перевищує значення заданих в області коефіцієнтів теплопровідності, то умова (3) на цій межі буде еквівалентна умові завдання на ній сталої температури. Якщо температура на межі області за абсолютною величиною значно менша за температуру навколишнього середовища, то умова (3) на цій межі буде еквівалентна умові завдання на ній сталого теплового потоку.

Для розв'язання нестационарної задачі теплопровідності (1)–(3) застосовано варіаційний скінченноелементний метод, який приводить до розв'язання варіаційного рівняння теплопровідності:

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

Тут $I(T)$ – функціонал задачі теплопровідності (1)–(3), який має вигляд [13]

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

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

Для розв'язання варіаційного рівняння (4) застосовують восьмивузловий ізопараметричний чотирикутний скінченний елемент [15]. Як глобальну систему координат, де об'єднано усі скінченні елементи, на які розбито площу S , використовують декартову систему (x, y) . Як локальну систему координат, де в межах скінченного елемента визначають функції апроксимації φ_i для кожного вузла елемента і здійснюють чисельне інтегрування, застосовують нормалізовану систему координат (ξ, η) [12, 15]. У цій системі координати, температуру, початкову температуру, температуру навколишнього середовища, коефіцієнт

тепловіддачі навколишнього середовища, а також похідні від температури по координатах апроксимуємо так:

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

$$T_c = \sum_{i=1}^8 T_{ci} \varphi_i; \quad \alpha = \sum_{i=1}^8 \alpha_i \varphi_i; \quad \frac{\partial T}{\partial x} = \sum_{i=1}^8 T_i \Psi_i; \quad \frac{\partial T}{\partial y} = \sum_{i=1}^8 T_i \Phi_i; \quad (6)$$

$$\Psi_i = \frac{1}{|J|} \left(\frac{\partial \varphi_i}{\partial \eta} \frac{\partial y}{\partial \xi} - \frac{\partial \varphi_i}{\partial \xi} \frac{\partial y}{\partial \eta} \right); \quad \Phi_i = \frac{1}{|J|} \left(\frac{\partial \varphi_i}{\partial \xi} \frac{\partial x}{\partial \eta} - \frac{\partial \varphi_i}{\partial \eta} \frac{\partial x}{\partial \xi} \right),$$

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 у вигляді

$$\frac{\partial I_p}{\partial T_k} = \sum_{i=1}^8 \left\{ H_{ki}^p \frac{dT_i}{dt} + (P_{ki}^p + Q_{ki}^p) T_i - Q_{ki}^p T_0^i \right\} - q_k^p = 0;$$

$$H_{ij}^p = \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 \frac{\lambda^p}{\alpha^p} \varphi_i \varphi_j |J| d\xi d\eta; \quad q_i^p = \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 q^p \varphi_i |J| d\xi d\eta. \quad (7)$$

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

Для розв'язання системи лінійних диференціальних рівнянь першого порядку (7) за початкових умов з (6) використаємо метод скінчених різниць, в якому похідні за часом апроксимуємо 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

$$\sum_{i=1}^8 \left\{ \left(\frac{1}{\Delta t} H_{ki}^p + P_{ki}^p + Q_{ki}^p \right) T_i(t + \Delta t) - \frac{1}{\Delta t} H_{ki}^p T_i(t) - Q_{ki}^p T_0^i \right\} - q_k^p = 0 \quad (9)$$

при $k = 1 - 8$.

Підсумувавши рівняння (9) по усіх скінчених елементах, отримуємо глобальну систему лінійних алгебричних рівнянь, яка дає змогу визначати невідомі значення температури в момент часу $t + \Delta t$ через їх значення у попередній момент часу t . Глобальну систему рівнянь розв'язують на основі чисельного методу Гауса без вибору головного елемента [15]. В результаті розв'язання температуру визначають в усіх вузлових точках

скінченноелементної сітки. За знайденими вузловими значеннями визначають температуру у довільній точці області в заданий момент часу.

