

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ИНСТИТУТ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ МАТЕМАТИКИ
И МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ГЕОФИЗИКИ
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
(ИВМиМГ СО РАН)

Просп. Академика Лаврентьева, 6, Новосибирск, 630090
Тел.: (383)330-83-53, факс (383)330-87-83, e-mail: director@sscc.ru
ОКПО 03533843, ОГРН 1025403656420, ИНН/КПП 5408100025/540801001

08.08.2022 № 15301/3-03-84

На № _____ от _____

ОТЗЫВ

официального оппонента, доктора физико-математических наук
Куликова Игоря Михайловича, на диссертационную работу
Гоймана Гордея Сергеевича

«Масштабируемые алгоритмы решения уравнений глобальной
динамики атмосферы на редуцированной широтно-долготной сетке»,
представленную на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук по специальности

1.2.2 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Актуальность темы исследований.

Диссертационная работа Гоймана Гордея Сергеевича посвящена разработке эффективных методов решения глобальных уравнений динамики атмосферы на сетке с квазиравномерным разрешением на сфере – редуцированной широтно-долготной сетке с высоким пространственным разрешением. Километровое пространственное разрешение является современным требованием к моделям атмосферы. Такое требование к разрешению ведет к необходимости построения специального вида расчетных сеток на сфере, конструирования численных методов и, следовательно, программной реализации. Необходимость оперативного прогнозирования ужесточает требования к численным методам и их программным реализациям в части масштабируемости от десятков до сотен тысяч вычислительных ядер. Это направление исследований является и будет оставаться приоритетным в развитии современных суперкомпьютерных вычислений в области прогноза погоды.

Для достижения поставленной цели – разработки точных, экономичных и масштабируемых методов решения глобальных уравнений динамики атмосферы с высоким пространственным разрешением, соискатель формулирует и рассматривает три задачи:

1. Построение эффективных методов аппроксимации горизонтальных операторов на редуцированной широтно-долготной сетке.
2. Построение эффективного метода решения эллиптического уравнения на редуцированной широтно-долготной сетке.
3. Оптимизация параллельного программного комплекса глобальной модели атмосферы ПЛАВ.

Таким образом, Гойманом Гордеем Сергеевичем разработаны эффективные методы решения глобальных уравнений динамики атмосферы на редуцированной широтно-долготной сетке. Несомненна актуальность и практическая значимость диссертации, что подтверждается наличием разработанной библиотеки ParRG, в которой реализован основной функционал работы с редуцированной широтно-долготной сеткой.

Научная новизна исследований и полученных результатов.

Основная научная новизна полученных в работе результатов состоит в следующем:

1. Построены сеточные аналоги горизонтальных операторов на редуцированной широтно-долготной сетке на сфере с разнесением переменных.
2. Предложен единый подход к построению консервативных схем на редуцированной широтно-долготной сетке на сфере.
3. Разработан эффективный параллельный геометрический многосеточный алгоритм на редуцированной широтно-долготной сетке на сфере.

Таким образом, в диссертации получены новые научные результаты во всех областях специальности – математических моделей, численных методов и комплексов программ.

Полученные теоретические и практические результаты, а также разработанные программные средства, дают специалистам в области глобального математического моделирования общей циркуляции атмосферы эффективный инструмент для проведения суперкомпьютерных вычислительных экспериментов. Все основные результаты, выносимые на защиту, получены впервые и представляют несомненный интерес для специалистов в области численного прогноза погоды.

Основное содержание работы.

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы и приложения. Общий объем диссертации составляет 140 страниц, включая 36 рисунков, 5 таблиц и список литературы из 110 наименований.

Во введении приведен обзор горизонтальных сеток на сфере, отмечена актуальность темы исследований, сформулирована цель работы и полученные результаты, описана новизна и практическая ценность.

Первая глава посвящена построению горизонтальных дискретизаций на редуцированной широтно-долготной сетке с разнесением переменных на сфере. Исследованы свойства консервативности предложенных дискретизаций в рамках линеаризованных уравнений мелкой воды на вращающейся сфере. На основе предложенных дискретизаций создана и верифицирована полу неявная полулагранжева модель мелкой воды на вращающейся сфере. В целом, в первой главе показана принципиальная возможность применения редуцированной сетки с разнесением переменных для численного моделирования динамики атмосферы.

