

Ф. Д. ЗАБЛОЦКИЙ, М. И. РУСИН, С. Г. САВЧУК

ОПРЕДЕЛЕНИЕ АСТРОНОМИЧЕСКОЙ РЕФРАКЦИИ В БЛИЗГОРИЗОНТНОЙ ЗОНЕ

Повышение надежности и точности определения углов астрономической рефракции на больших зенитных расстояниях — одна из главных проблем в области рефракции. Наиболее достоверные результаты решения этой задачи на современном этапе обеспечивают измерительные средства и методы. Однако данные наблюдений часто вызывают сомнения или же затруднения в их физическом объяснении. Так, в частности, не установлено однозначно систематическое преобладание отрицательных аномалий рефракции. Требует строгой интерпретации явление частой смены знака в аномалиях рефракции на зенитных расстояниях примерно $88-89^\circ$. Неоднозначно устанавливается зависимость аномалий рефракции от температуры воздуха на пункте наблюдений, вертикального градиента температуры и т. д.

Частичному разрешению этой проблемы посвящены исследования авторов. На основании результатов и опыта работ длительных наблюдений астрономической рефракции в близгоризонтной зоне, выполненных на обсерватории Львовского политехнического института астрономическим универсалом УВ-2/2 и в других регионах страны при помощи точных оптических теодолитов, разработаны методики и программы, направленные на повышение точности и достоверности определения и учета астрономической рефракции на больших зенитных расстояниях. В частности, реализованы методики синхронных наблюдений двумя теодолитами одного и разных светил в противоположных азимутах; в теодолитах ОТ-02 применена специальная сетка нитей, позволяющая отождествить методику визирования с наблюдениями на УВ-2/2.

Возможности наблюдения звезд в близгоризонтной зоне ограничены и практически невозможны на зенитных расстояниях $z > 88 \dots 89^\circ$. Поэтому объектом наших исследований в основном является измерительный метод определения углов астрономической рефракции в близгоризонтной зоне по наблюдениям Солнца астрономическим теодолитом УВ-2/2.

В технологии производства наблюдений Солнца и их обработка имеются некоторые особенности, обусловленные тем, что объект наблюдений не точка, а солнечный диск: визирование выполняется на край Солнца (верхний или нижний); вычисленное на момент наблюдения зенитное расстояние центра Солнца редуцируется к измеренному зенитному расстоянию края Солнца с помощью его радиуса, выбираемого из астрономического ежегодника (АЕ). При реализации такой методики наблюдений

для определения аномалий астрономической рефракции оказалось, что при визировании на нижний край Солнца прослеживается преобладание отрицательных аномалий на зенитных расстояниях до $87 \dots 88^\circ$ и изменение их знака с увеличением z вплоть до 90° (табл. 1).

С целью повышения достоверности и точности результатов разработана и реализована методика последовательного наблюдения обоих краев диска Солнца при неподвижной трубе тео-

Таблица 1
Рефракционные характеристики при наблюдениях Солнца

z	82°	84°	86°	88°	89°
$\rho_n - \rho_a$	-4,2"	-5,4"	-7,9"	-11,0"	-13,3"
$\Delta \rho_n$	-0,1	-2,6	-4,4	-0,8	+23,9
$\Delta \rho_a$	+4,1	+2,8	+3,5	+10,2	+37,2
$\Delta \rho_{cp}$	+2,0	+0,1	-0,5	+4,7	+30,6
$\delta R/2$	+0,3	+0,7	+1,6	+5,4	+10,1
$\Delta \rho_{cp}$	+2,3	+0,8	+1,1	+10,1	+40,7

долита по высоте. Это позволяет определять аномалии рефракции по наблюдениям каждого края Солнца и выводить среднее его значение из наблюдений обоих краев. Представляется так-

Таблица 2
Средние значения разностей $2R_{\text{выч}} - 2R_{\text{изм}}$

Наблюдатель	Зенитное расстояние		Количество
	88°	89°	
Киричук (1969)	-12,3"	-20,8"	11
Русин (1987—1988)	-10,1	-10,6	47
Сидоров (1987—1988)	-7,4	-15,7	63

же возможным получить измеренный диаметр $2R_{\text{изм}}$ Солнца и сопоставить его с вычислением $2R_{\text{выч}}$ (взятым с АЕ) (табл. 2). Оказывается, что измеренный на больших z диаметр Солнца больше вычисленного, хотя умозрительно должно быть наоборот. Это «несоответствие» некоторые авторы пытались объяснить влиянием лично-инструментальных погрешностей. На самом деле сущность неравенства $R_{\text{изм}} > R_{\text{выч}}$, заложена в закономерностях рефракционных явлений, происходящих в атмосфере; в противном случае $R_{\text{изм}} = R_{\text{выч}}$. Вследствие увеличения плотности земной атмосферы с увеличением z вертикальная составляющая скорости видимого суточного движения Солнца вблизи его захода замедляется, соответственно ощутимо увеличивается промежуток времени Δt прохождения видимого диска Солнца через горизонтальную нить неподвижной по высоте трубы. Ниже представлены интервалы времени прохождения диска Солнца через горизонтальную нить:

z''	77,6	79,4	81,2	83,0	84,9	86,6	87,3	88,9
Δt^*	209	213	217	221	226	232	234	239

Аналогичное явление, противоположно направленное, сопровождает движение Солнца после его восхода.

