

Восточных Карпат, где  $b=0,02 \times 10^{-5} \text{ с}^{-2}$  и Чешский массив Западных Карпат ( $b=0,11 \times 10^{-5} \text{ с}^{-2}$ ). Первое значение  $b$  можно объяснить близостью указанной зоны к изостатическому равновесию: средняя изостатическая аномалия  $\Delta g_1$  здесь около  $+10 \times 10^{-5} \text{ м с}^{-2}$ , второе, наоборот, существенным отклонением Чешского массива от изостатического равновесия  $\Delta g_1 = +62 \times 10^{-5} \text{ м с}^{-2}$ . Отличие среднего значения коэффициента  $b$  от общепринятого ( $b=2\pi/\delta$ ) в исследуемых областях можно объяснить: статистическим, а не функциональным характером связи  $\Delta g_{\text{ср.л.}}$  и  $h$ , как отмечено в работе [5]; использованием в наших исследованиях усредненных данных, что не дает четкой зависимости между  $\Delta g_{\text{ср.л.}}$  и  $h$ ; близостью к изостатическому равновесию видимость рельефа исследуемых регионов (имеющаяся здесь нарушениям связаны с плотностными неоднородностями в коре, не учитываемым изостатическими схемами).

1. Грушинский Н. П. Теория фигуры Земли. — М.: Недра, 1976. — 512 с.
2. Евсеев С. В. О связи гравитационных аномалий с высотами рельефа. — Изв. вузов. Геология и аэрофотогеодезия, 1970, вып. 6, с. 60—63.
3. Евсеев С. В. Зингер В. Е. О средних характеристиках гравитационного поля некоторых горных областей. — К., 1983. — 12 с. — Рукопись деп. в УкрНИИТИ, № 91/Ук-Д83.
4. Мазницкий В. А. Внутреннее строение и физика Земли. — М.: Недра, 1965. — 380 с.
5. Проценко С. В. К вопросу о связях гравитационных и магнитных аномалий с рельефом дна океана. — Изв. вузов. Геология и аэрофотогеодезия, 1981, вып. 5, с. 84—88.
6. Скуин Б. Д. Зависимость аномалий силы тяжести от высот в горной области. — Геология, картография и аэрофотогеодезия, 1967, вып. 6, с. 87—92.
7. Таранов В. А. Зависимость аномалий силы тяжести при выводе средних гравитметрических характеристик больших площадей. — Тр. ЦНИИГАиК, 1962, вып. 145, с. 71—75.
8. Lacharrelle G., Schwartz K. L. Empirical Determination of Gravity Anomaly Function in Mountainous Areas. — The Canadian Surveyor, September 1980, V. 34, N 3, p. 251—264.
9. Patel H. A. Prediction of Gravity Anomalies. — I. Inst. Eng. (India) Civ. Eng. Div., 1981, v. 61, No 5, p. 249—252.
10. Sänkel H., Maltz R. Höhenkorrelation, Kovarianz-Funktion und Präzision von Schwereanomalien in lokal begrenzten Gebieten Ostereichs. — Vermessungswesen und Photogrammetrie, 1981, Bd. 69, Jahrgang Heft 1, S. 17—31.

Статья поступила в редакцию 21. 05. 81

В. В. КИРИЧУК, А. С. ДАВНИКЕВИЧ, 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  $n$ , 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 Лингера), применяемому в геодезической астрономии для вычисления поправки хронометра.

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

При реализации программы использовались оптический теодолит OT-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 Лингера; прием секундных сигналов; определение места зенита на вертикальном круге по земному предмету.

Наблюдения пар Лингера 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 вводили вращением азимутального микрометрического винта инструмента вертикальную нить на звезду и удерживали на ней непрерывным вращением азимутального винта до тех пор, пока изображение звезды не достигло горизонтальной нитки; при этом на ленте маркопечатающего хронографа регистрировался момент прохождения звезды через горизонтальную нить. Уровень при вертикальном круге выводили на середину и считывали вертикального круга. 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 объясняется 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 Пингера. Обработку наблюдений выполняли по известным формулам:

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

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

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

где  $z_{\text{изм}}$  — измеренное зенитное расстояние западной и восточной звезд пары Пингера;  $z$  — истинное зенитное расстояние звезд пары, вычисленное по известным астрономическим координатам ( $\varphi$ ,  $\lambda$ ), пункта наблюдений, экваториальным координатам звезд  $\alpha$  и  $\delta$  и моменту прохождения звезд через горизонтальную нить инструмента ( $T$ ).

