

*Тарасенко А.А., д-р техн. наук, ст. науч. сотр., НУГЗУ,
Ворон В.П., канд. сел.-хоз. наук, зав. лаб., УкрНИИЛХА*

ОЦЕНКА ПОСЛЕДСТВИЙ АЭРОТЕХНОГЕННЫХ ВЫБРОСОВ ХИМИЧЕСКИХ И РАДИОАКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ

(представлено д-ром физ.-мат. наук Яковлевым С.В.)

Предложена математическая модель оценки объема загрязняющего вещества, осажденного на участках территории с замкнутыми криволинейными границами. Входными данными модели является графическое изображение границ территории и линий уровня концентрации загрязняющего вещества. Модель предполагает практическую реализацию в рамках геоинформационных систем и может быть использована для оценок экологического ущерба и объема работ, связанных с обеззараживанием территории.

Ключевые слова: математическая модель, экологический ущерб, загрязняющее вещество

Постановка проблемы. Внештатные аэротехногенные выбросы химических и радиоактивных загрязняющих веществ (ЗВ) в зависимости от объема, токсичности и концентрации седиментированного вещества могут квалифицироваться как чрезвычайные ситуации (ЧС).

Зачастую единственным источником информации об интенсивности загрязнения территории является графическое изображение линий уровня концентрации неоднородного поля ЗВ (карта загрязнений). Оценка величины экологического ущерба и объема работ, связанного с ликвидацией последствий внештатного выброса (или штатных выбросов, которыми сопровождается деятельность энергетических и химических предприятий), приводит к необходимости решения задачи восполнения недостающей информации о неоднородном поле пространственного распределения концентрации и нахождения объема седиментированного загрязняющего вещества внутри границ территории.

Разнообразие исходных данных выдвигает требование использования для решения указанных задач географических информационных систем (ГИС). Интеллектуализация ГИС-

технологий требует разработки соответствующей математической основы.

Анализ последних исследований и публикаций.

Использование в геоинформационных системах (ГИС) растровых либо триангуляционных моделей для описания поверхностей концентрации веществ налагает особые требования на исходные данные, которые в общем случае не могут быть реализованы [1]. При этом отсутствуют модели, позволяющие решать задачу оценки объема выброса ЗВ лишь на основе картографической информации.

Постановка задачи и ее решение. Целью работы является создание математической модели, позволяющей получить уравнение пространственной зависимости концентрации загрязняющего вещества по картографированным линиям уровня концентрации и определение объема осажденного ЗВ в границах территории со сложной геометрией. Модель должна быть адаптирована к возможностям ГИС.

В качестве входных данных модели используются графические изображения границы (в общем случае криволинейной) территории (с заданным масштабом) и изолиний уровня концентрации загрязняющего вещества, сопровождающиеся атрибутивной информацией – количественными показателями концентрации для каждой изолинии.

Использование процедуры векторизации [2] позволяет перевести графическую информацию в цифровой векторный формат геоданных [1], аппроксимируя каждую исходную линию ломаной, информация о которой сохраняется в виде упорядоченного массива координат ее вершин.

Пусть в прямоугольной картографированной области Θ , ориентированной по сторонам света, задана двумерная (в общем случае невыпуклая) односвязная область Ω ($\Omega \subset \Theta$), граница которой $\bar{\Omega}$ задается в локальной декартовой системе координат в виде замкнутой ломаной линии с помощью упорядоченного набора координат N вершин ломаной $\{(x_n; y_n)\}_{n=1..N}$; $(x_1; y_1) = (x_N; y_N)$. В терминологии векторных ГИС область Ω представляет собой полигон, который в свою очередь может разбиваться на набор $\{\Omega_i\}_{i=1..I}$ непесекающихся подобластей так, что

$$\bigcup_{i=1}^I \Omega_i = \Omega; \quad \Omega_i \cap_{i \neq k} \Omega_k = \emptyset. \quad (1)$$

Каждая из подобластей описывает различные площадные ГИС-объекты (поля сельхозугодий, лесные выделы или кварталы лесничества, бассейны рек, административно-территориальные образования и т.д.)

В работе [3] предложен векторно-функциональный способ задания геоданных, сочетающий в себе возможности векторного описания границ полигонов с одновременным функциональным заданием физических параметров внутри их границ. Модель базируется на введении индикатора

$$\eta_{\Xi}(x_0; y_0) = \begin{cases} 1 & \text{if } (x_0; y_0) \in \Xi; \\ 0 & \text{if } (x_0; y_0) \notin \Xi, \end{cases} \quad (2)$$

где Ξ - произвольная односвязная двумерная область.

