

УДК 004.9:504:519.6

РЕАЛИЗАЦИЯ МОДУЛЯ АТМОСФЕРНОГО ПЕРЕНОСА В ПРОГРАММЕ ECOLEGO

А.В. Халченков, И.В. Ковалец

Институт проблем математических машин и систем НАН Украины

e-mail: allexandro@ukr.net

Введение. Для расчета доз внутреннего облучения, получаемых населением и персоналом, при различных сценариях поступления радионуклидов в организм существует целый ряд специализированных программ, таких как: Resrad (США 1996 г.), Amber (Англия, 2002) и Ecolego (Facilia AB, Швеция, 2003 [1]). Эти программы являются удобным инструментом для решения систем дифференциальных уравнений в рамках камерного подхода, что позволяет быстро и эффективно моделировать различные сценарии поступления радионуклидов в организм человека. В перечисленных программах автоматически учитывается распад радиоактивных элементов и образование дочерних элементов, а также содержатся базы данных со справочными параметрами. Вместе с тем, эти программы не содержат встроенных инструментов для расчета воздушного распространения радона (^{222}Rn) с поверхности радиоактивных отходов. Что вынуждает при расчете доз облучения использовать сторонние специализированные для атмосферного переноса программы, или использовать очень упрощенные методы.

Для оценки рисков населения, в настоящий момент в Украине, используется программа Ecolego. Поэтому возникла необходимость в создании инструмента в программе Ecolego, позволяющего описать эмиссию и распространение радона с поверхности хвостохранилищ. Сформулированы следующие основные требования: моделирование эмиссии радона с поверхности хвостохранилища; возможность учитывать пространственную форму (площадность) и неоднородность источника; произвольное двумерное размещение рецепторов (без привязки к направлению ветра); учет всех категорий устойчивости и свойств подстилающей поверхности; использование набора стандартных измерений наземных метеорологических станций;

Реализация и тестирование модуля атмосферного переноса в программе Ecolego, отвечающего перечисленным требованиям представлены в настоящей работе.

Двухслойная модель источника для определения эмиссии радона с поверхности хвостохранилища реализованная в Ecolego. Значение скорости эмиссии радона с единицы площади хвостохранилищ является критически важным для результатов моделирования. В случае, когда измерений недостаточно, но есть информация о характеристиках слоя РАО и покрытия (материал, толщина, влажность, пористость, количество радия), расчетная оценка может оказаться предпочтительнее измеренной. В модели используется двухслойная модель эмиссии радона подробно описанная в [2]. Дополнительным преимуществом моделирования источника является возможность задавать влажность в зависимости от времени, таким образом, появляется возможность учесть сезонные изменения эмиссии.

Модель воздушного переноса радона от площадных источников реализованная в Ecolego. Для расчета атмосферного переноса атмосферных загрязнений использовалась стандартная гауссова формула для распределения концентрации от непрерывного источника, расположенного на высоте H над поверхностью земли, с граничными условиями отражения от земли [5]. Чтобы учесть геометрическую форму и неоднородность источника, площадный источник аппроксимировался набором точечных источников. Для этого на источник накладывалась неструктурированная сетка из четырехугольных элементов, и каждому элементу ставился в соответствие точечный источник с мощностью равной площади элемента и расположенный в центре соответствующего элемента. Формула для определения полной концентрации выглядит:

$$C(x, y, z) = \sum_{i=1}^N \frac{Q_i}{2\pi\sigma_{y,i}\sigma_{z,i}} \exp\left(-\frac{y_i^2}{2\sigma_{y,i}^2}\right) \times \left\{ \exp\left(-\frac{(z_i - H_i)^2}{2\sigma_{z,i}^2}\right) + \exp\left(-\frac{(z_i + H_i)^2}{2\sigma_{z,i}^2}\right) \right\}$$

Для практического применения в модели реализовано несколько эмпирических соотношений для определения коэффициентов дисперсии (σ_y, σ_z), в соответствии с рекомендациями МАГАТЭ [3] и ЕРА [4,5]. Выбор коэффициентов дисперсии для расчета атмосферного переноса примесей в каждом конкретном случае зависит от типа и расположения источника, а также от категории землепользования (LandUse). В качестве основной модели использовались коэффициенты Паскуилла-Гиффорда для приземных выбросов, взятые с модели ISC и соотношения из модели AUSPLUME, позволяющие учитывать произвольные параметры шероховатости.

