

В.К. Ошлаков

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАЛИЧИЯ ОБЛАЧНОСТИ НА ЛИНИИ ВИЗИРОВАНИЯ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ФОТОМЕТРИРОВАНИЯ

Проанализированы результаты наблюдений яркости зенита в трех длинах волн видимой области спектра: $\lambda_1 = 0,42$; $\lambda_2 = 0,53$; $\lambda_3 = 0,69$ мкм. Продемонстрирована возможность принятия решения о наличии в зените облака любого типа по положению точки цветности на трехкомпонентной диаграмме.

Взаимодействие оптического излучения с атмосферой Земли приводит к изменению параметров этого излучения: амплитуды, частоты, направления распространения, степени поляризации. Претерпевая различные изменения, поле излучения накапливает информацию об оптических характеристиках среды распространения, в частности — о характеристиках аэрозольных и облачных полей. Оперативное определение наличия облачности и ее параметров на трассах визирования по результатам оптических наблюдений — одна из актуальных задач атмосферной оптики [1]. Возможность решения этой задачи с привлечением методов и средств пассивного зондирования в видимой области спектра и является предметом обсуждения в данной статье.

Анализ спектральных распределений яркости в облачном и безоблачном небе, например по [2, 3], приводит к выводу о том, что различия в распределениях могут быть использованы в качестве информационного признака при решении названной и подобной ей задач. В данной статье обсуждаются результаты наблюдений яркости облачного и безоблачного неба, проведенных в Южном Прибалхашье, с помощью спектрофотометра [4] ($\lambda_1 = 0,42$; $\lambda_2 = 0,53$; $\lambda_3 = 0,69$ мкм, угол поля зрения примерно 5 угл. мин.). Всего проанализировано 40 реализаций с длительностью 3,5 ч каждая, с шагом по времени $\Delta t = 15\div 20$ с. Устройство рассматривается как спектрозональное, осуществляющее регистрацию воздействующих спектров излучения в нескольких спектральных зонах.

Результаты обработки представлены в виде координат точек цветности m , n , l на трехкомпонентной диаграмме (ТКД), определяемых через цветоделенные сигналы:

$$m = U_1/T; n = U_2/T; l = U_3/T; T = U_1 + U_2 + U_3, \quad (1)$$

где U_i ($i = 1, 2, 3$) — сигнал на выходе интегрирующего светоэлектрического преобразователя; T — суммарный сигнал. Для узких спектральных интервалов U_i можно представить в виде

$$U_i = \kappa G(\lambda_i) \tau_{\Phi}(\lambda_i) \tau(\lambda_i) W(\lambda_i), \quad i = 1, 2, 3, \quad (2)$$

где k — коэффициент чувствительности регистратора; λ_i — длина волны; $G(\lambda_i)$, $\tau_{\Phi}(\lambda_i)$, $\tau(\lambda_i)$, $W(\lambda_i)$ — спектральные характеристики фотопреобразователя, спектрозонального фильтра, исследуемого объекта и исходного излучения соответственно. В [5] показано, что каждый элемент ТКД отображает все вариации спектральных характеристик, несмещающие его при выбранной системе оценивания спектрозонального распределения энергии излучения. Из (1) и (2) следует, что если спектральные характеристики преобразователя и фильтров остаются неизменными, то изменения координат цветности вызваны изменениями спектральной характеристики объекта исследования, т. к. (1) не зависит от коэффициента чувствительности регистратора.

Известно, что изменения спектральной характеристики атмосферы как среды, рассеивающей излучение, связаны с изменениями типа рассеивающих частиц, их концентрации, размеров. В результате различий в светорассеивающих свойствах молекул воздуха и более крупных частиц — аэрозолей, облачных частиц, кристаллов льда — облака в атмосфере в целом кажутся белыми на фоне голубого неба. При наличии облачности к голубому свету неба примешивается рассеянный облаками белый свет и тогда голубой цвет неба становится не столь чистым, как в случае рэлеевского рассеяния [6]. Используя затабулированные значения спектральной солнечной постоянной, например — [7], для данного набора длин волн можно рассчитать координаты цветности и использовать их в качестве контрольной точки на ТКД, характеризующей аэрозольное рассеяние. Второй контрольной точкой могут быть координаты цветности для рэлеевского рассеяния.

