

АППАРАТУРА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ И МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЙ

УДК 535.2422

В.Н. Глушко, Л.Д. Караяниди, Г.Ш. Лившиц

АППАРАТУРА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПОГЛОЩЕНИЯ ИЗЛУЧЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ ФОТОМЕТРИЧЕСКОГО ШАРА

Дан обзор способов и устройств, предназначенных для определения показателей поглощения аэрозолей на основе применения фотометрического шара. Подробно описано новое устройство, где применена система световодов. Приведен пример использования исследований поглощения для получения данных о загрязнении приземного слоя городской атмосферы в различные сезоны.

В данной статье рассмотрена аппаратура для измерений с использованием фотометрического шара важнейшей оптической характеристики аэрозолей — поглощения светового излучения.

Определение показателя поглощения k возможно с помощью независимого определения показателей ослабления a и рассеяния σ , связанных соотношением

$$a = \sigma + k.$$

При этом a определяется по известной формуле Бугера, связывающей показатель ослабления, падающий на слой вещества толщиной l , поток излучения Φ_0 и прошедший сквозь этот слой поток Φ :

$$\Phi = \Phi_0 e^{-al} = \Phi_0 e^{-\tau},$$

где $\tau = al$ — оптическая толщина поглощающего слоя. Показатель рассеяния σ чаще всего определяют на установках нефелометрического типа, подробно описанных в [1]. Найти показатель k с приемлемой точностью удастся лишь в случае, когда поглощение среды достаточно велико.

Для повышения чувствительности и точности измерений используется фотометрический шар, покрытый изнутри диффузно рассеивающим излучение веществом с высоким альбедо и имеющий отверстия для светового потока. Размеры отверстий должны составлять возможно меньшую долю площади поверхности шара.

Одна из первых работ по определению величины удельного поглощения с помощью фотометрического шара ([2]) заключалась в измерении прозрачности p исследуемого слоя вещества

$$p = \frac{\Phi}{\Phi_0} = e^{-\tau},$$

характеризующей ослабление света вследствие рассеяния и поглощения, а затем в измерении прозрачности, обусловленной только поглощением p_n , осуществляя попадание рассеянного света в приемник после его многократного отражения от стенок шара.

Такой способ разделения оптических толщ реализован в фотометрической установке, схематически изображенной на рис. 1. Внутренняя поверхность шара, состоящего из двух половин 1 и 2, покрыта окисью магния. Световой поток вводится по трубке 3, на торце которой помещено молочно-матовое стекло 4, также покрытое окисью магния. На трубку 3 надевается стеклянный полусферический баллон 5, на поверхность которого нанесен исследуемый аэрозоль. Многократно рассеянный внутри шара свет попадает в фотоумножитель 6 типа ФЭУ-51, расположенный в трубке 7, торец которой совпадает с поверхностью шара и закрыт молочно-матовым стеклом 8, покрытым окисью магния. Перед фотоумножителем помещаются сменные интерференционные фильтры 9 на длине волн в максимуме пропускания $\lambda = 405, 496, 556, 696$ нм, шириной пропускания 10–12 нм. Для измерений в ближней ИК-области спектра использовался ФЭУ-62 ($\lambda_{эф} = 977$ нм) и фильтр ИКС-2. В верхней части шара от осветителя 11 через трубку 10 может подаваться дополнительный световой поток.

Помещая баллон 5 над трубкой 10, получают фотометрические отсчеты J_0 и J соответственно без аэрозоля и с аэрозолем, по которым рассчитывают полную оптическую толщу ослабления τ , затем баллон 5 помещают на трубку 3 последовательно без аэрозоля и с аэрозолем, получают отсчеты J'_0 и J' , по которым рассчитывают оптическую толщину поглощения τ_n . В этом случае перераспределение светового потока при рассеянии на аэрозольных частицах не изменяет яркости стенок шара. Изменение яркости может произойти только вследствие чистого поглощения. Таким образом, отсчеты J' и J'_0 должны быть практически одинаковыми, если частицы аэрозоля не поглощают света. Это подтвердилось на опыте с непоглощающими частицами (белый порошок пластмассы АСТ-4).