Моделювання теплових процесів у зоні СА ДДЗ. Для моделювання теплових процесів у зоні СА ДДЗ за умовний склад порід земної кори візьмемо осереднений літологічний склад, який відповідає певній глибині в центральній осьовій частині авлакогену в Полтавському мегаблоці [1, 11], км: глини, алеврити – 2; пісковики – 4; алевроліти – 2; доломіти – 2; граніти – 8; базальти – 15. Середні значення теплопровідності та температуропровідності указаних порід вибрано такі [10]: глини, алеврити – $1,70 \text{ Вт/(м}\cdot\text{град)}$; $7,05 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}$; пісковики – 2,77; $11,48 \cdot 10^{-7}$; алевроліти – 1,99; $10,39 \cdot 10^{-7}$; доломіти – 4,06; $12,53 \cdot 10^{-7}$; граніти – 2,51; $9,16 \cdot 10^{-7}$; базальти – 1,27; $5,55 \cdot 10^{-7}$. Середні значення радіогенної теплогенерації взято із статті [18], мкВт/м^3 : осадові породи – 1; граніти – 0,92; базальти – 0,3. Враховуючи, що теплофізичні характеристики геологічних порід розрізняються не дуже суттєво, відхилення від вибраного літологічного складу, які можливі в інших областях СА ДДЗ, не впливатиме суттєво на якісні зміни розподілу теплових полів. З огляду на те що теплопровідність розглянутих порід дуже мала, а коефіцієнти тепловіддачі гарячих флюїдів, що циркулюють по розломах, у зоні активізації є досить високими, при завданні теплових аномалій можна використовувати граничні умови для сталої температури.

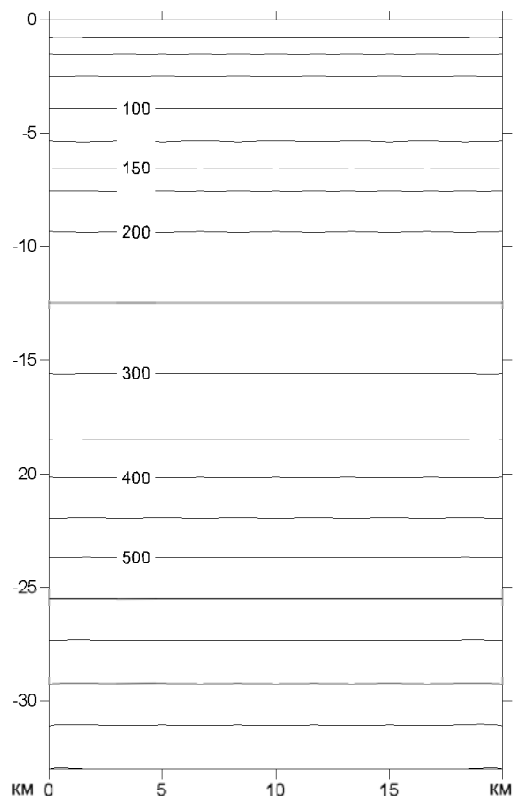


Рис. 2. Розподіл фонового температурного поля з урахуванням радіогенного тепловиділення порід у Полтавському мегаблоці [13]

В разі завдання джерел теплових аномалій слідкуватимемо, щоб результуючі значення температурного поля корелювали з даними температурних аномалій, які зафіксовані у ДДЗ (рис. 1). Виходячи з цих міркувань вважатимемо, що за виникнення стійких локальних температурних аномалій (зон перегріву в околах циркулюючих гарячих флюїдів) аномалія температури на нижніх межах кори не перевищує 500 °С. Під аномальним значенням температури розумітимемо різницю між фактичним і середнім фоновим значеннями температури у певній точці земної кори. Розподіл середніх фонових температурних полів ДДЗ розглянуто у статті [13]. На рис. 2 показано розподіл фонового температурного поля у Полтавському мегаблочи ДДЗ. Надалі під час моделювання розглядатимемо фрагменти теплових полів, які по горизонталі симетричні відносно центра локальної температурної аномалії. При цьому прийматимемо, що середня температура земної поверхні дорівнює 0 °С, а початкова – 10 °С. Враховуючи тривалість процесу прогрівання розглянутих фрагментів земної кори, вважаємо, що зафіксоване значення початкової температури не впливає суттєво на результуючі розподіли температурного поля (рис. 3–6).

Аналіз отриманих результатів показує, що після проникнення гарячих флюїдів із стійкою температурною аномалією у 500 °С до нижніх меж земної кори через 1 млн років аномалія температури в 15 °С не піднімається вище 5 км. Через 3 млн років аномалія у 20 °С сягає відмітки 3,5 км, через 5 млн років аномалія у 30 °С сягає цієї самої відмітки. У процесі подальшого прогрівання розподіл температури суттєво не змінюється. В разі

встановлення рівноважного теплового поля перевищення температури недостатньо для початку процесів прогресивної стадії ізоморфізму у земній корі [17].

