

УДК 521.9—653

Поправки в астрономическую рефракцию за эллипсоидальность Земли

Н. А. Василенко

В работе приводятся два вида поправок к астрономической рефракции за эллипсоидальность Земли. Один из них обусловлен тем, что лучи от наблюдаемого объекта проходят слои атмосферы под несколько иными углами, чем при сферическом расположении слоев, а другой — изменением распределения плотности атмосферы, связанного с изменением силы тяжести на поверхности Земли. Производится анализ изменений этих поправок в зависимости от широты места, азимута и зенитного расстояния. При точности наблюдений 0.01" предлагается учет поправок первого вида для зенитных расстояний, превышающих 75°.

CORRECTIONS FOR THE EARTH'S ELLIPTICITY TO ASTRONOMICAL REFRACTION, by Vasilenko N. A.— Two types of corrections for the Earth's ellipticity to astronomical refraction are given. The first type is due to the fact that the rays from observed object pass through the atmospheric layers at some different angles than in the case of spherically stratified medium. The second one is specified by variations of atmospheric density due to variations of gravity on the Earth's surface. The dependence of these corrections on the latitude, azimuth and zenith distance is analysed. When the precision of observations is 0.01" the correction of the first type is recommended for $Z > 75^\circ$.

Существует два вида поправок в астрономическую рефракцию за эллипсоидальность Земли. Один из них обусловлен тем, что лучи от наблюдаемого объекта проходят слои атмосферы под иными углами, чем при сферическом расположении слоев, а другой связан с изменением силы тяжести на поверхности Земли, т. е. с изменением распределения плотности атмосферы.

В 1924 г. П. Гарцер разработал теорию и таблицы рефракции [8], учитывающие эллипсоидальность Земли, но из-за трудоемкости вычислений эти таблицы не получили признания. В практике астрономических наблюдений учет рефракции производится по таблицам, постоянная часть которых составлена для двухмерной сферической модели атмосферы.

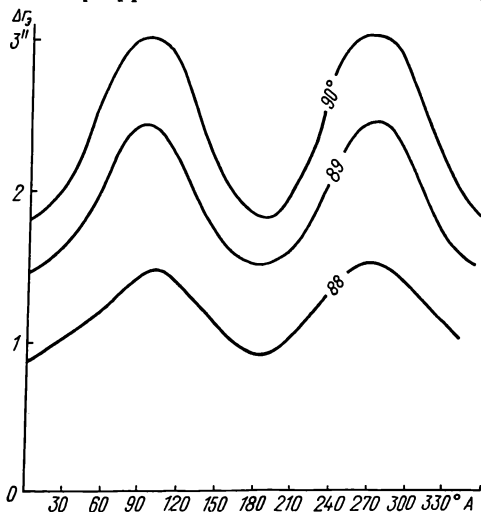
В 1917 г. А. С. Васильевым [1] были вычислены поправки в рефракцию первого вида для наблюдений в меридиане Одессы и Пулкова, но эти поправки оказались чрезмерно большими и также не получили признания. Хотя эти поправки должны быть достаточно малыми, так как углы между касательными к эллипсоиду и сфере в точке пересечения луча с поверхностью слоя воздуха весьма малы. Ошибочность их еще и в том, что они для Одессы больше, а для Пулкова меньше, тогда как должно быть наоборот. По оценкам А. И. Нефедьевой [4], например, эти поправки на зенитном расстоянии 89° в меридиане могут достигать 2". Однако величина поправки зависит и от азимута.

Исходя из предположения о параллельности слоев атмосферы относительно уровневой поверхности геоида, произведем вычисления поправок первого вида на широтах 45, 60, 75, 90° для направлений через каждые 30° и для зенитных расстояний 75, 80, 85, 88—90°. Для этого воспользуемся формулой рефракции, полученной для модели атмосферы с постоянной плотностью [7]

$$r = \arcsin \left\{ \frac{n \sin \xi}{1 + \mu} \left[1 - \left(\frac{\sin \xi}{1 + \mu} \right)^2 \right]^{1/2} - \frac{\sin \xi}{1 + \mu} \left[1 - \left(\frac{n \sin \xi}{1 + \mu} \right)^2 \right]^{1/2} \right\}, \quad (1)$$

где $\mu = H/R'$, $H = 7.95$ км — высота атмосферы с постоянной плотностью, R' — попеременно обозначает то радиус кривизны нормального сечения земного эллипсоида R_A , то средний радиус Земли на данной

широте R_c , принимающий для заданных широт на основании [2] значения 6371.2, 6367.6, 6362.4 и 6356.9 км; ξ — видимое зенитное расстояние наблюдаемого объекта; $n=1.000285$ — показатель преломления. Эта формула при попеременной подстановке в μ значений R_c или R_A для данной широты места позволяет получить величину астрономической рефракции для наблюдателя, находящегося как на поверхности



сферической Земли r_c , так и на поверхности земного эллипсоида r_3 . Разность $\Delta r_3 = r_3 - r_c$ и дает нам искомую поправку. Формула дает удовлетворительные значения величин рефракции до $\xi \approx 85^\circ$, а для разностей Δr_3 она достаточно точна до $\xi = 90^\circ$, так как в разности исключаются систематические ошибки вычисления, которые для r_3 и r_c одинаковы.

