

Б.Д. Белан, В.К. Ковалевский, А.И. Щербатов

ОПЫТ ИЗМЕРЕНИЯ МЕЛКОДИСПЕРСНОЙ ФРАКЦИИ АЭРОЗОЛЯ С БОРТА САМОЛЕТА-ЛАБОРАТОРИИ С ПОМОЩЬЮ ДИФФУЗИОННОЙ БАТАРЕИ

Рассматриваются особенности применения диффузионного спектрометра аэрозоля на борту самолета-лаборатории. Анализируются его достоинства и недостатки. Сделан вывод о целесообразности разработки ДСА, основанного на параллельном принципе измерения спектров частиц аэрозоля.

Как известно, одним из основных компонентов атмосферы, ослабляющих распространяющееся в атмосфере оптическое излучение, является аэрозоль [1]. Коэффициенты же аэрозольного ослабления весьма существенно зависят от размеров, химического состава и концентрации частиц, которые подвержены большой изменчивости во времени и пространстве. Поэтому для количественной оценки аэрозольного ослабления необходимы достоверные данные о всех основных характеристиках атмосферного аэрозоля. Однако при микрофизическом моделировании оптических свойств аэрозоля возникают проблемы, связанные с недостаточным объемом сведений о распределении частиц в области менее 0,1 мкм [2], что обусловлено трудностью проведения измерений таких частиц. В большинстве случаев микрофизическое моделирование опирается на спектры аэрозольных частиц, измеренных с помощью фотоэлектрических счетчиков ($r \geq 0.2$ мкм), а мелкодисперсная фракция аппроксимируется какой-нибудь функцией распределения [3]. При таком подходе рассчитанные и измеренные оптические характеристики аэрозоля зачастую отличаются на порядок и более [4]. Поэтому задача прямого измерения мелкодисперсной фракции аэрозоля ($r \leq 0,1$ мкм) по-прежнему остается актуальной.

Вопросы измерения микрофизических свойств аэрозоля достаточно подробно изложены в [5], где отмечается, в частности, что для измерения мелкодисперсной фракции наиболее эффективны диффузионные батареи и электростатические анализаторы частиц. Сравнение этих методов, проведенное в [6], показывает удовлетворительное согласие получаемых данных.

Проблема измерения полного спектра распределения частиц аэрозоля по размерам появилась с момента организации самолета-лаборатории ИОА СО РАН, поскольку на нем был установлен только фотоэлектрический счетчик, регистрировавший частицы с радиусом более 0,2 мкм [7]. Это не позволяло проводить корректное сопоставление расчетных и измеренных параметров оптических свойств аэрозоля [4]. Для расширения диапазона регистрации размера частиц в меньшую сторону в 1991 году на самолете-лаборатории был установлен диффузионный спектрометр аэрозоля (ДСА), разработанный и изготовленный в ИХКГ СО РАН, позволяющий измерять распределение частиц аэрозоля по размерам в интервале $r = 3 \div 200$ нм в восьми каналах.

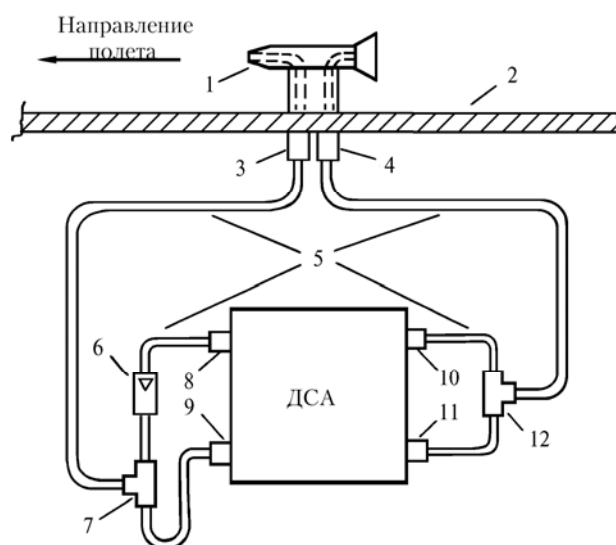


Рис. 1. Схема забора воздуха для диффузионного спектрометра аэрозоля: 1 – заборное устройство; 2 – борт самолета; 3 – входной штуцер; 4 – выходной штуцер; 5 – гибкие трубки; 6 – ротаметр; 7, 12 – тройники; 8 – входной патрубок ДБ; 9 – входной патрубок КУСТА; 10 – выходной патрубок ДБ; 11 – выходной патрубок ФСЧ

Определение размеров аэрозольных частиц при помощи ДСА основано на зависимости скорости осаждения аэрозоля на сетках от размера частиц. По измерению количества частиц аэрозоля при прохождении различного количества сеток можно судить об их размерах. Обычно измеряется так называемый «проскок»: отношение числа частиц, прошедших через заданное число сеток, к числу частиц во входном потоке [8]. Далее решается обратная задача. По полученным отсчетам строится дифференциальная функция распределения частиц [9].