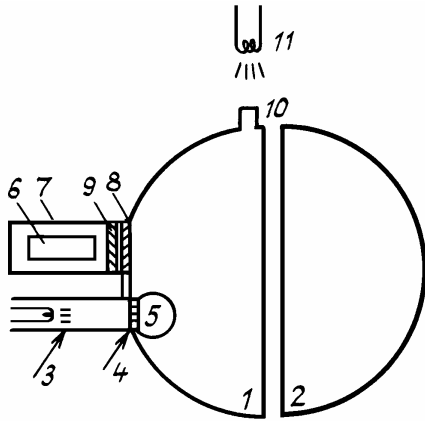


Рис. 1. Устройство для исследования поглощения света с прозрачным баллоном, напыляемым исследуемым аэрозолем [2]

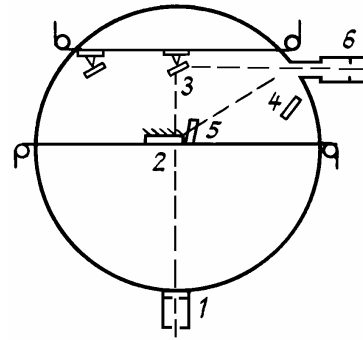


Рис. 2. Установка для исследования поглощения с прозрачной пластиной в центре шара [3]

Существенным при вычислении τ_n по данным измерений J' и J'_0 является учет поглощения лучей в исследуемом образце аэрозоля при их многократном отражении от стенок шара. Значение $\tau_n = -\ln p_n$ может быть рассчитано, если известно отношение J'/J'_0 , исходя из следующих соображений. Поскольку размеры поверхности торцов светопроводящих трубок малы по сравнению с поверхностью шара, в расчетах следует учитывать только поглощение на его стенках. Если ρ — альbedo стенок шара, то при поступлении в шар потока в случае отсутствия аэрозолей (баллон без пыли) яркость стенок выразится рядом $B\rho + B\rho^2 + \dots + B\rho^n$, представляющим геометрическую прогрессию. При $n \rightarrow \infty$ его сумма равна

$$J'_0 = B\rho/(1 - \rho). \quad (1)$$

Здесь B — яркость стенок при однократном отражении для идеального шара ($\rho = 1$). Яркость при первом акте отражения (шара) с альbedo ρ есть $B\rho$. При вторичном отражении она равна $B\rho^2$, в третьем порядке — $B\rho^3$ и т. д.

Аналогичен расчет для случая, когда на осветитель помещен баллон с аэрозолем. При этом вместо $B\rho$ следует записать $B\rho p_n$, ибо свет ослабится при первом акте на величину, определяемую показателем чистого поглощения. Во втором акте отражения при расчете яркости «второго порядка» следует учесть, что падающий на некоторый элемент поверхности шара поток от всей сферы частично проходит через баллон с аэрозолем. Если поместить баллон в центре, чтобы он был виден из любой точки сферы под телесным углом $\Delta\omega$, то доля общего светового потока, падающего на элемент площадки, ΔS после поглощения при многократном рассеянии составит $\frac{\Delta\omega}{\pi}$, ибо освещенность элемента площадки всем потоком равна $\pi B\rho p_n$, а потоком, прошедшим через баллон, — $\Delta\omega B\rho p_n$. Отсюда вторичная яркость равна

$$B\rho^2 p_n \left[\left(1 - \frac{\Delta\omega}{\pi} \right) + \frac{\Delta\omega}{\pi} p_n^2 \right],$$

так как свет дважды проходит через стенки баллона. Общий множитель p_n остается без изменения, потому что он отражает первый акт — прохождение всего (а не части) первичного потока через стенку баллона. Отметим, что первый акт рассеяния при больших значениях p_n играет более существенную роль.

