

ПЕНЕНКО В. В.

**ЧИСЛЕННЫЕ МОДЕЛИ И МЕТОДЫ
ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО
ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

1. Введение

Математическое моделирование в сочетании с экспериментальными исследованиями составляет основу конструктивных подходов к решению проблемы взаимодействия человека с окружающей его природной средой. Загрязнение атмосферы и водных объектов и антропогенные изменения характеристик поверхности Земли — наиболее типичные проявления этого взаимодействия. Множество факторов, которые необходимо учитывать в моделях, находится на стыке интересов ряда исследовательских программ, реализуемых в рамках наук о Земле. Имеются также непосредственные выходы этой проблемы и в такие социально-экономические области, как экономика ущерба от загрязнения воздуха и воды, экологическая безопасность и др. Таким образом, комплексный характер проблемы и наличие сложных прямых и обратных связей между гидрометеорологическими процессами, загрязнением атмосферы и биосферой активно стимулируют разработки как теоретических основ, так и системной организации математических моделей.

В настоящее время можно выделить два подхода к решению проблемы окружающей среды. Первый — традиционный подход прямого моделирования. В постановках задач этого типа обычно отсутствует режим обратной связи, т. е. предполагаются заданными распределения и мощности источников, и методами математического моделирования в сочетании с натурными измерениями оцениваются поля концентраций загрязняющих примесей в атмосфере и водных объектах. Второй подход по содержанию конструктивно развивает первый, но по основным целям, в определенном смысле, составляет ему альтернативу. Суть заключается в том, что ставится обратная задача: определить пределы допустимых антропогенных нагрузок в соответствии с критериями и ограничениями экологической безопасности и стабильности. Это — задачи проектирования природоохранных мероприятий и управления качеством

природной среды, которые должны решаться обязательно в опережающем режиме при планировании и реализации крупных проектов, связанных с воздействиями на окружающую среду. Допустимые пределы нагрузок в параметризованном виде выражают требования на технологии и способы производства, а также на размещение объектов с учетом климатических и других условий. Идея такого подхода и принципы алгоритмической реализации с использованием основных и сопряженных уравнений численных моделей развиваются в работах [1]–[7].

С природоохранной точки зрения, задача оценки состояния и прогноза загрязнения атмосферы и водных объектов лишена главного практического смысла, если в ней отсутствует обратная связь по управлению источниками и не осуществляется постоянный инструментальный контроль за объемом и составом выбросов. Прогноз изменений климата и загрязнения природной среды должен служить основой для принятия решений по уменьшению отрицательных последствий антропогенного воздействия. В связи с организацией натурных измерений возникает также задача планирования наблюдений: максимизировать информативность наблюдений в соответствии с некоторым критерием оптимизации при ограничениях на состав и размещение измерительных систем.

Ниже излагаются структура и методы реализации математических моделей, предназначенных для решения задач контроля состояния и управления качеством атмосферы промышленных районов и водных объектов на этапах проектирования и в режиме «реального» времени. Речь идет о создании методов и комплекса математических моделей, ориентированных на широкое применение для решения экспертно-прогнозных задач при планировании крупных проектов, связанных с воздействиями на природную среду. Этот комплекс моделей является исследовательским инструментом многоцелевого назначения. В него входят модели нескольких иерархических уровней, учитывающих различные функциональные этапы моделирования. Здесь представлены в основном модели первого и второго системных уровней. Первый базовый уровень составляют модели физических процессов: гидротермодинамики атмосферы, переноса и трансформации примесей, способы параметризации и др.

К следующим уровням мы относим постановки и методы решения обратных и оптимизационных задач на базе моделей первого уровня и методы исследования чувствительности моделей к вариациям их параметров. При этом специальный интерес с позиций экологии представляют задачи с ограничениями на функции состояния и параметры.

Изложение моделей второго уровня ведется на примере моделей первого уровня, записанных в операторной форме и с помощью интегрального тождества. Основные положения конкретизируются на задачах, связанных с моделями переноса примесей. При этом достигается приемлемый компромисс: достаточная общность изложения, наглядность

и простота реализации алгоритмических конструкций, удобство интерпретации на физически-содержательном уровне. Модели переноса примесей относятся к наиболее простым моделям рассматриваемого класса, с ними можно работать в разомкнутом, по отношению к гидрометеорологическому режиму, виде без нарушения физического содержания получаемых результатов. Естественно, в общем случае эти модели реализуются совместно с моделями гидротермодинамики. Чтобы придать алгоритмам универсальный характер, независимый от вида конкретных моделей первого уровня, будет использован вариационный принцип в сочетании с методом расщепления как для описания моделей, так и для построения их дискретных аналогов.