В разі проникнення стійкої температурної аномалії у 300 °С до нижніх меж залягання гранітоїдів через 10⁵ років аномалія температури в 10 °С не піднімається вище 3 км, через 1 млн років аномалія у 20 °С ледь досягає 2 км, а через 3 млн років сягає 1 км. У процесі подальшого прогрівання розподіл температури не змінюється. У цьому випадку перегрівання також недостатньо для початку процесів ізоморфізму у зазначеній ділянці земної кори.

За проникнення стійкої температурної аномалії у 200 °С до нижніх меж залягання осадових порід через 10⁵ років аномалія температури в 10 °С не піднімається вище 2 км, через 1 млн років аномалія у 20 °С сягає 800 м. За подальшого розігрівання температурний режим суттєво не змінюється. За проникнення стійкої температурної аномалії у 100 °С до нижніх меж залягання пісковиків через 10⁴ років аномалія у 10 °С ледь сягає 3 км, через 10⁵ років аномалія у 20 °С досягає 2 км, а через 1 млн років – 800 м. Під час подальшого прогрівання температура не змінюється. Згідно з результатами моделювання, за умови стабільності локальної температурної аномалії протягом тривалого періоду розміри цієї аномалії (від декількох сотень метрів до декількох кілометрів) суттєво не впливають на тепловий режим в її околі.

Процеси прогрівання земної кори в околах локальних температурних аномалій відбуваються достатньо повільно (порядку декількох мільйонів

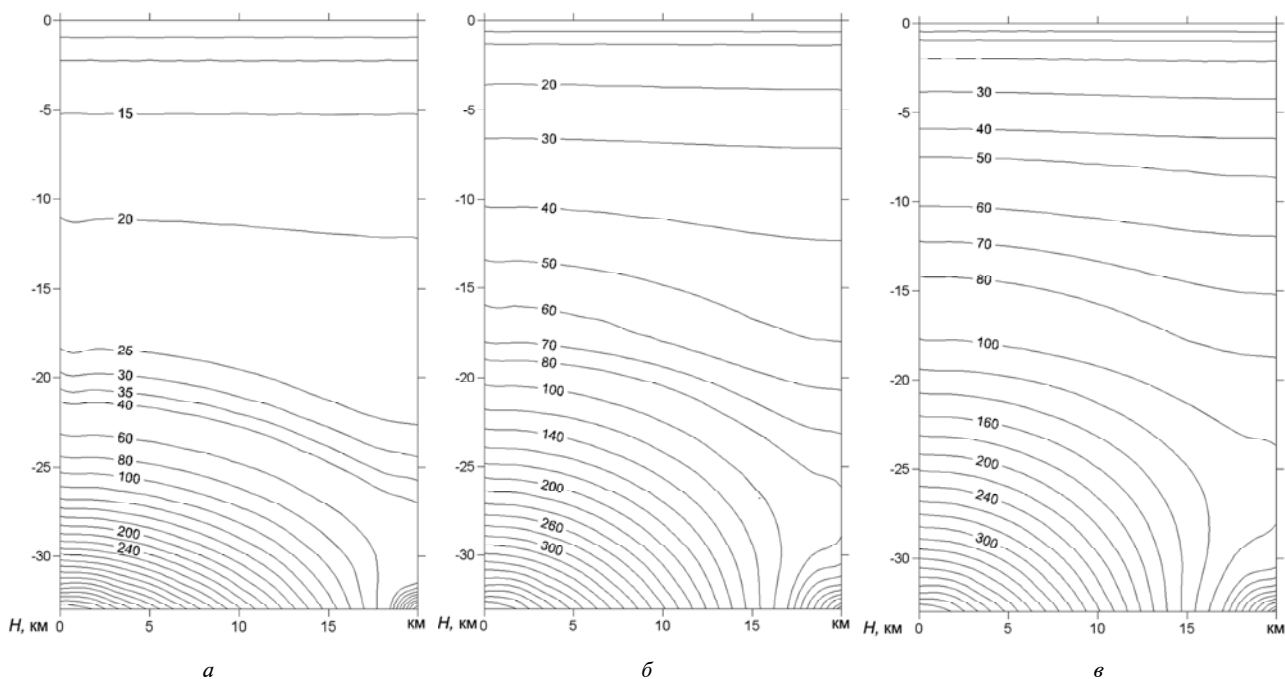
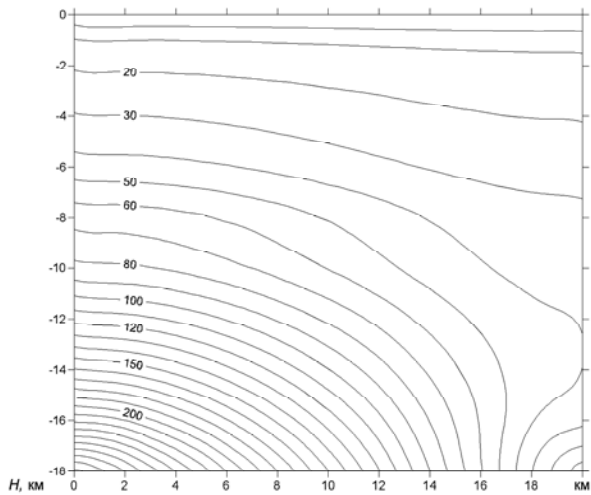
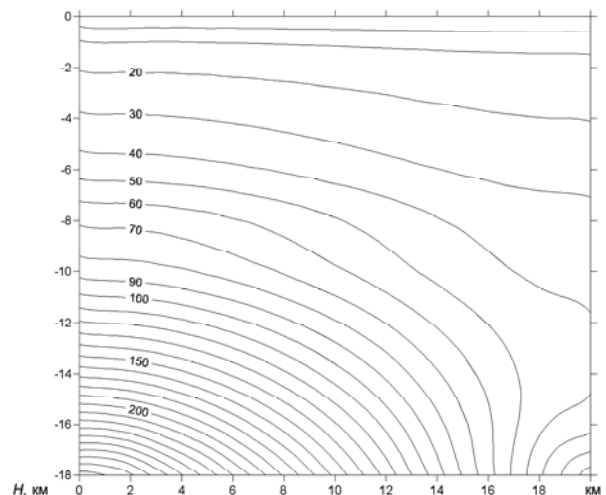