При предварительной классификации ситуаций, относящихся к различным типам облачности, применена условная шкала с использованием оптических признаков из классификации облаков в [8] (цвет, прозрачность): a — чистое небо, дымка; b — пелена; c — белые или голубоватые однородные тонкие облака (без серых оттенков); d — серая пелена, серые основания облаков, Солнце просвечи-

ваит как сквозь матовое стекло; e — серые плотные облака, Солнце не просвечивает. На рис. 1 приведен пример характера изменчивости координат цветности и суммарного сигнала при прохождении через зенит кучевой облачности. На рис. 2 приведены усредненные значения координат цветности (всего — более 120 точек) и обозначены участки предварительной классификации в плоскости $m\bar{l}$.

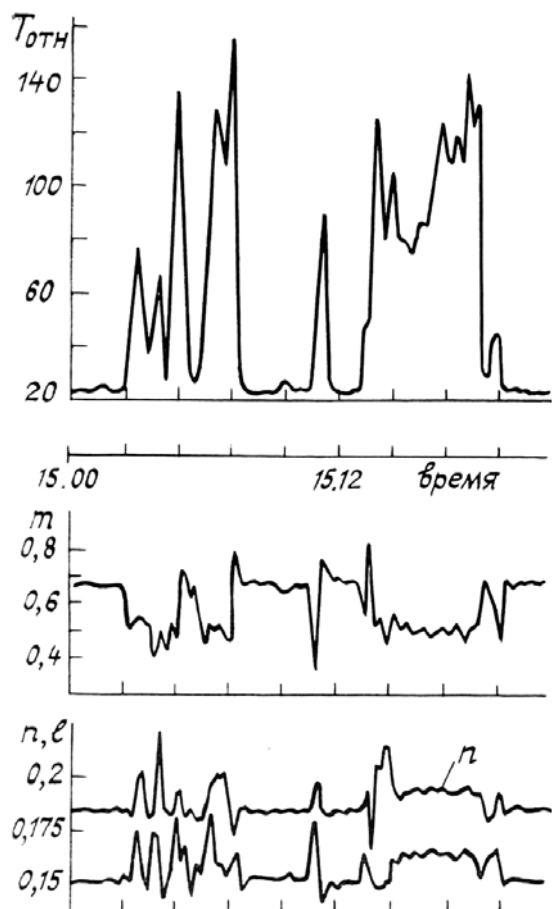


Рис. 1. Временная изменчивость координат цветности и суммарного сигнала яркости при прохождении через зенит кучевой облачности (часть реализации)

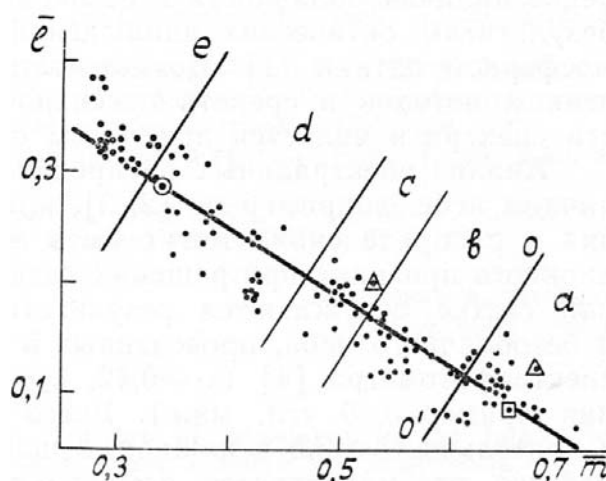


Рис. 2. Средние значения координат цветности зенита для различных ситуаций: a — чистое небо, дымка; b — пелена; c — белая или голубоватая однородная тонкая пелена, белые облака (без серых оттенков); d — серая пелена, серые основания облаков, Солнце просвечивает, как сквозь матовое стекло; e — серые плотные облака, Солнце не просвечивает

Средние значения рассчитывались для выборок, соответствующих описываемым ситуациям. Время усреднения — от 15 мин до 3 ч, в зависимости от устойчивости ситуаций. На диаграмме нанесены координаты контрольных точек: квадрат — для рэлеевского рассеяния, кружок — для распределения энергии в спектре Солнца, треугольники — наиболее вероятные значения координат цветности облака и разрыва в облачном слое из совместного распределения (рис. 3), полученного в результате обработки реализации от 23.05.89, тип облачности S_c . По визуальной оценке это были белые, наблюдаемые на фоне синего неба облака с плоским синеватым (или сероватым) основанием, сквозь края которых просвечивало Солнце. Это пример реализации одного слоя облачности. При наличии нескольких слоев, когда наблюдаются облака верхнего яруса сквозь разрывы в слое нижнего и (или) среднего ярусов, отмечается многомодальное распределение, моды которого располагаются на соседних участках, выделенных на рис. 2.

