

И. В. ЛАВРЕЦКИИ

ИЗМЕНЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ СВЕТОВЫХ ВОЛН В ПРИЗЕМНОМ ДВУХМЕТРОВОМ СЛОЕ ВОЗДУХА НАД РАЗЛИЧНЫМИ ПОДСТИЛАЮЩИМИ ПОВЕРХНОСТЯМИ

Геодезические измерения производятся в основном в приземном слое воздуха, где происходят максимальные изменения температуры, давления и влажности.

Изменения указанных метеоэлементов различны над различными подстилающими поверхностями и зависят от периода суток, времени года и погоды, которые в свою очередь вызывают соответствующие изменения показателя преломления воздуха.

Чтобы изучить закономерности в распределении показателя преломления воздуха над различными подстилающими поверхностями в слое от 0,25 до 2 м, мы использовали материал, собранный научной экспедицией, проводившей полевые экспериментальные исследования в южном степном районе УССР с июля по октябрь 1965 г.

Круглосуточные серийные наблюдения основных метеорологических элементов осуществлялись на высотах 0,25; 0,50; 1 и 2 м на метеоплощадке (выгоне), черном паре и озимой пшенице (табл. 1).

Показатели преломления воздуха находили по известной формуле:

$$n = 1 + \frac{n_{0,760} - 1}{1 - \alpha t} \frac{P_{мм}}{760} - \frac{55 \cdot e_{мм}}{1 + \alpha t} \cdot 10^{-9}, \quad (1)$$

которую предварительно преобразовывали к удобному для вычислений виду:

$$n = 1 + (82,2533 \cdot P_{ммбар} - 11,26905 e_{ммбар}) \cdot \frac{10^{-6}}{T} \quad (2)$$

или в общем виде

$$n = 1 + (A - B) C \cdot 10^{-6}. \quad (3)$$

Составлены таблицы величин A , B и C .

Построены графики (рис. 1, 2 и 3), на которых приведены значения индекса рефракции

$$N = (n - 1) \cdot 10^6 \quad (4)$$

на различных высотах для различных подстилающих поверхностей в течение суток. Над метеоплощадкой выполнено девять серий круглосуточных наблюдений; одновременно производились наблюдения над черным паром (пять серий) и над озимой пшеницей (4 серии).

На основании анализа полученных материалов можно сделать некоторые предварительные выводы:

Таблица 1

Среднее значение индекса рефракции и метеорологических элементов

Дата и время	Высо- та, м	Метеоплощадка			Черный пар			Озим я пшеница		
		$t_{\text{ср}}^{\circ}$	$e_{\text{ср}},$ мбар	N	$t_{\text{ср}}^{\circ}$	$e_{\text{ср}}$	N	$t_{\text{ср}}^{\circ}$	$e_{\text{ср}}$	N
7/VII 1965 г. 9 ³⁰ —10 ³⁰	0,25	20,8	11,3	280,21	22,5	9,3	278,80	22,0	10,2	279,34
	0,50	20,3	11,4	280,69	21,0	9,7	280,20	21,5	9,9	279,82
	1,00	19,9	10,9	281,07	20,3	9,5	280,87	21,2	9,8	280,09
	2,00	19,4	10,1	281,55	19,7	8,4	281,44	20,3	9,4	280,99
11 ³⁰ —12 ³⁰	0,25	22,9	11,4	278,45	24,4	7,2	277,32	23,6	8,6	278,12
	0,50	22,6	11,5	278,72	23,0	7,9	278,59	23,0	8,2	278,69
	1,00	22,0	10,1	279,32	22,4	7,5	279,18	22,5	8,3	279,14
	2,00	21,2	8,7	280,10	21,7	7,1	279,80	21,8	8,0	279,78
12 ³⁰ —13 ³⁰	0,25	23,9	11,7	277,64	25,0	7,3	276,89	24,0	7,7	277,92
	0,50	23,5	14,6	277,90	23,8	7,6	278,00	23,8	7,1	278,13
	1,00	22,7	9,8	278,81	23,1	7,3	278,66	23,6	7,4	278,27
	2,00	22,1	11,4	279,28	22,6	7,2	279,08	22,9	7,1	278,92
15 ³⁰ —16 ³⁰	0,25	22,0	12,4	279,31	23,7	7,2	278,02	23,8	8,6	277,99
	0,50	22,0	11,7	279,34	22,8	8,1	278,83	23,2	8,3	278,56
	1,00	21,8	12,4	279,48	22,7	7,3	278,96	23,2	8,5	278,53
	2,00	21,8	10,5	279,52	22,7	7,1	278,90	22,8	7,9	278,86
18 ³⁰ —19 ³⁰	0,25	20,5	9,9	280,86	21,4	7,8	280,21	20,0	8,6	281,52
	0,50	20,7	11,4	280,64	21,0	7,8	280,58	19,9	8,3	281,73
	1,00	20,6	12,1	280,66	21,1	7,6	280,50	20,1	8,4	281,53
	2,00	20,8	9,9	280,52	21,4	7,5	280,15	20,0	8,2	281,58
20 ³⁰ —21 ³⁰	0,25	15,2	10,0	286,31	15,5	7,2	286,24	13,3	10,5	288,42
	0,50	15,7	10,8	285,78	15,4	7,9	286,31	13,2	9,7	288,55
	1,00	15,7	11,1	285,74	15,7	7,4	286,03	13,6	9,9	288,14
	2,00	15,7	11,2	285,71	16,7	7,6	284,97	14,1	9,6	287,60
8/VII 1965 г. 0 ³⁰ —1 ³⁰	0,25	9,5	9,2	292,37	9,5	6,7	292,62	8,9	9,9	293,23
	0,50	10,6	9,9	291,21	9,5	8,1	292,53	9,2	9,7	292,90
	1,00	11,8	10,4	289,94	10,2	8,1	291,82	9,8	9,8	292,28
	2,00	13,2	10,4	288,49	11,5	7,7	290,44	12,3	9,1	289,68
4 ³⁰ —5 ³⁰	0,25	9,3	9,5	292,83	9,9	6,9	292,46	8,9	10,3	293,48
	0,50	9,2	10,0	292,92	9,5	7,8	292,81	8,9	10,1	293,45
	1,00	9,3	10,4	292,77	9,5	7,8	292,81	8,7	10,1	293,67
	2,00	10,2	9,9	291,83	9,9	8,1	292,32	8,9	9,8	293,41
6 ³⁰ —7 ³⁰	0,25	17,4	12,1	284,57	19,0	10,2	283,23	18,1	11,1	284,15
	0,50	17,2	13,1	284,73	18,2	10,5	283,96	17,9	10,5	284,27
	1,00	16,9	13,2	284,99	18,2	10,1	283,98	18,2	10,5	284,08
	2,00	16,6	12,3	285,29	18,3	9,7	283,84	17,6	10,5	284,90
9 ³⁰ —10 ³⁰	0,25	22,9	12,2	279,44	24,5	8,3	278,20	24,6	9,5	278,17
	0,50	22,3	13,0	279,98	22,8	8,8	279,78	23,3	8,9	279,41
	1,00	21,9	12,1	280,36	22,2	8,3	280,37	22,8	8,8	279,86
	2,00	21,3	12,2	280,90	22,2	7,7	280,33	22,0	8,6	280,90

1. Показатели преломления воздуха уменьшаются с высотой в промежутке времени от 1,5 до 2 часов перед заходом Солнца до 0,25—0,5 часов после восхода.

Этот промежуток в июле—августе максимальный для метеоплощадки и минимальный для черного пара; в сентябре и октябре он почти одинаковый.

В остальное время суток показатель преломления воздуха возрастает с высотой.

Максимальное значение показателя преломления для всех участков отмечено в июле, августе и сентябре при восходе Солнца; минимальное — около полудня. При этом наибольшее значение показатели преломления имели над метеоплощадкой с 6³⁰ до 13³⁰, меньшее над озимой пшеницей и черным паром.