ДСА состоит из диффузионной батареи (ДБ) сетчатого типа, содержащей 8 последовательно соединенных секций, каждая из которых имеет пакет сеток и выходной патрубков, снабженный электроуправляемым клапаном; конденсационного укрупнителя (КУСТ); фотоэлектрического счетчика частиц (ФСЧ). Комплекс этих устройств собран в крейте КАМАК и соединен через коммутатор с ЭВМ типа IBM PC. Работа ДСА организована следующим образом. В момент времени t_1 открывается клапан на восьмой секции ДБ. Исследуемый воздух проходит через все 8 секций, КУСТ, ФСЧ. В момент t_2 клапан на восьмой секции закрывается, а на седьмой открывается. В этом случае воздух проходит через 7 секций, КУСТ, ФСЧ. Такой процесс продолжается до момента t_8 , когда воздух проходит только через первую секцию, в которой сеток нет и, следовательно, ФСЧ регистрирует частицы, находящиеся во входном исследуемом воздухе.

Настоящая статья посвящена опыту эксплуатации ДСА на самолете-лаборатории, так как при его разработке и изготовлении особенности работы в полетных условиях не учитывались.

Заборник воздуха для ДСА был установлен в носовой части самолета, как показано на рис. 1. Расход воздуха через спектрометр обеспечивался за счет диффузора, создающего разрежение на выходе из системы. Условие изокINETичности обеспечивалось за счет подбора входной заборной трубки. Как было показано ранее, при таком подходе из системы исключается насос как ненужное звено, а условие изокINETичности сохраняется при изменении высоты полета и скорости самолета [7, 10].

Исследуемый воздух подается на ДСЛ через заборное устройство 1 (рис. 1). Входной штуцер 3 заборного устройства 1 соединяется с тройником 7 гибкой трубкой 5. Наружный воздух разделяется тройником 7. Один поток поступает на вход 9 КУСТА, а другой — на вход 8 ДБ. Так как гидравлические сопротивления ДБ и КУСТА разные, а надо получить равные значения объемных скоростей воздуха (60 л/час) в каждой магистрали, то в магистрали ДБ пришлось установить дополнительный ротаметр 6 для выравнивания расходов. После анализа исследуемого аэрозоля отработанный воздух через выходные каналы 10 и 11, тройник 12, выходной штуцер 4 и диффузор заборника выбрасывается за борт самолета.

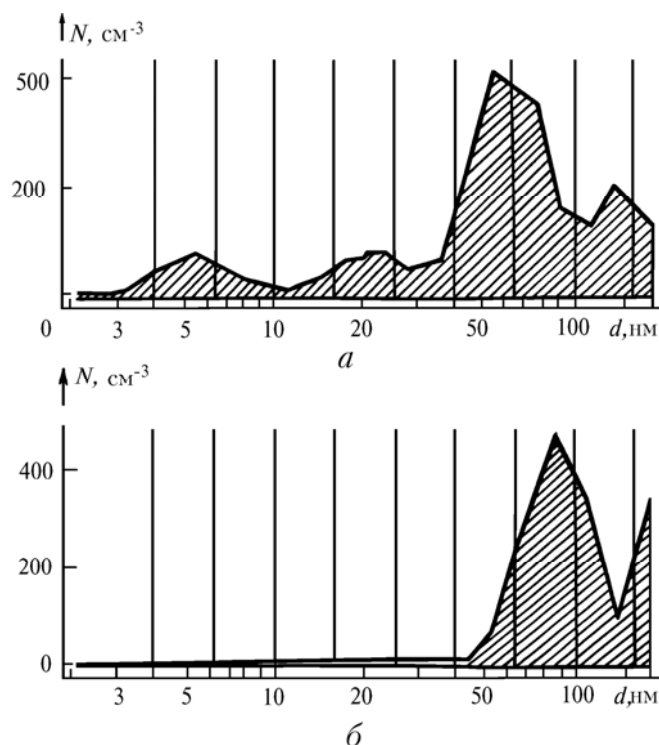


Рис. 2. Распределения частиц аэрозоля по размерам над оз. Байкал: *a* — на высоте 600; *б* — на высоте 3000 м

Самолет-лаборатория Ан-30 «Оптик-Э», на котором производились эксперименты, имеет герметичный салон. Это приводит к тому, что разница давлений в салоне и за бортом может достигать 0,5 атмосферы. Так как внутри ДСА проходит заборный воздух, то такой же перепад давлений будет действовать и на элементы комплекса.

Следующая проблема, которая возникла при запуске ДСА, заключалась в наличии микроотверстий в магистралях и узлах комплекса, что приводило к проникновению аэрозоля из салона в прибор. Ее решение заключалось в дополнительной герметизации всего воздушного тракта от входной трубки до выходного диффузора. После балансировки воздушных потоков внутри ДСА и устранения микроотечей начались регулярные измерения мелкодисперсной фракции аэрозоля. На рис. 2, а, б приведены результаты измерений распределения частиц аэрозоля по спектру, выполненные в сентябре 1991 года над оз. Байкал на высоте соответственно 600 и 3000 м над подстилающей поверхностью.

