

Б.Н. Дмитриев, А.В. Петров, И.А. Суторихин

Телефотограмметрический комплекс контроля параметров распространения аэрозольных шлейфов от локальных стационарных источников загрязнения атмосферы

Институт водных и экологических проблем СО РАН, г. Барнаул

Поступила в редакцию 30.03.2005 г.

Показана возможность определения параметров распространения аэрозольных выбросов в атмосфере от локальных стационарных источников загрязнения (дисперсии распределения координат частиц, коэффициентов турбулентной диффузии, массовой концентрации частиц) на основе данных телефотометрических наблюдений. Рассматриваются варианты предварительной обработки и анализа цифровых видеозображений. Обсуждаются границы применимости данной реализации метода телефотометрического контроля.

Введение

Контроль за распространением аэрозольных шлейфов от локальных стационарных источников можно проводить с помощью пассивных телефотометрических систем дистанционного зондирования. В рассматриваемой телефотометрической системе программно реализован один из вариантов фотограмметрического анализа цифровых видеозображений аэрозольных шлейфов, позволяющий отслеживать изменение границ видимого следа аэрозольного шлейфа. На основе результатов фотограмметрического анализа данных наблюдений и численных модельных расчетов система позволяет определять дисперсию координат частиц, коэффициенты турбулентной диффузии.

В работах [1, 2] показано, что по измерениям изменений ширины шлейфа на изображении можно определить дисперсию координат частиц σ .

А.С. Мониным [3] показано, что если разложить дисперсию координат частиц по координатным осям, то коэффициенты турбулентной диффузии получают следующую статистическую интерпретацию:

$$K_x = \frac{1}{2} \frac{d\sigma_x^2(t)}{dt}, \quad K_y = \frac{1}{2} \frac{d\sigma_y^2(t)}{dt}, \quad K_z = \frac{1}{2} \frac{d\sigma_z^2(t)}{dt}, \quad (1)$$

в предположении, что каждая индивидуально диффундирующая частица движется случайно, причем ее координаты меняются со временем по закону марковского случайного процесса.

Для определения коэффициентов диффузии применялась видеосъемка с последующей обработкой полученных видеозображений разработанным в ходе исследования оригинальным программным обеспечением.

Приборы и методы исследований

При проведении наблюдений для получения изображений использовались цифровой фотоаппарат и видеокамера стандарта SVHS. Обработка результатов наблюдений осуществлялась на разработанном программно-аппаратном комплексе, описанном в [4]. Предварительная обработка и фотограмметрический анализ изображений аэрозольных шлейфов проводились с помощью разработанных в ходе исследований программ.

Для нашей задачи интерес представляют описание и отслеживание изменения положения в пространстве видимых границ дымового шлейфа. По изменению ширины аэрозольного шлейфа определяется дисперсия координат частиц [5]. Вся остальная информация, содержащаяся на изображении (значения яркостей, неоднородность фона и шлейфа) в рамках данной задачи, является избыточной. Таким образом, предварительная обработка сводится к представлению изображений в виде, удобном для анализа видимых границ шлейфа. Для этих целей предлагается использовать сегментацию изображений по пороговой яркости [6].

Сегментация — это разбиение исходного изображения на области, каждая из которых удовлетворяет некоторому критерию схожести. В качестве критерия схожести предлагается использовать пороговую яркость, которая вычисляется по гистограмме яркости изображения методом мод [6].

Аэрозольные шлейфы при съемке в большинстве случаев фиксируются на неоднородном слабоконтрастном фоне неба. Для определения критерия сегментации строится гистограмма яркости изображения, которая является спектром значений яркости изображения (рис. 1).

На гистограмме яркости находятся две группы пиков: I группа соответствует яркости аэрозольного

шлейфа, II группа соответствует яркости фона. Из анализа гистограммы видно, что аэрозольный шлейф по своей яркости будет практически однородным, а яркость неба имеет неоднородную структуру.

