

# ЧИСЛЕННОЕ РЕШЕНИЕ ОБРАТНЫХ ЗАДАЧ ПЕРЕНОСА ПРИМЕСИ НА МНОГОПРОЦЕССОРНЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАННЫХ МОБИЛЬНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Е.А. Панасенко, А.В. Старченко

## Введение

В современном мире наряду с приборным контролем качества воздуха широко используются методы математического моделирования при анализе характера распространения различных примесей. Методы математического моделирования позволяют быстро и с малыми затратами выполнять прогноз детальной картины распределения загрязнителей в приземном слое атмосферы. Но сложность и взаимосвязанность процессов распространения и переноса загрязняющих субстанций делают модели оценки и прогнозирования качества воздуха громоздкими в математической записи и весьма требовательными к вычислительным ресурсам. Перспективным способом решения этих проблем является использование суперкомпьютерной техники, которая обеспечивает существенное ускорение получения результатов расчетов.

## Физическая постановка обратной задачи переноса примеси

Требуется по известным метеорологическим данным атмосферы и результатам измерений концентрации газообразной примеси в  $N$  точках, проводимых в течение некоторого периода времени  $T$ , определить параметры (мощность, координаты и время срабатывания) источников примеси.

## Математическая постановка обратной задачи переноса примеси

Математическая постановка обратной задачи получается с использованием метода Марчука [1], который основан на решении сопряженных уравнений и двойственного представления функционала от концентрации примеси. Сопряженная постановка задачи, в свою очередь, получается непосредственно из прямой задачи, а именно: адвективно-диффузионное уравнение, описывающее перенос примеси в прямой задаче умножается на некоторую сопряженную функцию и интегрируется по времени и пространству.

## Численное решение дифференциальных уравнений

В силу сложной зависимости метеорологических параметров атмосферного пограничного слоя от времени и координат задачи, сопряженные уравнения могут быть решены только приближенно с использованием вычислительной техники. Их решение строится на основе метода конечного объема [2]. При построении разностного аналога дифференциальной задачи дифференциальные уравнения, входящие в математическую постановку обратной задачи, интегрируются по конечному объему. Для вычисления интегралов используются интерполяционные формулы. В данной работе для аппроксимации адвективных членов применялись противопотоковая схема первого порядка, схема MLU Ван Лира второго порядка и схема Бота четвертого порядка [3]. Используемые явные разностные схемы тестировались на известных аналитических решениях и было получено, что наиболее точные результаты дают схема MLU и схема Ботта.

## Параллельная реализация численного решения обратной задачи

Распараллеливание метода численного решения обратной задачи по определению параметров постоянного источника производилось на многопроцессорной системе с распределенной памятью с использованием функциональной декомпозиции (принцип «master-slave»), геометрической (принцип «data decomposition») и их комбинации.

## Функциональная декомпозиция

При организации параллельных вычислений с использованием принципа «master-slave» при запуске параллельной программы на  $N+1$  вычислительных узлах большую долю вычислительной работы обычно выполняют  $N$  подчиненных slave-узлов. Один управляющий master - узел координирует работу остальных (подготавливает и рассылает slave-узлам данные для расчета, собирает результаты их расчетов и осуществляет их дополнительную обработку). На каждом узле в данный момент выполняется единственная сопряженная задача (процесс), в случае недоступности требуемого количества узлов задание ставится в очередь до момента освобождения нужного количества узлов [4].

В нашем случае управляющий процесс передает каждому процессу значения параметров постов наблюдения, скорость, размеры области, коэффициент диффузии, необходимые для расчетов. Каждый из процессов рассчитывает решение сопряженной задачи, расчеты ведутся независимо друг от друга. Найденные на каждом шаге по времени решения сопряженных задач возвращаются управляющему процессу, который ищет глобальный минимум функционала, определяя тем самым параметры источника.

## Геометрическая декомпозиция

Выше был описан принцип «master - slave», но при моделировании атмосферных процессов возможно использование еще одного способа параллельной реализации – геометрическая декомпозиция. В данной работе выбрана одномерная декомпозиция по горизонтальной координате. При таком способе параллельной реализации область исследования разделяется на подобласти, число которых равно числу процессов, ведущих

расчеты независимо друг от друга. В этом случае объемы вычислительной нагрузки на процессы напрямую определяются равномерностью декомпозиции расчетной области и если не одинаковы, то, по крайней мере, очень близки между собой.

