

АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ ТЕРМОМЕХАНІЧНИХ КОЛИВАНЬ У ЛІТОСФЕРІ ЗЕМЛІ

Дуже важливо розвивати геодинамічні моделі будови Землі, визначаючи відповідні рівняння стану та рівняння для потоку фрагментів мантиї з великою в'язкістю і неоднорідним розподілом густини і нелінійною взаємодією з іншими фрагментами мантиї та літосфери. Це обґрунтовує важливість і доцільність переходу до узагальненої моделі середнього і процесів, що визначають залежність геофізичних і геодинамічних процесів від термодинамічного стану системи та термомеханічних коливань в літосфері Землі.

Ключові слова: мантия; термодинамічний стан; літосфера.

Процеси теплопровідності впливають на реологічні властивості порід у Землі, на фазові й мінералогічні переходи в корі та мантиї й на фізико-хімічний склад планети. Зіставлення й ототожнення процесів, що відбуваються усередині Землі і просто як теплової машини, має певні обмеження. Інтенсивність підігріву в ній істотно перевершує природні можливості теплообміну усередині рідини шляхом теплопровідності, у результаті чого виникають конвекційні потоки. У випадку з Землею при відсутності підігріву речовини зсередини, залишається розглядати теплообмінні процеси, як процес остигання планети зовні. Тоді конвекційні потоки могли б виникнути через нерівномірність остигання поверхні Землі. Але теплопередача залежить від градієнта температур, і остигання йде швидше там, де градієнт більше. Тобто виникаючий (незрозуміло яким чином) локальний більший градієнт температур у природних умовах повинний неодмінно знижуватися.

Таким чином, для виникнення і розбіжності градієнтів потрібні надійні джерела енергії. Виходить, їх потрібно шукати. І не тільки для конвекційних потоків. Вони потрібні і для горизонтального руху літосферних плит, фактично для руху континентів. Де джерела енергії для цих рухів? Стаціонарна конвекція під континентами, для дослідження якої використовують реологічну модель ступеневої рідини [Stein C. et al., 2004], утворить верхній холодний нерухомий межовий шар (континентальну літосферу). Всі наявні інформаційні дані [Anderson D.L., 2002; Courtillot V. et al., 2003; Ghias Sa.R., 2007], які ми наразі можемо мати, недостатні для повного розуміння природи термодинамічних і конвективних процесів, що відбуваються в мантиї, хоча вони є ключовими положеннями до пояснення багатьох геофізичних і геологічних явищ.

Тому таким важливим є теоретичний аналіз термодинамічних властивостей речовини верхньої мантиї Землі, що ґрунтується тільки на вірогідно відомих сейсмічних даних, які є основою для отримання залежності теплового стану мантиї від можливих варіацій не тільки температури, а й інших термодинамічних характеристик у різних точках глибинних структур верхньої мантиї та

літосфери Землі. Важливо, що цей аналіз ґрунтується тільки на вірогідно відомих сейсмічних даних, які і є основою для отримання залежності теплового стану мантиї та літосфери Землі від можливих варіацій не тільки температури, а й інших термодинамічних характеристик у різних точках глибинних структур верхньої мантиї Землі. Під час аналізу стійкості цього шару варто застосовувати реологічну модель Андраде. Аналіз засвідчує, що літосфера має коливальну нестійкість з періодом коливань близько 200 млн років [Loddoch et al., 2006]. Ці термоконвективні коливання літосфери розглянуті в праці [Birger V.I., 1998] як механізм еволюції осадових басейнів. Період коливальних рухів кори того ж порядку, що і період конвективних коливань літосфери, знайдений під час аналізу стійкості.

Аналіз конвективної стійкості горизонтального шару передбачає розгляд збурень, що гармонійно залежать від горизонтальної координати. Для шару з реологією Андраде характерна коливна нестійкість, і збурення можуть мати вигляд біжучих термоконвективних хвиль. Лінійну спадкову реологічну модель літосфери описує інтегральне співвідношення

$$2e_{ij} = \int_0^t K(t-t_1) \mathbf{t}_{ij}(t_1) dt_1, \quad K(t) = t^{-\frac{2}{3}} (3A)^{-1},$$

де e_{ij} і \mathbf{t}_{ij} – девіатори тензорів деформацій і напружень; t – час; $K(t)$ – інтегральне ядро повзучості обрано так, що за сталого напруження деформація залежить від часу як $t^{-\frac{2}{3}}$ (A – реологічний параметр Андраде). Для розглянутого реологічного середовища число Релея

$$R_a = rga\Delta T d \frac{(d^2/k)^{1/3}}{A}$$

Рівняння теплової конвекції для горизонтального шару, який підігривається знизу записані в наближенні Бусінеска. Дисперсійне співвідношення дає змогу знайти мінімальне критичне значення R_{am} числа Релея для реологічної моделі Андраде

$$R_{am} = \frac{2(k_m^2 + p^2)^{7/3}}{3^{1/3} k_m^2} \approx 150,$$

за якого не загасає тільки хвиля з хвильовим числом $k^0 = k_m^0$ і частотою $w^0 = w_m^0$.