Зависимость поправок первого вида от направления (азимута)

Радиус кривизны нормального сечения, имеющего азимут A , согласно [3], может быть представлен формулой

$$R_A = R \left(1 - \frac{e^2}{2} \cos^2 B \cos 2A \right), \quad (2)$$

в которой B — широта места наблюдения, e — эксцентриситет земного эллипсоида, R — средний радиус кривизны нормального сечения в данной точке, определяемый выражением

$$R = (M \cdot N)^{1/2} = \frac{a(1 - e^2)^{1/2}}{1 - e^2 \sin^2 B}. \quad (3)$$

Здесь a — большая полуось земного эллипсоида, M и N — главные радиусы кривизны нормальных сечений в направлении меридиана и перпендикуляра.

Для точек земного эллипсоида с широтами 45, 60, 75 и 90° средние радиусы кривизны нормальных сечений R , согласно (3), будут равны соответственно 6378.109, 6388.936, 6396.811 и 6399.699 км. Из формулы (2) следует, что на полюсах Земли R_A одинаковы по всем направлениям и равны R . Следовательно, и поправки в рефракцию там максимальны и равны по всем направлениям.

Как показали расчеты по формулам (1)–(3), для широт 45, 60 и 75° поправки оказались максимальными в азимутах 90 и 270°, минимальными в азимутах 0 и 180° и равными в противоположных направлениях. В табл. 1 представлены поправки к рефракции первого вида. Зависимости поправок от направления в виде синусоид для зенитных расстояний 88, 89 и 90° на широте 60° показаны на рисунке.

Поправки в рефракцию второго вида за изменение распределения плотности атмосферы, связанного с изменением силы тяжести, представлены в табл. 2 и 3. Эти поправки получены для уровенной поверхности геоида при $h=0$. Для их получения были использованы редуцированные формулы таблиц астрономической рефракции [5] и [6].

Поправки в астрономическую рефракцию за эллипсоидальность Земли позволяют осуществить переход от двухмерной сферической

Таблица 1. Поправки за эллипсоидальность Земли первого вида

B	A	ξ					
		75°	80°	85°	88°	89°	90°
45°	0°, 180°	-0.002"	-0.012"	-0.041"	-0.207"	-0.332"	-0.384"
	30, 150, 210, 330	0	0.007	0.020	0.078	0.174	0.179
	60, 120, 240, 300	0.006	0.023	0.142	0.707	1.154	1.421
	90, 270	0.011	0.033	0.206	0.992	1.622	2.040
60°	0, 180	0.006	0.029	0.185	0.914	1.485	1.807
	30, 150, 210, 330	0.006	0.027	0.214	1.067	1.709	2.106
	60, 120, 240, 300	0.013	0.044	0.276	1.351	2.213	2.725
	90, 270	0.015	0.044	0.309	1.525	2.458	3.016
75°	0, 180	0.015	0.052	0.390	1.900	3.032	3.742
	30, 150, 210, 330	0.014	0.050	0.401	1.941	3.100	3.822
	60, 120, 240, 300	0.013	0.052	0.415	2.023	3.232	3.960
	90, 270	0.015	0.060	0.425	2.062	3.298	4.041
90°	0, 180	0.021	0.085	0.503	2.463	3.917	4.815
	30, 150, 210, 330	0.021	0.085	0.503	2.463	3.917	4.815
	60, 120, 240, 300	0.021	0.085	0.503	2.463	3.917	4.815
	90, 270	0.021	0.085	0.503	2.463	3.917	4.815

Таблица 2. Поправки за эллипсоидальность Земли второго вида относительно широты 59°46'

