

счет эффекта «биения» квазистоячего волнового поля. Возможно по этой причине на геотраверсе «Татсейс-2003» все районы богатых нефтяных месторождений сосредоточены в юго-восточной части профиля, т.е. в зоне однонаправленного действия источников СВП S_2 и S_3 . Естественно предположить, что за счет аналогичного эффекта происходит миграция рудных растворов и химических элементов в условиях платформ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Богацкий В.В. Механизм формирования структур рудных полей. М.: Недра, 1986. 89с.
2. Чиков Б.М. Короткопериодные колебания в геологических процессах литосферы (обзор проблемы) // Литосфера. 2005, № 2. С. 3-20.
3. Дубянский В.И. О проявлении стационарных волновых процессов в некоторых структурах земной коры // Вестник ВГУ, серия «Геология», 2005. №2. С. 161-168.
4. Дубянский В.И. Стационарные волновые поля Земли как фактор формирования дискретных образований земной коры. Материалы XII Международной конференции «Активные геологические и геофизические процессы в литосфере. Методы, средства и результаты изучения». Воронеж. 2006. С. 192-194.
5. Ультразвук. М. СОВЕТСКАЯ ЭНЦИКЛОПЕДИЯ, 1979, 400 с.
6. Арутюнов и др. Технологии АНЧАР 10 лет // Технологии сейсморазведки.-2/2004. С. 27-31.
7. Трофимов В.А. Глубинные сейсмические исследования МОВ-ОГТ на геотраверсе ТАТСЕЙС-2003, пересекающем Волго-Уральскую нефтегазоносную провинцию. // Геотектоника. 2006 №4, С. 3 -21

МАНТИЙНАЯ КОНВЕКЦИЯ И ФАЗОВЫЕ ПЕРЕХОДЫ

Евсеев А.Н., Трубицын В.П., Баранов А.А., Трубицын А.П.

Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта РАН, г. Москва, trub@ifz.ru

В геодинамической модели мантию делят на две части: верхнюю и нижнюю по границе на глубине 660 км, где эндотермический фазовый переход частично тормозит конвективные течения.

В последние два десятилетия построено много моделей, в которых рассматривается возможность временных расслоений течений с раздельной конвекцией в верхней и нижней мантии. Тормозящий эффект эндотермического фазового перехода очень чувствителен к значению наклона кривой фазового равновесия. Однако лабораторные измерения имеют значительную неопределенность, при которой возможно как частичное расслоение конвекции, так и лишь незначительное торможение части нисходящих мантийных потоков. В докладе приводятся результаты расчетов мантийных течений в широком диапазоне значений параметров фазового перехода, выделяются области однослойной и двухслойной конвекции, находятся зависимости амплитуды и периода колебаний от параметров фазового перехода.

В химико-минералогической модели мантию делят на четыре части: верхнюю до глубин 400 км, переходную в интервале глубин 400-700 км, нижнюю 700-2700 км и слой D» толщиной, примерно 200 км. Такое деление обусловлено тем, что в переходной мантии происходят наиболее важные фазовые превращения с большими скачками плотности, а слой D» химически неоднороден из-за соседства с горячим железным ядром, и на его границе перовскит переходит в еще более плотную модификацию.

Основными минералами в пиrolитовой модели мантии являются [Weidner, 1986; Solheim and Peltier, 1994.]: **оливин** – $(Mg_{0.9}Fe_{0.1})SiO_4$ (61%), ортопироксен- $(MgFe)SiO_3$ (15%), клинопироксен- $(CaMgFe)_2Si_2O_6$ - $NaAlSi_2O_6$ (10%) и **гранат**- $(MgFeCa)_3(AlCr)_2Si_3O_{12}$ (14%). При повышении давления минералы испытывают ряд фазовых превращений, переходя последовательно в более плотные модификации.

