

А. С. Суюнов

**УЧЕТ АТМОСФЕРНЫХ ВЛИЯНИЙ НА РЕЗУЛЬТАТЫ СВЕТОДАЛЬНОМЕРНЫХ
ИЗМЕРЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ**

Как указано в [2], пространственная неоднородность плотности атмосферы приводит к неравномерности распространения света.

Для исследования особенностей рефракционного поля над поливальными площадками в условиях Центральной Азии нами собран обширный материал. Данные круглосуточных метеорологических изме-

рений аз 1955, 1959, 1968, 1982, 1988 гг. дают возможность проанализировать действие рефракции на результаты геодезических измерений над различными подстилающими поверхностями. Метеорологические наблюдения проводили на специальных метеостанциях Фетчинка, Дахбет, Бос-Су, Галла-Арал и Такиаташ, расположенных на территории Центральной Азии. Измеряли температуру, влажность и давление воздуха на высотах 0,2, 0,5, 1,0 и 2,0 м над полями картофеля, риса, хлопчатника и люцерны. Измерения вышеуказанных метеорологических элементов проводили в течение года круглосуточно с интервалом два-три часа. Поскольку высокоточные геодезические измерения в соответствии с действующими инструкциями в наиболее стабильном слое воздуха от 0 до 0,5 м не проводятся, то значения метеопараметров на высоте 0,2 м исключены из дальнейшей обработки.

Выполнение акпериментальных геодезических работ изложено в [3,4].

Известно, что между двумя точками в пространстве свет распространяется не по прямой линии, а по некоторой пространственной кривой, небольшая кривизна которой располагается в вертикальной плоскости, так как именно в этой плоскости градиенты показателя преломления воздуха максимальны. Поправки за рефракцию ΔL_r для светодальномерных измерений вычисляют по формуле

$$\Delta L_r = - \frac{L^3}{24R_c^2}. \quad (1)$$

В свою очередь, кривизну траектории луча $1/R_c$ можно вычислить по формуле

$$\frac{1}{R_c} = \frac{dn_c}{dh \cdot 10^6}, \quad (2)$$

где dn/dh - градиент индекса показателя преломления световых волн; L - длина пространственной кривой; R_c - радиус световой кривой.

Для определения вертикального градиента индекса показателя преломления dn/dh на высоте 1 м нами были использованы индексы показателя преломления - N для световых волн на высотах 0,5; 1,0 и 2,0 м. При этом для вычисления N использовались таблицы [1]. Все вычисления выполнены на ЭЕМ ЕС-1033.

Для основных синоптических сроков метеорологических наблюдений, указанных в [3], получены среднемесячные значения N для

высот 0,5; 1,0; 2,0 м над люцерной, хлопчатником, рисом и картофельным полем (над картофельным полем метеорологические измерения проводились в два периода вегетации - весенний (май-июлю) и летний (июль-октябрь)). Затем путем дальнейшего усреднения получены среднесезонные значения индекса показателя преломления N . Полученные данные аппроксимировались формулой

$$N = N_0 + bh^c, \quad (3)$$

позволяющей определить N на некоторой высоте h . В формуле (3) N_0 - индекс показателя преломления у поверхности Земли; b и c - искомые коэффициенты, которые вычисляются по формулам:

$$c = \frac{\lg \Delta N_2 - \lg \Delta N_1}{\lg 2}, \quad (4)$$

$$b = \frac{\Delta N_1}{1^c - 0,5^c} - \frac{\Delta N_2}{2^c - 1^c}, \quad (5)$$

$$\Delta N_1 = N_{1,0} - N_{0,5}, \quad (6)$$

$$\Delta N_2 = N_{2,0} - N_{1,0}. \quad (7)$$

Дифференцируя (3) по h , получим формулу градиента индекса показателя преломления:

$$\frac{dN}{dh} = \gamma_N = bch^{c-1}. \quad (8)$$

Принимая в формуле (8) $h = 1$ м, найдем вертикальные градиенты индекса показателя преломления на высоте 1 м, γ_{N1} :

$$\gamma_{N1} = b \cdot c. \quad (9)$$

Вычисления, выполненные по формуле (9), сведены в табл.1.

Далее, используя формулу (8), найдем dN/dh на высотах 2, 5 и 10 м. Затем найдем $1/R_c$ по формуле (2), и наконец, вычислим ΔL_r по формуле (1), принимая $L = 5$ км.

Результаты вычислений ΔL_r приведены в табл.2.

Рассматривая табл.2, видим, что поправки ΔL_r больше 2 см только ночью; они максимальные летом во время наиболее частого искусственного полива. Это подтверждается тем, что поправки для линий над рисовым полем, где почти всегда вода, больше значений для линий над полями других культур в период наиболее частого полива.

