

## СОПОСТАВЛЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ АТМОСФЕРНОЙ ДИФФУЗИИ ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСОВ УПРЗА «ЭКОЛОГ» И AERMOD

**Н.Е. Шоронина, Г.А. Фоменко**

Научный руководитель – Г.А. Фоменко, д-р геогр. наук,  
профессор, академик РАЕН

Ярославский государственный технический университет

*Для определения границ территорий особого режима природопользования в мировой практике широко используется математическое моделирование. В статье изложены результаты сопоставления математических моделей атмосферной диффузии загрязняющих веществ программных комплексов «Эколог» и нового для России AERMOD.*

**Ключевые слова:** природопользование, математическая модель, расчет рассеивания, загрязняющие вещества.

## COMPARISON OF MATHEMATICAL MODELS ATMOSPHERIC DIFFUSION SOFTWARE COMPLEX UPRZA "ECOLOGY" AND AERMOD

**N.E. Shoronina, G.A. Fomenko**

Scientific Supervisor – G.A. Fomenko,  
Doctor of Geographical Sciences, Professor, Academician of RANS

Yaroslavl State Technical University

*Mathematical modeling widely use in the world for determine the borders of the areas of special regime of natural resources. The paper examines the results of a comparison of mathematical models of atmospheric diffusion of pollutants software of two software systems "Ecology" and new for Russia AERMOD.*

**Keywords:** environmental, mathematical model, calculation of dispersion, polluting substance.

Современная окружающая среда находится в постоянном "антропогенном стрессе", проявляющемся в виде деградации биосферы. В первую очередь это связано с активной урбанизацией городских территорий. Крупные промышленные города испытывают значительные химические нагрузки, основной вклад в загрязнение атмосферного воздуха приходит-

ся на выбросы автотранспорта. Рост урбанизированных территорий повышает актуальность улучшения качества оценок состояния окружающей среды, а также разработки новых методов оценки экспозиционных нагрузок и расчетов рассеивания загрязняющих веществ. Требуется адекватный методологический и инструментальный подход для: (1) прогноза загрязнения атмосферного воздуха, (2) управления качеством атмосферного воздуха, основанного на максимально точном расчете концентраций загрязняющих веществ с использованием метеорологической информации, (3) использования данных постов наблюдения за качеством атмосферного воздуха, (4) учета средних концентраций для выполнения прогнозных долгосрочных оценок качества воздушной среды.

На решение этих задач нацелено прогностическое моделирование рассеивания загрязняющих веществ в атмосферном воздухе, которое позволяет выполнять априорный анализ негативных воздействий множества источников загрязнения с учетом рельефа и ветровых характеристик и осуществлять прогнозные расчеты. Тем самым становится возможным дополнять результаты мониторинговых наблюдений и инвентаризации выбросов промышленных предприятий и автотранспорта при оценке среды обитания и воздействия на здоровье населения. Поэтому была поставлена задача: изучить особенности применения, оценить широко используемую в России УПРЗА "Эколог", и сопоставить с новым для нас программным комплексом AERMOD, которые используют различные математические модели атмосферной диффузии.

Для сравнительных исследований были выбраны: (1) широко применяемый в России пакет унифицированных программ расчета загрязнения атмосферы (УПРЗА); (2) наиболее распространенный в зарубежных странах программный комплекс AERMOD.

*Математическая модель атмосферной диффузии программного комплекса УПРЗА «Эколог».* Данная модель базируется на определении уровня турбулентной диффузии. В соответствии с данным подходом степень загрязнения воздуха выбросами вредных веществ из непрерывно действующих источников определяется по наибольшему рассчитанному значению разовой приземной концентрации, которая устанавливается на некотором расстоянии от места выброса при неблагоприятных метеорологических условиях, когда скорость ветра достигает опасного значения и в приземном слое происходит интенсивный турбулентный обмен. Алгоритм и порядок проведения расчетов полей максимальных концентраций изложены в «Методике расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. ОНД-86», разработанной Госкомгидрометом СССР в 1986 г. Разработчик программы УПРЗА «Эколог» – фирма «Интеграл», СПб.