На рис. 1 приведена диаграмма для фазовых переходов в оливине по экспериментальным данным [Ita,

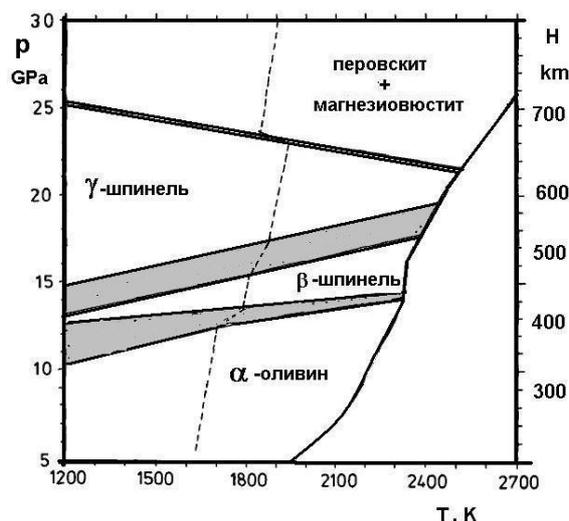


Рис. 1. Диаграмма температура-давление для фазовых переходов в оливине по [Ita, Stixrude, 1992].

Пунктирной кривой показано усредненное по латерали распределение температуры в мантии по глубине. Сплошная кривая справа- температура солидуса

Stixtrude1992]. На глубине $h=410$ км при давлении $p=13.4\text{ГПа}=134\text{Кбар}$ и температуре $T\approx 1800\text{К}$ в мантии минерал $(\text{Mg}_{0.9}\text{Fe}_{0.1})\text{SiO}_4$ переходит из своей основной фазы α -оливина в β -фазу оливина (вадслеит). Пироксены и гранат, начиная с глубины 350км , также испытывают серию фазовых переходов в мажорит со структурой граната и затем в ильменит [Poigier, 1991]. Но эти переходы размазаны на очень широкий интервал глубин. На глубине 520 км выделяют широкий переход из β -фазы (вадслеит) в γ -фазу (рингвудит). На глубине 660 км при давлении $p=24$ ГПа и температуре $T\approx 2000\text{К}$ рингвудит переходит в перовскитовую модификацию и магнезиовюстит.

Величину наклона кривой равновесия dp/dT обычно обозначают через $\gamma_p=dp/dT$ (которое не следует путать с обозначением γ - фазы). Теплота q , выделяющаяся при фазовом переходе связана с наклоном кривой равновесия термодинамическим соотношением Клапейрона-Клаузуса [Ландау, Лифшиц, 1964] $\gamma=q\rho^2/(T\delta\rho)$. При переходе в более плотную упаковку ($\delta\rho=\rho_2-\rho_1>0$), как правило, потенциальная энергия уменьшается и соответственно выделяется тепло q . Таким типичным является экзотермический фазовый переход (α - β) на глубине 410 км с наклоном кривой равновесия $\gamma\approx 1.6\text{МПа/К}$ и с относительным скачком плотности $\delta\rho/\rho\approx 0.07$. Переход (β - γ) на глубине 520 км также является экзотермическим со скачком плотности $\delta\rho/\rho\approx 0.03$ и наклоном кривой равновесия $\gamma\approx 4.3\text{МПа/К}$. Фазовый переход на глубине 660 км, несмотря на увеличение плотности, является эндотермическим и имеет отрицательный наклон кривой равновесия $\gamma_p\approx -2.5$ МПа/К (с неопределенностью до 100% , вероятно в меньшую сторону) со скачком плотности $\delta\rho/\rho\approx 0.1$.

ОСНОВНЫЕ ИССЛЕДУЕМЫЕ ВОПРОСЫ

1. Найти степень расслоения течений между верхней и нижней мантией для реальных фазовых параметров в Земле.
2. Исследовать влияние вязкости в мантии на фазовые переходы.
3. Изучить влияние ширины фазовых переходов на мантийные течения.
4. Исследовать влияние экзотермических фазовых переходов на глубинах $410, 520, 2700\text{км}$.