При третьем акте для яркости «третьего порядка» имеем и т. д.

$$B\rho^3 p_n \left[\left(1 - \frac{\Delta\omega}{\pi} \right) + \frac{\Delta\omega}{\pi} p_n^2 \right]^2$$

Найдя предел ряда, получим

$$J' = \frac{B\rho p_n}{1 - \rho \left[\left(1 - \frac{\Delta\omega}{\pi} \right) + \frac{\Delta\omega}{\pi} p_n^2 \right]}. \quad (2)$$

Из формул (1) и (2) имеем

$$\frac{J'}{J_0} = \frac{\rho_n (1 - \rho)}{1 - \rho \left[\left(1 - \frac{\Delta\omega}{\pi} \right) + \frac{\Delta\omega}{\pi} \rho_n^2 \right]} \quad (3)$$

Применяемый баллон является полусферическим с диффузным дном, через которое поступает основной поток. При многократном отражении от стенок шара часть лучей проходит через стенку баллона. Это не должно внести большого отклонения от расчетов, выполненных в предположении, что баллон является сферическим и дважды пронизывается лучами, отраженными от стенок шара без дополнительного рассеяния от диффузного основания баллона. Расчеты остаются справедливыми даже в случае, когда баллон помещен не в центре шара.

Небольшая часть потока в первичном акте рассеивается аэрозодем назад, а затем, отражаясь от диффузного дна, на котором укреплен баллон, вновь рассеивается аэрозодем. Определенная часть потока проходит через аэрозоль в наклонных направлениях. Поэтому определяемые предлагаемым способом значения τ_n несколько завышены и, следовательно, дают некоторый верхний предел влияния чистого поглощения. Поскольку световые потоки проходят через слой аэрозоля в самых различных направлениях, можно полагать, что определяемая по формуле (3) оптическая толщина τ_n характеризует не вертикальное, а некоторое среднее наклонное направление поглощающего слоя. Поэтому полученные значения τ_n следует разделить на определенный коэффициент и, таким образом, привести их к вертикальным направлениям. Исходя из размеров баллона и толщины слоя аэрозоля, можно найти среднее значение оптического пути l пучка, проходящего через полусферический слой аэрозолей.

Более совершенным является метод, используемый в [3], причем все необходимые расчеты можно проводить по формуле (3), которая, как указывалось выше, пригодна и в тех случаях, когда исследуемый аэрозоль помещен в центре.

Установка (рис. 2) для измерения коэффициентов ослабления и поглощения света аэрозодем, осажденным на подложку, выполнена в виде разъемных полусфер диаметром 340 мм. Изнутри сфера покрыта глубоко-матовой белой эмалью АК-512 с высоким альбедо в области спектра 0,4–2,4 мкм. Приемниками излучения служат ФЭУ-51 в области 0,4–0,8 мкм и фоторезистор PbS в области 0,8–2,4 мкм. Ограничение входящего пучка света осуществляется ирисовой диафрагмой. За ней по ходу луча света находится кассета с 12-ю интерференционными светофильтрами на область спектра 0,4–2,4 мкм. Для измерений оптической толщины ослабления выходное окно закрывается диафрагмой и параллельный пучок света, прошедший через подложку 2 с образцом аэрозоля, направляется в выходное окно зеркалом 3, устанавливаемым позади образца. При измерениях оптической толщины поглощения слабо сходящийся пучок света проходит через подложку с образцом и после многократного отражения создает некоторую освещенность стенок сферы, которая измеряется приемником 6 через молочноматовое стекло МС-20. Измерения проводятся последовательно для чистой подложки и подложки с образцом аэрозоля, для чего образец наносится на половину подложки и она перемещается по тонким стальным направляющим. При измерениях освещенности сферы приемник заслоняется экраном 5 от непосредственного попадания света, рассеянного аэрозодем.

