

Определение объема и плотности пыльцевых зерен анемофильных растений, произрастающих в Новосибирской области

В.В. Головки¹, **К.П. Куценогий¹**, В.Л. Истомин^{2*}

¹Институт химической кинетики и горения им. В.В. Воеводского СО РАН
630090, г. Новосибирск, ул. Институтская, 3

²Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН
630090, г. Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 15

Поступила в редакцию 23.01.2014 г.

Произведена оценка изменения объема пыльцевых зерен в процессе высыхания. Определены объем и плотность пыльцы растений, доминирующих в экосистемах Западной Сибири.

Ключевые слова: пыльца, объем, масса, плотность, конфокальная сканирующая микроскопия; pollen, volume, mass, density, confocal scanning microscopy.

Введение

Решение ряда задач аэробологии (построение моделей переноса пыльцы в атмосфере, оценка количества переносимого пыльцой вещества и др.) тесно связано с определением величины объема и плотности пыльцевых зерен.

Размеры пыльцевых зерен растений отчетливо различаются (от 2–5 до 250 мкм), причем в атмосфере преобладает пыльца анемофильных видов средних размеров (20–50 мкм). Зерна пыльцы бывают сфероидальной, сплюсненно-сфероидальной, эллипсоидальной, ромбоидальной, тетраэдральной, гексагональной либо иной формы. У ряда хвойных растений пыльцевые зерна имеют сложную форму из-за наличия у них воздушных мешков [1].

Имеющиеся в литературе данные описывают преимущественно линейные размеры пыльцевых зерен, обработанных ацетоллизным или каким-либо иным методом, — фактически только оболочек пыльцевых зерен, лишенных содержимого. При обработке проб пыльцы различными методами возможны изменения линейных размеров пыльцевых зерен, иногда довольно значительные [2]. Отмечены наличие в пробах пыльцы большого количества деформированных зерен и различия размеров пыльцы разных популяций одного вида [1]. Поступая в атмосферу, пыльцевые зерна высыхают, что приводит к изменению их объема, плотности и массы. При этом даже исходно сферические пыльцевые зерна либо сморщиваются (рис. 1), либо, что

существенно реже, при потере воды содержимое оболочки сжимается и внутри зерен остаются большие воздушные пространства. Количественное описание формы пыльцевых зерен, находящихся в атмосфере во взвешенном состоянии, необходимое для оценки их аэродинамических характеристик, скудно или отсутствует.

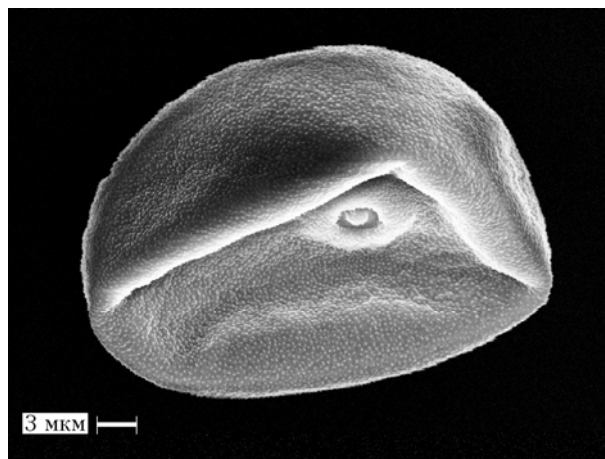


Рис. 1. Сухое пыльцевое зерно двуклесточника тростникового

В связи с этим в настоящей статье представлены результаты экспериментальных исследований изменения формы пыльцевых зерен в процессе высыхания методом конфокальной сканирующей лазерной микроскопии, а также определения величины объема и плотности пыльцы березы бородавчатой, клена ясенелистного, двуклесточника тростникового, тимофеевки луговой, сосны обыкновенной, лиственницы сибирской — растений, доминирующих в экосистемах Западной Сибири.

* Владимир Викторович Головки (golovko@ns.kinetics.nsc.ru); **Константин Петрович Куценогий**; Вячеслав Лазаревич Истомин (impuls@hydro.nsc.ru).

Материалы и методы

Определение геометрических характеристик пылевых зерен методом конфокальной сканирующей микроскопии проводилось в Институте цитологии и генетики СО РАН с помощью лазерного сканирующего микроскопа (ЛСМ) LSM 510 META.

Одной из главных особенностей конструкции данного ЛСМ является конфокальная апертура, расположенная в одной плоскости с сопряженным промежуточным изображением предметной плоскости микроскопа. В ходе конфокальной сканирующей лазерной микроскопии исследуемые образцы поточечно облучаются сфокусированным лучом лазера и флуоресценция облученных частей объекта измеряется точка за точкой. Свет от объекта фокусируется в плоскости сопряженного изображения на точечном отверстии объектива. Освещенная точка объекта и наблюдаемая точка изображения расположены конфокально.