ξ	B								
	40°	45°	50°	55°	60°	65°	70°	75°	90°
0°	0"	0"	0"	0"	0"	0"	0"	0"	0"
10	-0.018	-0.013	-0.008	-0.004	0.001	0.004	0.008	0.010	0.014
30	-0.058	-0.043	-0.027	-0.013	0.002	0.014	0.025	0.034	0.046
50	-0.120	-0.088	-0.057	-0.027	0.003	0.029	0.051	0.070	0.093
70	-0.271	-0.203	-0.130	-0.062	0.007	0.065	0.115	0.159	0.213
80	-0.552	-0.407	-0.262	-0.124	0.014	0.130	0.232	0.320	0.429
85	-1.023	-0.754	-0.485	-0.229	0.027	0.243	0.431	0.593	0.795
88	-1.896	-1.397	-0.898	-0.499	0.050	0.450	0.799	1.099	1.474
89	-2.527	-1.862	-1.197	-0.566	0.067	0.599	1.065	1.465	1.965
90	-3.585	-2.642	-1.699	-0.802	0.094	1.323	1.511	2.079	2.788

Таблица 3. Поправки за эллипсоидальность Земли второго вида относительно широты 45°33'

ξ	B								
	40°	45°	50°	55°	60°	65°	70°	75°	90°
0°	0"	0"	0"	0"	0"	0"	0"	0"	0"
10	-0.005	0	0.004	0.009	0.013	0.017	0.020	0.023	0.027
30	-0.017	-0.004	0.013	0.028	0.042	0.054	0.065	0.074	0.086
50	-0.035	-0.004	0.027	0.057	0.086	0.112	0.134	0.152	0.176
70	-0.080	-0.009	0.062	0.132	0.197	0.256	0.307	0.348	0.403
80	-0.161	-0.018	0.126	0.265	0.396	0.514	0.617	0.700	0.811
85	-0.297	-0.032	0.234	0.491	0.734	0.953	1.143	1.296	1.502
88	-0.548	-0.060	0.429	0.904	1.350	1.753	2.102	2.385	2.764
89	-0.726	-0.080	0.568	1.196	1.787	2.321	2.782	3.157	3.659
90	-1.020	-0.111	0.798	1.678	2.506	3.256	3.903	4.428	5.132

модели атмосферы, положенной в основу таблиц рефракции [5] и [6], к трехмерной эллипсоидальной. Полученные величины поправок дают представление о степени различия влияний на астрономическую рефракцию сферической и эллипсоидальной (в пределах сжатия 1 : 300) модели земной атмосферы.

Составление глобальных таблиц рефракции, основанных на трехмерной эллипсоидальной модели атмосферы, по-видимому, не целесообразно, так как таковые могут составляться только для определенных точек земной поверхности, например для больших обсерваторий.

В заключение отметим, что таблицы астрономической рефракции [5] и [6], по которым в настоящее время производится учет рефракции, ни в своей постоянной части, ни в переменной не содержат поправок первого вида за эллипсоидальность Земли, представленных в табл. 1. При точности наблюдений $0.01''$ эти поправки следует учитывать для зенитных расстояний, превышающих 75° .

Поправки второго вида (табл. 2 и 3) равны нулю на широтах $59^\circ 46'$ и $45^\circ 33'$ соответственно. К северу от этих широт поправки положительны, к югу — отрицательны и растут с увеличением разностей широт.

1. *Васильев А. С.* Влияние формы и приливов земной атмосферы на зенитные расстояния светил.— Изв. Российской Академии Наук, 1919, 13, № 3, с. 175—206.
2. *Глаголев Ю. А.* Справочник по физическим параметрам атмосферы.— Л.: Гидрометеоздат, 1970.—211 с.
3. *Закатов П. С.* Курс высшей геодезии. Сфероидическая геодезия с основами гравиметрии и практической астрономии.— М.: Геодезиздат, 1953.—405 с.
4. *Нефедьева А. И.* Астрономическая рефракция. Ч. II.— Изв. астрон. обсерватории им. Энгельгардта, 1973, № 40, с. 3—69.
5. *Нефедьева А. И.* Таблицы астрономической рефракции.— Изв. астрон. обсерватории им. Энгельгардта, 1978, № 45, с. 3—90.
6. *Таблицы рефракции Пулковской обсерватории.*— М.— Л.: АН СССР, 1956.—32 с.
7. *Федянин М. Р., Морозов А. М.* Формулы астрономической рефракции и воздушной массы, полученные из модели земной атмосферы с постоянной плотностью.— Астрономия и геодезия, 1984, вып. II, с. 80—89.
8. *Harzer P.* Berechnung der Ablenkungen der Lichtstrahlen in der Atmosphäre der Erde auf rein meteorologischphysikalischer Grundlage.— Publ. Sternwarte in Kiel, 1922—1924, 13, S. 89 (3—89).

Главная астрономическая обсерватория АН УССР,
Киев

Поступила в редакцию
16.07.1984