В работе [4] фотометрический шар использован для определения показателя поглощения аэрозольных частиц косвенным методом путем измерения комплексной части показателя преломления вещества, составляющего исследуемый аэрозоль (рис. 3). С этой целью в фотометрический шар помещался сплошной слой вещества. Свет от ксеноновой лампы 1, собранный сферическим отражателем 2, проходит через светофильтр (изображен черным прямоугольником) и через конденсор 3 в виде параллельного пучка 4 направляется на образец аэрозоля 5, нанесенного на подложку в виде тонкого сплошного слоя. Образец помещается в центре фотометрического шара 6. Фотоумножителем 7, закрытым экраном 8 от прямого попадания света, рассеянного на образце, измерялась яркость стенок фотометрического шара. Если Φ есть поток рассеянного во все стороны света (включая диффузно отраженный и прошедший сквозь образец потоки), и Φ_0 — поток, поступающий на образец от источника излучения, то отношение Φ/Φ_0 дает возможность определить коэффициент κ мнимой части комплексного показателя преломления $m_0 = n + \kappa i$, который связан с показателем поглощения. Зная величины n и κ , можно по теории Ми рассчитать показатель рассеяния и показатель поглощения аэрозольной частицы данного размера. Формула для определения величины κ по данным измерений потоков Φ и Φ_0 имеет вид $\kappa = -\frac{\lambda_0 S \rho^0}{4\pi m} \ln \frac{\Phi}{\Phi_0}$, где λ_0 — длина световой волны; S — площадь поверхности образца, освещаемая прямым излучением; ρ^0 — плотность вещества, из которого состоит образец, а m — его масса. Очевидно, что $\frac{S \rho^0}{m}$ представляет величину, обратную толщине образца. Все эти величины достаточно просто измерить и, таким образом, определить показатель κ , что и было выполнено в работе [4].

При заборе и подготовке проб атмосферный аэрозоль подвергается искажающим воздействиям. Особенно значительные изменения происходят вследствие испарения и высушивания аэрозоля. Таким образом, на подложку, где собирается осажденный аэрозоль, попадают частицы, лишившиеся влаги и летучих веществ, свойственных реальному атмосферному аэрозолю. Между тем удельное поглощение $\frac{\kappa}{a}$ и его показатель зависят от соотношения между объемами данной аэрозольной частицы и ее сухой основы.

В связи с этим был разработан ряд устройств, также основанных на применении фотометрического шара, в которых исследуемое вещество заполняет весь объем шара. Такие устройства позволяют проводить измерения показателей поглощения не только для естественного аэрозоля, но и для жидкостей.

Экспериментально была показана целесообразность применения фотометрического шара для измерения поглощения в качестве своеобразной кюветы ([5]), достоинства которой заключаются в том, что путь лучей из-за многократного отражения света от стенок шара достаточно велик при малых габаритах шара.

Наибольший интерес для практики представляет случай, когда наряду с поглощением среда обладает заметным (но не очень большим) рассеянием. Этот случай рассмотрен в работе [6]. В ней показано, что если поглощение мало, то для определения показателя поглощения можно пользоваться упрощенными формулами, приведенными в [7], даже в том случае, когда σ в десятки раз превосходит показатель поглощения κ (см. также [8]).

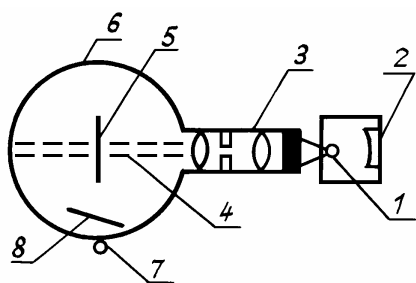


Рис. 3. Установка для исследования комплексного показателя преломления сплошных образцов [4]