Возможность различения объектов, обладающих близкими цветовыми характеристиками, определяется цветовым порогом системы. При анализе распределений отображений реальных объектов на ТКД используется понятие цветового контраста $\rho_{ц}$ объектов по отношению к фону, его геометрический смысл — расстояние между участками разного типа, например, на плоскости $(m\bar{l})$:

$$\rho_{ц}(\bar{m}\bar{l}) = [(\bar{m} - \bar{m}_{\phi})^2 + (\bar{l} - \bar{l}_{\phi})^2]^{0,5}. \quad (3)$$

В табл. 1, 2, 3 приведены значения цветовых контрастов между соседними участками условной шкалы (рис. 2), для различных комбинаций средних значений координат цветности \bar{m} , \bar{n} , \bar{l} .

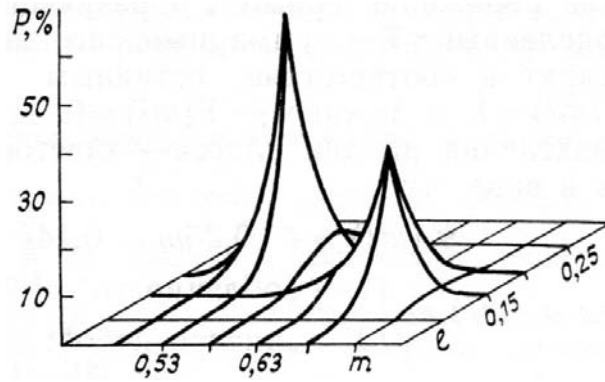


Рис. 3. Распределение вероятностей координат цветности зенита в условиях кучевой облачности

Если значение цветового порога системы известно, то по таблицам типа 1, 2, 3 можно определить, какие из наблюдаемых ситуаций могут быть отклассифицированы данной системой. На рис. 2 нанесена также линия регрессии, рассчитанная по всему ансамблю значений координат цветности. Значения коэффициентов линейной корреляции с вероятностью 95% находятся в следующих интервалах: $Rmn = (-0,82... -0,9)$, $Rml = (-0,9... -0,98)$, $Rnl = (-0,18...+0,2)$. Необходимо учесть, что здесь приведены данные о проекциях точек цветности, расположенных в трёхмерном пространстве m, n, l . Определение вида и характера расположения множества точек, отображающих цветовые и спектральные характеристики дневного неба в этом пространстве, является интересной самостоятельной задачей. А пока отметим лишь линейный характер взаимного расположения проекций точек цветности на плоскость ml и укажем на возможность использования принципа дихотомии — разделения ТКД на две полуплоскости, соответствующие ситуациям «облачно» и «безоблачно», независимо от типа и вида облачности.

Таблица 1

Цветовой контраст $\rho_d(\bar{m}\bar{n})$					
	\bar{a}	\bar{b}	\bar{c}	\bar{d}	\bar{e}
\bar{a}	0				
\bar{b}	0,08	0			
\bar{c}	0,14	0,06	0		
\bar{d}	0,3	0,2	0,14	0	
\bar{e}	0,35	0,27	0,21	0,08	0

Таблица 2

Цветовой контраст $\rho_d(\bar{m}\bar{l})$					
	\bar{a}	\bar{b}	\bar{c}	\bar{d}	\bar{e}
\bar{a}	0				
\bar{b}	0,09	0			
\bar{c}	0,17	0,08	0		
\bar{d}	0,29	0,27	0,13	0	
\bar{e}	0,41	0,32	0,24	0,12	0

Таблица 3

Цветовой контраст $\rho_d(\bar{n}\bar{l})$					
	\bar{a}	\bar{b}	\bar{c}	\bar{d}	\bar{e}
\bar{a}	0				
\bar{b}	0,05	0			
\bar{c}	0,10	0,05	0		
\bar{d}	0,18	0,13	0,08	0	
\bar{e}	0,25	0,20	0,15	0,09	0

Разделение пространства цветности на два подпространства осуществляется с помощью фильтров цветности [5], основными характеристиками которых являются формы границ и размеры окон. Фильтры описываются с помощью двузначных предикатов $[Pr]$. Для окна простой формы в плоско-

