

В.В. Головки*, К.П. Куценогий*, Е.И. Киров*, Л.К. Трубина**, А.П. Гук**

Использование фотограмметрии для определения характеристик пылицы

- *Институт химической кинетики и горения СО РАН, г. Новосибирск*
- ** *Сибирская государственная геодезическая академия, г. Новосибирск*

Поступила в редакцию 9.02.2000 г.

Предлагается методика изучения морфометрии пылевых зерен по фотоизображениям, полученным под микроскопом, с использованием цифровой фотограмметрической станции. Фотограмметрический метод обработки цифровых изображений позволяет определять параметры, характеризующие пространственную форму пылевых зерен, что важно для оценки их аэродинамических свойств.

Введение

Аэрозольные биогенные частицы весьма специфичны. Они отличаются сложной формой, а некоторые способны изменять ее под влиянием внешних условий. Морфология пылевых зерен связана со способами их рассеивания и переноса. В настоящее время отсутствуют количественные данные о форме пылевых зерен, необходимые для определения концентрации пылицы в воздухе и оценки аэродинамических свойств пылевых зерен при моделировании динамики их распространения.

Эффективным способом пространственной количественной интерпретации микрообъектов является фотограмметрический метод. Он позволяет определять любые количественные характеристики изучаемых объектов по их изображениям, а при наличии стереопары – восстанавливать пространственный образ (стереомодель) микрообъекта для получения его пространственных характеристик.

1. Методика

Для изучения морфологических характеристик зерна пылицы предлагается методика, основанная на использовании компьютерных фотограмметрических технологий (рис. 1). Фотограмметрическая обработка микроизображений пылевых зерен, преобразованных в цифровую форму, осуществляется на цифровой фотограмметрической станции SDS, разработанной на кафедре фотограмметрии и дистанционного зондирования Сибирской государственной геодезической академии [1]. Программное обеспечение SDS включает ряд модулей как по обработке одиночных изображений и стереопар аэрокосмической съемки, так и изображений, полученных с близких расстояний, в том числе микроскопических. Стереоскопическое наблюдение совмещенного левого и правого изображений на экране монитора осуществляется через поляризационные очки, изготовленные на жидких кристаллах, с частотой мерцания 120 Гц.]

Фотограмметрическая методика изучения морфометрии пылевых зерен включает следующие процессы:

- получение фотографических изображений изучаемых объектов;
- преобразование фотографических изображений в цифровую форму с помощью сканера;



Рис. 1

– математическая обработка цифровых изображений с использованием программных модулей SDS;

– статистическая обработка результатов определения характеристик пылицы.

При апробации предлагаемой методики для фотографирования используют микроскоп МБИ-11, снабженный фотонасадкой. Для метрической калибровки изображений в качестве препаратоводителя совместно с исследуемыми образцами применялся специально изготовленный тест-объект (рис. 2) в виде сетки, выполненной на баритовом стекле. Для получения стереоскопической пары изображений выполнялось двукратное фотографирование при смещении рассматриваемого образца между двумя экспозициями на величину базиса. Перемещение тест-объекта осуществлялось препаратоводителем. С учетом того что объективы световых микроскопов имеют малую глубину резкости, для достижения хорошего стереоскопического эффекта проведен ряд экспериментов по подбору условий освещения и фотоматериалов.

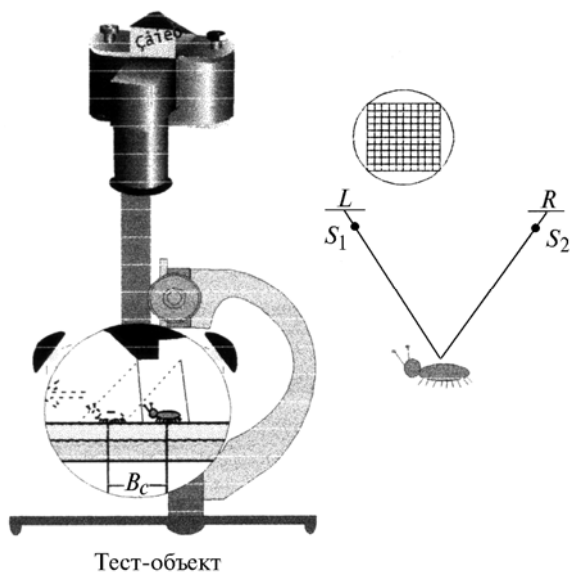


Рис. 2. Схема установки и методика получения микроизображений: L – положение объекта при получении левого снимка, R – правого снимка; B_c – базис фотографирования

Полученные при соблюдении перечисленных условий изображения переводятся в цифровой вид с помощью сканера, причем сканируется негативное изображение. Рекомендуемое разрешение цифрового изображения не менее 600 dpi.