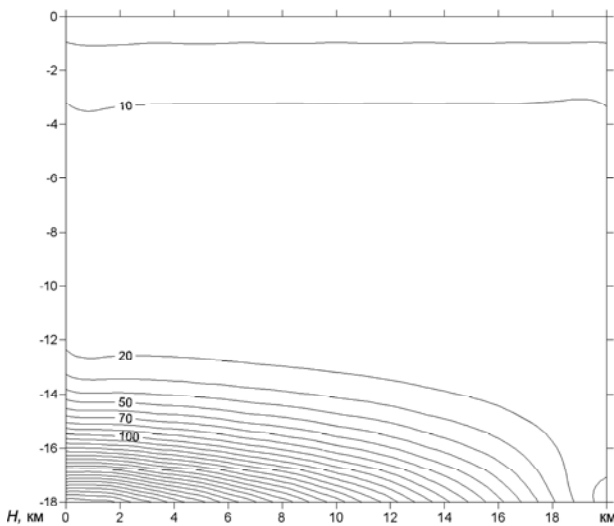
Рис. 3. Розподіли аномальних теплових полів у разі виникнення стійких локальних температурних аномалій у 500 °С і розмірами 2 км на нижній межі земної кори в зоні СА ДДЗ: а – після 1 млн років; б – 3 млн років; в – 5 млн років