*Математическая модель атмосферной диффузии AERMOD.* Данная модель построена на предположении, что шлейф загрязняющего вещества имеет гауссово распределение, и концентрация в заданной точке по направлению ветра может быть рассчитана с помощью обобщенного уравнения Гаусса и действительна для концентраций, усредненных во времени для нескольких минут, то есть для интервала времени, для которого представительными являются значения параметров рассеивания и скорости ветра. Гауссово приближение рассеивания позволяет учитывать множество факторов, влияющих на уровни концентраций примесей в приземном слое атмосферы (метеоусловия, отражение примеси от подстилающей поверхности, характер подстилающей поверхности и т. д.). Модель AERMOD разработана агентством по охране окружающей среды США.

*Сравнительное исследование возможностей программных комплексов показало следующее.*

1. Математическая модель атмосферной диффузии программного комплекса УПРЗА «Эколог» позволяет рассчитать приземные концентрации загрязняющих веществ в атмосфере на расстояниях не более 100 км, в двухметровом слое над поверхностью земли. В отличие от математической модели, заложенной в УПРЗА «Эколог», модель AERMOD позволяет рассчитать рассеивание вредных веществ (на расстоянии не более 50 км) не только в горизонтальном направлении, но и в вертикальном, а также прогнозировать дисперсии прерывистых выбросов.

2. Для расчета загрязнения атмосферы выбросами промышленных предприятий в программе УПРЗА «Эколог» используется методика, сводящаяся к последовательности аналитических выражений, полученных в результате аппроксимации разностного решения уравнения турбулентной диффузии. В программе же AERMOD реализуются: (1) модель нормального распределения Гаусса (для расчета рассеивания загрязняющих веществ в вертикальном и горизонтальном направлениях в стабильном пограничном слое, в горизонтальном направлении в конвективном пограничном слое; (2) модель двумерного нормального распределения Лапласа-Гаусса (для расчета рассеивания вредных примесей в вертикальном направлении в конвективном пограничном слое).

3. Основными данными для расчета рассеивания вредных примесей являются данные об источниках выбросов загрязняющих веществ. Как в программе УПРЗА «Эколог», так и в AERMOD, для каждого источника должен быть задан определенный набор параметров: координаты, тип, высота, диаметр устья источника, мощность выбросов веществ, скорость выброса газовой смеси, температура и расход газовой смеси). Важной особенностью математической модели программы AERMOD в сравнении с УПРЗА «Эколог» является необходимость в почасовых метеорологических данных (скорость и направление ветра,

температура окружающей среды, данные об облачном покрове, значение Альбедо, отношение Боуэна, солнечная радиация, радиационный баланс). Для определения распределения вредных примесей в атмосфере математическая модель AERMOD также учитывает шероховатость поверхности, широту, долготу и часовой пояс, данные о рельефе местности. В программе УПРЗА «Эколог» необходимо меньшее количество климатических характеристик, таких как средняя температура воздуха самого жаркого месяца в регионе проведения расчета, скорость ветра, превышаемая в данной местности в среднем многолетнем режиме в 5 % случаев, безразмерный коэффициент F, учитывающий скорость оседания веществ в атмосферном воздухе, коэффициент, зависящий от температурной стратификации атмосферы.

Таким образом, в основу программы AERMOD заложена более сложная математическая модель, для реализации которой необходимо большее количество исходных данных, и которая соответственно позволяет получить в большей степени приближенные к реальности результаты. AERMOD может применяться для прогнозирования непрерывных, плавучих выбросов от уровня земли, дисперсии прерывистых выбросов, вертикальной и горизонтальной дисперсии; для моделирования сухого, а также мокрого осаждения частиц. Возможности программы УПРЗА «Эколог» по сравнению с AERMOD ограничены и позволяют рассчитывать максимально возможное распределение концентрации выбросов в условиях умеренно неустойчивого состояния атмосферы и усредненные по 20–30 минутному интервалу в приземном слое воздуха, но не учитывает такие факторы, как класс устойчивости атмосферы и шероховатость подстилающей поверхности.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шило А.С. Сравнительный анализ программных средств для исследования загрязнения атмосферы составляющими дымовых газов [Электронный ресурс] / А.С. Шило, А.С. Шило // Збірник наукових статей “III-го Всеукраїнського з’їзду екологів з міжнародною участю”. Вінниця, 2011. Том.1. С.136–139.
2. AERMOD: Описание модели: изготовитель и разработчик Агентство по охране окружающей среды США. США, 2001. 91.
3. Обзорная статья по программам серии [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.integral.ru/program.html>.