Детектор (ФЭУ) может измерять только свет, прошедший через апертуру. Свет, идущий от плоскостей ниже и выше фокальной, не сфокусирован в момент прохождения апертуры, так что большая часть его не может пройти через это отверстие и потому не вносит вклад в формирование изображения. Для получения информации об образце в целом лазерным лучом проводится сканирование через всю поверхность образца. Координированием точного фокуса микроскопа с построением изображения получают трехмерные серии данных. Путем их компьютерной обработки определяют различные размерные характеристики объекта.

В ходе работы была использована способность пылевых зерен автофлуоресцировать при облучении на различных длинах волн. Условия сканирования (оптимальной длины волны возбуждающего излучения, шаг сканирования, масштаб сканирования) для каждого типа пылевых зерен подбирались индивидуально. Исследование формы гидратированных пылевых зерен производилось на образцах, помещенных в глицерин-желатиновую среду, а воздушносухих пылевых частиц – на образцах, при определенной влажности воздуха помещенных в иммерсионное масло Immersol 518 F.

Результаты и обсуждение

Для оценки изменения величины объема пылевых зерен в процессе высыхания были исследованы полностью гидратированные и воздушносухие пылевые зерна березы бородавчатой и клена ясенелистного. Было проведено 30 измерений. Результаты представлены в табл. 1.

Из табл. 1 видно, что в процессе высыхания пыльца растений теряет 40–50% исходного объема. Значительные изменения объема неизбежно вызывают изменение плотности и массы пылевых зерен. Данные характеристики пылевых частиц, как правило, определяются экспериментально.

Массу пылевых зерен определяли с помощью экспериментальной установки для распыления по-

рошкообразных материалов, разработанной в лаборатории Института гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН. Схема данной установки и принцип ее работы приводились нами ранее [3]. Найденные среднегеометрические значения массы индивидуальных пылевых зерен даны в табл. 2.

Таблица 1
Среднегеометрические значения объемов влажных и сухих пылевых зерен древесных растений

Таксон	Объем сухого (V_c) пылевого зерна, $\cdot 10^3$ мкм ³ (влажность 60%)	Объем гидратированного (V_r) пылевого зерна, $\cdot 10^3$ мкм ³ (влажность 100%)	V_c/V_r , %
Береза бородавчатая	2,5	5,3	47,2
Клен ясенелистный	7,6	12,6	60,3

Таблица 2
Объем, масса и вычисленная по ним плотность пылевых зерен растений, доминирующих в экосистемах Западной Сибири

Таксон	Объем, $\cdot 10^3$ мкм ³	Масса, нг	Плотность, г/см ³
Ива пятитычинковая (пыльцевое зерно)	2,5	2,5	1,0
Береза бородавчатая (пыльцевое зерно)	2,5	2,8	1,1
Осина обыкновенная (пыльцевое зерно)	4,0	4,0	1,0
Клен ясенелистный (пыльцевое зерно)	7,6	8,3	1,1
Дуб черешчатый (пыльцевое зерно)	8,2	8,2	1,0
Двукосточник тростниковый (пыльцевое зерно)	11,1	9,2	0,8
Ежа сборная (пыльцевое зерно)	10,0	9,9	1,0
Тимофеевка луговая (пыльцевое зерно)	11,8	15,7	1,3
Пырей ползучий (пыльцевое зерно)	20,9	22,3	1,1
Лиственница сибирская (пыльцевое зерно)	141,4	159,0	1,1
Сосна обыкновенная (тело пылевого зерна)	17,5	14,5	0,8
Сосна обыкновенная (пыльцевое зерно с воздушным мешками)	38,0	14,5	0,4

В настоящее время определены массы пылевых зерен около 120 видов растений, преимущественно древесных, произрастающих в Европе и Северной Америке. Пыльца растений других регионов изучена значительно хуже. В ходе данного исследования была установлена масса пылевых зерен ряда растений, произрастающих в Сибири.

Исследованные пыльцевые зерна растений по особенностям своего строения можно разделить на две группы. Если воздушносухая пыльца березы бородавчатой, клена ясенелистного, двуклесточника тростникового, тимофеевки луговой, лиственницы сибирской представлена частицами неправильной формы, не содержащими полостей, то пыльцевые зерна сосны обыкновенной снабжены парой воздушных мешков (рис. 2). Фотография трех проекций пыльцевого зерна сделана с помощью ЛСМ.