Определение категорий устойчивости реализовано по методу Тернера. Согласно этому методу, категория устойчивости зависит от скорости ветра на высоте 10 метров, приходящей солнечной радиации в дневное время и облачности в ночное время. Приходящая солнечная радиация зависит от облачности и высоты солнца над горизонтом (функция от времени суток, даты и географических координат).

Валидация модуля атмосферного переноса на тестовом сценарии и на данных реального эксперимента Prairie Grass [6]. Чтобы убедиться, что созданная в EcoLego модель соответствует другим моделям площадного источника, выполнено моделирование тестового сценария идентичного используемому в работе [7]. Кроме этого, подобный тестовый расчет позволяет исследовать зависимость результатов от интерполяции площадного источника набором точечных источников. Для этого расчет в EcoLego выполнялся для случаев различного представления исходного площадного источника (см. рис. 1).

В тесте изучалась атмосферная дисперсия от источника квадратной формы, со стороной 150 метров, расположенного на уровне земли. Скорость ветра 2м/с. Категория землепользования «Rural», топография ровная.

На рис. 2 представлены концентрации на центральной линии в зависимости от расстояния до центра источника. При больших расстояниях результаты EcoLego находятся между результатами других моделей и очень хорошо согласуется с моделями ISCST и Calpuff.

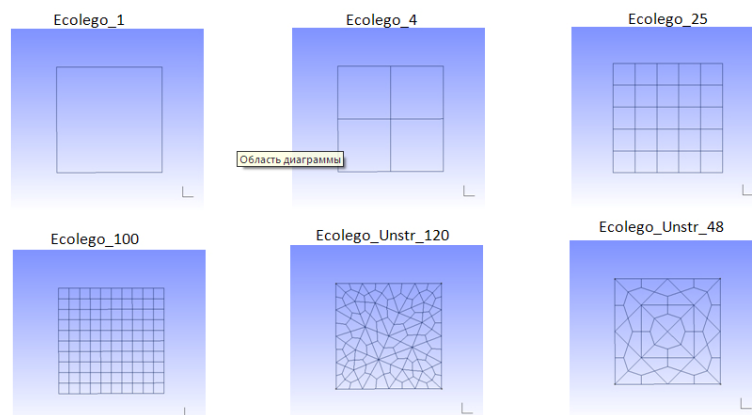


Рис. 1. Различное представление площадного источника в EcoLego

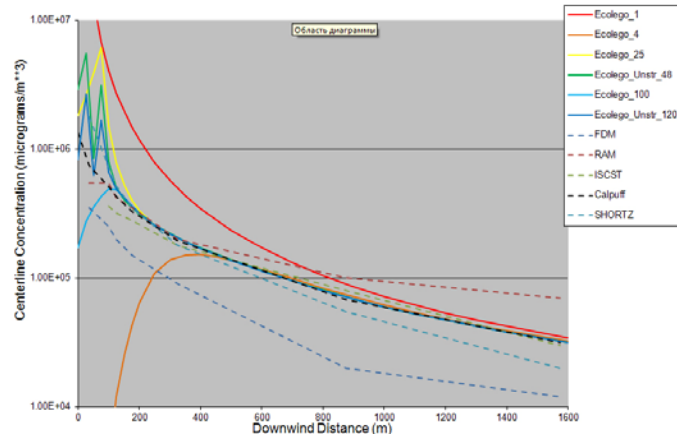


Рис. 2. Сравнение различных моделей площадного источника для тестового сценария

Для проверки корректности моделирования каждого отдельного точечного источника выполнены расчеты на данных эксперимента Prairie Grass 1956 года [6]. В этом эксперименте выполнено 68 приземных выбросов диоксида серы. Измерения проводились на высоте 1.5 метра вдоль пяти концентрических окружностей на расстояниях от 50-ти до 800 метров. В табл. 1, приведена статистика NMSE, построенная на максимальных рассчитанных и измеренных значениях (по линии ветра) в зависимости от расстояния до детектора.

Таблица 1. NMSE Ecolego Model (сравнение максимальных концентраций)

	100m	200m	400m	800m	All
NMSE	1.27	1.36	1.49	2.01	1.81

Пример расчета реального хвостохранилища с использованием реальных метеорологических данных. Сравнение с результатами расчета в пакете Calmet/Calpuff [8]. Расчет выполнялся на метеорологических данных днепропетровской метеостанции за июль 2005-го года. В качестве источника использовалось хвостохранилище «Центральный Яр» Приднепровского Химического Завода. Для расчета в Ecolego использовалась неструктурированная сетка из четырехугольных элементов, построенная в программе GMSH-2.5.0 [9]. Рецепторы расположены в виде трех окружностей с шагом 10°, радиусы окружностей 135м, 300м и 600 м.

