

Л. С. ХИЖАК, А. Е. ФЕДОРИЩЕВ

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ С ЦЕЛЬЮ УЧЕТА РЕФРАКЦИОННЫХ ИСКАЖЕНИЙ В ПОГРАНИЧНОМ СЛОЕ АТМОСФЕРЫ

Большое влияние на индекс показателя преломления воздуха, который является функцией положения точек в пространстве на пути светового луча, оказывает температурное поле. Это влияние наиболее значительно в пограничном слое атмосферы, где температурное поле особо неоднородно и результаты геодезических измерений обременяются погрешностями рефракционного характера. Для правильного определения метеоэлементов необходимо знать закономерность их распределения в атмосфере по величине.

В настоящее время в нашей стране довольно подробно изучен пограничный слой атмосферы, менее изучен его нижний 500-метровый слой. И очень слабо — приземный. Среди наиболее фундаментальных исследований и опубликованных данных в этой области заслуживают особого внимания работы Лайхтмана Д. Л. [5], Воронцова П. А. [1, 2], Зилитинкевича С. С. [4] и других. Труды этих авторов обычно базируются на массовом исследовательском материале из экспедиционных и стационарных наблюдений.

В геодезической практике особенно важно знать структуру и закономерности вертикального распределения метеорологических элементов в пограничном и его нижнем полукилометровом слое атмосферы. Именно здесь совершается целый ряд метеорологических процессов и явлений, надежных сведений о которых мы пока не имеем. В результате, как справедливо замечает Воронцов П. А. [2], во многих теоретических работах исходные параметры часто недостаточно обоснованы и не соответствуют фактическим распределениям в атмосфере.

Установление более достоверных закономерностей вертикального распределения метеоэлементов поможет уточнить искажение световых

волн при их прохождении в пограничном слое отмосферы и улучшить результаты геодезических измерений.

Наши исследования ставили своей целью установить некоторые закономерности изменения температуры с высотой в пограничном слое атмосферы и выяснить, какие факторы влияют на распределение температуры. Исходя из этого, нами исследовалось влияние скорости ветра на высоте 2 м и вертикальной разности температур на высоте 25 и 2 м на распределение температуры с высотой. В дальнейшем вертикальные разности условимся обозначать через τ .

Для решения поставленной задачи были использованы материалы аэростатного зондирования атмосферы [3], [6], [7].

Обрабатывались результаты 372 зондирований пограничного слоя атмосферы на высотах от двух до пятисот метров. Все результаты зондирования атмосферы по скорости ветра были разделены на три группы. В первую группу включены результаты, выполненные при скорости ветра от 0 до 2 м/сек, во вторую — от 2 до 4 м/сек, в третью — от 4 до 8 м/сек. Каждая группа по τ была разделена на пять подгрупп с таким расчетом, чтобы средние значения разностей температур в каждой подгруппе были одинаковы. Кроме того, в каждой из 15 полученных нами подгрупп, содержащих в среднем по 25 результатов зондирований атмосферы, были определены средние значения температур для высот зондирования, скорости ветра и вертикальных разностей температур.

В дальнейшем нами образованы разности между средними значениями температур на всех высотах и каждым средним значением на высоте 2 м. Полученные разности для трех групп приведены в табл. 1. В этой же таблице приведены средние значения скорости ветра ($v_{ср}$) и вертикальных разностей температур ($\tau_{ср}$).