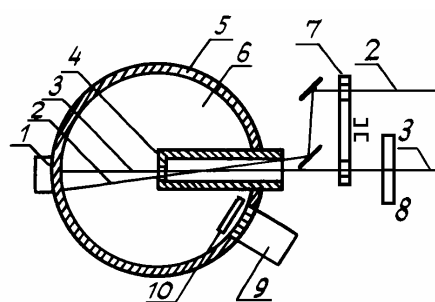


Рис. 4. Установка для исследования поглощения с модулятором и фотометрическим клином [13]

При создании соответствующих экспериментальных установок возникает ряд технических задач. Один из серьезных вопросов состоит в создании удовлетворительного покрытия стенок шара. Если покрытие будет обладать значительной селективностью, то это приведет к неприемлемо большим погрешностям результатов измерений. В связи с этим в [9] были предложены малоселективные составы для покрытия поверхности фотометрических шаров. В частности, предложенный авторами [9] состав на основе сернокислого бария, поливинилового спирта и ультрамарина показал высокую стабильность как при интенсивном облучении, так и в широком диапазоне температур (от 293 до 353°K).

В работе [10] фотометрический шар использован для определения показателя рассеяния с помощью оригинальной установки, которая была испытана авторами при исследовании жидких сред. Установка состоит из фотометрического шара 5 (рис. 4), заполняемого исследуемой средой 6. Радиус шара R равен ~ 10 см, альbedo — 0,8. В кювету через модулятор 7 направляются поочередно от общего источника световые потоки пучков 3 и 2. Выходное окно кюветы 4 расположено в центре сферы. Пучок 3 при $\sigma \approx 0$ практически полностью выходит из кюветы через выходное окно 1. Расположенное в стенке фотометрического шара, оно имеет малый диаметр (порядка 1 мм). Вследствие этого при $\sigma \neq 0$ рассеянный свет пучка 3 практически полностью остается внутри фотометрического шара. Пучок 2 расфокусирован и смещен так, что не попадает в выходное окно 1 и, таким образом, всегда остается внутри шара при любом значении показателя рассеяния σ . Многократно отраженный от стенок шара свет поступает на приемник 9, который закрыт экраном 10 для того, чтобы на него не попадали световые потоки прямых пучков, рассеянные назад. Размеры фотоприемника, экрана и их взаимное расположение выбраны так, чтобы рассеянный в шаре свет непосредственно не попадал на фотоприемник. Отношение световых потоков, которые остались в кювете от пучков 2 и 3, равно отношению отсчетов на фотоприемнике, так как светораспределение пучков по сфере практически одинаково и поглощение веществом это отношение не изменит. Для измерения освещенности в установке использованы фотометрический клин 8, помещенный на пути луча 3. Перемещением клина добиваются равенства освещенностей, что можно установить по исчезновению переменной составляющей в фотопотоке приемника излучения.

Устройства, в которых исследуемое вещество заполняет фотометрический шар, имеют существенный недостаток. Во время измерений поглощательной способности жидкостей или газов неизбежно происходит загрязнение стенок шара, источника и других узлов, что приводит к изменению фотометрических свойств этого устройства.

При изменении альbedo внутренних стенок фотометрического шара от 0,95 до 0,94 (т.е. чуть более 1%) измерения приводят к ошибке в определении показателя поглощения исследуемого вещества на 40% ([11]).

При достаточно медленном изменении характеристик установки компенсация может быть выполнена при помощи устройства, описанного в [11]. Фотометрический шар, стенки которого покрыты диффузно отражающим свет веществом с возможно более высоким коэффициентом отражения, отличается тем, что небольшая часть его внутренней поверхности (от 1 до 3%) покрыта матовой черной краской с наиболее низким коэффициентом отражения. Часть этой поверхности закрывается экраном, имеющим высокий коэффициент отражения. Этот экран может перемещаться, увеличивая или уменьшая площадь черного экрана, и, таким образом, изменять эффективное альbedo всего шара. Теория позволяет вычислить, как изменяется значение эффективного коэффициента отражения шара $\rho_{\text{эф}}$, если известны геометрические размеры и коэффициенты отражения различных частей его поверхности.

