

А.С. Истомина, В.Е. Павлов<sup>1</sup>, П.В. Семенко<sup>1</sup>

## Об учете аппаратурной поляризации при измерениях яркости и поляризации рассеянного света неба с помощью монохроматоров

*Алтайский государственный университет,**<sup>1</sup> Институт водных и экологических проблем СО РАН, г. Барнаул*

Поступила в редакцию 12.03.2004 г.

Рассматривается вопрос о возможных ошибках в измерениях яркости рассеянного света неба с помощью спектральных приборов без применения анализаторов. На примере двойного кварцевого монохроматора ДМР-4 показано, что степень аппаратурной поляризации может превышать величину 0,2, что при неблагоприятном соотношении между углами поляризации света неба и прибора может привести к занижению реальной яркости на 20%. Приводятся формулы для учета аппаратурной поляризации.

При изучении ряда оптических явлений в свечении дневного и сумеречного неба часто возникает необходимость в использовании спектральной аппаратуры с различным спектральным разрешением. В таких случаях обычно применяют спектрографы или монохроматоры, приемниками света в которых служат либо так называемые ПЗС-линейки, либо фотоумножители (фотодиоды). Если при измерениях какого-либо атмосферного параметра требуется высокая чистота спектра, то наилучшим диспергирующим устройством в этом случае является монохроматор с двойным спектральным разложением. Подобный кварцевый монохроматор составляет, например, основу озонометра Добсона, с помощью которого ведется международная служба общего содержания озона в атмосфере.

Вследствие нескольких отражений светового пучка на участке пути между входной и выходной щелями от зеркал и призм или дифракционных решеток в монохроматоре возникает собственная аппаратурная поляризация. Иначе говоря, регистрирующий свет прибор становится несовершенным поляроидом. Это не вносит каких-либо дополнительных погрешностей в определение атмосферных параметров, если оно базируется на измерениях потоков прямого солнечного света, поскольку его линейная и эллиптическая степени поляризации равны нулю. Последний факт был уже хорошо известен в 30-е гг. прошлого столетия [1]. И совершенно иное дело, когда проводится фотометрирование рассеянного света дневного или сумеречного неба. Величина степени линейной поляризации таких природных источников излучения при высокой прозрачности атмосферы может достигать 0,85 [2]. И если в оптическую схему используемого спектрофотометра не включен анализатор — николю или поляроид, то ошибка в измерениях яркости неба в зависимости от степени и ориентации плоскости поляризации света в приборе относительно таковых для исследуе-

мой точки небосвода может быть весьма заметной и, главное, носить неопределенный характер. Вопросу о том, какова ее величина, посвящена настоящая статья.

Изложим результаты исследований собственных поляризационных характеристик спектрополяриметра, сконструированного на базе двойного кварцевого монохроматора ДМР-4 [3]. Анализатором в приборе служит призма Глана, линейно поляризующая свет более чем на 99,5%. Она расположена перед входной щелью ДМР-4 и может поворачиваться вокруг оптической оси объектива. Измерения света неба проводятся в трех положениях анализатора, поворачиваемого через 60°. Приемником света в приборе служит фотоумножитель ФЭУ-71, имеющий максимальную чувствительность в коротковолновой области спектра. Для определения яркости, степени и ориентации плоскости поляризации используется методика В.Г. Фесенкова [4].

Данные по аппаратурной степени  $P_{ap}(\lambda)$  и ориентации плоскости  $\beta_{ap}(\lambda)$  спектральной поляризации света в поляриметре можно получить путем постановки следующего эксперимента. Задифрагмируем в существенной мере объектив поляриметра, направим его на Солнце и измерим (в относительных единицах) спектральные потоки  $F_1$ ,  $F_2$  и  $F_3$  при трех положениях анализатора через 60°. Если бы прибор не поляризовал свет, то эти потоки были бы равны между собой. На самом деле они различны. Вычислим степень аппаратурной поляризации  $P_{ap}(\lambda)$  по формуле [4]:

$$P_{ap} = \frac{2\sqrt{F_1(F_1 - F_2) + F_2(F_2 - F_3) + F_3(F_3 - F_1)}}{F_1 + F_2 + F_3}.$$

Результаты определения  $P_{ap}(\lambda)$  для ДМР-4 представлены на рис. 1. Видно, что степень аппаратурной поляризации имеет сложный спектральный ход и равна нулю вблизи длины волны 426 нм. Если рассчи-

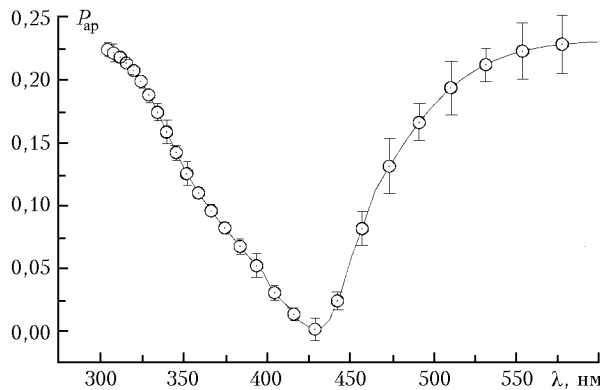


Рис. 1. Зависимость степени аппаратурной поляризации от длины волны

тать угол  $\beta_{\text{ap}}(\lambda)$ , характеризующий колебания электрического вектора относительно плоскости падения и отражения светового пучка от первого зеркала, с помощью соотношения [4]:

$$\text{tg}\beta_{\text{ap}} = \frac{\sqrt{3}(F_3 - F_1)}{2F_2 - (F_1 + F_3)},$$

то отчетливо прослеживается постепенный поворот плоскости аппаратурной поляризации с изменением  $\lambda$ , причем вблизи  $\lambda = 426$  нм угол  $\beta_{\text{ap}}$  скачком меняется на  $90^\circ$  (рис. 2). Само собой разумеется, что другие спектрометры будут иметь совершенно иные спектральные характеристики  $P_{\text{ap}}(\lambda)$  и  $\beta_{\text{ap}}(\lambda)$ .