Среднесезонные значения вертикальных градиентов индекса показателя
 преломления световых волн n_1 на высоте 1 м

| Сезон | Время, ч | | | | | | | | Примечание |
|------------------|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|------------|
| | 1 | 4 | 7 | 10 | 13 | 16 | 19 | 22 | |
| Над люцерной | | | | | | | | | |
| Зима | -0,476 | -0,428 | -0,340 | 0,006 | -0,080 | -0,347 | -0,536 | -0,510 | |
| Весна | -0,905 | -1,006 | -0,602 | -0,304 | 0,221 | 0,045 | -0,734 | -0,892 | полив |
| Лето | -1,403 | -1,467 | -0,274 | -0,137 | -0,201 | 0,346 | -1,424 | -1,398 | полив |
| Осень | -0,954 | -0,727 | -0,466 | -0,278 | 0,170 | -0,124 | 0,852 | -0,770 | |
| Над хлопчатником | | | | | | | | | |
| Весна | -0,884 | -0,852 | -0,105 | -0,580 | 1,076 | 0,287 | -0,514 | -0,860 | полив |
| Лето | -1,248 | -1,621 | -0,344 | -0,330 | 0,356 | 0,038 | -1,839 | -2,071 | полив |
| Осень | -1,848 | -2,067 | -0,781 | -0,396 | 0,342 | -0,805 | -2,616 | -2,011 | |
| Над рисом | | | | | | | | | |
| Весна | -1,002 | -1,304 | -0,936 | -0,830 | -0,023 | 0,986 | 0,047 | -0,388 | полив |
| Лето | -2,015 | -2,108 | -0,870 | -0,446 | -0,093 | -0,006 | -0,178 | 2,024 | полив |
| Осень | 0,594 | 0,835 | 2,183 | 1,315 | -0,943 | -1,035 | -0,495 | 0,400 | |
| Над картофелем | | | | | | | | | |
| Весна | -0,777 | -0,695 | -0,208 | -0,475 | 1,077 | 0,663 | 0,031 | -0,533 | |
| Лето | -1,331 | -2,004 | -0,475 | -0,223 | -0,346 | -0,044 | -1,550 | -1,901 | полив |
| Осень | -0,801 | -0,603 | -0,378 | -0,342 | 0,073 | -0,220 | -0,893 | -0,611 | |

Рефракционные сдвиги ΔL_r светодальномерных измерений, мм

| Высота луча, м | Время, ч | | | | | | | |
|----------------------|----------|---|---|----|----|----|----|----|
| | 1 | 4 | 7 | 10 | 13 | 16 | 19 | 22 |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |

Над ледерной

Зима

| | | | | | | | | |
|----|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|
| 2 | -0,99 | -0,21 | -0,19 | 0,04 | -0,07 | -0,12 | -0,30 | -0,30 |
| 5 | -0,21 | -0,07 | -0,08 | 0,00 | -0,03 | -0,09 | -0,14 | -0,85 |
| 10 | -0,01 | -0,01 | -0,02 | 0,00 | 0,00 | -0,01 | -0,00 | -0,21 |

Весна

| | | | | | | | | |
|----|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|
| 2 | -1,71 | -1,04 | -0,52 | 0,02 | -0,05 | +0,04 | -0,05 | -0,71 |
| 5 | -0,84 | -0,17 | -0,22 | 0,00 | -0,01 | 0,00 | -0,19 | -0,19 |
| 10 | -0,14 | 0,00 | -0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -0,06 | -0,04 |

Лето

| | | | | | | | | |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 2 | -3,98 | -2,21 | -0,71 | -0,20 | +0,03 | +0,10 | -2,73 | -4,21 |
| 5 | -1,30 | -0,50 | -0,17 | -0,09 | 0,00 | +0,02 | -2,13 | -3,85 |
| 10 | -0,21 | -0,12 | -0,08 | -0,03 | 0,00 | 0,00 | -0,15 | -0,24 |

Осень

| | | | | | | | | |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 2 | -1,00 | -1,81 | -0,81 | -0,11 | +0,02 | -0,04 | -2,36 | -1,91 |
| 5 | -0,33 | -1,05 | -0,33 | -0,05 | 0,00 | -0,02 | -1,50 | -0,98 |
| 10 | -0,01 | -0,09 | -0,03 | -0,02 | 0,00 | -0,01 | -0,47 | -0,08 |

Над кончаткином

Весна

| | | | | | | | | |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 2 | -0,80 | -0,81 | -1,26 | +0,31 | +1,43 | +0,98 | -1,93 | -2,11 |
| 5 | -0,34 | -0,28 | -0,75 | 0,03 | +0,15 | +0,81 | -1,25 | -1,25 |
| 10 | -0,01 | -0,02 | -0,04 | 0,00 | +0,01 | +0,03 | -0,17 | -0,10 |

Лето

| | | | | | | | | |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 2 | -2,44 | -1,83 | -0,16 | +0,12 | +0,08 | +0,54 | +4,54 | -2,33 |
| 5 | -0,10 | +0,03 | -0,03 | +0,02 | +0,01 | +0,17 | -2,17 | -1,10 |
| 10 | -0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -0,01 | -0,21 | -0,04 |