УРАВНЕНИЯ МАНТИЙНОЙ КОНВЕКЦИИ С ФАЗОВЫМИ ПЕРЕХОДАМИ:

$$\begin{aligned} \rho DV_i/dt &= -\partial p/\partial x_i + \partial \tau_{ij}/\partial x_j + \rho g_i && \text{уравнение Навье-Стокса} \\ \partial T/\partial t + (V_i \partial T/\partial x_i) &= \partial(\kappa \partial T/\partial x_i)/\partial x_i + Q, && \text{уравнение теплопроводности} \\ \partial \rho/\partial t + \partial(V_i \rho)/\partial x_i &= 0, \quad i=1, 2, 3, && \text{уравнение неразрывности} \\ \rho(T, \Gamma) &= \rho_0(1-\alpha T) + \delta \rho \Gamma && \text{плотность мантии с фазовым переходом} \\ \rho_0 &- \text{плотность мантии без конвекции и фазового перехода} \\ h^*(x) &= h_0 + \gamma_h [T(x, z_0) - T(h_0)] && \text{кривая фазового равновесия} \end{aligned}$$

Уравнения конвекции для двумерной декартовой модели:

$$\begin{aligned} \partial V_x/\partial x + \partial V_z/\partial z &= 0, \\ 0 &= \partial \sigma_{xx}/\partial x + \partial \sigma_{xz}/\partial z, \\ \partial \sigma_{xx}/\partial x + \partial \sigma_{zz}/\partial z &= -RaT + R_{ph}\partial \Gamma, \\ \partial T/\partial t + V_x \partial T/\partial x + V_z \partial T/\partial z &= \partial^2 T/\partial x^2 + \partial^2 T/\partial z^2, \\ \text{where } \sigma_{xx} &= -p + 2\eta \partial V_x/\partial x, \quad \sigma_{zz} = -p + 2\eta \partial V_z/\partial z, \quad \sigma_{xz} = \eta (\partial V_x/\partial z + \partial V_z/\partial x), \\ Ra &= \alpha_0 \rho_0 g T_0 D^3 / (\kappa \eta_0), \quad R_{ph} = \delta \rho g D^3 / (\kappa \eta_0), \quad R_p = R_{ph}/Ra = (\delta \rho / \rho_0) / (\alpha_0 T_0) \\ Ra \text{ и } R_{ph} &- \text{тепловое и фазовое число Релея.} \\ \gamma &= \gamma_h T_0 / D = \gamma_p T_0 / \rho g D \\ RaT + R_{ph} \partial \Gamma &= -RaT + R_{ph} (\partial \Gamma / \partial \zeta) (\partial \zeta / \partial T) T = -Ra[1 + P \partial \Gamma / \partial \zeta] \cdot T = -Ra_{ef} T, \\ \text{где } Ra_{ef} &= Ra[1 + P \partial \Gamma / \partial \zeta] \text{ и} \\ P &= -R_{ph} (\partial \zeta / \partial T) / Ra = -R_p (\partial \zeta / \partial T) = R_p \gamma \quad \text{где } \gamma - \text{наклон кривой фазового равновесия} \\ \text{В нашем случае } R_{ph670} &= 2, \quad R_{ph410} = 1.4, \text{ для реальных фазовых параметров в Земле.} \\ \text{Где } P &- \text{фазовый параметр, характеризующий влияние фазового перехода.} \\ \text{Граничные условия} \\ V_x(x, z=0) &= V_x(x, z=1) = 0, \quad V_x(x=0, z) = V_x(x=1, z) = 0 \text{ стенки непроницаемы} \\ \sigma_{xz}(x, z=0) &= \sigma_{xz}(x, z=1) = 0, \quad \sigma_{xz}(x=0, z) = \sigma_{xz}(x=1, z) = 0 \text{ стенки скользкие} \\ Nu &= [-k(\partial T/\partial z) + V_z T] / (\kappa T_0 / D) - \text{тепловой поток,} \\ -k(\partial T/\partial z) &- \text{кондуктивный, } V_z \cdot T - \text{конвективный тепловой поток.} \end{aligned}$$