Обработка микрофотоизображений на цифровой фотограмметрической станции состоит из следующих процессов:

– калибровка исходных растровых изображений для учета их геометрических и масштабных искажений по изображению тест-объекта;

– построение пространственной модели сфотографированных объектов (взаимное ориентирование левого и правого изображений и внешнее ориентирование модели по изображившимся точкам тест-объекта);

– измерение координат точек модели в стереоскопическом режиме (для одиночных снимков в монокулярном режиме), при необходимости интерактивная зарисовка границ объектов, изолинейное изображение пространственной формы.

2. Результаты экспериментальных исследований

На первом этапе выполнялась обработка одиночных изображений пыльцевых зерен различных культур по описанной методике. На рис. 3 представлены фрагменты цифровых изображений (с увеличением $100\times$) пыльцевых зерен пырея ползучего и сосны, на которых идентифицированы их границы для определения площади и периметра.

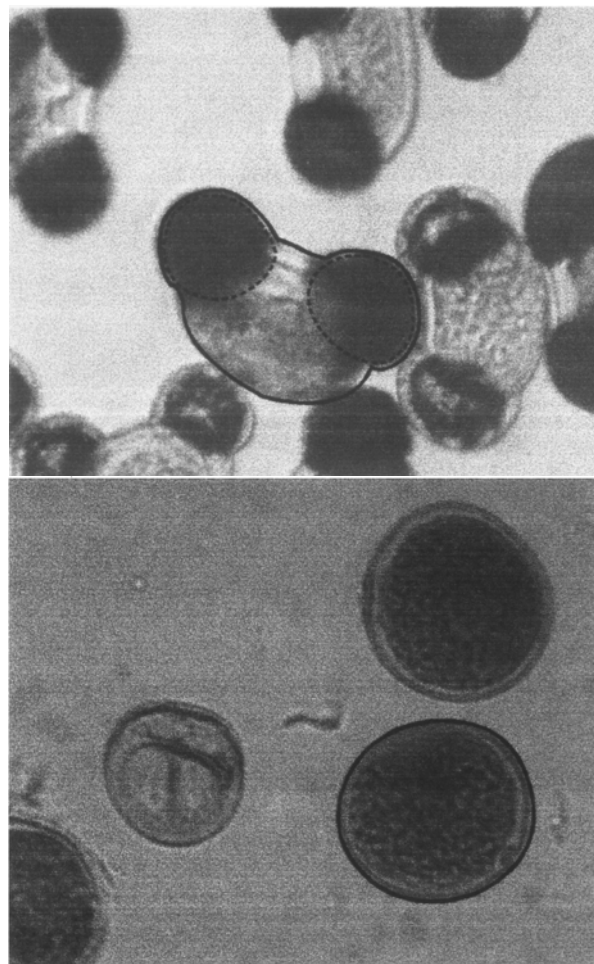


Рис. 3

Пыльца пырея ползучего – пример пыльцевых зерен наиболее простой (близкой к сферической) формы. Пыльцевые зерна ($i = 4$) сосны имеют сложную форму, и для ее количественного описания требуются более сложные процедуры. Зерно состоит из тела пыльцевого зерна ($i = 3$) и двух воздушных мешков ($i = 1, 2$). Контур пыльцевого зерна обведен сплошной линией, а воздушные мешки пунктиром. В табл. 1 приведены результаты измерения параметров пыльцевых зерен трех растений, форма пыльцы которых близка к сферической. В данном случае пыльцевые зерна указанных растений имеют форму плоских дисков, сечение которых аппроксимировано эллипсом. В этом случае периметр (P) и площадь (S) пыльцевых зерен выражаются через значения большой ($2a$) и малой ($2b$) осей следующими соотношениями:

$$2e = \frac{P}{2E(e)}, \quad 2a = \frac{4s}{2\pi d}, \quad (1)$$

где

$$e = \sin \alpha = \sqrt{(b^2 a^2) / b^2}, \quad (2)$$

$aE(e)$ – полный эллиптический интеграл.

Таблица 1

Характеристики пылевых зерен некоторых видов растений

Характеристика	Тимофеевка луговая		Пырей ползучий		Лиственница сибирская	
	P , мкм	S , мкм ²	P , мкм	S , мкм ²	P , мкм	S , мкм ²
Среднее значение	75,4	412	134	1430	249	4840
Среднее квадратическое отклонение	5,4	58	12,5	260	12	460
Число пылевых зерен	100		66		88	
Параметр R	0,6075		0,6362		0,63072	
$2b$, мкм	29		45		88	
$2a$, мкм	18		40		70	

Примечание. Параметр R рассчитан по формуле (3).

Из формулы (2) можно получить следующее соотношение между экспериментально определенными значениями P и S и величиной e :

$$R = f(e) = \frac{\sqrt[4]{1-e^2}}{E(e)} = \frac{4\sqrt{s/\pi}}{P}. \quad (3)$$

Значение функции от R приведено в табл. 2.

