

В. В. КИРИЧУК, А. С. ЛАВНИКЕВИЧ, И. Т. ЛИВА

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЯВЛЕНИЯ АСИММЕТРИИ
АСТРОНОМИЧЕСКОЙ РЕФРАКЦИИ
НА ЗЕНИТНЫХ РАССТОЯНИЯХ $30 \leq z \leq 50^\circ$**

Исследования астрономической рефракции, выполненные в последнее время, не подтверждают предположения [1, 2] о ее симметрии во всех направлениях сферы для одних и тех же зенитных расстояний. Обнаруженная асимметрия вертикальной составляющей астрономической рефракции и, как следствие, наличие боковой составляющей могут привести к ошибкам при определении

координат и азимута, сравнимым по значению со случайными ошибками других источников, но систематическими по характеру влияния.

Следовательно, возникает необходимость исследования рефракционных явлений в диапазоне зенитных расстояний, используемых в полевой геодезической астрономии.

Опыт применения для изучения тонких рефракционных эффектов непосредственно тех же методов наблюдений, которые используются в геодезической астрономии для выявления координат, показал их полную пригодность и эффективность [3].

Поэтому экспериментальное определение асимметрии астрономической рефракции в зоне $30 \leq z \leq 50^\circ$ мы проводили по способу равных высот (способ Цингера), применяемому в геодезической астрономии для вычисления поправки хронометра.

Программа исследований предусматривала определение действительных значений рефракции по наблюдениям западной и восточной звезд пар Цингера; фиксацию значений давления и температуры приземного слоя воздуха у инструмента в моменты наблюдения звезд.

При реализации программы использовали оптический теодолит СТ-02, звездный хронометр, маркопечатающий хронограф, радиоприемник «Волна-К».

Методика наблюдений включала следующие действия:
ориентирование инструмента в меридиане, определение места зенита на вертикальном круге по земному предмету;
прием секундных сигналов;
наблюдение пар Цингера;
прием секундных сигналов;
определение места зенита на вертикальном круге по земному предмету.

Наблюдения пар Цингера выполняли в такой последовательности. После выбора из рабочих эфемерид подходящей пары трубу инструмента устанавливали по зенитному расстоянию пары и закрепляли винтом, а уровень при вертикальном круге выводили на середину. Затем инструмент ориентировали в вертикале первой звезды. С приближением изображения звезды к пересечению сетки нитей наводили вращением азимутального микрометричного винта инструмента вертикальную нить на звезду и удерживали на ней непрерывным вращением азимутального винта до тех пор, пока изображение звезды не достигало горизонтальной нитки; при этом на ленте маркопечатающего хронографа регистрировался момент прохождения звезды через горизонтальную нить. Уровень при вертикальном круге выводили на середину и отсчитывали вертикальный круг. Одновременно в журнал записывали показания барометра и термометра. Аналогично выполняли наблюдения второй звезды пары.

Через каждые два часа наблюдений определяли место зенита на вертикальном круге, и с помощью радиоприемника «Волна-К» и импульсной приставки на ленту хронометра принимали секундные сигналы.

Наблюдения проводили с 3 июля по 25 июля 1975 г. Инструмент был установлен на кирпичном столбе, расположенном на крутом берегу озера площадью 600 га, наклоненном к горизонту под углом 8° в направлении, практически совпадающем с направлением первого вертикала. Пункт наблюдения выбран так, чтобы визирные лучи при наблюдениях западных звезд проходили над озером, а при наблюдениях восточных звезд — над сушей. Выбор такого местоположения для пункта наблюдений объяснялся известным явлением неоднородности влияния подстилающей поверхности на вертикальное распределение плотности воздуха в переходных зонах (вода—суша, лес—степь и т. д.). Высота пункта наблюдений над уровнем моря 325 м.

Всего наблюдалось 60 пар Цингера. Обработку наблюдений выполняли по известным формулам:

$$z_{\text{изм}} = M_z + 270^\circ - 2L; \quad (1)$$

$$\cos z = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos t; \quad (2)$$

$$t = s - \alpha = T + u - \alpha, \quad (3)$$

где $z_{\text{изм}}$ — измеренное зенитное расстояние западной и восточной звезд пары Цингера; z — истинное зенитное расстояние звезд пары, вычисленное по известным астрономическим координатам (φ , λ) пункта наблюдений, экваториальным координатам звезд α и δ и моменту прохождения звезд через горизонтальную нить инструмента (T).