Во второй главе разработан и верифицирован новый параллельный многосеточный алгоритм решения эллиптических уравнений на редуцированной широтно-долготной сетке на сфере. В качестве модельного служит уравнение Гельмгольца, которое получено при использовании полу неявного полулагранжевого метода интегрирования по времени для нелинейных уравнений мелкой воды. Детально описана параллельная реализация средствами MPI. Приведено описание библиотеки ParRG, реализующей основную функционал работы с редуцированной широтно-долготной сеткой.

Третья глава посвящена оптимизации параллельного программного комплекса глобальной модели атмосферы ПЛАВ. Помимо оптимизации объема передаваемых данных при внедрении полулагранжевого алгоритма адвекции, сделан переход на: одинарную точность при пересылке данных, блочное представление сетки для оптимизации работы кэш-памяти, представление параметров задачи в виде отдельных массивов.

В заключении приведены основные результаты диссертации, формулировка которых содержит рекомендации по их использованию и перспективы разработки темы исследований.

Обоснованность и достоверность полученных результатов.

Диссертация Гоймана Гордея Сергеевича обладает смысловым единством, достоверность представленных в ней результатов основана на применении

обоснованных численных методов, верифицированных на специальном наборе задач, надежных технологий параллельного программирования, подтверждена вычислительными экспериментами, наличием публикаций и докладов по теме диссертации на различных специализированных конференциях и семинарах. Таким образом, работа носит законченный характер.

Научная и практическая ценность основных положений диссертации.

Сформулированные в диссертации научные положения и основные результаты представляются обоснованными. Так Гордеем Сергеевичем Гойманом предложен новый подход к аппроксимации горизонтальных операторов на редуцированной широтно-долготной сетке с разнесением переменных на сфере, сформулированы необходимые и достаточные условия наличия дискретных аналогов законов сохранения при использовании предложенного подхода для дискретизации горизонтальных операторов на сфере и алгоритм построения таких дискретизаций, разработан новый параллельный многосеточный метод решения эллиптических уравнений на редуцированной широтно-долготной сетке на сфере, повышена эффективность программного комплекса глобальной модели атмосферы. Результаты диссертации важны как для практических приложений, связанных с численным прогнозом погоды, так и для дальнейшего развития и использования специалистами в области суперкомпьютерных вычислений.

Публикации и соответствие паспорту специальности.

Основные результаты по теме диссертации в полном объеме изложены в десяти публикациях, в том числе в четырех статьях в журналах, индексируемых в базах данных Scopus или Web of Science и входящих в Перечень рецензируемых научных изданий ВАК, в пяти трудах конференций и в одной монографии. Содержание диссертации соответствует специальности 1.2.2 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Замечания по диссертационной работе.

Вместе с тем, диссертационная работа не свободна от недостатков. Основными недостатками диссертации являются:

1. Во введении проводится качественное сравнение регулярной, кубической, икосаэдральной, редуцированной широтно-долготной сетки и сетки Инь-Янь. На основе такого анализа делается вывод о преимуществах редуцированной широтно-долготной сетки, единственной имеющей проблему неконформности

ячеек сетки. В связи с этим возникает вопрос о том, насколько ограничения других вариантов сеток превосходят ограничения, создаваемых неконформностью ячеек, и были ли проведены какие-либо вычислительные эксперименты, позволившие показать преимущество построенных в диссертации сеток?

2. В первой главе диссертации на редуцированной широтно-долготной сетке на сфере построены аппроксимации операторов, обеспечивающих выполнение законов сохранения массы и энергии. Но ничего не сказано о поведении момента импульса и об инвариантности численного решения относительно поворота, что особенно важно при воспроизведении атмосферных течений, не сонаправленных координатным линиям сетки, например течений типа «тропические циклоны».
3. При исследовании сходимости различных способов дискретизации оператора Лапласа для кусочно-полиномиальной интерполяции на редуцированной сетке на ряде тестовых функций наблюдается отсутствие сходимости ошибки, а для остальной части тестовых функций происходит уменьшение скорости сходимости ошибки по сравнению со схемой на регулярной сетке. Из приведенных экспериментов не совсем понятно почему такое происходит, и каким образом, в этом случае, можно достичь необходимого уровня точности редукцией сетки?
4. В работе рассматриваются задачи глобального математического моделирования общей циркуляции атмосферы Земли. В связи с этим возникает вопрос, может ли быть расширен разработанный в диссертации математический аппарат на исследование атмосфер планет и экзопланет земного типа?
5. В основе оптимизируемой параллельной реализации и разработанной библиотеки ParRG лежат технологии MPI, OpenMP на основе языка Фортран. В связи с развитием в последние годы односторонних коммуникаций в MPI-3.0, которые также встроены в расширение Coarray Fortran, средств векторизации в OpenMP и активным использованием графических карт, возникает вопрос насколько разработанные в диссертации численные методы и их программные реализации могут быть эффективно реализованы с использованием указанных технологий параллельного программирования?