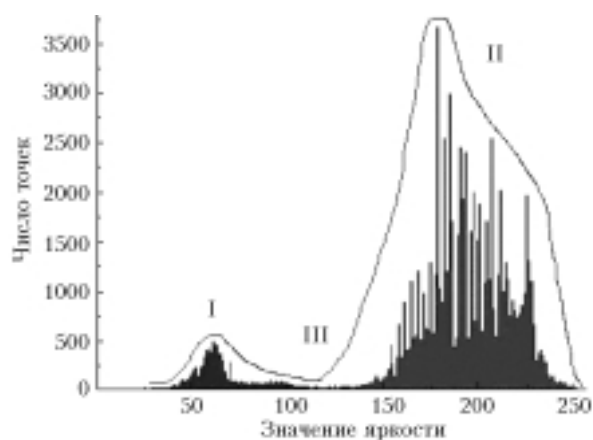


Рис. 1. Гистограмма яркости изображения

Значение пороговой яркости берется равным значению яркости в точке перегиба между двумя пиками огibaющей гистограммы — III. После этого по значению пороговой яркости проводим сегментацию и выделяем область аэрозольного шлейфа (рис. 2).

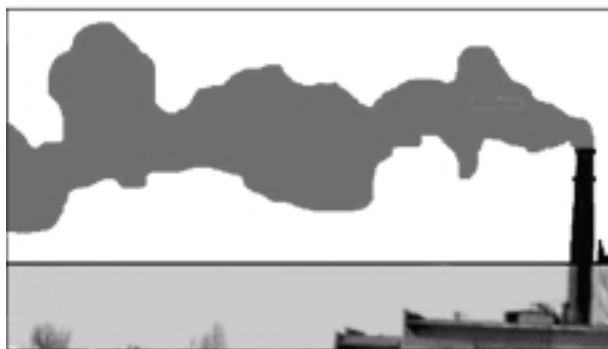


Рис. 2. Изображение дымового шлейфа после сегментации

Для оценки погрешности определения дисперсии координат частиц примеси проводился анализ модельных источников. Для анализа использовались результаты эксперимента, проводившегося в ИХКиГ СО РАН в 1991 г.

Модельный источник представляет собой аэрозольный генератор, при помощи которого проводилось распыление смеси водного раствора глицерина с родамином 6G. Эксперимент снимался на видеокамеру, одновременно с видеосъемкой проводилось определение рассеяния примеси при помощи метода отбора проб. Для анализа использовались пять различных реализаций аэрозольной струи, которые различались по мощности и начальной скорости выброса. Определение дисперсии координат частиц по видеоизображению сравнивалось с результатами анализа отобранных проб. Максимальное расхождение между двумя методами составило 10%.

Следует отметить, что кроме аэрозольного шлейфа на преобразованное изображение попадут

некоторые статические объекты (например, труба промышленного предприятия), которые в процессе обработки программно удаляются.

После всех преобразований получаем черно-белое изображение аэрозольного шлейфа. По линейным размерам источника выбросов, которые известны априорно, производится определение разрешения изображения (в пикселях на метр).

На основе результатов фотограмметрического анализа изображений аэрозольных шлейфов были построены зависимости дисперсии координат частиц примеси от расстояния (рис. 3).

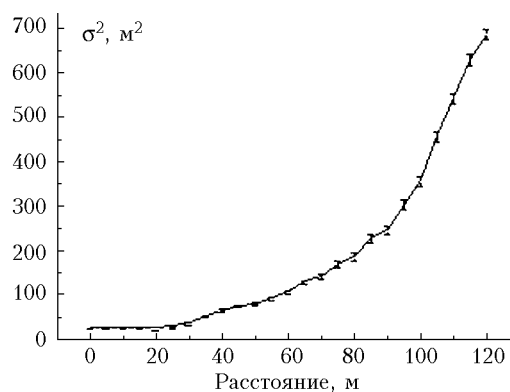


Рис. 3. Зависимость дисперсии примеси от расстояния

Анализируя полученный график, можно заметить, что дисперсия координат частиц вблизи от устья трубы (на расстоянии до 25 м) является постоянной, что обусловлено наличием начальной скорости у выбрасываемой примеси и тепловым подъемом перегретой примеси. С увеличением расстояния от точки выброса примесь остывает, увеличивается влияние турбулентности атмосферы, шлейф расширяется, и дисперсия координат частиц возрастает.

После определения дисперсий координат частиц по формулам (1) были вычислены коэффициенты диффузии, которые рассчитывались как изменение дисперсии от кадра к кадру (рис. 4).