В том случае, когда изменение альbedo шара происходит с большой скоростью, возможно применение устройства, содержащего световоды, вводимые внутрь шара ([12]). Схема устройства изображена на рис. 5. В центре фотометрического шара 1 помещен источник света 2, имеющий баллон из молочно-матовой диффузно рассеивающей свет поверхности, радиус которого значительно меньше радиуса шара R . Внутри шара введены три световода 3, 4, 5. Входной торец световода 3 расположен вблизи стенок шара и обращен к ней, входной торец световода 4 расположен вблизи стенки шара, но обращен к источнику. Входной торец световода 5, обращенный также к источнику света, расположен вблизи последнего.

Радиусы световодов должны быть меньше R , но много больше радиусов исследуемых частиц (если, например, шар заполнен аэрозолем или гидрозолем). Входная апертура световода 5 должна удовлетворять следующему условию: площадка источника, выделяемая апертурой, должна быть не более площади источника, видимой с торца световода. Выходные торцы световодов 3, 4, 5 подведены к соответствующим приемникам излучения 6, 7 и 8, соединенным с регистрирующими устройствами. Световоды герметично пропущены сквозь стенки фотометрического шара.

Рассмотрим работу устройства и метод определения коэффициентов поглощения исследуемых сред. На первом этапе выполнялись оценки необходимых параметров установки. Для этого вначале при незаполненном шаре определяется независимым способом альbedo шара (посредством вычисления отношений измеренных одним и тем же приемником в одинаковых единицах отраженного от поверхности и падающего световых потоков). Затем производят три отсчета интенсивностей, воспринимаемых световодом 3, 4, 5. Пусть эти отсчеты равны соответственно J_1 , J_2 и J_3 . Величина J_1 пропорциональна потоку света Φ_1 , попавшему на световод 3 от участка стенки шара; J_2 — потоку Φ_2 , падающему на стенки шара, а J_3 — потоку Φ_3 , посылаемому источником излучения. Таким образом, $\Phi_1 = \kappa_1 J_1$; $\Phi_2 = \kappa_2 J_2$; $\Phi_3 = \kappa_3 J_3$, где коэффициенты κ_1 , κ_2 и κ_3 зависят от геометрии установки, интенсивности источника, свойств световодов и чувствительности приемников. Очевидно, что отношения этих коэффициентов κ_1/κ_2 ; κ_2/κ_3 ; κ_1/κ_3 — есть постоянные для данной установки, не зависящие от того, насколько изменилась отражательная способность стенок шара, колбы источника и прозрачность торцов световода (при условии, что замутнение торцов при осаждении на них конденсата одинаково). Очевидно также, что потоки Φ_1 , Φ_2 и Φ_3 пропорциональны создаваемым ими освещенностям E_1 , E_2 и E_3 соответственно. Поэтому можно записать $\rho = C_{21} \frac{J_2}{J_1}$, где C_{21} — постоянная для данной установки величина.

Зная альbedo ρ и взяв отсчеты J_1 и J_2 , можно найти постоянную C_{21} . При известной C_{21} можно в дальнейшем по текущим отсчетам J_1 и J_2 контролировать альbedo шара ρ в любой момент времени при изменяющейся ситуации, когда фотометрические характеристики устройства меняются.

По величине альbedo можно найти соответствующий коэффициент установки C_{23} , необходимый для определения величины E/E_0 в процессе измерений при меняющейся ситуации. Действительно, отсчет J_2 пропорционален освещенности E потоком стенок шара, а J_3 — величине $E_0 = E_3$, т.е. освещенности стенок от источника прямого излучения при отсутствии поглощающей среды (так как торец световода 5 находится вблизи баллона источника, то поглощение средой несущественно).