Отдельно стоит отметить недостатки по изложению материала диссертации:

1. В выводах по каждой главе целесообразно сослаться на статьи, в которых опубликованы полученные результаты.

2. В заключении диссертации следует более явно сформулировать рекомендации по использованию полученных результатов и перспективы разработки темы исследований.
3. На страницах 5, 6, 12, 67 не выделены запятой вводные обороты «Кроме этого» и «Таким образом».
4. На странице 6 вместо фразы «процессов масштаба меньше размера ячейки сетки» целесообразно использовать общепринятый термин «подсеточные процессы».
5. На странице 7 вместо слова «правильное» целесообразно использовать синоним «согласованное» или «корректное».
6. На странице 18 не согласованы окончания в словах «подходы» и «системах», а на странице 49 в названии схемы Кранка-Николсона.
7. На странице 27 вместо ссылки на формулу (1.30) скорее нужно использовать ссылку на формулу (1.29).
8. На странице 49 пропущена буква «а» в слове «полулагранжевых».
9. На странице 68 опечатка в слове «функция».
10. На странице 69 пропущена запятая перед союзом «а».
11. В списке литературы для статей 16, 26, 33, 91 вместо указания страниц необходимо использовать «Номер статьи» (или «Article Number»).

Отмеченные недостатки не снижают высокой оценки, которую заслуживает данная работа. Новые эффективные методы решения глобальных уравнений динамики атмосферы на редуцированной широтно-долготной сетке, несомненно, является крупным научным достижением в области глобального математического моделирования общей циркуляции атмосферы.

В автореферате обоснована актуальность исследования, его цели и задачи, научная новизна, практическая ценность и значимость научных результатов, выносимых на защиту. В целом автореферат полно и правильно отражает содержание диссертации.

Заключение о работе.

Считаю, что диссертация Гоймана Гордея Сергеевича является законченной научно-квалификационной работой, в которой решена задача построения эффективных алгоритмов решения уравнений глобальной динамики атмосферы на редуцированной широтно-долготной сетке, имеющая существенное значение в области математического моделирования, численных методов и комплексов программ. Автореферат полностью и точно отражает содержание диссертации.

Результаты диссертации опубликованы в 4 работах в изданиях, индексируемых в Scopus, Web of Science или входящих в список ВАК. Диссертационная работа соответствует всем требованиям, предъявляемых к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, согласно пп. 9-12, 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 «О порядке присуждения ученых степеней» со всеми последующими изменениями постановления, а ее автор Гойман Гордей Сергеевич, безусловно, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.2.2 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ.

Официальный оппонент,
Ведущий научный сотрудник
лаборатории суперкомпьютерного моделирования
ИВМиМГ СО РАН,
д.ф.-м.н.



Куликов Игорь Михайлович

«8» августа 2022 года
e-mail: kulikov@ssd.scc.ru
тел.: +7 (383) 330-96-65

Подпись Куликова Игоря Михайлович удостоверяю

Ученый секретарь
Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Института вычислительной математики и математической геофизики
Сибирского отделения Российской академии наук,
к.ф.-м.н.



Вшивкова Людмила Витальевна

«8» августа 2022 года

Сведения об официальном оппоненте:

Куликов Игорь Михайлович

Ведущий научный сотрудник

лаборатории суперкомпьютерного моделирования

Федерального государственного бюджетного учреждения науки

Института вычислительной математики и математической геофизики

Сибирского отделения Российской академии наук

Доктор физико-математических наук

05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы

и комплексы программ

630090, г. Новосибирск, проспект Академика Лаврентьева, 6

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

Институт вычислительной математики и математической геофизики

Сибирского отделения Российской академии наук (ИВМиМГ СО РАН)

Тел.: +7 (383) 330-83-53

e-mail: director@sscc.ru