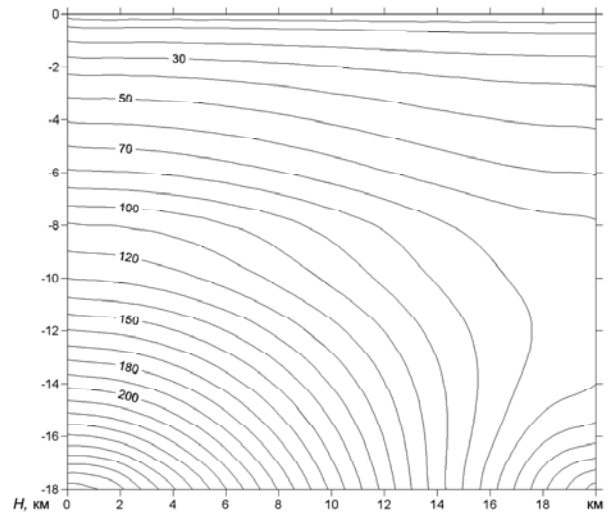
a



б

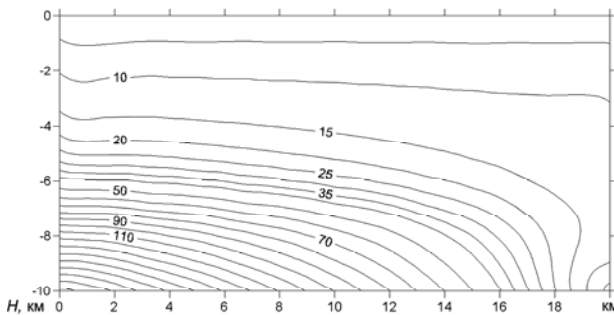


в

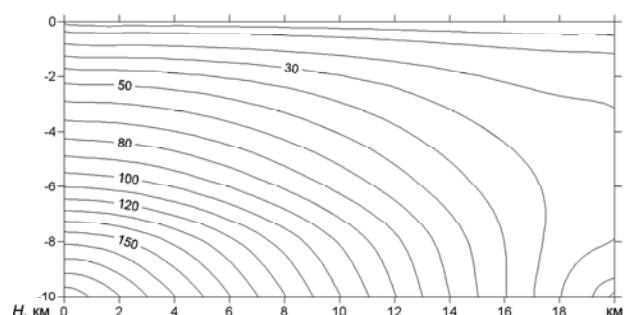


г

Рис. 4. Розподіли аномальних теплових полів у разі виникнення стійких локальних температурних аномалій у 300 °С на нижній межі гранітоїдів у зоні СА ДДЗ: *a* – після 1 млн років за ширини аномалії 200 м; *б* – після 1 млн років за ширини аномалії 2 км; *в* – після 10⁵ років за ширини аномалії 2 км; *г* – після 3 млн років за ширини аномалії 2 км



a



б

Рис. 5. Розподіли аномальних теплових полів у разі виникнення стійких локальних температурних аномалій у 200 °С і розмірами 200 м на нижній межі осадових порід у зоні СА ДДЗ: *a* – після 10⁵ років; *б* – 1 млн років

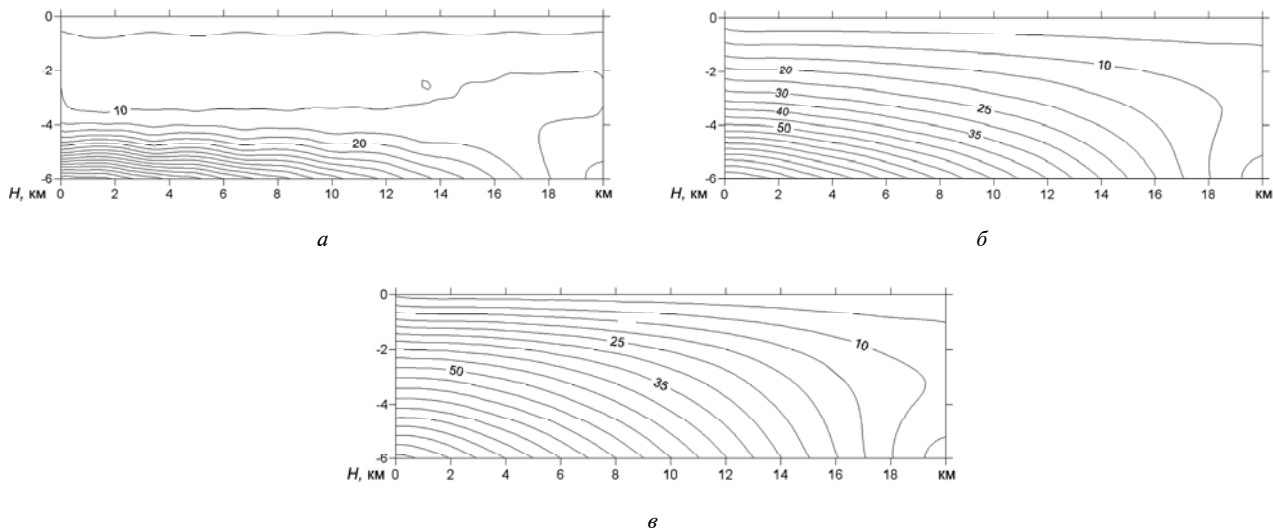


Рис. 6. Розподіли аномальних теплових полів у разі проникнення стійких локальних температурних аномалій у 100°C і розмірами 200 м до нижньої межі залягання пісковиків у зоні СА ДДЗ: *а* – після 10^4 років; *б* – 10^5 років; *в* – 1 млн років

років). Тому в умовах СА ДДЗ [5, 6] прогрівання верхніх шарів земної кори може бути досягнуто тільки у місцях, де локальні температурні аномалії досягли майже земної поверхні. У таких зонах, очевидно, інтенсивно прогриваються навколишні осадові породи, що може приводити до активізації процесів гідротепломасоперенесення в навколишньому середовищі та зумовлених цим процесів перенесення та накопичення вуглеводнів. Отже, процеси накопичення вуглеводневої сировини можуть бути пов'язані із наявністю зон перегріву у верхніх шарах земної кори в зоні СА ДДЗ.