Таблица I

Средние разности температур на высоте зондирования 2—500 метров

Группы	Под- груп- пы	Высота зондирования, м										$\tau_{ср}$	$v_{ср}$
		25	50	75	100	150	200	250	300	400	500		
I 0—2 м/сек	1	-1,4	-1,6	-1,6	-1,6	-1,4	-1,4	-1,7	-2,0	-2,9	-3,1	-1,42	1,4
	2	-0,8	-0,9	-0,9	-1,1	-1,1	-1,1	-1,2	-1,5	-1,9	-2,0	-0,79	1,4
	3	-0,3	-0,4	-0,5	-0,6	-0,9	-0,9	-0,9	-1,0	-1,4	-2,0	-0,30	1,5
	4	0	0	+0,1	+0,1	+0,3	+0,4	+0,3	+0,1	-0,2	-1,2	0	1,33
	5	+1,6	+2,4	+2,9	+3,2	+3,8	+3,7	+3,1	+3,1	+2,5	+2,6	+1,58	1,6
II 2—4 м/сек	1	-1,5	-1,7	-1,8	-2,0	-2,3	-2,6	-2,9	-3,2	-3,8	-4,5	-1,42	3,4
	2	-0,8	-1,1	-1,2	-1,3	-1,6	-1,7	-1,8	-1,9	-2,4	-2,9	-0,78	3,5
	3	-0,3	-0,5	-0,7	-0,8	-0,9	-1,0	-1,1	-0,9	-1,22	-1,6	-0,34	3,5
	4	0	0	+0,2	+0,4	+0,5	+0,8	+1,0	+1,0	+0,6	+0,1	0	3,1
	5	+1,3	+2,4	+2,7	+3,0	+3,4	+3,5	+3,4	+3,4	+2,9	+2,2	+1,55	3,4
III 4—8 м/сек	1	-1,3	-1,9	-2,1	-2,4	-2,9	-3,2	-3,4	-3,6	-4,8	-5,1	-1,36	5,6
	2	-0,9	-1,2	-1,4	-1,6	-2,1	-2,4	-2,8	-3,0	-3,8	-4,4	-0,78	5,5
	3	-0,4	-0,7	-0,9	-1,1	-1,5	-1,6	-1,6	-1,8	-2,0	-2,2	-0,37	5,1
	4	0	-0,2	-0,3	-0,4	0,5	-0,4	-0,5	-0,3	-0,3	-0,4	0	5,2
	5	+1,5	+2,0	+2,1	+2,1	+1,9	+1,7	+1,6	+1,4	+1,1	+0,6	+1,52	4,6

Примечание: На высоте зондирования 2 м τ равна 0.

Для выявления зависимости распределения разностей температур с высотой мы аппроксимировали эти разности в каждой подгруппе полиномом пятой степени вида

$$\Delta t_0 = ah + bh^2 + ch^3 + dh^4 + eh^5, \quad (1)$$

где Δt_0 — разность температур между высотой зондирования и температурой на высоте 2 м у подстилающей поверхности; h — высоты, на

которых производились измерения температур. Коэффициенты a , b , c , d , e определялись по способу наименьших квадратов.

Полученные из обработки значения коэффициентов приведены в табл. 2. Здесь же даны средние из трех групп значения коэффициентов и вертикальных разностей температур $\tau_{ср.}$. Анализируя эти разности, приходим к выводу, что явно выраженной зависимости коэффициентов полинома от скорости ветра не наблюдается. И, наоборот, имеется явная, почти линейная зависимость коэффициентов полинома

Таблица 2
Численные значения коэффициентов полинома и разностей температур

Под-группы	Коэф-фициенты полинома	Группы			Средние значения коэффициентов	Среднее из средних значений вертикальных разностей температур в слове 2-25 м
		I	II	III		
1	a	-4,296	-4,158	-4,474	-4,309	-1,40
	b	+3,495	+2,559	+2,439	+2,831	
	c	-1,063	-0,688	-0,555	-0,782	
	d	+0,103	+0,061	+0,049	+0,073	
	e	$-96 \cdot 10^{-6}$	$-104 \cdot 10^{-6}$	$-46 \cdot 10^{-6}$	$-83 \cdot 10^{-6}$	
2	a	-2,384	-2,663	-2,807	-2,618	-0,78
	b	+1,700	+1,585	+1,388	+1,558	
	c	-0,045	-0,406	-0,355	-0,416	
	d	+0,002	+0,005	+0,002	+0,003	
	e	$-104 \cdot 10^{-6}$	$-28 \cdot 10^{-6}$	$-23 \cdot 10^{-6}$	$-36 \cdot 10^{-6}$	
3	a	-0,905	-1,218	-1,714	-1,279	-0,34
	b	+0,355	+0,583	+0,740	+0,539	
	c	-0,065	-0,092	+0,106	-0,088	
	d	+0,002	+0,005	+0,002	+0,003	
	e	$-64 \cdot 10^{-6}$	$+1 \cdot 10^{-6}$	$+9 \cdot 10^{-6}$	$+5 \cdot 10^{-6}$	
4	a	-0,022	-0,107	-0,250	-0,126	0
	b	+0,298	+0,723	-0,031	+0,330	
	c	-0,121	-0,267	+0,033	-0,118	
	d	+0,011	+0,026	-0,004	+0,011	
	e	$-22 \cdot 10^{-6}$	$-23 \cdot 10^{-6}$	$+30 \cdot 10^{-6}$	$-5 \cdot 10^{-6}$	
5	a	+5,086	+5,602	+5,138	+5,275	+1,55
	b	-3,305	-3,104	-3,753	-3,384	
	c	+0,687	+0,710	+0,990	+0,972	
	d	-0,048	-0,059	-0,088	-0,065	
	e	$+19 \cdot 10^{-6}$	$+54 \cdot 10^{-6}$	$+97 \cdot 10^{-6}$	$+56 \cdot 10^{-6}$	

