

ГЕОТЕРМІЧНА МОДЕЛЬ ЗЕМНОЇ КОРИ ЧЕРЕЗ СХІДНІ КАРПАТИ ВЗДОВЖ СЕЙСМІЧНОГО ПРОФІЛЮ ДОБРЕ-3 (PANCAKE)

В статті представлено двовимірну числову модель термічної структури земної кори і верхньої мантії в Карпатському регіоні, побудовану на основі нових сейсмічних даних вздовж профілю Добре-3 (PANCAKE) від Східно-Європейського кратона (СЕК) до Панонського басейну (ПБ). Розподіл теплових потоків і температури в земній корі можна пояснити структурою літосфери і кайнозойською тектономагіптичною активністю.

Ключові слова: тепловий потік, земна кора, моделювання.

Вступ

В 2008 р. були проведені сейсмічні дослідження методом глибинного сейсмічного зондування вздовж профіля Добре-3 або PANCAKE (від слів PANNonian-Carpathians-Craton) [Starostenko et al., 2013]. Профіль проходить з південного заходу на північний схід (через Мукачеве-Сколе-Броди-Рівне) і згідно існуючих тектонічних карт [Тектон. карта ..., 2007] перетинає південно-західний схил Східно-Європейської платформи, (ПК 650-340), Передкарпатський прогин (ПК 340-295), Зовнішні Східні Карпати (ПК 295-200), Закарпатський прогин (ПК 200-160), Панонський басейн (ПК 160-0) (рис. 1). Профіль проходить північніше відпрацьованого в 70-х роках минулого сторіччя геотраверса II [Літосфера ..., 1988] майже паралельно до нього.

За результатами сейсмічного моделювання одержано нові дані про будову та товщину земної кори, її детальну швидкісну характеристику, що дозволяє зробити різнобічний більш повний аналіз іншої геофізичної інформації. На базі профілю побудована геотермічна модель земної кори. Моделювання виконано на основі числового розв'язку стаціонарного і нестаціонарного рівнянь теплопровідності та узагальнення геотермічної інформації в районі профілю.

Структура і швидкісна характеристика земної кори

Профіль Добре-3 перетинає тектонічні елементи, що суттєво відрізняються за умовами та віком утворення, будовою земної кори, характером фізичних полів та іншими параметрами.

За результатами сейсмічних досліджень в межах докембрійської Східно-Європейської платформи земна кора має досить стійку чотиришарову структуру. Її товщина складає 42-48 км. Товщина осадового шару зростає від сотень метрів на схилі Українського щита до 5 км у Львівському палеозойському прогині. Максимальна швидкість сейсмічних хвиль V_p досягає 5,15-5,28 км/с. Верхній шар кристалічної кори ($V_p=6,1-6,3$ км/с) має товщину 20-25 км. Він відрізняється значною неоднорідністю. В його межах на глибинах 12-18 км відбувається зниження швидкості до 6,09-6,10 км/с. В зоні переходу до Передкарпатського прогину він флексурно заглиблюється і розпадається. Середній шар ($V_p=6,4-6,7$ км/с) має

стабільну товщину (9-10 км). Він поступово заглиблюється в південно-західному напрямку. В цьому напрямку товщина і V_p в нижньому шарі зменшується відповідно від 16 до 6 км і від 7,4 до 6,8 км/с. V_p порід верхньої мантії складає 8,3 км/с.

В Передкарпатському прогині і Зовнішніх Карпатах зростає товщина осадового шару за рахунок відкладів неогену і насувів Складчастих Карпат. В прогині Зовнішніх Карпат товщина осадового шару збільшується до 20-22 км. Верхній шар кристалічної кори практично повністю зникає. Можливо залишаються окремі фрагменти його нижньої частини. Середній і нижній шари кристалічної кори Східно-Європейської платформи без особливих змін продовжуються під Передкарпатським прогином і Зовнішніми Карпатами, але під Карпатами їх границі прослідковуються фрагментарно. На цій ділянці профілю товщина земної кори змінюється від 42 до 25 км.