Затем вычисляли значения рефракции ρ , аномалии рефракции $\Delta\rho$ и разности аномалий рефракции для каждой звезды по формулам:

$$\rho = z - z_{\text{изм}}; \quad (4)$$

$$\Delta\rho = \rho - \rho_{\text{табл}}; \quad (5)$$

$$\delta\rho = \Delta\rho_E - \Delta\rho_W, \quad (6)$$

где $\rho_{\text{табл}}$ — значение рефракции, найденное по таблицам Пулковской обсерватории [4].

Образец сводки результатов обработки наблюдений одного вечера приведен в табл. 1.

Для уменьшения влияния случайных ошибок измерений мы произвели усреднение полученных по формуле (6) разностей по нескольким зенитным зонам, а именно $32 \leq z \leq 37^\circ$, $37 \leq z \leq 42^\circ$, $42 \leq z \leq 48^\circ$. Результаты усреднения приведены в табл. 2.

Для сравнения точности вычисления аномалий рефракции $\Delta\rho$ приведем в табл. 3 результаты априорной оценки, выполненной по формулам из [5].

Анализ результатов исследований рефракции показывает, что аномалии рефракции в западной стороне практически отсутствуют (их значения, полученные из наблюдений, близки погрешностям метода, а знаки меняются случайно); в восточной стороне неба надежно фиксируется наличие положительных аномалий, изменяющихся в пределах $2 \dots 15''$; разность аномалий рефракции по

Результаты обработки наблюдений

Номер пары	Номер звезды	$Z_{\text{изм}}$	Z	$\rho = -Z - Z_{\text{изм}}$	$\rho_{\text{табл}}$	$\Delta\rho = \rho - \rho_{\text{табл}}$	$\delta\rho = \Delta\rho_E - \Delta\rho_W$
855	E-501	39°35'17,2"	39°36'12,4"	55,2"	45,8"	+9,4"	+9,8"
	W-334	39 35 25,4	39 36 10,8	45,4	45,8	-0,4	
859	W-330	41 49 29,6	41 50 22,0	52,4	49,5	+2,9	+10,3
	E-518	41 49 20,6	41 50 23,3	62,7	49,5	+13,2	
865	E-521	43 11 23,0	43 12 27,9	61,9	51,9	+13,0	+15,4
	W-334	43 11 41,4	43 12 30,9	49,5	51,9	-2,4	
883	E-517	38 23 25,0	38 24 09,5	44,5	43,8	+0,7	+7,8
	W-370	38 23 44,2	38 24 20,9	36,7	43,8	-7,1	
888	W-368	34 19 44,0	34 20 22,0	38,0	37,6	+0,4	+12,4
	E-529	34 19 25,0	34 20 15,4	50,4	37,6	+12,8	
891	E-542	41 35 18,0	41 36 12,3	54,3	49,1	+5,2	+14,7
	W-364	41 35 38,2	41 36 17,8	39,6	49,1	-9,5	
896	W-373	43 51 33,6	43 52 15,8	42,2	53,6	-11,4	+15,5
	E-540	43 51 07,4	43 52 05,1	57,7	53,6	+4,1	
899	E-558	45 35 12,6	45 36 18,1	65,5	56,9	+8,6	+8,2
	W-370	45 35 29,4	45 36 26,9	57,3	56,9	+0,4	

наблюдениям восточных и западных звезд, как правило, положительная, что свидетельствует о том, что астрономическая рефракция в восточной стороне неба для данного пункта наблюдений

Таблица 2

Результаты определения $\delta\rho$

$z, \dots^\circ$	$\delta\rho, \dots''$
32-37	+ 8,3
37-42	+ 9,7
42-48	+11,0

Таблица 3

Оценка ожидаемой точности определения $\Delta\rho$

Ошибка	$z, \dots^\circ$				
	30	35	40	45	50
$m_{\Delta\rho}$	1,7"	1,7"	1,7"	1,7"	1,7"
$m_{\delta\rho} = m_{\Delta\rho} \sqrt{2}$	2,4"	2,4"	2,4"	2,4"	2,4"

всегда больше, чем в западной; с возрастанием зенитного расстояния асимметрия рефракции $\delta\rho$ возрастает.

Полученные выводы можно интерпретировать в свете известных физических процессов в атмосфере.