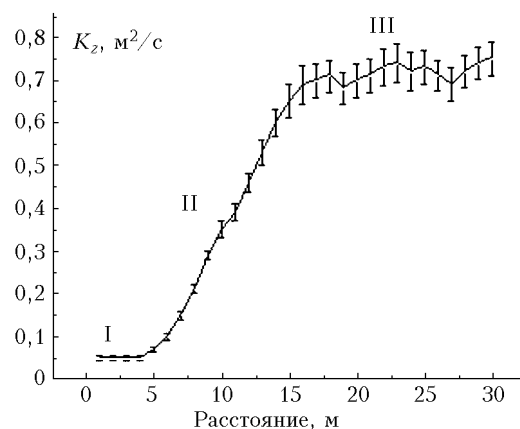


Рис. 4. Зависимость коэффициента K_z от расстояния

На графике зависимости коэффициентов турбулентной диффузии от расстояния можно установить

три линейных участка (эффект Ричардсона): участок I обусловлен начальной скоростью выброса и перегревом примеси относительно окружающего воздух, участок II, возрастающий, обусловлен термодинамическим остыванием примеси и увеличением вклада в перенос среднего ветра, участок III соответствует пассивному состоянию примеси, примесь остыла и является индикатором турбулентного состояния атмосферы.

Для натурального эксперимента наблюдений аэрозольного шлейфа от трубы КЖБИ-2 коэффициенты диффузии стабилизировались на расстоянии 20–25 м от точки выброса и имели значение $K_z = 0,75 \text{ м}^2/\text{с}$. Полученные данные коррелируют с результатами глобального эксперимента «ПИГАП» [7].

Заключение

Разработанная система пассивного дистанционного зондирования позволяет оценить следующие параметры распространения примеси от локального стационарного источника: дисперсию координат частиц примеси, коэффициенты турбулентной диффузии.

На данный метод накладываются некоторые ограничения: фиксация шлейфов должна проводиться от отдельно расположенных промышленных источников, выбрасывающих углеродистые частицы, масштаб на изображении не должен превышать 2,5 м на пиксель, т.е. максимальное расстояние до источника не должно превышать 350 м (съемка

с максимальным увеличением). Атмосфера в направлении визирования должна быть прозрачной.

Предложенные подходы могут быть использованы в задачах исследования загрязнения атмосферы, а также службами контроля качества окружающего воздуха.

Работа выполнена при финансовой поддержке интеграционного проекта СО РАН № 138 «Сибирская геосферно-биосферная программа; интегрированные региональные исследования современных природно-климатических изменений».

1. Бызова Н.Л., Гаргер Е.К., Иванов В.Н. Экспериментальные исследования атмосферной диффузии и расчеты рассеяния примеси. Л.: Гидрометеоиздат, 1991. 279 с.
2. Берлянд М.Е. Современные проблемы атмосферной диффузии и загрязнения атмосферы. Л.: Гидрометеоиздат, 1975. 448 с.
3. Монин А.С., Яглом А.М. Статистическая гидродинамика. Теория турбулентности. Т. 1 СПб.: Гидрометеоиздат, 1992. 696 с.
4. Петров А.В. Использование полистатической схемы визирования при мониторинге аэрозольных выбросов // Ползуновский вестник. 2004. № 2. С. 99–103.
5. Монин А.С. Распространения дыма в приземном слое атмосферы // Атмосферная диффузия и загрязнение воздуха. М.: ИЛ, 1962. С. 366–381.
6. Дуда А., Харт П. Распознавание образов и анализ сцен. М.: Мир, 1976. 511 с.
7. Шнайдман В.А., Фоскарини О.В. Моделирование пограничного слоя и макротурбулентного обмена в атмосфере по данным первого глобального эксперимента ПИГАП. Л.: Гидрометеоиздат, 1990. 160 с.

B.N. Dmitriev, A.V. Petrov, I.A. Sutorikhin. Telephotogrammetric complex for monitoring of aerosol plume diffusion from stationary sources of atmospheric pollution.

The possibility of characterization of aerosol plume propagation from point stationary sources (dispersion of particles coordinate distribution, eddy diffusion coefficients, mass concentration of particles) is shown on the basis of telephotometric observations data. The alternatives of videoimage pretreatment processing and analyzing are considered. The applicability limits for the telephotometric check method are discussed.