Під Закарпатським прогином і Панонським басейном товщина земної кори не перевищує 25-30 км. Швидкість V_p -хвиль у верхній мантії знижується до 7,8-8,0 км/с. Земна кора складається з осадового шару ($V_p=2,4-3,7$ км/с), товщина якого змінюється від 1,0 до 6-7 км і двох шарів кристалічної кори ($V_p=5,95-6,20$ км/с і $V_p=6,4$ км/с). В земній корі чітко прослідковуються поверхні фундаменту і Мохо. Границі шарів всередині кори виділяються фрагментарно.

Розподіл теплових потоків і сучасна геотермічна модель земної кори

Карпатський регіон характеризується значною диференціацією теплового поля. Теплові потоки змінюються від 35 до 130 мВт/м². Їх розподіл в регіональному плані узгоджується з існуючим тектонічним районуванням. Регіональні закономірності ускладнюються чисельними локальними аномаліями, пов'язаними з особливостями теплопередачі у верхній частині земної кори, які залежать від багатьох факторів (теплопровідності гірських порід і умов їх залягання, гідрогеологічної ситуації, наявності розломів, коливань температури на поверхні та ін.). На величину теплового потоку в приповерхневому шарі у всьому регіоні суттєво вплинули палеокліматичні умови, в першу чергу голоценове зледеніння (60-12 тис. років тому). Наші побудови спираються на визначення

теплогового потоку в глибоких свердловинах (понад 1000 м). На таких глибинах вплив палеоклімату наближається до нуля.

За геотермічними умовами профіль Добре-3 можна розділити на три ділянки (сектори): схил Східно-Європейської платформи і Передкарпатський прогин, Складчасті Карпати і Панонський басейн. В межах Східно-Європейської платформи переважають відносно низькі теплові потоки (40-50 мВт/м²) (рис. 1). Локальні підвищення до 50-60 мВт/м² виділяються в крайовій частині Львівського палеозойського прогину і в Більчеволицькій зоні Передкарпатського прогину. Значні коливання теплових потоків спостерігаються в Бориславсько-Покуський зоні прогину. Вони пов'язані з особливостями будови насунутих відкладів Складчастих Карпат, анізотропією теплофізичних властивостей тонкошаруватих флішових відкладів, динамікою флюїдів та ін.

В Складчастих Карпатах існують лише поодинокі визначення теплового потоку. В районі профілю в зовнішніх зонах Складчастих Карпат (Скибовій і Кросно) теплові потоки складають 50-60 мВт/м². Починаючи з південно-західної части-

ни зони Кросно спостерігається поступове підвищення теплових потоків в напрямку Закарпатського прогину (до 70-75 мВт/м²).

В Закарпатському прогині і Панонському басейні теплові потоки підвищуються до 80-130 мВт/м². Фоновий рівень утворюють теплові потоки 80-90 мВт/м², а високі слід розглядати як аномальні. Профіль перетинає дві аномальні зони: одна виділяється в Закарпатському прогині, друга – в Панонському басейні в зоні Середньогорської тектонічної лінії.

Густина теплового потоку в приповерхневому шарі земної кори формується за рахунок радіогенних джерел тепла земної кори і теплового потоку, що надходить з мантиї. З тепловим потоком узгоджується певний розподіл температур в земній корі і верхній мантиї. В твердій літосфері, в якій тепло передається завдяки молекулярній теплопровідності, цей розподіл задовольняє теорії теплопровідності і може бути відтворений на основі розв'язку рівняння теплопровідності за наявності даних про структуру і параметри середища.

