

## **ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПРИМЕСЕЙ В АТМОСФЕРЕ**

Интенсивное развитие промышленности и связанное с ним увеличение промышленных выбросов, загрязняющих окружающую среду, весьма ощутимо для экологического равновесия многих регионов. Практически любое промышленное предприятие является источником вредных для здоровья человека веществ, которые, несмотря на малые концентрации, могут накапливаться в организме и оказывать серьезное влияние на здоровье населения.

Распространение промышленных выбросов в атмосфере происходит за счет адвективного их переноса воздушными массами и диффузии, обусловленной турбулентными пульсациями воздуха. Если выбрасываемые в воздух примеси состоят из крупных частиц, то при распространении в атмосфере под действием силы тяжести они начнут опускаться с определенной постоянной скоростью по закону Стокса. Поскольку для окружающей среды наиболее опасны примеси газообразного вида типа окислов, ограничимся рассмотрением только легких соединений.

Реальное изучение процессов распространения примесей с учетом циркуляции воздуха, сложности метеорологического режима, особенностей рельефа и других факторов является сложной задачей, поэтому естественно прибегать к упрощениям, выстраивая математическую модель и получая численные оценки исследуемых явлений.

Рассмотренные в данной работе процессы переноса и рассеяния примеси отдельным облаком (с учетом направления ветра) основаны на численном решении нестационарного трехмерного уравнения диффузии. Механизм этих процессов анализировался при ряде ограничений. Предполагалось, что атмосфера перемешивается равномерно, независимо от направления ветра (при постоянной скорости) и особенностей рельефа. Исследовалось рассеяние разового выброса загрязняющего вещества массой  $m$  из точечного источника.

Алгоритм основан на рекурсивной процедуре.

1. Расчетная область  $D$  заменяется сеткой  $G = \{(x_i = ih, y_j = jh), i = \overline{1, n}, j = \overline{1, n}\}$ .
2. Задается начальное распределение загрязнителя в атмосфере: в ячейке, в которой находится источник (труба), масса загрязнителя равна  $m$ , в остальных ячейках масса загрязнителя равна нулю.
3. Масса примесей в каждой ячейке усредняется по четырем соседним (равномерное перемешивание).
4. Выполняется процедура нормирования: общая масса примесей по всей сетке должна быть равна  $m$ .
5. Шаги 3 и 4 повторяются циклически.

Модель реализована на языке С в среде C++Builder. Результаты численного моделирования позволяют проанализировать влияние величины источника загрязнения, скорости ветра и его направления на концентрацию загрязнителя в каждой точке исследуемой области.

## **NUMERICAL MODELING OF AIR POLLUTION PROPAGATION**

*T.L. Gan'ko, T.V. Smirnova*

The results of numerical modeling of some processes appearing the propagation of air pollution taking into account wind transfer and diffusion are presented. The results obtained are in accordance with physical model and known data.

**Гишкелюк И. А.**

*Международный государственный экологический университет  
имени А. Д. Сахарова, г. Минск, Республика Беларусь, g\_igor@tut.by*

## **ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ ГРУНТОВЫХ ВОД И МИГРАЦИИ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ**

В настоящее время для решения экологических задач, связанных с прогнозированием миграции загрязняющих веществ и мониторингом использования подземных водных ресурсов, все чаще применяют различные системы математического моделирования, в частности, такие программные средства как COMSOL Multiphysics: Earth Science Module и GMS (Groundwater modeling system).

Программный модуль Earth Science чаще всего применяется для изучения движения нефти и газа в пористых средах, грунтовых вод и моделирования процесса распространения загрязнений. Для описания движения жидкостей в пористых средах в данном программном средстве используются уравнение Ричардсона и закон Дарси. Кроме этого, имеется возможность моделирования процессов теплопередачи в пористых средах и решения задач протекания химических реакций.

Система математического моделирования GMS предназначена для анализа движения грунтовых вод в зонах полного и неполного насыщения и переноса растворенных в воде веществ. Данный программный пакет включает в себя также средства калибровки моделей и инструменты для создания моделей сложных поверхностей с помощью триангуляционной нерегулярной сети и конструирования трехмерных моделей стратиграфии гидрогеологических объектов. Кроме феноменологических моделей массопереноса в системе GMS реализованы различные инструменты геостатистики.

Сравнительный анализ двух этих программных средств показал, что преимущество пакета GMS над программным модулем Earth Science заключается в наличии инструментов калибровки моделей, создании сложных трехмерных поверхностей, методов геостатистики и интеграции с геоинформационными системами. В тоже время программный комплекс COMSOL Multiphysics, в состав которого входит модуль Earth Science благодаря встроенному языку программирования COMSOL Script, обладает широкими возможностями по созданию пользовательских процедур, в которых могут быть реализованы вышеперечисленные инструменты.

Необходимо заметить, что общим недостатком рассмотренных программных средств является неиспользование в них последних достижений в области математического моделирования движения грунтовых вод и процессов переноса загрязняющих веществ.

Тем не менее на сегодняшний день наиболее эффективными программными средствами для моделирования движения грунтовых вод и миграции загрязняющих веществ, являются GMS (Groundwater modeling system) и COMSOL Multiphysics – Earth Science Module.

## SOFTWARE FOR MODELLING GROUNDWATER TRANSPORT AND CONTAMINANT MIGRATION

*Gishkeluk I. A.*

Facilities of modern software for modeling of groundwater transport and process of contaminant distribution are considered. Advantages of their application are discussed. The comparative analysis of mathematical modeling software of “Groundwater modeling system” and “Earth Science Module” from “COMSOL Multiphysics” is carried out.

**Гринчик Н. Н.<sup>1</sup>, Кундас С. П.<sup>2</sup>, Гишкелюк И. А.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *Институт тепло- и массообмена НАН Беларуси имени А. В. Лыкова,*

<sup>2</sup> *Международный государственный экологический университет имени А. Д. Сахарова, г. Минск, Республика Беларусь*

## УРАВНЕНИЯ ТЕПЛО- И МАССОПЕРЕНОСА В ДЕФОРМИРУЕМЫХ КАПИЛЛЯРНО-ПОРИСТЫХ СРЕДАХ

В большинстве существующих математических моделей ненасыщенных пористых сред практически отсутствует связь с физикой и термодинамикой поверхностных явлений. В настоящей работе сделана попытка учета основных положений термодинамики поверхностных явлений в макромодели тепло- и массообмена деформируемой упругой пористой среды.

Основная идея предлагаемого подхода заключается в следующем. Экспериментально определяя влияния изменения относительного объема пористой среды на изотерму сорбции, можно учесть влияния первого инварианта тензора деформации (коэффициента объемного расширения) в формулах для определения зависимости давления жидкости, интенсивности массообмена между фазами, а также теплоту сорбции или десорбции в функции влагосодержания с учетом дополнительной теплоты, которая затрачивается на изменение межфазной поверхности.

Для реализации предложенной идеи в виде физико-математической модели тепло- и массопереноса в деформируемых капиллярно-пористых средах были решены следующие задачи:

- методом дифференциальных соотношений термодинамики найдены зависимости для определения количества тепла, которое затрачивается на деформацию пористой среды и изменение межфазной поверхности;
- разработана схема учета первого инварианта тензора деформации – в формулах для определения пористости, давления жидкости, интенсивности фазовых переходов, теплоты фазового перехода;
- предложена система дифференциальных уравнений тепло- и массопереноса в деформируемых упругих капиллярно-пористых средах, которая включена в состав комплексной математической модели миграции растворимых веществ в почвенно-грунтовых системах в реальных природных условиях.