Затем вычисляли значения рефракции  $\rho$ , 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 небезнадёжно фиксируется наличие положительных аномалий, изменяющихся в пределах 2...15'', разность аномалий рефракции по

Результаты обработки наблюдений

Номер пары	Номер звезды	Z изм	Z	-Z <sup>p</sup> - Z изм	r табл	Δρ = r - r табл	
						Δρ = r - r табл	Δρ = Δρ E - Δρ 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°36'25,9"	57,3"	56,9"	+0,4"	

Таблица 1

Таблица 2

z...°	δρ..."	Ошибка	Оценка ожидаемой точности определения Δρ				
			30	35	40	45	50
32-37	+8,3	m <sub>Δρ</sub> n <sub>δρ</sub> = m <sub>Δρ</sub> / 2	1,7"	1,7"	1,7"	1,7"	1,7"
37-42	+9,7		2,4"	2,4"	2,4"	2,4"	2,4"
42-48	+11,0		2,4"	2,4"	2,4"	2,4"	2,4"

Таблица 3

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 δρ

Оценка ожидаемой точности определения Δρ

Всегда больше, чем в западной; с возрастанием зенитного расстояния асимметрия рефракции δρ 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 недостаточно 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 не большими 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 не отметить и влияния наклонов поверхностей одинакового показателя преломления (изодиптрических) в приземном и, возможно, пограничном слоях воздуха, которые в определенной степени служат наклонам местности (рельефу). Если воспользоваться известным соотношением поправки в рефракцию за наклон изодиптрических поверхностей

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

где  $i$  — наклон нормали изодиптрической поверхности в минутах дуги;  $A$  — азимут светила;  $A_0$  — азимут наклона нормали;  $z$  — зенитное расстояние светила, то приняв в нашем случае  $A = A_0 = 90$ ,  $i = 8'' = 480'$ ,  $z = 40^\circ$  и предположив, что наклон местности вызывает эквивалентный наклон изодиптрических поверхностей во всей эффективной толще атмосферы, получим  $\Delta\varphi \approx 14''$ , 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. *Мазая А. В.* Исследование астрономической рефракции по материалам наблюдений. — *Вестник ВИА* им. В. В. Куйбышева, 1955, № 88, с. 71—76. 4. Таблица по геодезической астрономии. — Тр. ЦНИИГАиК, 1963, вып. 163, с. 89—122. 5. *Кирпичук 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 редакцию 30. 04. 85

УДК 528.16

## Н. А. ЛОШКАРЕВ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛНОЙ НЕВЯЗКИ ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ СЕТИ

При построении инженерных геодезических сетей специального назначения часто возникает необходимость в жестком контроле результатов измерений для обнаружения систематического влияния, изменяющего дисперсии измеряемых величин или их математические ожидания. Органические возможности контроля по внутренней сходимости связаны именно с невозможностью обнаружения систематических ошибок, поэтому контроль измерений по значениям невязок является наиболее надежным методом оценки их качества. Допустимые невязки рассчитывают обычно, исходя из независимости и нормальности ошибок измерений, принимая в качестве предельных двойную (вероятность 95%) или тройную ошибку.

Однако в геодезической практике до настоящего времени не принято рассматривать систему невязок в совокупности и тем самым применять критерии случайности ряда наблюдаемых величин. Наиболее удобен для этой цели  $\chi^2$ -критерий, позволяющий вычислять сумму квадратов нормированных стандартных случайных величин, имеющую центральное  $\chi^2$ -распределение. Попадание вычисленной суммы квадратов в критическую область с принятой вероятностью интерпретируется как неравенство нулю математического ожидания ошибок (систематическое влияние) или как увеличение стандартных ошибок, т. е. понижение точности измерений. Непосредственному применению этой процедуры препятствуют два обстоятельства — невязки не являются независимыми, так как обычно включают общие измерения; при составлении условий уравнений возможны неравноценные варианты.

Задача, следовательно, заключается в разработке такой методики комплексного оценивания качества измерений по невязкам, чтобы конечные оценки не зависели от избранного варианта систе-