

А. В. АРХАНГЕЛЬСКИЙ, В. В. КИРИЧУК

ОБ ОПРЕДЕЛЕНИИ АНОМАЛИИ АСТРОНОМИЧЕСКОЙ РЕФРАКЦИИ ПО ФОТОГРАФИЧЕСКИМ НАБЛЮДЕНИЯМ СОЛНЦА

Несмотря на то, что классическому способу определения действительных значений астрономической рефракции и ее аномалий присущи высокая точность, маневренность, приспособленность к полевым экспедиционным условиям, он обладает существенным недостатком — необходимо с высокой степенью точности знать астрономические координаты пункта наблюдений. Это приводит к тому, что применение классического способа на многочисленных пунктах в различных физико-географических условиях (а эмпирические исследования астрономической рефракции и ее аномалий именно в этом случае приобретают особую ценность) становится экономически невыгодным, так как требует определения в каждом пункте исследований астрономических координат по программе первого класса.

Более эффективен фотографический метод исследования астрономической рефракции. В работах [2, 3] приводятся результаты определения рефракции по фотографиям Солнца, полученным на стационарных инструментах астрономических обсерваторий. К сожалению, невозможно применить это оборудование и методику наблюдений в полевых экспедиционных условиях, требующих малогабаритных инструментов.

Габариты прибора, предназначенного для фотографических наблюдений небесных объектов, определяются величиной фокусного расстояния объектива. Величину фокусного расстояния следует соотносить с минимальными размерами изображения диска Солнца на фотопластинке, устанавливаемыми в соответствии с необходимой в данном исследовании точностью определения рефракции и ее аномалий.

Аномалии астрономической рефракции в близгоризонтной зоне ($z > 80^\circ$) достигают в среднем $5''$ — $200''$. Поэтому можно считать приемлемой погрешность их определения $0'',5$ — $1''$ в зоне 80 — 85° и $2''$ — $5''$ в зоне 85 — 90° *.

* Классический способ определения рефракции и ее аномалий обеспечивает такую точность.

Масштаб изображения на фотопластинке определим так.
Пусть

$$l = F \operatorname{tg} \sigma, \quad (1)$$

где l — длина отрезка на фотопластинке в миллиметрах, соответствующая углу на небесной сфере σ , а F — фокусное расстояние объектива. Тогда величина

$$m = \frac{\sigma}{l}, \quad (2)$$

дает число дуговых единиц (секунд, минут, градусов) в одном миллиметре изображения на фотопластинке, то есть масштаб изображения.

Примем $F = 1000$ мм, а $\sigma = R \approx 16'$ (радиус Солнца). По формуле (1) получим для линейных размеров диска Солнца величину $2l = 9,3$ мм, и соответственно для масштаба m по формуле (2) получим в одном миллиметре изображения на фотопластинке $206''$. Допуская погрешность измерений на фотопластинке ± 3 мкм*, получим ошибку $\pm 0'',6$, что вполне приемлемо при изучении аномалий астрономической рефракции.

Итак, при определении рефракции и ее аномалий по фотографическим изображениям Солнца можно ограничиться фокусным расстоянием объектива порядка 0,9—1 м. Установка для фотографирования с таким фокусным расстоянием обладает достаточной мобильностью и может быть использована для эмпирического исследования аномальной рефракции в полевых условиях.

Изображение диска Солнца достаточных линейных размеров в полевых условиях можно получить путем фотографирования Солнца через окуляр обычного астрономического универсала АУ-2/10, но возникающие при этом трудности учета искажения изображения требуют специальных исследований.

Фотографический метод определения рефракции основывается, как известно, на эффекте «сплющивания» видимого диаметра диска Солнца, истинные размеры которого (видимый радиус) приводятся с высокой точностью в «АЕ».

При отсутствии рефракционной деформации уравнение, описывающее форму диска Солнца, имеет вид

$$\frac{x^2}{R^2} + \frac{y^2}{R^2} = 1, \quad (3)$$

где x и y — текущие координаты точки фигуры на фотопластинке, R — видимый радиус Солнца в масштабе фотоснимка.

