

Параллельный алгоритм для моделирования динамики мантийных течений*

Г.Г. Лазарева¹, В.Д. Корнеев¹, А.В. Бабичев²
ИВМиМГ СО РАН¹, ИГМ СО РАН²

Разработана параллельная версия программы для моделирования течений в мантии Земли. Нестационарная модель мантийных течений описывает сжимаемую среду с сильно изменяющимися реологическими и транспортными свойствами и основана на решении системы уравнений Навье-Стокса. Численная модель содержит как явные, так и неявные конечно-разностные схемы, реализованные векторными прогонами. Для численной реализации рассматриваемого алгоритма в качестве вычислительной системы с общим полем памяти используется вычислительный узел кластера ИВЦ НГУ. В работе проведен детальный анализ параллельного алгоритма, позволяющего получать близкое к линейному ускорение, не смотря на использование векторной прогонки.

Формирование крупных изверженных провинций на континентальной и океанической плитах связывают с нижнемантийными суперплюмами, поднимающимися с глубин границы мантии и ядра. Физические аспекты процесса всплывания плюма термической или термохимической природы достаточно хорошо изучены с помощью физического и математического моделирования. Эта концепция включает всплывание в локальной области легкого, высокотемпературного и маловязкого мантийного материала - плюма - на фоне крупномасштабных конвективных течений. Неясными остаются вопросы о конечном этапе эволюции диапиров: как высоко они могут подниматься и каково соотношение подъемной силы и вязкого сопротивления вещества при подъеме на верхние уровни литосферы. Диапировый механизм транспорта магмы в наиболее вязкой и холодной части мантийной литосферы требует подробного изучения. Моделирование мантийных течений имеет ряд существенных особенностей, поэтому не все хорошо зарекомендовавшие себя методы применимы к этому типу задач. В отличие от традиционного подхода, основанного на приближении Буссинеска, рассматриваемая модель основана на решении системы полных классических уравнений Навье-Стокса, описывающих динамику слабосжимаемой жидкости с переменными плотностью и вязкостью. Геодинамика рассматривает очень медленные течения, поэтому в теории ранее не использовалось число Маха, в отличие от сейсмологии и других разделов геофизики. Формально вычислив число Маха, можно обратиться к опыту вычислений в области существенно дозвуковых течений. Нелинейный характер уравнений данной модели приводит к необходимости использования методов решения, основанных на использовании вычислительной техники. Для численной реализации рассматриваемого алгоритма в качестве вычислительной системы с общим полем памяти используется вычислительный узел кластера ИВЦ НГУ (www.nusc.ru). Вычислительные узлы кластера состоят из двух 4-х ядерных процессоров Intel Xeon 5355, работающих на частоте 2.66 ГГц, и с 16-ю ГБайт общей оперативной памяти. Вычислительная система с общей памятью выбрана с учетом специфики численной модели, характеризующейся большим числом векторных прогонок и не требующей более десятка процессоров при распараллеливании. Показано, что на ускорение и эффективность параллельного алгоритма рассматриваемой задачи основное влияние оказывает размер сеточного пространства, точность расчета скоростей оказывает крайне слабое влияние. Детальный анализ параллельного алгоритма показал, что возможно получать для сеточных пространств среднего размера (5000x1000) близкое к линейному ускорение, не смотря на использование векторной прогонки. В ходе реализации параллельной версии программы смоделирован цикл, состоящий из зарождения диапира, подъема на предельную высоту и застывания при прекращении действия теплового источника или установления стационарного режима конвекции при постоянном действии источника тепла.

*НИР выполнена при финансовой поддержке интеграционного проекта СО РАН, в рамках реализации ФЦП "Научные и научно-педагогические кадры инновационной России" на 2009 - 2013 годы.