

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕНА В ЖИДКОМ ЯДРЕ ЗЕМЛИ

Соловьев С.В., Гринкруг Л.С.¹, Цой Р.И.¹

Тихоокеанский государственный университет,
ф-т Компьютерных и фундаментальных наук, каф. Прикладной математики,
Россия, 680035, г. Хабаровск, Тихоокеанская, 136
E-mail: solovjovsv@rambler.ru

¹Дальневосточная государственная социально-гуманитарная академия,
каф. Информационных систем и прикладной информатики,
Россия, ЕАО, 679015, г. Биробиджан, Широкая, 76а

Рассматривается конвективный теплообмен несжимаемой электропроводящей жидкости в жидком ядре Земли. При движении жидкости в магнитном поле возникает электрический ток, который либо усиливает, либо уменьшает исходное магнитное поле. Ускорение свободного падения направлено к центру ядра. Математическая постановка задачи в безразмерной форме (с учетом симметрии по долготе в сферических координатах) описывается системой уравнений:

$$\frac{1}{Sh} \frac{\partial \mathbf{v}}{\partial \tau} + (\mathbf{v} \nabla) \mathbf{v} = -Eu \nabla P + \frac{S}{Re_m} (\text{rot} \mathbf{B} \times \mathbf{B}) + \frac{1}{Re} \Delta \mathbf{v} + \gamma \frac{Gr}{Re^2} \mathfrak{G},$$

$$\frac{1}{Sh} \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial \tau} = \text{rot} (\mathbf{v} \times \mathbf{B}) + \frac{1}{Re_m} \Delta \mathbf{B},$$

$$\frac{1}{Sh} \frac{\partial \mathfrak{G}}{\partial \tau} + (\mathbf{v} \nabla) \mathfrak{G} = \frac{1}{Pe} \Delta \mathfrak{G} + \frac{Q_v}{Pe}, \quad \text{div} \mathbf{v} = 0, \quad \text{div} \mathbf{B} = 0.$$

Задача решалась в переменных температура-вихрь-функция тока. Для оценки интенсивности конвекции в жидком ядре Земли рассчитывались локальные и осредненные числа Нуссельта. В результате решения системы уравнений магнитной гидродинамики оказалось, что имеет место тенденция к уменьшению осредненных чисел Нуссельта и подавлению конвекции по сравнению с конвективным теплообменом неэлектропроводной жидкости. Конвекция оказывает влияние на магнитное поле ядра Земли, создавая условия для его генерации. Наличие внутренних источников теплоты повышает интенсивность теплообмена и движения жидкости в ядре Земли. Для температурных граничных условий I рода в прослойке имеет место четырехъячеестое течение, которое трансформируется в двухъячеестое в случае подвода теплоты снизу.

Для параметра магнитного взаимодействия S и магнитного числа Рейнольдса Re_m $1,5 \cdot 10^{-5} \leq S \leq 1,5 \cdot 10^{-2}$; $1,5 \cdot 10^{-8} \leq Re_m \leq 1$ определено значение критического отношения $(S/Re_m)^* \sim 450$, при переходе через которое меридиональная циркуляция жидкости в ядре Земли изменяется на противоположную, что приводит к перестройке поля течения и распределения температуры в ядре. Предложенная математическая модель и полученные результаты дополняют существующие сведения об исследовании конвекции в недрах Земли и магнитной гидродинамики ядра Земли.