от вертикальных разностей температур. Наглядно это представлено на рисунке, где на оси абсцисс отложены средние значения вертикальных разностей температур $\tau_{ср.}$, на оси ординат — средние значения коэффициентов полинома a , b , c , d . Коэффициент e на график не наносился.

Учитывая отмеченное, представим коэффициенты полинома уравнениями прямых:

$$\left. \begin{array}{l} a = f_1 + k_1 \tau \\ b = f_2 + k_2 \tau \\ c = f_3 + k_3 \tau \\ d = f_4 + k_4 \tau \\ e = f_5 + k_5 \tau \end{array} \right\}, \quad (2)$$

где τ — вертикальная разность температур ($t_{25} - t_2$), измеренных на высоте 25 и 2 м. Коэффициенты f_i и k_i определялись по способу наименьших квадратов. Численные их значения приведены ниже:

коэффициент полинома	f_i	k_i
a	0,0195	3,2859
b	-0,0269	-2,0921
c	-0,0428	0,5187
d	0,0031	-0,0452
e	$134 \cdot 10^{-7}$	$463 \cdot 10^{-7}$

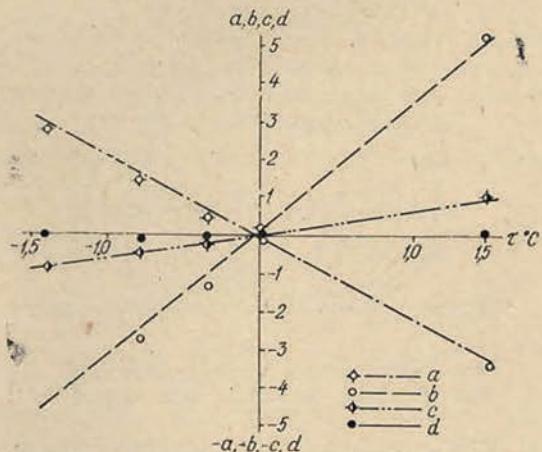
Подставляя значения коэффициентов a, b, c, d, e из (2) в полином (1) зависимость разностей температур Δt_0 от высоты и вертикальной разности температур τ можно записать в виде

$$\Delta t_0 = (f_1 + k_1 \tau) h + (f_2 + k_2 \tau) h^2 + (f_3 + k_3 \tau) h^3 + (f_4 + k_4 \tau) h^4 + (f_5 + k_5 \tau) h^5. \quad (3)$$

С учетом численных значений коэффициентов получим

$$\Delta t_0 = (0,020 + 3,286 \tau) h + (-0,027 - 2,092 \tau) h^2 + (-0,043 + 0,519 \tau) h^3 + (0,003 - 0,045 \tau) h^4 + (134 \cdot 10^{-7} + 463 \cdot 10^{-7} \tau) h^5. \quad (4)$$

Для вычисления Δt_0 по формуле (4) необходимо h выражать в сотнях метров. Уравнение (4) справедливо для $h > 25$ м.



Зависимость коэффициентов полинома от вертикальной разности температур.

Из вышеизложенного следует, что скорость ветра почти не влияет на распределение температуры с высотой. Это распределение сильно зависит от вертикальной разности температур.

ЛИТЕРАТУРА

1. Воронцов П. А. Методы аэрологических исследований пограничного слоя атмосферы. Л., Гидрометеоиздат, 1960.
2. Воронцов П. А. Аэрологические исследования пограничного слоя атмосферы. Л., Гидрометеоиздат, 1960.
3. Девятова В. А. Микроаэрологические исследования пограничного слоя атмосферы. Л., Гидрометеоиздат, 1960.
4. Зилитинкевич С. С. Динамика пограничного слоя атмосферы. Л., Гидрометеоиздат, 1970.
5. Лайхтман Д. Л. Физика пограничного слоя атмосферы. Л., Гидрометеоиздат, 1961, 1970.
6. Тр. ЦАО, 1958, вып. 21.
7. Тр. ГГО и УниГМИ, 1963, вып. 144/40.