

«Численное моделирование процессов переноса загрязнений на городском и региональном уровне»

А.В.Старченко

Специализированный курс лекций ориентирован на ознакомление слушателей с современным уровнем моделирования метеорологических процессов в масштабе города и региона, моделями переноса примеси, методами решения дифференциальных задач локальной метеорологии и переноса загрязнений, а также подходами применения многопроцессорной вычислительной техники в расчетах экологической погоды города и региона. Курс включает четыре полуторочасовых лекции со следующей тематикой.

Лекция 1 «Моделирование локальных мезомасштабных процессов» посвящена истории развития и анализу текущего состояния математического моделирования метеорологических процессов над ограниченной территорией. Указываются цели и задачи, на решение которых направлены мезомасштабные модели пограничного слоя атмосферы. Перечисляются некоторые наиболее популярные численные модели, используемые у нас в стране и за рубежом. Дается их сравнительный анализ в части выбора системы координат, вида базовых уравнений гидротермодинамики, параметризации влагообмена и теплового излучения, подходов в моделировании турбулентной структуры планетарного пограничного слоя. Приводится описание вычислительных технологий при задании начальных и граничных условий, усвоении данных метеорологических наблюдений. Для демонстрации возможностей мезомасштабных моделей локальных атмосферных процессов сообщаются некоторые результаты их успешного применения.

Лекция 2 «Модели переноса примесей в атмосфере города» знакомит слушателей с проблемой контроля качества воздуха в городах. Дается обзор основных загрязнителей приземного слоя воздуха, указываются метеорологические и физические факторы, оказывающие наибольшее влияние на качество воздуха в городе. Сообщается опыт использования различных систем контроля и регулирования качества городского воздуха. Представлены основные подходы моделирования переноса примесей, применяющиеся в отечественной и мировой практике для управления качеством воздуха: модели гауссового типа (модель Гиффорда-Пэскуилла, модель Берлянда), эволюционные модели лагранжевого описания переноса и дисперсии примеси, транспортные модели турбулентной диффузии. Указываются особенности параметризации турбулентного переноса и взаимодействия примеси с подстилающей поверхностью. Описываются способы моделирования газофазных химических реакций. Дается краткий обзор химических схем образования вторичных загрязнителей воздуха. Лекция завершается демонстрацией результатов численного моделирования переноса примеси.

Лекция 3 «Методы численного решения многомерных задач локальной метеорологии и переноса примеси» посвящена краткому описанию вычислительных технологий решения уравнений переноса, составляющих основу мезомасштабных моделей и моделей охраны окружающей среды. Краткий обзор методов решения дифференциальных уравнений предваряет подробное описание метода конечных разностей, наиболее популярного при решении задач рассматриваемого класса. На примере численного решения одномерного уравнения «адвекции-диффузии» подробно разбираются основные этапы и понятия метода: выбор сетки, аппроксимация, схемная вязкость, явные и неявные схемы, решение разностной задачи, проблема устойчивости, сходимости. Указываются особенности решения многомерных уравнений переноса с использованием метода конечного объема, а также подходы численного интегрирования уравнений Навье-Стокса (Рейнольдса).

Лекция 4 «Использование многопроцессорной вычислительной техники с распределенной памятью при решении задач локальных атмосферных процессов и переноса примеси» ориентирована на знакомство слушателей с современными технологиями параллельного программирования. В вводной части сообщается назначение и основные архитектура высокопроизводительных вычислительных систем, приводятся

характеристики кластерных установок ТГУ и ИОА СО РАН. Для работы с мультимониторными с распределенной памятью перечисляются стандарты передачи сообщений, дается неформальное введение в библиотеку функций MPI, указывается порядок работы с параллельными программами в ОС UNIX. В заключительной части лекции представлены подходы и этапы разработки параллельных алгоритмов, которые подкреплены примерами решения пространственного нестационарного уравнения переноса примеси, а также расчета в рамках лагранжева подхода подъема и дисперсии выброса от точечного источника на многопроцессорной вычислительной технике с распределенной памятью.