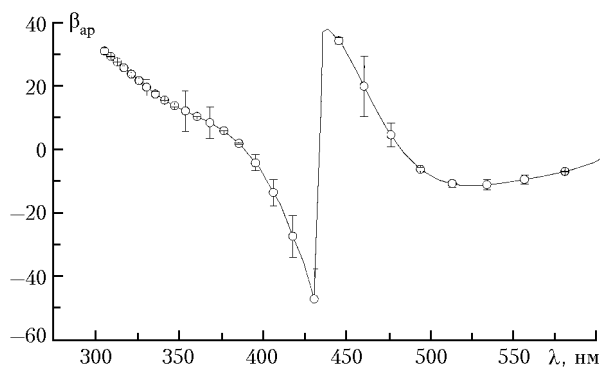


Рис. 2. Зависимость плоскости аппаратурной поляризации от длины волны

Как следует из рис. 1, степень аппаратурной поляризации в длине волны 310 нм равна 0,22. Согласно высокогорным измерениям степень поляризации света неба  $P$  в зените при положении Солнца вблизи линии горизонта в высокогорных условиях в этой области спектра может достигать значения 0,65 [2, 5] и угол колебаний электрического вектора  $\beta$  составляет  $90^\circ$  с плоскостью солнечного вертикала. Тогда, если спектрометр не снабжен поляридом, то в самом неблагоприятном случае, т.е. при  $|\beta - \beta_{\text{ap}}| = 90^\circ$ ,

*A.S. Istomin, V.E. Pavlov, P.V. Semenko. Consideration of instrumental polarization in measurements of brightness and polarization of diffuse sky radiation with monochromators.*

Possible errors in measurements of diffuse sky radiation by spectral devices without analyzers are discussed. With the DMR-4 double quartz monochromator taken as an example, it is shown that the degree of the instrumental polarization can exceed 0.2, which may result in 20% underestimation of the real brightness at the unfavorable relation between the polarization angles of the sky radiation and the instrument. The equations for consideration of instrumental polarization are presented.

результат измерений яркости окажется заниженным на 15%. Для  $\lambda > 600$  нм ошибка будет еще большей (21%). Измерения же яркости неба вблизи  $\lambda = 426$  нм не будут отягощены дополнительными ошибками, поскольку здесь величина  $P_{\text{ap}}$  равна нулю. В других точках небосвода и в других длинах волн ошибки будут иметь промежуточные значения.

Таким образом, при использовании спектрополяриметров необходимо в данные измерений характеристик поляризованного света неба вводить соответствующие поправки. По предложению Г.Ш. Лившица, их можно ввести как множители, выравнивающие регистрируемые приемником потоки при освещении поляриметра неполяризованным светом. Они определяются из наблюдений следующим образом [6]:

$$k_1 = F_2/F_1; \quad k_2 = 1; \quad k_3 = F_2/F_3.$$

Тогда искомые величины интенсивности рассеянного света  $I$ , степени линейной поляризации  $P$  и ориентации плоскости поляризации  $\beta$  в любой точке небосвода (последние измеряются относительно плоскости соответствующего вертикала) будут равны:

$$I = k_1 I_1 + I_2 + k_3 I_3;$$

$$P = \frac{2\sqrt{k_1 I_1 (k_1 I_1 - I_2) + I_2 (I_2 - k_3 I_3) + k_3 I_3 (k_3 I_3 - k_1 I_1)}}{k_1 I_1 + I_2 + k_3 I_3};$$

$$\text{tg}\beta = \frac{\sqrt{3}(k_3 I_3 - k_1 I_1)}{2I_2 - (k_1 I_1 + k_3 I_3)}.$$

Здесь под  $I_1$ ,  $I_2$  и  $I_3$  понимаются измеряемые значения интенсивности рассеянного света при соответствующих положениях анализатора. Именно таким путем удается из наблюдений исключить ошибки, о которых шла речь выше. Естественно, что аппаратура при этом усложняется.

1. Фесенков В.Г. К вопросу об определении солнечной постоянной // Астрон. ж. 1933. Т. 10. Вып. 3. С. 249–265.
2. Coulson K.L. Characteristics of skylight at the zenith during twilight as indicators of atmospheric turbidity. 1: Degree of polarization // Appl. Opt. 1980. V. 19. № 20. P. 3469–3480.
3. Истомин А.С., Павлов В.Е., Трошкин Д.Н., Семенко П.В., Шатохин А.С. Многофункциональный спектральный поляриметр дневного неба // Оптика атмосф. и океана. 2003. Т. 16. № 5–6. С. 466–469.
4. Фесенков В.Г. О суммарной поляризации света // Астрон. ж. 1958. Т. 35. № 2. С. 681–686.
5. Назаралиев М.А., Павлов В.Е. Яркость и поляризация ультрафиолетовой радиации в сферической атмосфере // Рассеяние света в земной атмосфере. Алма-Ата: Наука, 1980. С. 3–36.
6. Глушко В.Н., Иванов А.И., Лившиц Г.Ш., Павлов В.Е., Федулин И.А. Яркость и поляризация безоблачной атмосферы. Алма-Ата: Наука, 1979. 201 с.