Из рис. 2 видно, что в пограничном слое (600 м) присутствуют частицы самых мелких размеров (3–30 нм); на высоте 3000 м частицы в данном интервале не наблюдаются. Это отражает удаленность второго уровня от источника (подстилающей поверхности), где не происходит испарения аэрозолеобразующих газов и, соответственно, не идет образования микрочастиц из них. Это вполне соответствует теории аэрозолеобразования, изложенной в [11, 12], а также данным измерений с помощью электростатистических анализаторов, представленным в [13, 14].

В ходе полетов выявился один существенный недостаток применения ДСА такого вида на самолете. Он обусловлен конструктивными особенностями спектрометра, а именно последовательным режимом его работы. При измерениях в районах с неоднородным горизонтальным распределением аэрозоля ДСА исчезает воспроизводимость результатов на одной и той же высоте.

На наш взгляд, это происходит потому, что при последовательном определении спектра распределения частиц на измерение полного спектра уходит около 5 минут. За это время самолет проходит в режиме измерений 22–28 км, что в условиях неоднородного распределения аэрозоля, например, над промышленным центром, на каждом канале внесет свой вклад в полный спектр. При интерпретации таких данных возникает вопрос: являются ли выделенные моды следствием развития атмосферных процессов или это результат вхождения самолета в аэрозольную неоднородность или «шлейф» предприятия.

По-видимому, наиболее оптимальным решением данного вопроса является разработка такого варианта ДСА, когда опрос всех восьми секций ДБ осуществлялся бы синхронно. При этом все секции ДБ должны прокачиваться исследуемым воздухом параллельно. Подобная задача решалась нами ранее при запуске на самолете-лаборатории фотоэлектрического счетчика и дала отличные результаты [7, 15].

В заключение отметим, что расширение диапазона измерения размеров частиц аэрозоля с борта самолета-лаборатории вместе с синхронным измерением субмикронной и грубодисперсной фракций качественно меняют характер представления о микрофизических свойствах и существенно расширяют возможности всего самолетного комплекса.

1. Зуев В. Е. Распространение видимых и инфракрасных волн в атмосфере. М.: Советское радио, 1970. 496 с.
2. Ивлев Л. С., Андреев С. Д. Оптические свойства атмосферных аэрозолей. Л.: ЛГУ, 1986. 360 с.
3. Кабанов М. В., Панченко М. В. Рассеяние оптических волн дисперсными средами. Часть III. Атмосферный аэрозоль. Томск: ТНЦ СО АН СССР, 1984. 189 с.
4. Белан Б. Д., Задде Г. О., Креков Г. М. и др. //Оптико-метеорологические исследования земной атмосферы. Новосибирск: Наука, 1987. С. 42–53.
5. Aerosol measurement /Ed. D.A. Lundgren. A. University of Florida Book. Gainesville, 1979. 718 p.
6. Reischl G. P., Majerowicz A., Ankilow A. et al. //J. Aerosol Sci. 1991. V. 22. № 2. P. 223–228.
7. Белан Б. Д. //Аппаратура дистанционного зондирования параметров атмосферы Томск: ТФ СО АН СССР, 1987. С. 34–40.
8. Мавлиев Р. А., Анкилов А. Н., Бакланов А. М. и др. //Коллоидный журнал. 1984. Т. 46. № 6. С. 1136–1141.
9. Мавлиев Р. А., Анкилов А. Н. //Коллоидный журнал. 1985. Т. 47. № 3. С. 523–530.
10. Назаров Л. Е. //Труды ИЭМ. 1985. Вып 9 (124). С. 76–81.
11. Розенберг Г. В., Любовцева Ю. С., Горчаков Г. И. //Изв. АН СССР. Сер. ФАО. 1982. Т. 18. № 8. С. 822–839.
12. Розенберг Г. В. //Изв. АН СССР. Сер. ФАО. 1983. Т. 19. № 1. С. 21–35.
13. Norpel W. A., Frick G. M., Larson R. E. //Geophys. Res. Lett. 1986. V. 13. № 2. P. 125–128.
14. Гиргджис А. Ю., Улявичюс В. А., Юозайтис А. А. //Физика атмосферы (Вильнюс). 1988. № 12. С. 112–120.
15. Ковалевский В. К., Толмачев Г. Н. //Аппаратура дистанционного зондирования параметров атмосферы. Томск: ТФ СО АН СССР. 1987. С. 53–59.

Институт оптики атмосферы СО РАН,
Томск

Поступила в редакцию
22 мая 1992 г.

B. D. Belan, V. K. Kovalevskii, A. I. Shcherbatov. An Experience of Measuring the Fine Aerosol Fraction with an Airborne Diffusion Battery.

Some peculiarities of using the diffusion aerosol spectrometer on board of an aircraft are discussed. Advantages and drawbacks of the spectrometer are analyzed. A conclusion is drawn of the necessity to develop a diffusion aerosol spectrometer based on parallel measurements of the aerosol particles size spectra.