На рис. 3 представлено сравнение посчитанных в EcoLego и в программном комплексе Calmet/Calpuff [10] максимальных концентраций радона на расстоянии 300 метров от центра источника.

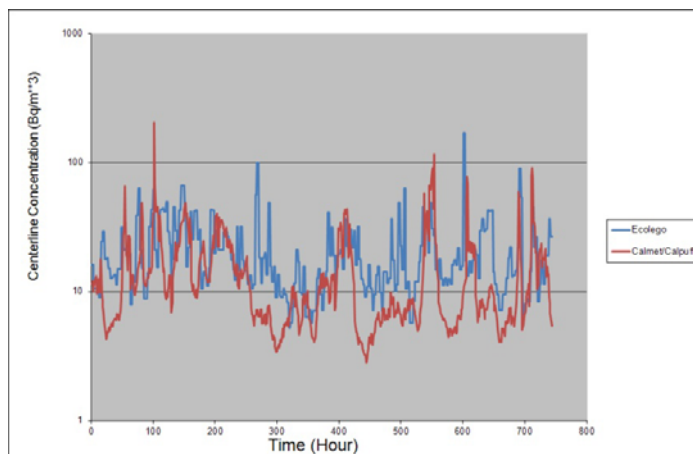


Рис. 3. Сравнение посчитанных в EcoLego и в Calmet/Calpuff максимальных концентраций радона на расстоянии 300 метров от центра источника

Чтобы оценить различие в результатах расчетов двумя моделями, в табл. 2 приведены значения NMSE в зависимости от расстояния.

Таблица 2. NMSE между результатами расчетов двух моделей

	135m	300m	600m	All
NMSE (EcoLego vs Calpuff)	1.37	1.18	1.36	1.54

Выводы. Проведенное тестирование показало, что аппроксимация площадного источника точечными позволяет учесть геометрическую форму источника, и в целом созданная модель дает результаты близкие и соизмеримые с другими известными моделями. Созданный в Ecolego модуль атмосферного переноса радона позволяет с приемлемой точностью моделировать распространение радона. При этом описанная реализация позволяет быстро и эффективно выполнять комплексный расчет доз и оценку рисков для населения в пределах единого программного комплекса Ecolego.

Литература

1. Ecolego 5 UserGuide (<http://ecolego.facilia.se/ecolego/viewmanual/pubobjwc/241>)
2. Nuclear Regulatory Commission, Office of Nuclear Regulatory Research. Regulatory Guide 3.64, 1989
3. Atmospheric dispersion models for application to radionuclide releases IAEA-TECDOC - 379 Viena-1986 (http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/_Public/17/072/17072243.pdf)
4. U.S. EPA, ISC3, 1992 (<http://www.epa.gov/scram001/userg/regmod/isc3v2.pdf>)
5. Scire J.S. Strimaitis D.G., Yamartino R.J. A user's guide for the CALPUFF dispersion model (Version 5). – 2000. - Earth Tech. Inc., Concord. – 521 p. (<http://www.src.com/calpuff/calpuff1.htm>)
6. Project PRAIRIE GRASS, a field program in diffusion 1958 (<http://www.jsirwin.com/PGrassVolumeI.pdf>, <http://www.jsirwin.com/PGrassVolumeII.pdf>, <http://www.jsirwin.com/PGrassVolumeIII.pdf>)
7. Review and evaluation of area source dispersion algorithms for emission sources at superfund sites. EPA-450/4-89-020
8. Ковалец И.В., Железняк М.И., Халченков А.В., Удовенко О.И., Лаврова Т.В. 2010. Численное моделирование воздушного распространения радона вокруг урановых хвостохранилищ // Электронное моделирование №3 (http://www.nbu.gov.ua/portal/natural/em/2010_3/gur-3-10/Kovalec.pdf)
9. Christophe Geuzaine, Jean-Fran, cois Remacle. Gmsh Reference Manual. The documentation for Gmsh2.5. A finite element mesh generator with built-in pre- and post-processing facilities. 2010 (<http://geuz.org/gmsh/doc/texinfo/gmsh.pdf>)