Выражение (2) графически может быть интерпретировано как «фигурная» ступень единичной высоты. При этом установление факта принадлежности точки $(x_0; y_0)$ невыпуклой области Ξ может быть осуществлено методами вычислительной геометрии [4].

Восстановление вида поверхности концентрации $C(x; y)$ осуществим на основании изображения (с последующей векторизацией) набора J картографированных линий уровня $\{C_j(x; y) = j \cdot H\}_{j=1 \dots J}$ (H - межуровневый шаг) концентрации ЗВ. Линии уровня могут быть замкнутыми или могут начинаться и заканчиваться на границе области Θ .

В работе [5] предложен способ получения аналитической модели аппроксимирующей поверхности, восстанавливаемой по линиям уровня, в виде

$$C(x, y) = \sum_{s=0}^{S-1} \sum_{t=0}^{T-1} C_{st}(x, y) (\eta(x - x_s) - \eta(x - x_{s+1})) (\eta(y - y_t) - \eta(y - y_{t+1})), \quad (3)$$

где $\eta(x), \eta(y)$ - функции Хэвисайда; x_s, y_t - значения абсциссы и ординаты векторизированных линий уровня в узлах регулярной

квадратной решетки ($s = 0 \dots S; t = 0 \dots T$); $C_{st}(x, y)$ - бикубические сплайны

$$C_{st}(x, y) = \sum_{u=0}^3 \sum_{v=0}^3 a_{uv}^{st} (x - x_s)^v (y - y_t)^u, \quad (4)$$

коэффициенты которых a_{uv}^{st} получены из условий гладкой сшивки $C_{st}(x, y)$ с использованием метода Кунса [6].



Рис. 1 – Космический снимок [7] Борисоглебского бора (Высокоборское лесничество). В правом верхнем углу прослеживается дымовой шлейф выбросов “Балцем”

Возможности приведенных моделей могут быть проиллюстрированы на примере расчета объема осаждаемой нерастворенной пыли, эмитированной Балаклейским ОАТ “Балцем” в лесах Высокоборского лесничества ГП «Балаклейское ЛХ» (Харьковская область) (рис. 1).

“Балцем” – одно из самых крупных производств цемента в Украине. В 1980-ые годы в период максимального загрязнения суммарная величина выбросов в атмосферу составляла 27,3 тыс. т/год в т. ч. до 17 тыс. т пыли; 4 тыс. т оксидов азота.

Максимальный уровень загрязнения снежного покрова отмечался в радиусе до 2 км, где он в 6 -11 раза выше, чем на расстоянии 10 км от комбината. Такая пространственная зависимость

обусловлена доминированием в выбросах пыли тяжелых крупно-дисперсных фракций, которые со скоростью ≈ 80 см/сек оседают на небольшом расстоянии от источника загрязнения. Нерастворимая пыль может составлять до 60% загрязнения снежного покрова.

В качестве входных данных модели использовано графическое изображение линий уровня концентрации пыли в снежном покрове (мг/л) и границы лесничества в известном масштабе (рис. 2). Размер области $6\text{ км} \times 12,5\text{ км}$.