При построении любой теории рефракции предполагается, что атмосфера симметрична по своим физическим параметрам относительно зенита места наблюдений. Вследствие этого значение астрономической рефракции для одних и тех же зенитных расстояний не зависит от азимута. Но если допустить, что атмосфера неоднородна по составу в различных направлениях от зенита, то, очевидно, следует ожидать и неравенства рефракции на одном и том же зенитном расстоянии, но в разных азимутах.

Это явление называют асимметрией астрономической рефракции. Ее причинами, как известно [6], могут быть наклоны слоев воздуха одинаковой плотности и достаточно мощные инверсии температуры (наблюдаемые как раз в ночное время).

Обычно при объяснении причин асимметрии рефракции недостаточное внимание уделяют влиянию подстилающей поверхности на распределение метеопараметров в приземном слое воздуха. Резкие переходные зоны на подстилающей поверхности (суша—вода, лес—степь, гора—равнина), очевидно, оказывают определяющие влияния на стратификацию приземного слоя воздуха ($H \leq 2$ км).

В нашем случае имеет место такая наиболее резко выраженная по силе влияния на приземный слой воздуха переходная зона, как суша — водная поверхность.

Из метеорологии известно, что водная поверхность обладает свойством сглаживать температурные инверсии. А это означает, что над водной поверхностью строение атмосферы будет близко нормальному, принимаемому при построении таблиц рефракции. В таком случае можно надеяться, что аномалии рефракции над водной поверхностью на малых зенитных расстояниях будут небольшими или вообще отсутствовать. Это и подтверждается нашими определениями рефракции по западным звездам.

Над сушей в ночное время наблюдаются мощные инверсии температуры высотой до 800...1200 м. Но при построении таблиц рефракции (в частности, Пулковских) явление инверсии температуры не учитывается (обычно принимается нормальный градиент температуры $0,65^\circ\text{C}$ на 100 м).

В то же время известно [1, 7, 8], что инверсия температуры увеличивает значение рефракции, т. е. можно ожидать появления положительных аномалий рефракции. Из табл. 1 и 2 видно, что в нашем случае это имеет место. Кроме того, мы не можем исключить и влияния наклонов поверхностей одинакового показателя преломления (изодиоптрических) в приземном и, возможно, пограничном слоях воздуха, которые в определенной степени следуют наклонам местности (рельефу). Если воспользоваться известным соотношением поправки в рефракцию за наклон изодиоптрических поверхностей

$$\Delta\rho_i = 0'',0175 \cdot i \cdot \cos(A - A_0) \sec^2 z, \quad (7)$$

где i — наклон нормали изодиоптрической поверхности в минутах дуги; A — азимут светила; A_0 — азимут наклона нормали; z — зенитное расстояние светила, то приняв в нашем случае $A = A_0 = 90^\circ$, $i = 8^\circ = 480'$, $z = 40^\circ$ и предположив, что наклон местности вызывает эквивалентный наклон изодиоптрических поверхностей во всей эффективной толще атмосферы, получим $\Delta\rho \approx 14''$, что также подтверждает полученные экспериментальные данные.

Таким образом, наблюдая звезды на одних и тех же зенитных расстояниях, мы выявили различные значения рефракции в зависимости от азимута наблюдаемого светила, объяснимые различным влиянием подстилающей поверхности, т. е. асимметрию рефракции относительно зенита.

1. *Василенко Н. А.* Определение астрономической рефракции у горизонта в различные периоды года. — *Астрономия и астрофизика*, 1972, т. 17, с. 42—48.
2. *Василенко Н. А.* Анализ аномалий астрономической рефракции. — *Астрономический циркуляр*, 1974, № 840, с. 3—8.
3. *Мазаев А. В.* Исследование астрономической рефракции по материалам наблюдений. — *Вестник ВИКА им. В. В. Куйбышева*, 1955, № 88, с. 71—76.
4. Таблицы по геодезической астрономии. — *Тр. ЦНИИГАиК*, 1963, вып. 163, с. 89—122.
5. *Киричук В. В.* Исследование астрономической рефракции вблизи горизонта: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. — Л., 1972, с. 22.
6. *Крат В. А.* К вопросу о рефракционных аномалиях. — *Астрономический журнал*, 1934, т. 11, № 2, с. 34—41.
7. *Колчинский И. Г.* Исследование рефракции света в земной атмосфере: Автореф. дис. ... д-ра физ.-мат. наук. — К., 1968. — 49 с.

Статья поступила в редколлегию 30. 04. 85