Згідно з характеристиками реологічного параметра A та інших фізичних параметрів літосфери, число Релея R_a , яке характеризує літосферу Землі, виявляється того ж порядку, що і R_{am} . Отже, літосфера перебуває в стані, близькому до режиму граничної нестійкості. Якщо $R_a > R_{am}$, то початкові збурення наростають з часом, і при великих t рівняння теплової конвекції, як і лінійне реологічне співвідношення, уже не можна застосовувати. Якщо ж $R_a \leq R_{am}$, то розв'язок системи рівнянь при не занадто великих початкових збуреннях температури повністю описує еволюцію збурень у розглянутому шарі, який моделює товщу літосфери. Розв'язок для вертикального зсуву u_z верхньої межі шару за $a\Delta T$ знаходимо:

$$u_z = a\Delta T \frac{p(p^2 + 3k^2)}{(k^2 + p^2)^2}.$$

Задача про тривимірний розподіл збурення температури в літосфері зводиться до розв'язування двовимірної задачі. Термоконвективні коливання створюють у літосфері систему конвективних комірок. Над кожною коміркою поверхня літосфери опускається (або піднімається)

формуючи осадові басейни. Оскільки число Релея R_a , яке характеризує літосферу, не перевищує R_{am} , то форма комірок, а отже і форма басейнів, визначена початковими збуреннями.

Термоконвективні коливання (стоячі хвилі) можна розглядати як механізм, що зумовлює утворення й еволюцію осадових басейнів на континентальних кратонах.

Література

- Anderson D.L. The power balance at the core–mantle boundary // *Physics of the Earth and Planetary Interiors*. – 2002. – Vol. 131. – P.1–17.
- Birger B.I. Rheology of the Earth and thermoconvective mechanism for sedimentary basins formation // *Geophys. J. International*. 1998. Vol. 134. P. 1–12.
- Courtillot V., Davaille A., Besse J., Stock J. Three distinct types of hotspots in the Earth's mantle // *Earth and Planetary Science Letters*. – 2003. – Vol. 205. – P. 295–308.
- Ghias Sa.R., Jarvis G. T. Mantle flow reversals in cylindrical Earth models // *Physics of the Earth and Planetary Interiors*. – 2007. – Vol. 165. – P. 194–207.
- Loddoch et al. Temporal variations in the convective style of planetary mantles // *Earth and Planetary Science Letters*. 251 (2006). P. 79–89.
- Stein C., Schmalzl J., Hansen U. The effect of rheological parameters on plate behaviour in a self-consistent model of mantle convection. *Phys. Earth Planet. Inter.* . 2004, 142. P. 225–255.

АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ В ЛИТОСФЕРЕ ЗЕМЛИ

В.В. Фурман

Очень важно развить геодинамические модели строения Земли, определяя соответствующие уравнения состояния и уравнения для потока фрагментов мантии с большой вязкостью и неоднородным распределением плотности и нелинейным взаимодействием с другими фрагментами мантии и литосферы. Это обосновывает важность и целесообразность перехода к обобщенной модели среднего и процессов, определяющих зависимость геофизических и геодинамических процессов от термодинамического состояния системы и термомеханических колебаний в литосфере Земли..

Ключевые слова: мантия; термодинамическое состояние; литосфера

THE WAVE THERMOCONVECTIONS PROCESS INTO EARTH'S LITOSPHERE

V. Fourman

The very important to develop geodynamical models of the Earth's structure defining corresponding state equations and flow equations for the fragments of mantle with big vis-cosity and inhomogeneous density distribution and nonlinear interaction with other frag-ments of the mantle and the crust. It is substantiated the importance and advisability of transition to generalized models of medium and processes which define the dependence of geophysical and geodynamical processes from thermodynamical parameters of Earth's crust.

Key words: Earth's crust, mantle, thermodynamical state.