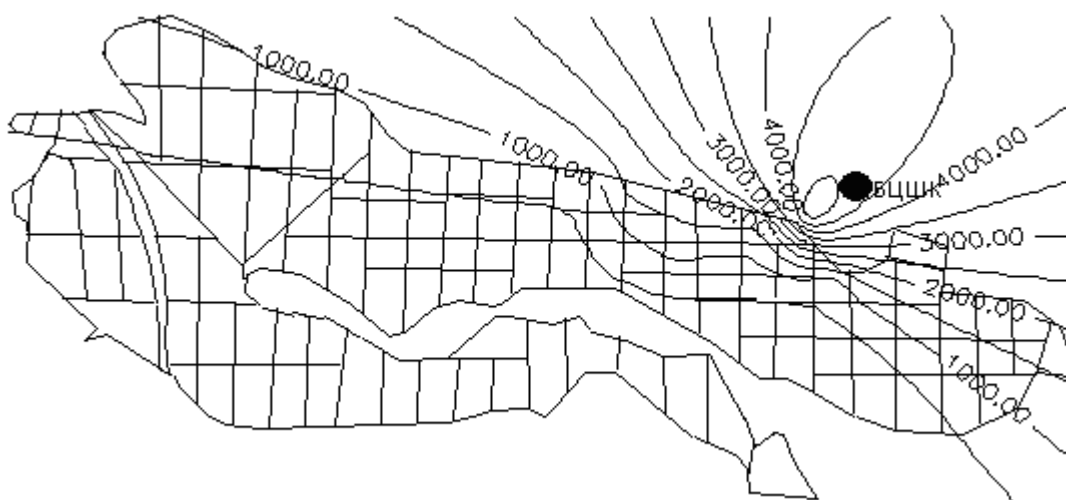


Рис. 2 – Содержание нерастворимой пыли в снежном покрове в районе “Балцем” в период максимального загрязнения [8]

С привлечением разработанного программного обеспечения получены коэффициенты уравнения (4) (использована разбивка на решетку с ячейками $500\text{ м} \times 500\text{ м}$), что позволило получить сплайн-уравнение поверхности концентрации $C(x; y)$.

Оцифровка внешней границы лесничества $\bar{\Omega}$ (без учета квартальной разбивки) позволила получить его векторно-функциональную модель (2).

Произведение $C(x; y) \cdot \eta_{\Omega}(x; y)$ задает криволинейный цилиндр (рис. 3), ограниченный снизу - плоскостью $C = 0$, сверху – поверхностью концентрации $C(x; y)$, по бокам - вертикальными образующими. Очевидно, что объем данного тела представляет собой количество Q_{Ω} седиментированной пыли в границах лесничества

$$Q_{\Omega} = \iint_{\Omega} C(x; y) \cdot \eta_{\Omega}(x; y) dx dy. \quad (5)$$

Вычисление данного интеграла осуществлялось численно методом прямоугольников на стометровой сетке. В предположении о десятисантиметровом снежном покрове расчетный объем осаждаемой пыли в границах лесничества составил $Q_{\Omega} = 2.61 \cdot 10^6$ кг.

Предложенная методика может быть использована для определения средней по области Ω концентрации ЗВ в виде

$$C_{cp\Omega} = Q_{\Omega}/S_{\Omega}, \quad (6)$$

где S_{Ω} - площадь области Ω , которую удобно вычислять [4] как

$$S_{\Omega} = \frac{1}{2} \sum_{n=1}^{N-1} (x_{n+1} + x_n)(y_{n+1} - y_n). \quad (7)$$

Для приведенного примера $S_{\Omega} = 3573$ га; $C_{cp\Omega} = 0.073$ кг \times м $^{-2}$.