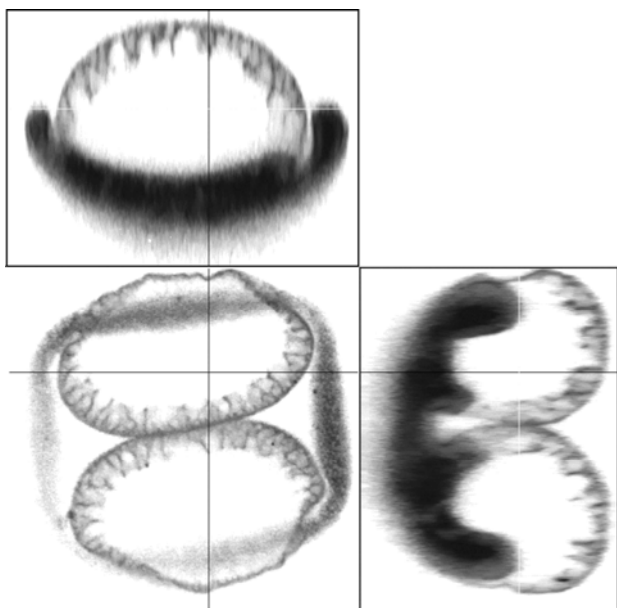


Рис. 2. Сухое пыльцевое зерно сосны обыкновенной с воздушными мешками

При освещении возбуждающим излучением объекта, некоторые части которого не флуоресцируют, на оптических срезах Z-серии появятся незакрашенные участки, а в его трехмерной модели – незаполненные, занимающие определенную долю объема объекта. Имеющееся программное обеспечение позволяет вычислить размерные характеристики как объекта в целом, так и его полых участков. Таким образом, в отличие от использовавшегося ранее метода определения геометрических характеристик частиц путем фотограмметрической обработки их изображений лазерная сканирующая конфокальная микроскопия дает возможность установить не только размеры пыльцевых зерен в целом, но и величины объемов отдельных внутренних частей пыльцевого зерна.

В табл. 2 приводятся характеристики пыльцевых зерен исследованных видов растений в целом, а также воздушных мешков и тел пыльцевых зерен сосны обыкновенной.

Вычисленные по данным экспериментальных исследований значения плотности пыльцевых зерен близки к значениям плотности спор грибов и других компонентов аэропланктона [4].

Из табл. 2 видно, что плотность пыльцевых зерен растений, не содержащих воздушных полостей, составляет в среднем $1,0 \text{ г/см}^3$. Плотность тела пыльцевого зерна сосны близка к данному значению. Вместе с тем плотность пыльцевого зерна сосны в целом более чем в 2 раза ниже. Такое снижение плотности пыльцевого зерна воздушными мешками является приспособлением к переносу пыльцы ветром. Именно благодаря низкой удельной плотности пыльцевые зерна сосны способны переноситься за тысячи километров [5].

Заключение

1. Оценено изменение объема пыльцевых зерен в процессе высыхания. Показано, что их объем уменьшается практически вдвое.

2. Рассчитаны объем, масса и плотность пыльцевых зерен растений, доминирующих в экосистемах Западной Сибири.

3. Показана возможность определения данных характеристик не только пыльцевого зерна в целом, но и его отдельных частей.

4. Предложенная методика пригодна для расчета объема и плотности других частиц аэропланктона.

В работе использовалось оборудование центра коллективного пользования микроскопического анализа биологических объектов СО РАН.

1. *Куприянова Л.А., Алешина Л.А.* Пыльца и споры двудольных растений флоры европейской части СССР. Л.: Наука, 1978. Т. 1. 174 с.
2. *Федорова Р.В.* Некоторые особенности морфологии пыльцы культурных злаков // АН СССР. Труды института географии. Материалы по геоморфологии и палеогеографии СССР. Работы по спорово-пыльцевому анализу. 1959. Вып. 77. С. 166–189.
3. *Головко В.В., Куценогий К.П., Истомин В.Л.* Определение скорости седиментации одиночных пыльцевых зерен и агломератов растений – доминант лесных экосистем Западной Сибири // Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология / Ред. А.П. Гук, И.Г. Журкин, Б.Г. Михайленко, Ю.В. Деметьев, А.В. Комиссаров: Труды VI Междунар. выставки и Научного конгресса ГЕО-СИБИРЬ-2010 (19–29 апреля 2010, Новосибирск). Т. 4, ч. 2. Новосибирск: Изд-во СГГА, 2010. С. 59–62.
4. *Грегори Ф.* Микробиология атмосферы / Пер. с англ. Г.С. Муромцева. М.: Мир, 1964. 372 с.
5. *Кабайлене М.В.* О дальности и количестве переноса пыльцы и особенностях периодизации пыльцевых диаграмм // Проблемы периодизации плейстоцена (Материалы симпозиума «Периодизация и геохронология плейстоцена». Л., ноябрь, 1970). Л., 1971. С. 105–114.

V.V. Golovko, K.P. Kutsenogii, V.L. Istomin. **Determination of volume and density of pollen grains of anemophyte plants in Novosibirsk region.**

The change in the volume of pollen grains upon drying was estimated. The volume and density of the pollen grains of the dominating ecosystems of West Siberia were determined.