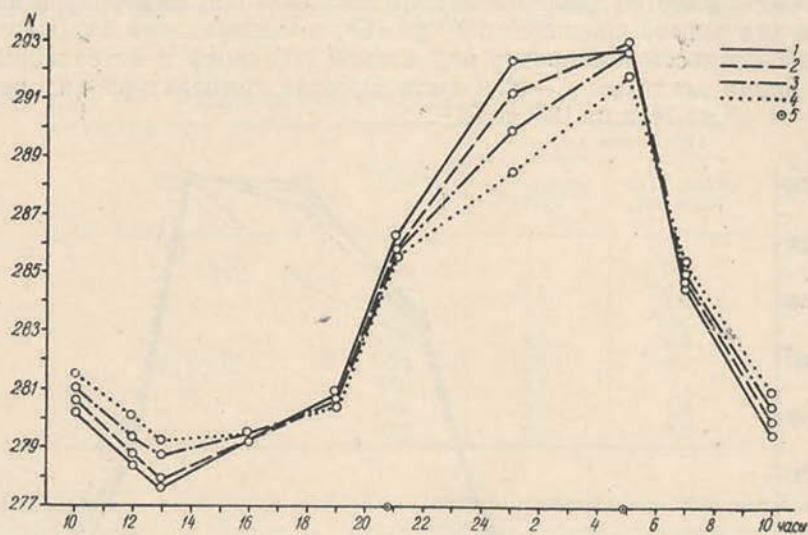


Рис. 1. График суточного хода (7—8/VII 1965 г.) средних значений индекса рефракции над метеоплощадкой (над выгоном):

1 — на высоте 0,25 м; 2 — на высоте 0,5 м; 3 — на высоте 1 м; 4 — на высоте 2 м; 5 — моменты восхода и захода Солнца*.

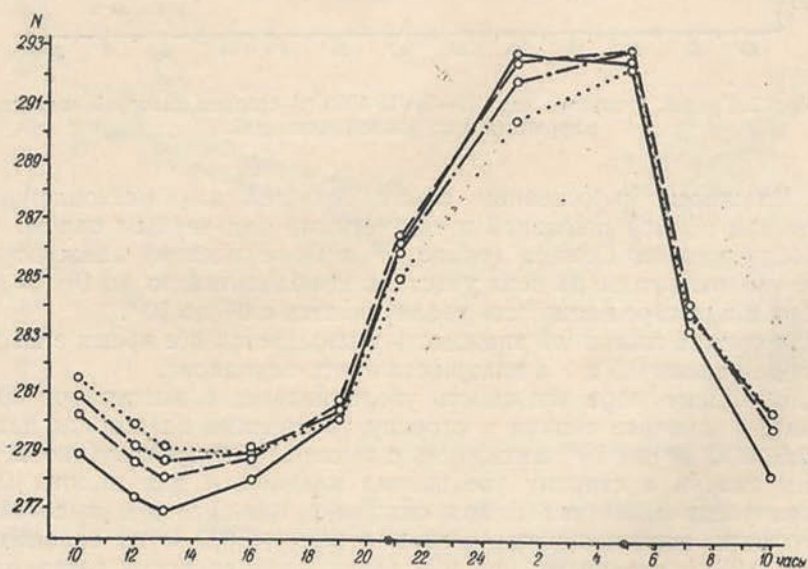


Рис. 2. График суточного хода (7—8/VII 1965 г.) средних значений индекса рефракции над черным паром.

2. Утром в течение 0,25—0,5 часа после восхода Солнца и вечером 1,5—2 часа до захода Солнца зафиксированы 10—30 минут, в которые наблюдается равенство показателей преломления воздуха.

* На рис. 1—3 даны одни и те же условные обозначения.

В июле и августе это равенство отмечают сначала над метеоплощадкой, затем над озимой пшеницей и черным паром.