сти $ml \lceil Pr \rceil$ запишется в виде

$$Y_j(ml) = \bigwedge_{i=1}^{\kappa} \lceil a_{1j}^i U_1 + a_{2j}^i U_2 + a_{3j}^i T > 0 \rceil = 1, \quad (4)$$

где $\kappa = 3$ для треугольного; $\kappa = 4$ — для четырехугольного окон; $\kappa = 1$ — для разделяющей прямой; $a_{ij}^i, a_{2j}^i, a_{3j}^i$ — коэффициенты, описывающие положение прямых, образующих окно на плоскости; $U_{1,2,3}$ — цветоделенный, T — суммарный сигналы; $\lceil Pr \rceil$ — отображение, которое ставит в соответствие истинным предикатам некоторую функцию $Y(ml) = 1$, а ложным — $Y(ml) = 0$. Для обсуждаемых ситуаций правило разделения на два класса — «чистое небо» и «облачность» — запишется в виде

$$Y(ml) = \lceil 0,25m - 0,14l + 0,17 > 0 \rceil = 1, \quad (5)$$

где

$$Y(ml) = \begin{cases} 1 & \text{— „облачность“,} \\ 0 & \text{— „чистое небо“;} \end{cases}$$

положение прямой на рис. 2 обозначено точками $00'$.

Напомним, что положение разделяющей прямой на ТКД и формулировка решающего правила зависят от требований потребителя информации.

Линейные решающие правила, использующие треугольные и прямоугольные формы окон с разнообразной ориентацией их на плоскости ТКД, были также проверены в процессе анализа результатов и возможностей метода. Принципиальных затруднений здесь нет, но для обоснованных выводов необходим статистически обеспеченный объем информации о каждом классе цветностей.

Правило принятия решения (5) и качественная оценка оптической ситуации по условной шкале (рис. 2) использовались при оперативной оценке условий работы оптической системы, в частности, вероятность закрытости направления визирования определялась следующим образом. При обработке временных рядов координат цветности фиксированного направления производился подсчет отношения числа случаев $Y(ml) = 1$ к общему числу отсчетов с целью получения оценки вероятности наличия облака любого типа на данном направлении визирования. Например, для ситуации, приведенной на рис. 3, вероятность закрытости зенита порядка 0,7, а открытости — 0,3.

Таким образом, применение методов и алгоритмов, используемых в колористике при классификации объектов исследования по цветовым признакам, дало возможность разработать решающее правило и сделать выводы о наличии облачности на трассе визирования по положению точки цветности на ТКД. На основе полученного правила показана возможность определения вероятности закрытости и открытости отдельных направлений визирования по результатам фотометрирования.

1. Зуев В. Е., Кабанов М. В. Оптика атмосферного аэрозоля. Л.: Гидрометеиздат, 1987. 254 с.
2. Алленов М. И. Структура оптического излучения природных объектов. М.: Гидрометеиздат, 1988. 164 с.
3. Глушко В. Н., Павлов В. Е. и др. Яркость и поляризация безоблачной атмосферы. Алма-Ата: Наука, 1979. 201 с.
4. Абрамочкин А. И., Галилейский В. П. и др. //Измерения оптико-метеорологических параметров атмосферы с использованием лазерного излучения. Томск: ИОА СО АН СССР, 1981. С. 14–19.
5. Быков Р. Е., Гуревич С. Б. Анализ и обработка цветных и объемных изображений. М.: Радио и связь, 1984. 248 с.
6. Лиоу К. Н. Основы радиационных процессов в атмосфере. Л.: Гидрометеиздат, 1984. 384 с.
7. Макарова Е. А., Харитонов А. В. Распределение энергии в спектре Солнца и солнечная постоянная. М.: Наука, 1972. С. 267–268.
8. Атлас облаков. Л.: Гидрометеиздат, 1957.

Институт оптики атмосферы СО АН СССР,
Томск

Поступила в редакцию
2 января 1990 г.

V. K. Oshlakov. Determination of the Cloud Presence Along a Sighting Line from Photometric Data.

The paper presents an analysis of observational data on the sky brightness at zenith within three spectral ranges near $\lambda_1 = 0.42 \mu\text{m}$, $\lambda_2 = 0.53 \mu\text{m}$ and $\lambda_3 = 0.69 \mu\text{m}$. A possibility of detecting a cloud of any type at zenith is demonstrated based on the position of the color point at three color diagram.