Так как при обработке наблюдений приводят вычисленное зенитное расстояние центра Солнца (или его экваториальных координат) к краю диска, то существование неравенства $R_{\text{изм.}} > R_{\text{выч.}}$ обусловит соответствующую погрешность в значении

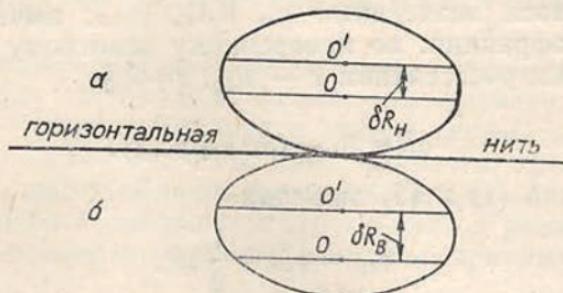


Схема положений диска Солнца в моменты наблюдений.

угла рефракции ρ или аномалии рефракции $\Delta\rho$ при выводе их по наблюдениям одного края Солнца. В среднем же, полученном по наблюдениям нижнего и верхнего краев Солнца на одном и том же зенитном расстоянии, эта погрешность отсутствует при условии симметричной по высоте деформации диска Солнца. Сказанное подтверждают результаты, приведенные в табл. 1, где $\Delta\rho_n$ и $\Delta\rho_v$ — аномалии рефракции, выведенные из наблюдений на одном z нижнего и верхнего края диска Солнца; $\Delta\rho_{cp}$ — среднее из них. Имеем на $z \leq 86^\circ$ $\Delta\rho_{cp}$, близкое к 0. На зенитных расстояниях $z > 86^\circ$ аномалия $\Delta\rho_v$ ощутимо возрастает в сравнении с $\Delta\rho_n$, что соответственно вносит погрешность в значение $\Delta\rho_{cp}$. Происходит это из-за несимметричности деформации по вертикали диска Солнца.

На рисунке показано положение диска Солнца в момент прохождения нижнего его края (положение *a*), затем верхнего (положение *b*) через горизонтальную нить неподвижной по высоте трубы теодолита. Положения центра видимого диска Солнца обозначим O' , а при отсутствии описанного явления деформации диска — O . Так как в положении *b* зенитное расстояние центра Солнца z_0 больше соответствующей величины в положении *a*, то смещение центра O_b происходит интенсивнее центра O_a , следовательно $\delta R_v > \delta R_h$. Отсюда, среднее значение угла астрономической рефракции, свободное от несимметричной деформации диска Солнца, определим выражением

$$\rho_{cp} = \frac{1}{2} (\rho_n - \delta R_h + \rho_v + \delta R_v), \quad (1)$$

где ρ_n' , ρ_v' — значения углов рефракции, получаемые по наблюдениям видимого центра $0'$ диска Солнца.

Из (1) находим разность δR смещений центров диска Солнца

$$\delta R = \delta R_v - \delta R_n = 2\rho_{cp} - (\rho_n' + \rho_v'). \quad (2)$$

Значения углов астрономической рефракции ρ_n' и ρ_v' по данным измерений при принятой методике наблюдений, определить нельзя; неизвестно также ρ_{cp} . Однако для получения δR с погрешностью, не превышающей погрешности измерений, можно воспользоваться значениями ρ_z , ρ_{z-R} , ρ_{z+R} , вычисленными по таблицам рефракции: по измеренному зенитному расстоянию z и по зенитным расстояниям $z - R_\odot$, $z + R_\odot$.

Тогда

$$\delta R = 2\rho_z - (\rho_{z-R} + \rho_{z+R}). \quad (3)$$

Из выражений (1) и (2) запишем

$$\rho_{cp} = \rho_{cp}^* + \frac{1}{2} \delta R, \quad (4)$$

т. е. полученное из наблюдений нижнего и верхнего краев диска Солнца значение угла астрономической рефракции ρ' необходимо исправить поправкой δR , вычисляемой по (3).

На основании экспериментальных определений углов астрономической рефракции и их аномалий в нижних слоях атмосферы, опыта постановки и производства таких работ теодолитами типа УВ-2/2 и оптическими, анализа получаемых результатов можно заключить, что наиболее подходящим светилом в качестве объекта наблюдений при определении углов (аномалий) астрономической рефракции в близгоризонтной зоне измерительным методом, является Солнце. Методика измерений должна включать наблюдения верхнего и нижнего краев Солнца на данном альмукантарите, с усреднением окончательного результата. При этом на зенитных расстояниях до 86° усредненный результат, выведенный по наблюдениям обоих краев диска Солнца, можно считать окончательным; при $z > 86^\circ$ в указанное среднее необходимо вводить поправку за асимметрию деформации диска Солнца.

Статья поступила в редакцию 27.04.90