

А. В. АРХАНГЕЛЬСКИЙ, С. Д. ВОЛЖАНИН

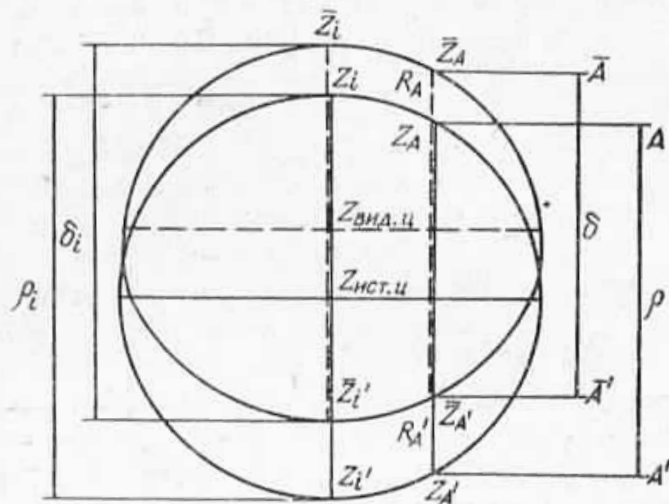
ОБ ОПРЕДЕЛЕНИИ АСТРОНОМИЧЕСКОЙ РЕФРАКЦИИ ПО ФОТОИЗОБРАЖЕНИЯМ СОЛНЦА

В работах [1, 3] подробно изложен способ определения астрономической рефракции, основанный на количественном изучении искаженной вертикальной рефракцией видимой фигуры Солнца. При этом рассматривается серия фотоизображений солнечного диска в близгоризонтной зоне. Получаемые в результате коэффициенты разложения интеграла рефракции в ряд характеризуют

астрономическую рефракцию в том диапазоне, где выполнялись фотографические наблюдения Солнца. Существенным недостатком данного метода является сложность выбора оптимальной величины диапазона из-за большой изменчивости искоемых коэффициентов, зависящих от зенитного расстояния. Вследствие этого получаемая для конкретных зенитных расстояний рефракция недостаточно согласуется с ее действительным значением.

Предлагаем методику определения астрономической рефракции по фотоснимкам Солнца в близгоризонтной зоне, лишенную указанного недостатка. Суть ее заключается в рассмотрении только одного фотоизображения как объекта, несущего на себе достаточное количество информации для определения астрономической рефракции при соответствующем зенитном расстоянии.

Предварительно рассмотрим механизм образования видимой фигуры Солнца на его фотоизображении, искаженной влиянием рефракции (см. рисунок), и приведем



Механизм образования искаженного рефракцией фотоизображения солнечного диска.

формулы для нахождения коэффициентов разложения интеграла рефракции по результатам измерений одного снимка Солнца. Любой точке края истинного диска Солнца с зенитным расстоянием Z_i соответствует точка, расположенная на краю видимого, а следовательно, деформированного рефракцией фотоизображения с известным зенитным расстоянием \bar{Z}_i . Разность между ординатами точек, расположенных по краям диска на одной хорде AA' , характеризует астрономическую рефракцию на зенитных расстояниях Z_A и $Z_{A'}$. Из рисунка следует, что соотношение между размерами деформированного и истинного дисков Солнца можно выразить через разность рефракций в точках A и A'

$$\psi = R_A - R_{A'} = \rho - \delta, \quad (1)$$

где R_A и $R_{A'}$ — значения рефракций на краях хорды AA' , ρ и δ — соответственно размеры неискаженной и искаженной хорды AA' диска Солнца, выраженные в угловой мере.

Вследствие относительной малости горизонтальной рефракции абсциссы истинной и видимой хорд в рассуждении полагаем равными. Используя известное разложение интеграла рефракции в ряд [3], запишем

$$R_A = \sum_{k=1}^n C_k \operatorname{tg}^{(2k-1)} Z_A; \quad R_{A'} = \sum_{k=1}^n C_k \operatorname{tg}^{(2k-1)} Z_{A'}. \quad (2)$$

С учетом (1) и (2) получим уравнение поправок для определения коэффициентов разложения C_k :

$$(\rho - \delta) = \sum_{k=1}^n C_k (\operatorname{tg}^{(2k-1)} Z_A - \operatorname{tg}^{(2k-1)} Z_{A'}). \quad (3)$$

Составляя уравнения по соответствующим хордам (число которых превосходит количество искоемых коэффициентов), выбранным на одном снимке Солнца, приходим к решению переопределенной системы линейных уравнений вида (3) и, как следствие, к получению коэффициентов разложения интеграла рефракции в ряд

$$R_z = C_1 \operatorname{tg} Z - C_2 \operatorname{tg}^3 Z + C_3 \operatorname{tg}^5 Z - \dots \quad (4)$$

по результатам измерений, выполненных на одном снимке Солнца.