Осень

| | | | | | | | | |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 2 | -2,32 | -3,11 | -0,43 | +0,13 | +0,13 | -0,21 | -2,31 | -2,94 |
| 5 | -0,06 | -0,12 | -0,04 | +0,01 | +0,04 | -0,02 | -0,95 | -1,10 |
| 10 | -0,01 | -0,03 | -0,01 | 0,00 | 0,00 | -0,01 | -0,04 | -0,04 |

Над рисом

Весна

| | | | | | | | | |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 2 | -2,01 | -1,34 | -0,81 | -0,22 | -0,35 | -0,12 | -0,35 | -0,97 |
| 5 | -1,14 | -0,45 | -0,51 | -0,09 | -0,21 | -0,02 | -0,18 | -0,33 |
| 10 | -0,21 | -0,15 | -0,07 | -0,02 | -0,04 | 0,00 | -0,08 | -0,08 |

Лето

| | | | | | | | | |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 2 | -4,98 | -3,15 | -1,41 | -0,45 | -0,09 | +0,11 | -2,33 | -4,78 |
| 5 | -1,76 | -0,94 | -0,24 | -0,13 | -0,02 | -0,03 | -1,98 | -4,11 |
| 10 | -0,28 | -0,15 | -0,11 | -0,05 | -0,01 | 0,00 | -0,19 | -0,33 |

Продовження табл.

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Осень | | | | | | | | |
| 2 | -1,32 | -1,41 | -3,54 | -0,50 | +0,17 | +0,16 | -0,22 | -2,31 |
| 5 | -0,04 | -0,05 | -1,09 | -0,04 | +0,03 | +0,02 | -0,01 | -0,68 |
| 10 | -0,01 | -0,01 | -0,03 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | -0,01 | -0,02 |
| Над картофелем | | | | | | | | |
| Весна | | | | | | | | |
| 2 | -1,01 | -0,93 | -0,81 | +0,41 | +1,45 | +0,36 | -1,43 | -2,23 |
| 5 | -0,27 | -0,32 | -0,52 | +0,05 | +0,16 | +0,16 | -1,03 | -1,29 |
| 10 | -0,02 | -0,02 | -0,03 | 0,00 | 0,01 | +0,01 | -0,05 | +0,06 |
| Лето | | | | | | | | |
| 2 | -2,61 | -1,74 | -0,21 | +0,15 | +0,07 | +0,57 | +4,43 | -3,16 |
| 5 | -0,42 | -0,84 | -0,03 | -0,02 | -0,01 | +0,06 | +0,77 | -0,60 |
| 10 | -0,03 | -0,04 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,02 | -0,02 |
| Осень | | | | | | | | |
| 2 | -3,46 | -2,01 | -0,73 | -0,10 | +0,03 | -0,12 | -2,44 | -1,83 |
| 5 | -1,21 | -0,39 | -0,29 | -0,06 | 0,00 | -0,08 | -1,53 | -0,88 |
| 10 | -0,20 | -0,07 | -0,04 | -0,01 | 0,00 | -0,01 | -0,41 | -0,08 |

Анализуя результаты, представленные в таблицах, можно сделать следующие выводы:

- суточный ход индекса показателя преломления над различными подстилающими поверхностями колеблется в различные периоды года до 8, а летом даже до 11,5 единиц шестого знака N;

- максимальные рефракционные ошибки светодальномерных измерений приходятся на летний сезон года. Так, при длине линии 5 км и средней высоте визирного луча $h_{ср}$ - 5 м над поливными полями поправки достигают 4,1 мм, с увеличением высоты луча резко уменьшаются;

- подстилающая поверхность в условиях Центральной Азии оказывает существенное влияние на значение вертикального градиента N и, соответственно, на величину рефракционных ошибок при линейных измерениях. Для уменьшения влияния рефракции над территориями искусственного полива следует предусматривать высоту луча над подстилающей поверхностью не менее 5 м.

1. Вугаев Ю.Г., Гричук Ю.П., Яворский Б.Д. Таблицы для вычисления длин сторон полигонометрии и трилатерации 1 и 2 классов, измеренных свето- и радиодальномерами. М., 1969. 2. Островский А.Л., Джуман В.М., Заблочный Ф.Д. и др. Учет атмосферных влияний на астрономо-геодезические измерения. М., 1990. 3.

Островский А.Л., Тлустяк Б.Т., Суюнов А.С. Об учете вертикальной рефракции в условиях Средней Азии // Геодезия и картография. 1987. N 5. С.19-21. 4. Суюнов А.С., Власенко С.Г., Колзунов В.М. Закономерности действия вертикальной рефракции в условиях Средней Азии // Геодезия, картография и аэрофотосъемка. 1988. Вып. 47. С.61-66.