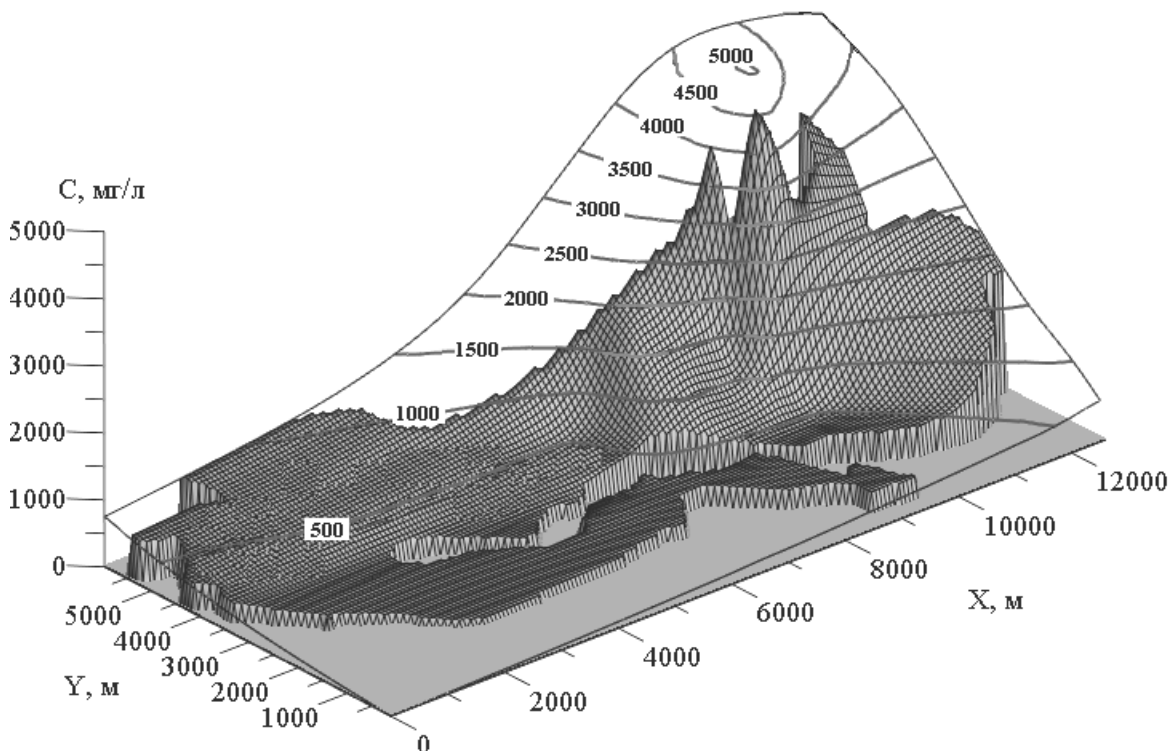


Рис. 3 – График поверхности концентрации нерастворимой пыли с проекцией на нее территории Борисоглебского бора

В случае, если загрязняющее вещество является радиоактивным или химическим опасным, модель (1)-(5) может быть использована для оценки объема работ, связанных с обеззараживанием территории и для расчета параметров хранилищ зараженных растительных и почвенных покровов.

Выводы. Предложена ГИС-ориентированная математическая модель для расчета объема выброса загрязняющего вещества, входными данными которой является лишь графическая информация. Модель может быть использована для оценки экологического ущерба, наносимого выбросами загрязняющего вещества территории населенного пункта, лесного или сельскохозяйственного предприятия, а также для расчета объема работ, связанного с обеззараживанием территории.

ЛИТЕРАТУРА

1. Журкин И.Г. Геоинформационные системы / И.Г. Журкин, С.В. Шайтура - М.: КУДИЦ-ПРЕСС, 2009. – 272 с.
2. Сташевский С.Ю. Алгоритм векторизации растровых изображений в общем виде / С.Ю. Сташевский // Автоматизированные системы обработки информации, управления и проектирования. Томск: ТУСУР, 2004 - С. 124-130.
3. Тарасенко О.А. Математичне моделювання вихідних параметрів областей надзвичайних ситуацій / О.А. Тарасенко // Проблеми надзвичайних ситуацій. - 2008. - Вип. 8.-С.185-193.
4. Андреева Е.В. Вычислительная геометрия на плоскости / Е.В. Андреева, Ю.Е. Егоров // Информатика. – 2002. - №40.-С. 28-31.
5. Абрамов Ю.А. Формирование априорной информации для системы ликвидации последствий чрезвычайной ситуации / Ю.А. Абрамов, А.А. Тарасенко // Проблеми надзвичайних ситуацій. - 2007.- Вип. 6.-С. 11-22.
6. Алберг Дж. Теория сплайнов и ее приложения / Дж. Алберг, Э. Нильсон, Дж. Уолш – М.: Мир, 1972. – 316 с.
7. Google Map [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://maps.google.com.ua/maps?hl=uk&tab=wl>
8. Ворон В.П. Забруднення снігового покриву в сосняках техногенної зони Балаклійського цементного виробництва // Вісник ХНАУ.-2008.-№4.- С.102-105.
nuczu.edu.ua

Тарасенко О.А., Ворон В.П.

Оцінка наслідків аеротехногенних викидів хімічних та радіоактивних речовин

Запропоновано математичну модель оцінки обсягу забруднюючої речовини, що седиментувала на ділянках території з замкнутими криволінійними границями. Вхідними даними моделі є графічне зображення границь території і ліній рівня концентрації забруднюючої речовини. Модель передбачає практичну реалізацію в рамках геоінформаційних систем і може бути використана для оцінок екологічного збитку й обсягу робіт, пов'язаних із знезараженням території.

Ключові слова: математична модель, екологічний збиток, забруднююча речовина

Tarasenko A.A., Voron V.P.

Estimation of consequences of aeroanthropogenic emissions of chemical and radioactive substances

A mathematical model of estimates the amount of pollutant deposited on parts of the territory with closed curvilinear boundaries is proposed. The inputs of the model are graphic representation of territory and boundaries of pollutant concentration levels. The model assumes the practical implementation in the GIS and can be used to estimate the environmental damage and the amount of work related to the decontamination area.

Key words: mathematical model, environmental damage, pollutant