Таким образом, калибровка прибора, т.е. определение постоянной C_{23} , может быть выполнена при незаполненном шаре на основании формулы $E/E_0 = C_{23} J_3 / [J_2(1-\rho)]$, откуда с учетом соотношения фотометрического шара $E/E_0 = 1/(1-\rho)$, величина C_{23} определяется выражением $C_{23} = J_2/J_3$. Величины, входящие в его правую часть, могут быть найдены экспериментально. В дальнейшем при работе устройства постоянная C_{23} используется для расчетов E/E_0 , которая в случае поглощающей среды связана с показателем поглощения ее κ и радиусом шара R формулой

$$\frac{E}{E_0} = \frac{1}{1 - 2C_0\kappa} e^{-\kappa R}, \quad (4)$$

в которой через C_0 обозначена величина, определяемая соотношением

$$C_0 = \frac{1 - (1 + 2\kappa R) e^{-2\kappa R}}{4R^2\kappa^2}. \quad (5)$$

Формулы (4) и (5) являются приближенными. При их выводе (см. [12]) предполагалось, что свет от источника 2 (см. рис. 5), проходя к элементу поверхности dS , а также поступаая от элемента dS под углом φ в телесном угле $d\omega$ к элементу dS_1 , ослабляется только за счет поглощения. Это предположение использовалось и для всех последующих актов многократного отражения пучков. Точное решение задачи требует применения более строгих методов расчета, учитывающих конкретные параметры среды. Так, например, неясно, в какой мере на конечные результаты оказывает влияние форма индикатрисы рассеяния частиц среды. По-видимому, здесь наилучшим может явиться метод Монте-Карло, успешно применяемый для решения задач, связанных с переносом излучения в среде со сложной конфигурацией ([13]).

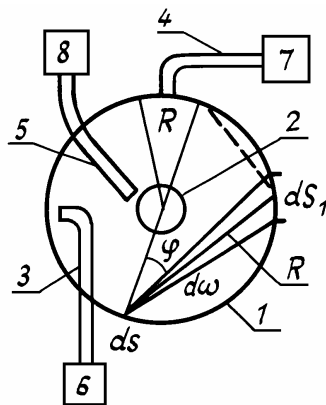


Рис. 5. Фотометрический шар, в котором использованы световоды [14]

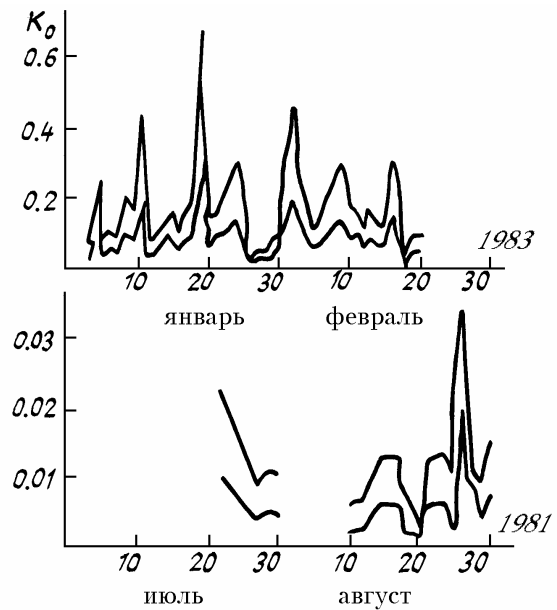


Рис. 6. Примеры временного хода κ_c в зимнее (1983 г.) и летнее (1981 г.) время. (Верхние кривые $\Lambda_c = 0,77$, нижние — $\Lambda_c = 0,88$)