В результате различия величин рефракции на зенитных расстояниях, соответствующих разным точкам диска Солнца, ви-

* Утроенная погрешность отсчета на КИМе и «Aska Record».

димое изображение Солнца на фотопластинке будет представлять собой эллипс, уравнение которого можно записать в виде

$$\frac{(x')^2}{R^2(1 - \Delta R_{\text{гор}})^2} + \frac{(y')^2}{R^2(1 - \Delta R_{\text{вер}})^2} = 1. \quad (4)$$

Здесь x' и y' — текущие координаты точки фигуры на фотопластинке, а $\Delta R_{\text{гор}}$ и $\Delta R_{\text{вер}}$ — наблюдаемые горизонтальная и вертикальная деформации диска Солнца.

Уравнение (4) будем называть наблюдаемым или истинным эллипсом Солнца.

Если в момент фотографирования Солнца зафиксировать зенитное расстояние центра Солнца z_0 , температуру, давление и влажность воздуха на высоте фотокамеры, то, пользуясь теми или иными таблицами рефракции, можно найти ее табличные значения на зенитных расстояниях z_0 ; $z_0 + R$ и $z_0 - R$ и получить таким образом «табличную» деформацию диска Солнца. Уравнение полученной фигуры назовем «табличным» эллипсом Солнца и представим его в виде

$$\frac{(x'')^2}{R^2(1 - \Delta R_{\text{гор}}^{\text{таб}})^2} + \frac{(y'')^2}{R^2(1 - \Delta R_{\text{вер}}^{\text{таб}})^2} = 1. \quad (5)$$

Здесь x'' и y'' — текущие координаты точки фигуры на фотопластинке, а $\Delta R_{\text{гор}}^{\text{таб}}$ и $\Delta R_{\text{вер}}^{\text{таб}}$ — «табличные» горизонтальная и вертикальная деформации диска Солнца.

Вычтем из уравнения (3) уравнение (4), пренебрегая при этом горизонтальной деформацией Солнца*, получим

$$y^2(1 - \Delta R_{\text{вер}})^2 - (y')^2 = 0, \quad (6)$$

откуда

$$\Delta R_{\text{вер}} = 1 - \frac{y'}{y}. \quad (7)$$

Величина $\Delta R_{\text{вер}}$ представляет собой истинную (наблюдаемую) рефракционную деформацию видимого радиуса Солнца.

По аналогии, вычитая из уравнения (3) уравнение (5) с тем же допущением, найдем «табличную» рефракционную деформацию видимого радиуса Солнца в виде

$$\Delta R_{\text{вер}}^{\text{таб}} = 1 - \frac{y''}{y}. \quad (8)$$

В свою очередь разность уравнений (7) и (8) дает теперь аномальное рефракционное искажение фотоизображения Солнца на данном зенитном расстоянии

$$\Delta R_{\text{вер}} - \Delta R_{\text{вер}}^{\text{таб}} = \frac{y'' - y'}{y}. \quad (9)$$

* При этом допускаем погрешность 0''25 [1].

Здесь u , u' и u'' — ординаты, соответственно теоретическая, наблюденная и табличная точек фотоизображения Солнца.

Формула (9) должна быть положена в основу обработки фотоизображений диска Солнца, выполняемой с целью исследований аномальной рефракции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Загребин Д. В. Введение в астрометрию. М., «Наука», 1966.
2. Nadolshi V. Determinarea coeficientilor refractiei din observatii Solare fotografice. — «An. Stiint. Univ. Gasi» sec. 1, N 1. 1959.
3. Kort G. Measurements of the Sun's limb for the determination of refraction between 80° and 90° -Z. d. — «Georgetown Observ. Monogr», N 17. 1960.

Работа поступила в редколлегию 13 января 1975 года. Рекомендована кафедрой теории математической обработки геодезических измерений Львовского политехнического института.