Объем эллипсоида вращения (V_i) можно найти по следующей формуле:

$$V_i = (2\pi b_i a_i^2) / 3, \quad i = 1, \dots, 4. \quad (4)$$

Диаметр эквивалентной сферы, т.е. сферической частицы, объем которой равен объему частицы несферической формы, дается следующим соотношением:

$$d_{ш}^{экр} = \sqrt[3]{3,2b_i(2a_i)^2}. \quad (5)$$

Из соотношения (5) получим $d_3^{экр} = 26$ мкм, $d_4^{экр} = 41$ мкм. В то же время объем ПЗ $V_4 = 2V_{1,2} + V_3$. Исходя из этого значения, для эквивалентного диаметра найдем значение $d_4^{экр} = 34$ мкм. Из экспериментальных данных [2] вес пылевых зерен сосны составляет $1,4 \cdot 10^{-8}$ г. Отсюда для объемного эквивалентного диаметра пылевых зерен сосны получим значение 30 мкм. Это значение

находится между значениями $d_3^{экр}$ и $d_4^{экр}$ и близко $d_4^{экр}$ (эквивалент рассчитан по весу пылевого зерна).

Второй этап исследований заключался в отработке методики получения стереоизображений пылевых зерен, по качеству удовлетворяющих требованиям фотограмметрической обработки. На основе проведенных экспериментов установлено, что оптимальным для исследуемых образцов будет одновременное освещение падающим и боковым проходящим светом, а величина базиса от 10 до 15 мм, что способствует достижению предельной разрешающей способности и проявлению текстуры поверхности пылевых зерен. Стереопары, полученные с учетом этих требований, обрабатывались на цифровой фотограмметрической станции по вышеуказанной методике.

Проведенные эксперименты подтверждают возможность наблюдения и измерения стереоскопической (объемной) модели пылевых зерен, на рис. 4 показано изображение пылицы лиственницы, размещенной на тест-объекте (расстояние между штрихами 100 мкм). В процессе фотограмметрической обработки при стереоскопическом наблюдении были проведены изолинии равных высот через 5 мкм, за исходную (нулевую) плоскость принята плоскость тест-объекта. Полученные изолинии отображают пространственную форму видимой части сфотографированных пылевых зерен. Такие данные позволили определить объем поверхности видимой части пылевых зерен, который составил $4,1 \cdot 10^{-8}$ и $4,3 \cdot 10^{-8}$ см³ для первого и второго зерна соответственно. Полученные результаты позволяют сделать выводы о возможных перспективах использования предлагаемого метода для оценки формы пылевого зерна. Ожидаемая точность в пределах 10%.

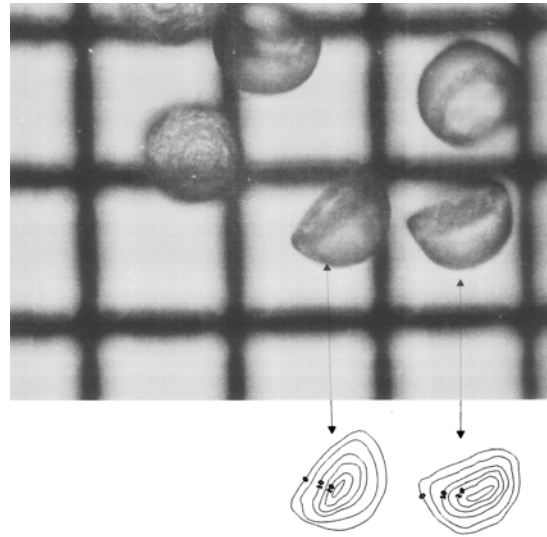


Рис. 4

Таблица 2

Функция $f(e)$

α , град	$f(e)$	α , град	$f(e)$	α , град	$f(e)$	α , град	$f(e)$
0	0,63662	25	0,63547	50	0,61441	75	0,47263
5	0,63662	30	0,63414	55	0,60169	80	0,39808
10	0,63659	35	0,63190	60	0,58385	85	0,29023
15	0,63646	40	0,62827	65	0,55859	90	0
20	0,63616	45	0,62261	70	0,52291		

Выводы

Таким образом, фотограмметрический метод обработки изображений пыльцевых зерен на базе цифровой фотограмметрической станции позволяет изучать морфометрию пыльцевых зерен различных культур. Применение тест-объекта и строгие математические алгоритмы обеспечивают возможность с необходимой детальностью и точностью выполнять выделение границ объектов любой конфигурации и

определять количественные характеристики выделенных объектов, такие как площадь, периметр, а при наличии стереоизображений также и пространственные характеристики.

1. Гук А.П., Коркин В.С., Самушкин В.А. и др. // Геодезия и картография. 1996. № 12. С. 39–48.
2. Головки В.В., Куценогий К.П., Киров Е.И., Истомин В.Л., Рыжиков В.А. // Оптика атмосферы и океана. 1998. Т. 11. № 6. С. 645–649.

V.V. Golovko, K.P. Koutsenogii, E.I. Kirov, L.K. Trubina, A.P. Guk. The use of photogrammetry to determine the characteristics of pollen grains.

A method is proposed for studying the morphometry of pollen grains by the photos obtained using a microscope with the help of digital photogrammetric station. The photogrammetric method in processing digital images can be used to determine the parameters characterizing a spatial form of pollen grains, which is important for estimating their aerodynamic properties.