Ниже представлены значения времени выполнения параллельной программы, реализующей функциональную и геометрическую декомпозиции при решении обратной задачи переноса примеси при различном количестве измерений концентрации выброса.

Количество измерений, $N$	Число процессоров	Время счета (функциональная декомпозиция), сек	Время счета (геометрическая декомпозиция), сек
5	5	323	627
10	10	337	643
20	20	354	743

Рис. 1. Время счета (сек) для функциональной и геометрической декомпозиции

#### Комбинация функциональной и геометрической декомпозиции

Рассмотренные выше подходы создания параллельных версий алгоритмов решения обратной задачи переноса примеси показали неплохие результаты по эффективности, однако количество используемых активных процессоров в них ограничено: в случае функциональной декомпозиции – числом проведенных измерений, а при одномерной геометрической декомпозиции размером вычислительной сетки и выбранным сеточным шаблоном. Поэтому был предложен комбинированный метод распараллеливания, в котором предлагается для увеличения в расчетах количества используемых активных процессоров совместить применение функциональной и геометрической декомпозиции. Его применение показало хорошую масштабируемость параллельной программы до 400 процессоров, т.е. обеспечение эффективности не ниже 50% при увеличении числа используемых процессоров при неизменных остальных параметрах решаемой задачи, что наглядно видно из рис.2.

Количество измерений, $N$	Время счета (последовательная программа), сек	Число процессоров	Время счета (комбинированный метод), сек
5	1626	100	33
10	3922	200	42
20	7799	400	59

Рис. 2. Время счета для комбинированного метода

#### Результаты расчетов

Численное решение обратной задачи переноса примеси с целью идентификации городских районов-загрязнителей осуществляется следующим образом: в качестве входных параметров используются данные мобильных измерений монооксида углерода, которые получены при помощи мобильной метеостанции АКВ-2 [5]. Область исследования имеет площадь размером 50x50 км, в ее центральной части находится городская территория (рис.3).

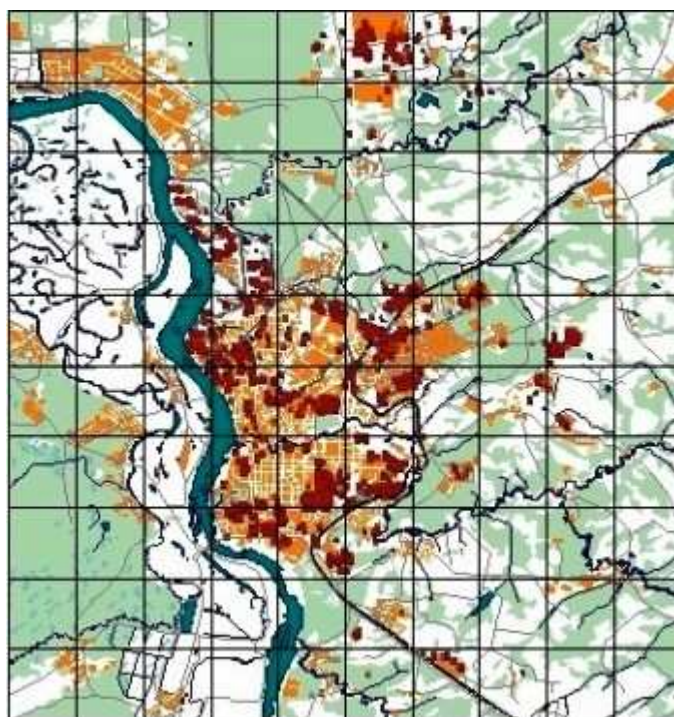


Рис. 3. Область исследования с нанесенной горизонтальной сеткой

На рисунке 4 представлены результаты расчета интенсивности поступления концентрации CO по представленной в работе модели переноса примеси.