Для экспериментального подтверждения предложенной методики были выполнены измерения фотоизображений Солнца, полученных на зенитных расстояниях $85^\circ 47' 24''$ и $86^\circ 31' 00''$. Фотографирование Солнца сопровождалось определением астрономической рефракции классическим методом с целью сравнения получаемых результатов (наблюдения обоими методами проводились с астростолба с известными координатами). Измерения прямоугольных координат краев хорд фотоизображений Солнца были выполнены на высокоточном измерительном приборе «STECOMETER».

Среднеквадратическая ошибка измерения длин хорд составляет примерно 10 мкм, что в угловой мере с учетом масштаба изображения соответствует одной секунде дуги. При диаметре фотоизображения, равном 15 мм, разности $(\rho - \delta)$ колеблются в пределах 18...25 мкм. Естественно, столь малое различие между погрешностью измерения хорд и собственно измеряемой величиной влечет за собой неустойчивость решения систем уравнений вида (3). Для повышения точности измерения величин свободных членов уравнений $(\rho - \delta)$ нами разработан и применен эквидисситометрический метод фотографической обработки снимков Солнца, позволяющий вести измерения практически с номинальной точностью измерительного прибора, составляющей 2...3 мкм. В этом случае, как свидетельствуют специальные исследования [2], результаты решения (3) носят устойчивый характер.

По результатам измерения фотоизображений составлены системы уравнений для соответствующих снимков с $Z = 85^\circ 47' 24''$ и $Z = 86^\circ 31' 00''$. Системы уравнений в обоих случаях содержат по 15 уравнений. С целью автоматизации вычисления коэффициентов и свободных членов уравнений (3) была построена видимая фигура Солнца с использованием достаточно большого числа измеренных координат края (более 100 точек), между которыми с помощью сплайн-интерполяции можно вычислить видимые размеры хорд диска. В качестве теоретической фигуры Солнца принят круг с угловым диаметром, приведенным в Астрономиче-

ском ежегоднике. Результаты вычисления коэффициентов C_n приведены ниже:

Z	C_1	C_2	C_3	$R_z^{\text{фот}}$	$R_z^{\text{астр}}$	Δ, c
$85^{\circ}47'24''$	+50,301	-0,2028	+0,00040	614,13"	622,50"	-8,37"
86 31 00	49,021	-0,2349	+0,00009	715,36	712 30	-3,06

Для сравнения здесь же приведены результаты вычисления рефракции, полученные по астрономическим наблюдениям. Весь процесс обработки измерений фотоизображений Солнца выполнен на ЭВМ по программе, составленной на языке Фортран-4.

Различия между значениями рефракции, полученными предлагаемым и классическим методами, лежат в пределах ошибок измерений фигуры Солнца и фиксации зенитного расстояния. Разработанный метод позволяет получать объективные и надежные результаты при определении астрономической рефракции в близгоризонтной зоне. Он предельно прост для практической реализации и требует минимальных затрат времени. Учитывая, что рассмотренный метод не предполагает знания координат пункта наблюдения, его применение позволяет решать ряд задач, связанных с экспрессивным наблюдением небесных объектов, находящихся на больших зенитных расстояниях.

Список литературы: 1. *Архангельский А. В.* Об определении астрономической рефракции по фотографическим наблюдениям Солнца. — Геодезия, картография и аэрофотосъемка, 1979, вып. 29. 2. *Архангельский А. В.* Применение фотографического эквиденситометрического метода для измерения фотоизображений солнечного диска. — Рукопись деп. в УкрНИИТИ 06.04.84, № 620 Ук—Д84. 3. *Nadolschi V.* Determinarea coeficientilor refracticii din observatii Solare fotografice. — Ann. Stünt. Univer., Jaci, 1959.