

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЙ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ И НАПРЯЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ ТРЕХМЕРНОЙ ГЛОБАЛЬНОЙ ГЕОДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЗЕМЛИ

Л. И. Лобковский^{1,*}, А. А. Баранов², А. М. Бобров³, Ю. В. Габсатаров¹, А. В. Чуваев⁴

¹Институт океанологии имени П. П. Ширшова Российской академии наук, Москва, Россия

²Институт теории прогноза землетрясений и математической геофизики Российской академии наук, Москва, Россия

³Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта Российской академии наук, Москва, Россия

⁴Российский технологический университет (РТУ МИРЭА), Москва, Россия

*E-mail: lobkovsky@ocean.ru

Рассматривается численное моделирование глобальных процессов и построение трехмерной модели Земли. Мантийная конвекция моделируется в приближении Буссинеска в трехмерной сферической геометрии. Численно решаются безразмерные уравнения сохранения массы вещества и момента импульса. В качестве исходных данных для современной модели Земли авторами используется модель сейсмической томографии SMEAN 2, которая содержит вариации поперечных сейсмических скоростей во всем объеме мантии. Вариации сейсмических скоростей в мантии пересчитываются в вариации плотности вещества. В модели неньютоновский закон вязкости, зависящей от полной температуры и глубины. Подробно численное моделирование описано в работе [5]. Введение такой реологии является ключевым моментом для получения правильной кинематики плит на поверхности Земли. В результате возникает несколько глобальных конвекционных ячеек, ответственных за общую геодинамику, а также верхнемантийные течения, связанные с общей системой литосферных плит, срединно-океанических хребтов, зон субдукции и коллизии.

На поверхности сферической модели за счет тепловой конвекции вкупе с неньютоновской реологией получена самосогласованная модель современной Земли. Тихоокеанская океаническая плита движется как одно целое в северо-западном направлении со скоростью несколько сантиметров в год. Африканская плита движется как одно целое на северо-восток. Евразийская плита в целом движется на восток, причем скорости внутри нее меняют направление, что показывает относительно большую величину деформаций внутри этой плиты. Скорости также существенно меняют направления для северо-восточной Азии, что подтверждает концепцию деформируемых плит и отсутствие четких границ для ряда плит [3]. Величины и направления рассчитанных скоростей на поверхности коррелируют с моделью кинематики плит NNR-MORVEL56 [2] и с данными космической геодезии [1, 4]. Рассчитанные напряжения на поверхности показывают общее сжатие для Кавказского региона, тогда как для восточной Арктики и в том числе для моря Лаптевых характерно в основном растяжение.

Суммарный момент импульса по всей мантии и по поверхности Земли равен нулю, что показывает отсутствие ускорения и сбалансированность сил. Полученная модель может быть использована как альтернативная NNR-MORVEL56 и ITRF система отсчета для измерения скоростей на поверхности Земли.

Литература

1. Altamimi Z., Rebischung P., Collilieux X. et al. ITRF2020: an augmented reference frame refining the modeling of nonlinear station motions // *Journal of Geodesy*. 2023. Vol. 97 (I. 47). P. 1–22.
2. Argus D.F., Gordon R.G., DeMets C. Geologically current motion of 56 plates relative to the no-net-rotation reference frame // *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*. 2011. Vol. 12 (11).
3. Лобковский Л.И. Тектоника деформируемых литосферных плит и модель региональной геодинамики применительно к Арктике и Северо-Восточной Азии // *Геология и геофизика*. 2016. Т. 57. № 3.С. 476–495.
4. Мельник Г.Э., Стеблов Г.М. Стабильность Северной Евразии по данным спутниковой геодезии // *Физика Земли*. 2024. № 2. С. 3–15.
5. Чуваев А.В., Баранов А.А., Бобров А.М. Численное моделирование конвекции в мантии Земли с использованием облачных технологий // *Вычислительные технологии*. 2020. Т. 25. № 2. С. 103–117.

MODELING OF EARTH SURFACE MOVEMENTS AND STRESSES BASED ON A 3D GLOBAL GEODYNAMIC MODEL OF THE EARTH

L. I. Lobkovsky^{1,*}, A. A. Baranov², A. M. Bobrov³, Yu. V. Gabsatarov¹, A. V. Chuvaev⁴

¹*Shirshov Institute of Oceanology of Russian academy of sciences, Moscow, Russia*

²*Institute of Earthquake Prediction Theory and Mathematical Geophysics of Russian academy of sciences, Moscow, Russia*

³*Schmidt Institute of Physics of the Earth of the Russian academy of Sciences, Moscow, Russia*

⁴*Russian Technological University (RTU MIREA), Moscow, Russia*

*E-mail: llobkovsky@ocean.ru

This paper examines numerical modeling of global processes and the construction of a three-dimensional model of the Earth. Mantle convection is modeled using the Boussinesq approximation in three-dimensional spherical geometry. Dimensionless equations for conservation of mass and angular momentum are solved numerically. The authors use the SMEAN 2 seismic tomography model, which contains V_s variations throughout the mantle, as input data for a modern Earth model. Variations in seismic velocities in the mantle are converted into variations in the density of the material. The model uses a non-Newtonian viscosity law, which depends on the total temperature and depth. The numerical modeling is described in detail in. Such rheology is a key to obtaining the correct plate kinematics on the Earth's surface. As a result, several global convection cells responsible for the general geodynamics, as well as upper mantle currents associated with the general system of lithospheric plates, mid-ocean ridges, subduction and collision zones, arise.

A self-consistent model of the modern Earth was obtained on the surface of a spherical model using thermal convection coupled with non-Newtonian rheology. The Pacific Oceanic Plate moves as a unit in a northwesterly direction at a rate of several centimeters per year. The African Plate moves as a unit to the northeast. The Eurasian Plate as a whole moves eastward, with the velocities within it changing direction, indicating a relatively large magnitude of deformation within this plate. Velocities also change direction significantly for northeast Asia, confirming the concept of deformable plates and the absence of clear boundaries for a number of plates. The magnitudes and directions of the calculated velocities on the surface correlate with the NNR-MORVEL56 plate kinematics model and with space geodesy data. The calculated surface stresses indicate overall compression for the Caucasus region, while the eastern Arctic, including the Laptev Sea, is characterized primarily by extension.

The total angular momentum throughout the mantle and the Earth's surface is zero, indicating the absence of acceleration and a balanced force. The resulting model can be used as an alternative to the NNR-MORVEL56 and ITRF reference systems for measuring velocities at the Earth's surface.