Из разнообразных приложений в области исследований частиц аэрозоля и гидрозольа особенный интерес представляет применение рассмотренных выше аппаратуры и методики с целью контроля загрязнения атмосферы. В качестве иллюстрации приведем некоторые результаты исследований, проведенных в г. Алма-Ате летом 1981 г. и зимой 1983 г. Найдены показатели поглощения κ_c сухой основы аэрозольных частиц, присутствующих во время измерений. Вероятность выживания кванта частиц аэрозоля Λ_c в г. Алма-Ате по оценкам исследований в фотометрическом шаре имела величину, не выходящую за пределы $0,77 < \Lambda_c < 0,88$. В соответствии с этим были рассчитаны верхние и нижние пределы изменения показателя поглощения сухой основы частиц для каждой ночи. Результаты приведены на рис. 6. Нижние кривые соответствуют более чистому воздуху ($\Lambda_c = 0,88$), верхние — наиболее загрязненному ($\Lambda_c = 0,77$).

Из рисунка видно, что зимой величина κ_c в среднем превосходит летние значения этого параметра на порядок. Величина коэффициента поглощения внутри сезонов может изменяться в десять и более раз. Вследствие этого в отдельных случаях зимой и летом могут наблюдаться одинаковые значения κ_c . Временной ход величины κ_c в течение ночи характеризуется спадом показателя поглощения. Благодаря ветру воздух к утру становится в несколько раз чище. Однако прозрачность воздуха в это время зависит от первоначального загрязнения, и при повторении циклов в течение нескольких суток с возрастанием κ_c возникают смоговые ситуации, которые хорошо просматриваются в виде резких пиков во временной зависимости величин показателей поглощения.

1. Лившиц Г. Ш. Рассеяние света в атмосфере. Алма-Ата: Наука, 1965. 177 с.
2. Лившиц Г. Ш., Павлова В. Е., Милютин С. Н. //Тр. Астрофизического института АН КазССР. Т. 7. 1966. С. 85–90.
3. Глушко В. Н., Лившиц Г. Ш., Ташенов Б. Т. //Изв. АН КазССР. Сер. ФАО. Т. 8. № 2. 1972. С. 272–273.
4. Bullrich K. B., Eiden R. et al. Research on Atmospheric Optical Radiation Transmission. Science Rep. №7. Inst. f. Meteorolog. Mainz. Jan. 1969. P. 111.

5. Вогеман Г. В., Монк Г. В. // Science. 1955. V. 221. P. 441.
6. Либин И. Ш. // Светотехника. 1975. № 10. С. 15–16.
7. Либин И. Ш. // Светотехника. 1976. № 12. С. 12–13.
8. Вульфсон К. С., Черняк А. Ш. // Светотехника. 1976. № 6. С. 15–16.
9. Азаренок В. В., Соловьёва А. Б., Чернышова А. Ф., Четвергов Д. И. // Светотехника. 1978. № 10. С. 7–9.
10. Либин И. Ш., Черняк А. Ш. // Светотехника. 1976. № 1. С. 27–29.
11. А. с. СССР № 494624 от 18.05.73. М. Кл. G 01 j 1/02. Фотометрическое устройство / Либин И. Ш., Черняк А. Ш. Оpubл. в БИ. № 45, 05.12.73.
12. А. с. СССР № 1154546 от 08.07.83. М. Кл. 01 1/02. Фотометрическое устройство / Лившиц Г. Ш., Токарь Я. И., Патлах А. Л. Оpubл. в БИ. № 17. 07.05.85.
13. Лившиц Г. Ш., Назаралиев М. А., Ухинов С. А. // Изв. АН СССР. Сер. ФАО. Т. 24. № 1. 1988. С. 83–88.

Казахский педагогический институт им. Абая,
г. Алма-Ата

Поступила в редакцию
16 марта 1990 г.

V. N. Glushko, L. D. Karayanidi, G. Sh. Livshits, Instrumentation for Measuring the Absorption of Radiation Based on the Use of a Photometric Sphere.

A brief review is given of the methods and instrumentation available for making measurements of the absorption indices of aerosol substance with the photometric sphere. A detailed description is given of a new device in which a system of optical waveguides is used. An example is given in which the absorption measurements have been used to obtain the data on the air turbidity in the urban area in different seasons.