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ

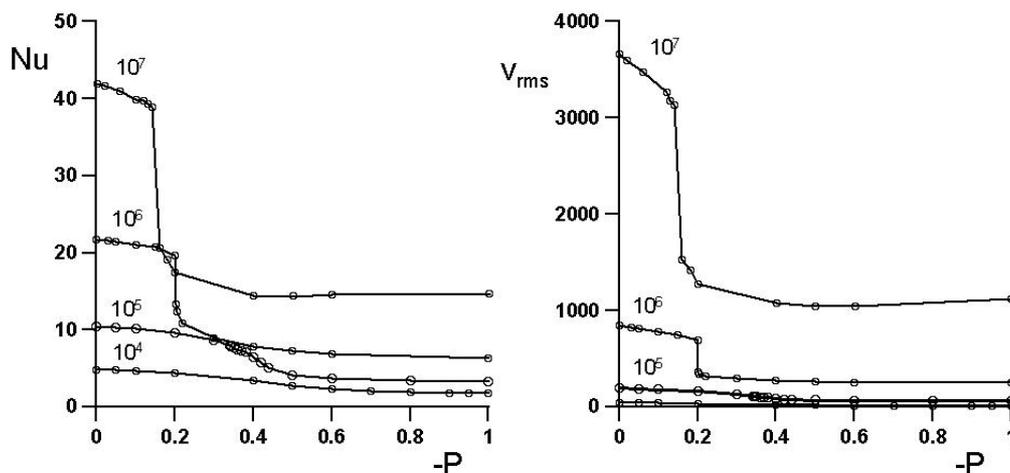


Рис.2. Зависимость числа Нуссельта и скорости (Nusselt(P), $V_{rms}(P)$ root mean square) от параметра P при $Ra=1e4-1e7$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Все экзотермические фазовые переходы ускоряют конвективные течения в мантии.
2. Мы построили динамическую двумерную модель с переменной вязкостью и 5 фазовыми переходами, следующая задача построить сферическую модель и повторить на ней расчеты.
3. Эндотермический фазовый переход в Земле не приводит к расслоению течений, а только тормозит их интенсивность и уменьшает массообмен между верхней и нижней мантией. Аваланчи в современной Земле невозможны!

ЛИТЕРАТУРА

1. Трубицын В.П., Евсеев А.Н., Баранов А.А., Трубицын А.П. Мантийная конвекция с эндотермическим фазовым переходом. // Физика Земли. 2007. № 12. С. 4-11.
2. Трубицын В.П., Евсеев А.Н., Баранов А.А., Трубицын А.П. Влияние эндотермического перехода на массообмен между верхней и нижней мантией. // Физика Земли. 2008. № 6. С. 3-16.
3. Anderson D. L., Theory of the Earth, // Blackwell Scientific Publ., Boston, Oxford, London, Edinburgh, Melbourne, 1989, P. 366.
4. Brunet D. and Ph. Machtel, Large-scale tectonic features induced by mantle avalanches with phase, temperature, and pressure lateral variations of viscosity. // J. Geophys. Res., 1998, V. 103, pp. 4920-4945.
5. Christensen U., and D. A. Yuen, Layered convection induced by phase transition // J. Geophys. Res., 1985, vol. 90, pp. 10291-10300.
6. Christensen U., Effects of phase transitions on mantle convection // Annu. Rev. Earth Planet. Sci., 1995, vol. 23, pp. 65-87.

ЛОКАЛЬНЫЕ МАНТИЙНЫЕ НЕОДНОРОДНОСТИ В РУДНЫХ РАЙОНАХ ДРЕВНИХ КРАТОНОВ: ИНТЕРПРЕТАЦИЯ СЕЙСМИЧЕСКИХ ДАННЫХ

Егоркин А.В.¹, Казанский В.И.², Трипольский А.А.³, Шаров Н.В.⁴

¹ ОП "Центр ГЕОН" Министерства природных ресурсов РФ, г. Москва

² Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН, г. Москва, kazansky@igem.ru

³ Институт геофизики им. С.И.Субботина НАН Украины, г. Киев

⁴ Институт геологии КарНЦ РАН, г. Петрозаводск

Доклад основан на согласованном анализе геологических и сейсмических данных по трем рудным районам, содержащим минеральные месторождения мирового класса. В Печенгском районе это магматические медно-никелевые месторождения, в Кировоградском районе – гидротермальные урановые месторождения, в Далдыно-Алакитском районе – алмазоносные кимберлиты. Все три района с поверхности де-