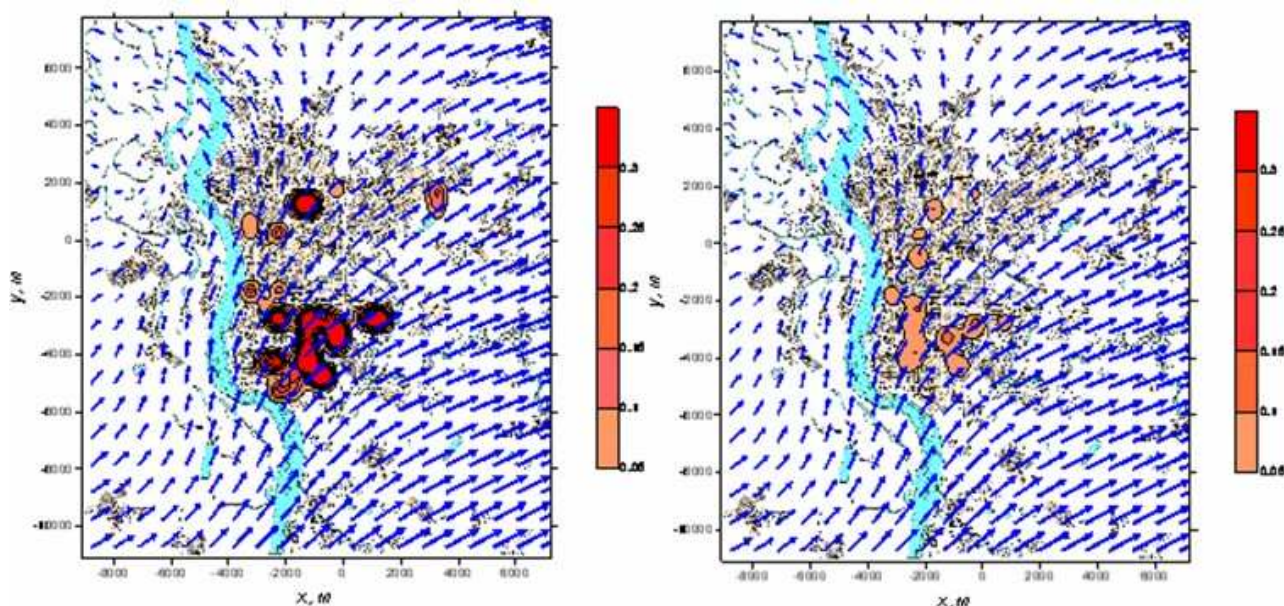


Рис. 4. Результаты решения обратной задачи переноса примеси при использовании 90 ( $N=90$ ) измеренных значений концентрации CO для определения городских районов – загрязнителей атмосферного воздуха. Слева – результат решения задачи квадратичного программирования с использованием метода сопряженных градиентов (Библиотека численного анализа НИВЦ МГУ), справа – с использованием квазиньютоновского метода и конечно – разностного вычисления градиента (библиотека IMSL).

По результатам моделирования и измерений отчетливо видны наиболее мощные источники оксида углерода: центр города Томска, где наиболее развит транспортный узел и расположен ряд предприятий и северная часть Томска, где находится множество более мелких источников монооксида углерода.

Все приведенные вычисления были проведены на вычислительном кластере Томского государственного университета «СКИФ Siberia».

#### Заключение

В представленной работе сформулирована постановка обратной задачи идентификации параметров выброса по данным наблюдений через аппарат сопряженных уравнений и двойственное представление

функционала от концентраций примеси. Разработаны параллельные методы численного решения обратных задач. При параллельной реализации задачи о распространении газообразного выброса использовались функциональная, геометрическая декомпозиция и их комбинация, которые отличаются простотой реализации и высокой эффективностью, что продемонстрировали тестовые расчеты, проведенные на кластере ТГУ СКИФ Siberia. На основе проведенных вычислительных экспериментов установлено, что параллельная реализация алгоритма в случае тестовой задачи ускоряет процесс вычислений в несколько раз.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Марчук Г.И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды. М.: Наука, 1982. 315с.
2. Старченко А.В. Моделирование переноса примеси в однородном пограничном слое // Труды Международной конференции ENVIROMIS2000. Томск: ЦНТИ, 2001. С.77-84.
3. Панасенко Е.А. Численное исследование переноса примеси в атмосфере // Фундаментальные проблемы новых технологий в третьем тысячелетии. Демидовские чтения : сборник материалов третьей всероссийской конференции молодых ученых в рамках Российского научного форума с международным участием / ИОА СО РАН. – Томск, 2006. – С. 582–586.
4. Панасенко Е.А., Старченко А.В. Численное решение некоторых обратных задач переноса примеси на многопроцессорных вычислительных системах // Четвертая Сибирская школа-семинар по параллельным и высокопроизводительным вычислениям. - Томск: Делтаплан, 2008. - С. 139-148.
5. Мобильная станция АКВ – 2 и её применение на примере города Томска / М.Ю. Аршинов [и др.] // Оптика атмосферы и океана. – 2005. – Т.18, №8. – С.643 – 648.