Висновки. На основі варіаційної скінченно-елементної методики для нестационарної задачі теплопровідності з урахуванням радіогенного тепловиділення порід проведено моделювання аномальних локальних теплових полів у зоні СА ДДЗ. Показано, що характер розподілу теплового поля в околі локальних температурних аномалій залежить від потужності цих аномалій, їх стабільності і місця розміщення відносно горизонтів земної кори. Встановлено, що за умови стійкості температурних аномалій у часі їх розміри помітно не впливають на результуючий розподіл температурного поля. Процеси прогрівання земної кори в околах локальних температурних аномалій є дуже повільними (порядку декількох мільйонів років). Тому в умовах СА ДДЗ верхні шари земної кори можуть бути прогрітими лише в місцях, де джерела локальних температурних аномалій розміщуються відносно близько до земної поверхні. В цих місцях відбувається інтенсивне розігрівання навколишніх ділянок, яке, очевидно, приводить до активізації процесів гідротепломасоперенесення в осадових породах і може стимулювати процеси перенесення і накопичення вуглеводнів. Результати, які отримані на основі розглянутої варіаційної скінченно-елементної методики, добре узгоджуються з даними геотермометрів у зоні СА ДДЗ.

Це підтверджує надійність зазначеної методики у розв'язанні теплових геофізичних задач. Виявлено, що процеси перегрівання у верхніх шарах земної кори у зоні СА ДДЗ можуть бути спряжені з процесами перенесення і накопичення вуглеводнів. Тому становлять інтерес подальше вивчення теплових процесів у зоні СА ДДЗ і розроблення відповідної практично значущої методики.

1. Айзенберг Д.Е. Геология и нефтегазоносность Днепровско-Донецкой впадины. Стратиграфия / Айзенберг Д.Е., Перченко О.И., Бражникова Н.Е. – Киев.: Наук. думка, 1988. – 147 с.
2. Арясова О.В. Тепловое поле на северо-востоке Украины / О.В. Арясова, В.В. Гордиенко, И.В. Гордиенко // Доп. НАН України. – 2011. – Вип. 5. – С. 113 – 117.
3. Верховцев В. Новітні вертикальні рухи земної кори території України, їх взаємодіювання з лінійними та кільцевими структурами // Енергетика Землі, її геолого-екологічні прояви, науково-практичне використання: Зб. наук. праць. – К.: Вид. поліграф. центр “Київ. ун-т”, 2006. – С. 129 – 137.
4. Геология и нефтегазоносность Днепровско-Донецкой впадины. Глубинное строение и геотектоническое развитие / [Гавриш В.К., Забелло Г.Д., Рябчун Л.М. и др.]; под ред. В.К. Гавриша. – Киев: Наук. думка, 1989. – 208 с.
5. Гордиенко В.В. Активизация тектоносферы и месторождения углеводородов // Геофиз. журн. – 2011. – Т. 33, № 3. – С. 75 – 101.
6. 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.: Геолфак МГУ, 2011. – С. 472 – 476.
7. Гордиенко В.В. Глубинные процессы в тектоносфере Украины / Гордиенко В.В., Усенко О.В. – Киев.: Ин-т геофизики им. С. И. Субботина НАН Украины, 2003. – 147 с.
8. Днепровско-Донецкая впадина (геофизика, глубинные процессы) / [Гордиенко В.В., Гордиенко И. В., Завгородняя О.В. и др.]. – Киев: Корвин пресс, 2006. – 142 с.