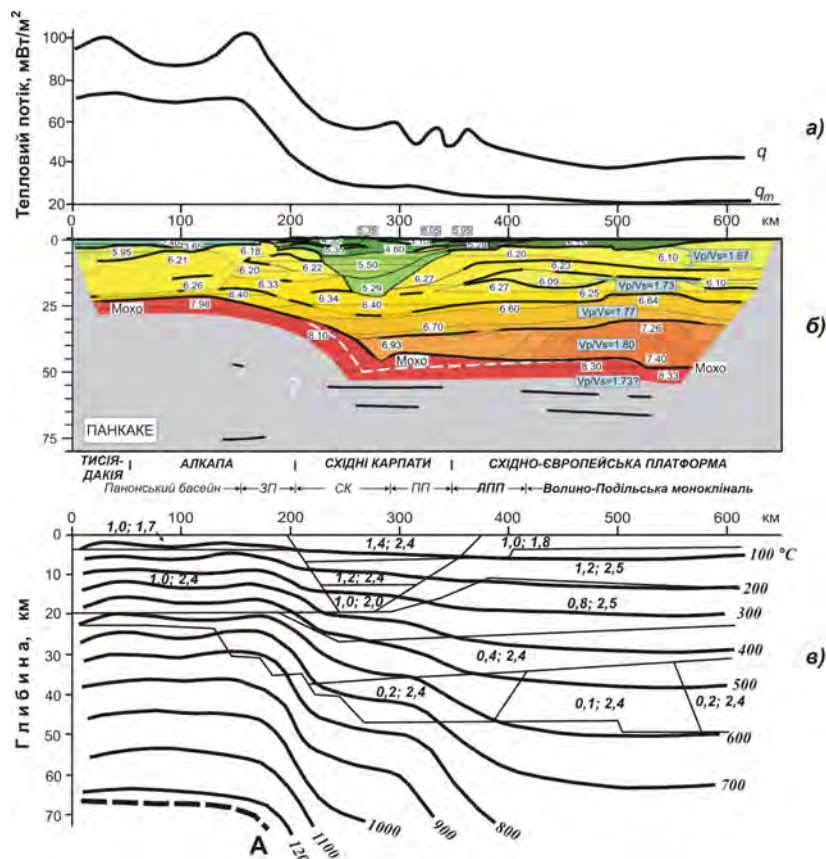


Рис. 1. Розподіл теплового потоку (а), швидкісна структура земної кори (б) і геотермічна модель земної кори і верхньої мантиї (в) вздовж профілю Добре-3.

а) q – середні значення теплового потоку за результатами вимірювання в свердловинах, q_m – мантийна складова теплового потоку; б) двовимірний швидкісна модель Р-хвиль. Товсті чорні лінії – головні швидкісні границі. Тонкі лінії – ізолінії швидкостей (км/с). ЗП – Закарпатський прогин, СК – Складчасті Карпати, ПП – Передкарпатський прогин; в) товсті лінії – ізолінії температур, тонкі лінії – контури шарів і блоків з різною радіогенною теплогенерацією (цифри зліва) і теплопровідністю (цифри справа), А – поверхня астеносфери

Сейсмічні дані, доповнені матеріалами геологічних досліджень і буріння, є головною вихідною інформацією для побудови моделі геологічного середовища і його параметрів [Кутас і др., 1989].

Розрахунки радіогенного теплового потоку проводились на основі розв'язку двомірного стаціонарного рівняння теплопровідності [Кутас і др., 1989] при заданих умовах на нижній і верхній границях області розрахунків. На поверхні земної кори задавалась середньорічна температура, а на нижній границі – густина теплового потоку. Остання в ітераційному режимі узгоджувалась з експериментально визначеними значеннями теплового потоку. Аномальні значення температури і теплового потоку пов'язувались з підняттям глибинної нагрітої речовини (астеносфери). Вони розраховувались на основі розв'язку нестационарного рівняння теплопровідності [Кутас і др., 1989; Кутас, 1993].

