

ДОЛГОСРОЧНОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ МИГРАЦИИ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В ПРИРОДНЫХ ДИСПЕРСНЫХ СРЕДАХ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИЙ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ

П.К. Шалькевич¹, И.А. Гишкелюк¹, С.П. Кундас²

¹ Учреждение образования «Международный государственный экологический институт им. А.Д. Сахарова БГУ»

²Белорусский национальный технический университет
e-mail: ¹pavel.shalkevich@gmail.com, ²kundas@tut.by

Summary. The modeling of nonisothermal heat and moisture transfer in natural disperse environment is considered. It is necessary to apply parallel computing techniques for solving these problems in three-dimensional setting. For this purpose was developed an algorithm of parallel computing, which is based on the creation of distributed data array by solving a system of nonlinear equations with the use of finite element method.

Comparative studies of the computing model performance of contaminant transport by the proposed algorithm and the standard instruction, showed a significant reduction in computation time using the developed algorithm.

Проблемы миграции загрязняющих веществ в различных природных средах особенно остро стали проявляться в Республике Беларусь после катастрофы на Чернобыльской атомной электростанции (АЭС) в 1986 г. Авария привела к выбросу 30 МКи радионуклидов, осевших в основном на поверхности почвы, что привело к загрязнению более 145 тысяч км² территории Украины, Республики Беларусь и Российской Федерации. Оценить полный ущерб, вызванный загрязнением указанных территорий, в настоящее время не представляется возможным, поскольку причинно-следственные связи, отражающие воздействие радиоактивного загрязнения территории на различные стороны жизнедеятельности, достаточно сложны. Однако известно, что в результате миграции радионуклидов в почве и последующего корневого поглощения они поступают в растения, представляющие пищевую или кормовую ценность. Эта проблема является актуальной не только для стран СНГ, пострадавших от последствий Чернобыльской катастрофы, но и для всего мирового сообщества. Поэтому развитие методов прогнозирования миграции радионуклидов в природных средах является актуальной научной и технической задачей, связанной с развитием сельского хозяйства и безопасного проживания людей на загрязненных радионуклидами территориях.

Результаты проведенных авторами исследований и разработанные программные средства позволяют прогнозировать перераспределение загрязняющих веществ за счет движения почвенной влаги, которое осуществляется под действием капиллярно-сорбционного потенциала с учетом изменения температуры, что дает возможность анализа загрязнения окружающей среды (почвы) в результате техногенных катастроф. Особое внимание уделяется математическим моделям, вычислительным алгоритмам и методам, обеспечивающим максимально достоверное долгосрочное компьютерное прогнозирование.

Для описания движения загрязняющих веществ в почвенных системах создана математическая модель, представляющая собой систему нелинейных уравнений в частных производных, для решения которых необходимо использовать численные методы. Компьютерная реализация модели осуществлена с применением метода конечных элементов в трехмерной постановке задачи в составе программного комплекса SPS (Simulation Processes in Soil). Для повышения точности в решении долговременных трехмерных задач миграции радионуклидов в почвенных системах создан программный модуль, обеспечивающий решения задач моделирования с использованием технологии параллельных вычислений.

Реализация программного модуля осуществлялась в среде Microsoft Visual Studio на языке C++ с использованием современных технологий объектно-ориентированного программирования. Подключение разработанного модуля к ПК SPS реализовано по принципу динамически подключаемой библиотеки.

Преимущественными особенностями архитектуры разработанного модуля являются:

- возможность использования широкого класса методов интерполяции функциональных зависимостей и различных квадратурных формул численного интегрирования;
- применение параллельных методов решения систем алгебраических уравнений, наилучшим образом соответствующих используемому в расчетах типу матриц;
- применение конечно-элементных сеток, совместимых с ПК Comsol Multiphysics;
- отображение результатов моделирования в трехмерном виде;
- гибкость в масштабируемости для различных программных платформ Windows- и Unix-архитектур;
- соответствие функциональным требованиям международного стандарта ISO/IEC/IEEE 24765:2010.

Графический интерфейс разработанного модуля выполнен с использованием подключаемой библиотеки Tao Framework. Его особенностями являются:

возможность самостоятельного построения и отображения конечноэлементных тетраэдральных сеток;

возможность самостоятельного построения и отображения значений моделируемых параметров согласно узлам конечноэлементных тетраэдральных сеток;

высокий потенциал кросс-платформенной реализации, позволяющий использовать соответствующее преимущество архитектуры модуля.

Гибкость разработанного авторами программного модуля свидетельствует о широких возможностях его применения, как на кластерах программы СКИФ, так и на серверах, поддерживающих технологию «облачных» вычислений. Результаты исследований, проведенных авторами, свидетельствуют о соответствии ПК SPS функциональным требованиям стандарта ISO/IEC/IEEE 24765:2010 и позволяют сделать выводы не только об импортозамещающей значимости разработки, но также о высоком потенциале его реализации на международном рынке.