9. *Тепловое поле территории Украины* / [Гордиенко В.В., Гордиенко И.В., Завгородняя О.В. и др.]. – Киев: Знание Украины, 2002. – 170 с.
10. *Дортман Н.Б.* Физические свойства горных пород и полезных ископаемых (петрофизика): Справочник геофизика. – М.: Недра, 1976. – 527 с.
11. *Истомин А.Н.* Геодинамические условия формирования Днепровско-Донецкой впадины / Истомин А.Н., Евдошук Н.И. // Геофиз. журн. – 2002. – Т. 24, № 6. – С. 143–155.
12. *Лубков М.В.* Определение статических чисел Лява и Шида методом конечных элементов. // Там же. – 2004. – Т. 26, № 6. – С. 147 – 150.
13. *Лубков М.В.* Моделирование фоновых температурных полей ДДВ // Геодинамика. – 2009. – № 1 (8). – С. 91–96.
14. *Лукин А.Е.* Литолого-динамические факторы нефтегазонакопления в авлакогенных бассейнах. – Киев: Наук. думка, 1997. – 224 с.
15. *Образцов И.Ф.* Метод конечных элементов в задачах строительной механики летательных аппаратов / Образцов И.Ф., Савельев Л.М., Хазанов Х.С. – М.: Высш. шк., 1985. – 329 с.
16. *Соллогуб В.Б.* Литосфера Украины. – Киев: Наук. думка, 1986. – 184 с.
17. *Тейлор С.Р.* Континентальная кора, её состав и эволюция / Тейлор С.Р., Мак Леннан С.М. – М.: Мир, 1988. – 383 с.
18. *Усенко О.В.* Тепловой поток и современная активизация Донецкого бассейна (по новым данным) // Геофиз. журн. – 2002. – Т. 24, № 5. – С. 102 – 111.

УДК 550.36

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ В ЗОНЕ СОВРЕМЕННОЙ АКТИВИЗАЦИИ 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

На основе вариационной конечно-элементной методики для нестационарной задачи теплопроводности с учетом радиогенного тепловыделения пород проведено моделирование локальных тепловых процессов в зоне современной активизации (СА) Днепровско-Донецкой впадины (ДДВ). Показано, что характер распределения теплового поля в окрестности локальных температурных аномалий зависит от мощности этих аномалий, их стабильности и местоположения относительно горизонтов земной коры. Установлено, что при условии стойкости температурных аномалий во времени их размеры не оказывают заметного влияния на результирующее распределение температурного поля. Определено, что процессы прогревания земной коры в окрестностях локальных температурных аномалий происходят очень медленно (порядка нескольких миллионов лет). Поэтому в условиях СА ДДВ прогревание верхних пластов земной коры может быть достигнуто только в местах, где источники локальных температурных аномалий расположены относительно близко к земной поверхности.

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

MODELING OF THE HEAT PROCESSES IN THE MODERN ACTIVITY ZONE OF THE DNEPR-DONETSK DEPRESSION (DDD)

M.V. Lubkov

Poltava Gravimetric Observatory within S.I. Subbotin Institute of Geophysics of NAS of Ukraine, Myasoedova St, 27/29, Poltava 36029, Ukraine, e-mail: mikhail.lubkov@mail.ru

Based on the variation finite element method for non-stationary heat conductivity problem in view of rocks radiogenic heat emission, modeling was done of the local heat processes in the modern activity (MA) zone of the Dnepr-Donetsk Depression (DDD). It was shown that the nature of the heat field distribution in the vicinity of the local temperature anomalies depended on their power, stability and location relative to the earth crust horizontals. It was established that under the condition of temporal stability of the local temperature anomalies, their sizes did not appreciably influence the resulting temperature field distribution. The obtained results show heating processes into the earth crust to pass very slowly (about a few million years). Thus, under the condition of MA DDD, the heating of the earth crust upper layers can take place only where the local temperature anomaly resources are situated comparatively close to the earth surface.

Keywords: computer modeling, heat processes, DDD modern activity zone.

References:

1. Ayzenberg D.E., Perchenko O.I., Brazhnikova N.E. *Geologiya i neftegazonosnost' Dneprovsko-Donetskoy vpadiny. Stratigrafiya* [Geology and petroleum potential of Dnepr-Donetsk depression. Stratigraphy]. Kyiv, *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]. *Dopovidi NAN Ukrainy* [Reports of NAS of Ukraine], 2011, no. 5, pp. 113-117.
3. Verkhovtsev V. *Novitni vertykal'ni rukhy zemnoyi kory terytoriyi Ukrainy, yikh vzayemovidnoshennya z liniynymy ta kil'tsevymy strukturamy* [Modern earth crust vertical movements of Ukraine territory, their interrelations with linear and ring structures]. *Trudy "Enerhetyka Zemli, yiyi heoloho ekologichni proyavy, naukovo praktychne vykorystannya"* [Proc. "Earth energy, its geology-ecological features, scientific and practical using"]. Kyiv, *Publishing centre "Kyiv. University"*, 2006, pp. 129-137.
4. Gavrish V. K., Zabello G. D., Ryabchun L. M. i dr. *Geologiya i neftegazonosnost' Dneprovsko-Donetskoy vpadiny. Glubinnoe stroenie i geotektonicheskoe razvittie* [Geology and petroleum potential of Dnepr-Donetsk depression]. Kyiv, *Naukova dumka*, 1989, 208 p.
5. Gordienko V.V. *Aktivizatsiya tektonosfery i mestorozhdeniya uglevodorodov* [Activation of tectonosphere and oil-gas deposits]. *Geofizicheskij Zhurnal* [Geophysical Journal], 2011, vol. 33, no. 3, pp. 75-101.
6. Gordienko V.V., Gordienko I.V., Logvinov I. M. *Sovremennaya aktivizatsiya Dneprovsko-Donetskoy vpadiny* [Modern activation of Dnepr Donetsk depression]. *Trudy mezhdunar. konf. "Sovremennoe sostoyanie nauk o Zemle"* [Proc. of Inter. conf. "Modern state of the earth sciences"]. Moscow, *Geofac. of MSU*, 2011, pp. 472-476.
7. Gordienko V.V., Usenko O.V. *Glubinnye protsessy v tektonosfere Ukrainy* [Deep-laid processes in the tectonosphere of Ukraine]. Kyiv, *Inst. of geophysics of S. I. Subbotin NAS of Ukraine*, 2003, 147 p.
8. Gordienko V.V., Gordienko I. V., Zavgorodnyaya O.V. i dr. *Dneprovsko-Donetskaya vpadina (geofizika, glubinnye protsessy)* [Dnepr-Donetsk Depression (geophysics, deep-laid processes)]. Kyiv, *Korvin press*, 2006, 142 p.
9. Gordienko V.V., Gordienko I.V., Zavgorodnyaya O.V. i dr. *Teplovoe pole territorii Ukrainy* [Heat field of the Ukraine territory]. Kyiv, 2002, 170 p.
10. 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.
11. Istomin A.N., Evdoshchuk N.I. *Geodinamicheskie usloviya formirovaniya Dneprovsko-Donetskoy vpadiny* [Geodynamical conditions of the Dnepr Donetsk depression forming]. *Geofizicheskij Zhurnal* [Geophysical Journal], 2002, vol. 24, no. 6, pp. 143-155.
12. Lubkov M.V. *Opredelenie staticheskikh chisel Lyava i Shida metodom konechnykh elementov* [Defining of static Love and Shida numbers by finite element method]. *Geofizicheskij Zhurnal* [Geophysical Journal], 2004, vol. 26, no. 6, pp. 147-150.
13. Lubkov M.V. *Modelirovanie fonovykh temperaturnykh poley DDV* [Modeling of the phone temperature fields of DDD]. *Geodinamika* [Geodynamics(Ukraine)], 2009, no. 1, issue 8, pp. 91-96.
14. Lukin A.E. *Litologo-dinamicheskie faktory neftegazonakopleniya v avlakogennykh basseynakh* [Lithology-dynamical factors of the oil-gas accumulation in the rift bassins]. Kyiv, *Naukova dumka*, 1997, 224 p.
15. Obraztsov I.F., Savel'ev L.M., Khazanov Kh.S. *Metod konechnykh elementov v zadachakh stroitel'noy mekhaniki letatel'nykh apparatov* [Finite element method in the building mechanics of flying devices problems]. Moscow, *Vysshaya shkola*, 1985, 329 p.
16. Sollogub V.B. *Litosfera Ukrainy* [Lithosphere of the Ukraine]. Kyiv, *Naukova dumka*, 1986, 184 p.
17. Teylor S.R., Mak Lennan S.M. *Kontinental'naya kora, ee sostav i evolyutsiya* [Continental crust, its structure and evolution]. Moscow, *Mir*, 1988, 383 p.
18. Usenko O.V. *Teplovoy potok i sovremennaya aktivizatsiya Donetskogo basseyna (po novym dannym)* [Heat stream and modern activation of Donetsk basin (of new date)]. *Geofizicheskij Zhurnal* [Geophysical Journal], 2002, vol. 24, no. 5, pp. 102-111.

Надійшла до редакції 08.10.2013 р.

Received 08/10/2013