На південно-західному схилі Східно-Європейської платформи радіогенний тепловий потік земної кори складає 20-25 мВт/м², середнє значення мантіїного теплового потоку – 22±2 мВт/м². Незначні підвищення мантіїної складової (до 5 мВт/м²) спостерігається у Львівському палеозойському прогині і Більчеволицькій зоні Передкарпатського прогину. Температури на глибинах 10, 20 і 30 км складають відповідно 175-190, 310-330, 420-440 °С.

У Внутрішній зоні Передкарпатського прогину і в Складчастих Карпатах збільшується товщина осадового шару. Відповідно збільшується радіогенна складова теплового потоку земної кори до 25-35 мВт/м². Мантіїна складова залишається практично без змін (22-26 мВт/м²) в північно-східній частині і підвищується до 30-35 мВт/м² в

південно-західній. Відповідно, підвищується і температура на одних і тих же глибинах: на глибині 10 км до 280°C, на глибині 20 км до 450°C і на глибині 30 км до 620°C.

В Закарпатському прогині і Панонському басейні товщина земної кори зменшується. Її внесок в загальну величину теплового потоку складає 18-23 мВт/м², внесок мантії зростає до 60-65 мВт/м². Значні площі займають аномалії з амплітудою до 15-35 мВт/м², які пов'язані з окремими мантійними та коровими магматичними об'єктами, гідротермальними потоками. Температури підвищуються до 330-380°C на глибині 10 км, до 550-650°C і 720-820°C на глибинах відповідно 20 і 30 км.

Література

- Кутас Р.И. Тепловое поле и геотермический режим литосферы // Литосфера Центральной и Восточной Европы. Обобщение результатов исследований (Гл. ред.. А.В.Чекунов). – Киев: Наук. думка, 1993. – С.114-135.
- Кутас Р.И., Цвященко В.А., Корчагин И.Н. Моделирование теплового поля континентальной литосферы. – Киев: Наук. думка, 1989. – 192 с.
- Литосфера Центральной и Восточной Европы. Геотраверсы I, II, V / Гл. ред. А.В.Чекунов. – 1988. – Киев: Наук. думка. – 168 с.
- Тектонічна карта України. Пояснювальна записка. Масштаб 1:1000000 / Відпов. ред. Д.С. Гурський, С.С. Круглов. – Київ: УкрДГРІ. – 2007. – 96 с.
- Starostenko V.I. et al. Seismic velocity model of the crust and upper mantle along profile PANCAKE across the Carpathians between the Pannonian Basin and the East European Craton / Tectonophysics. – 2013. – DOI: 10.1016/j.tecto.2013.07.008

ГЕОТЕРМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЗЕМНОЙ КОРЫ ВОСТОЧНЫХ КАРПАТ ВДОЛЬ СЕЙСМИЧЕСКОГО ПРОФИЛЯ ДОБРЕ-3 (PANCAKE)

Р.И. Кутас

В статье представлена двухмерная численная модель термической структуры земной коры и верхней мантии в Карпатском регионе, построенная на базе новых сейсмических данных вдоль профиля Добре-3 (PANCAKE) от Восточно-Европейского кратона (ВЕК) до Паннонского бассейна. Распределение теплового потока и температуры в земной коре может быть объяснено структурой литосферы и кайнозойской тектоно-магматической активностью.

Ключевые слова: тепловой поток земная кора, моделирование.

GEOHERMAL MODEL OF THE EARTH'S CRUST ACROSS THE EASTERN CARPATIANS ALONG THE SEISMIC PROFILE DOBRE-3 (PANCAKE)

R.I. Kutas

This paper presents two-dimensional numerical models of the thermal structure of the crust and upper mantle in the Carpathians region based on new seismic data along the profile Dobre-3 (PANCAKE) from East European Craton to Pannonian basin (PB). Heat flow and temperature distribution in the crust can be explained by lithosphere structure and Cenozoic tectonic and magmatic activity.

Key words: heat flow, earth crust, modeling.