3. Температура воздуха на всех участках с разными подстилающими поверхностями повышается приблизительно от 6³⁰ до 13³⁰ и понижается от 15³⁰ до 5³⁰, причем от 6³⁰ до 16³⁰ с высотой уменьшается и от 20³⁰ до 5³⁰ с высотой увеличивается. Максимальная температура наблюдается над озимой пшеницей с 9³⁰ до 16³⁰, и минимальная над метеоплощадкой. Разность температур над озимой пшеницей и метеоплощадкой в это время достигает 1—2°. Самая высокая температура над черным паром от 4³⁰ до 7³⁰ и от 18³⁰ до 21³⁰.

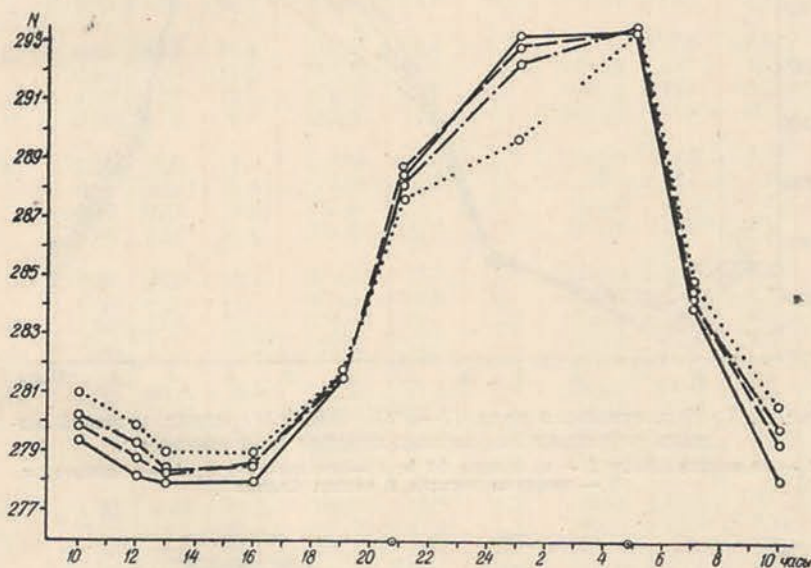


Рис. 3. График суточного хода (7—8/VII 1965 г.) средних значений индекса рефракции над озимой пшеницей.

4. Влажность в основном самая большая над метеоплощадкой, меньше над озимой пшеницей и еще меньше над черным паром.

После восхода Солнца (около 5⁰⁰ в июле месяце) влажность начинает увеличиваться на всех участках приблизительно до 9⁰⁰. В конце сентября и в ноябре влажность увеличивается с 0³⁰ до 10³⁰.

Над озимой пшеницей влажность уменьшается все время с высотой, причем для высот 0,5 и 1 м влажность почти одинакова.

Для черного пара влажность увеличивается с высотой от 20³⁰ до 6⁰⁰, причем заметнее скачки в сторону увеличения влажности для высоты 0,5 м. С 9³⁰ до 19³⁰ влажность с высотой уменьшается, но и здесь заметны скачки в сторону увеличения влажности для высоты 0,5 м. Как при увеличении, так и при снижении влажности с высотой для черного пара значение влажности для высоты 0,5 м по сравнению с высотой 0,25 м все время увеличивается, хотя скорость ветра на последней была около 3—5 м/сек.

Для метеоплощадки влажность уменьшается с высотой от 9³⁰ до 16³⁰ и увеличивается с высотой от 18³⁰ до 7³⁰, причем как при увеличении, так и при уменьшении заметны скачки в сторону увеличения влажности для высот 0,5 м по сравнению с высотами 0,25 м.

Утром, после восхода Солнца, земля на метеоплощадке и черном паре нагревается солнечными лучами, температура нижнего слоя воздуха повышается, но начинается испарение росы, тепло израсходуется,

и температура слоя воздуха на высоте 0,5 м понижается, а влажность повышается.

5. Скорость ветра увеличивается с высотой и зависит от подстилающей поверхности.

В табл. 2 указана скорость ветра 7 июля 1965 г. над черным паром и озимой пшеницей в разные промежутки времени на разной высоте.

Таблица 2

Скорость ветра в период наблюдений

Время	Высота, м	Скорость ветра, м/сек	
		над черным паром	над озимой пшеницей
15 ³⁰ —16 ³⁰	0,25	3,1	0
	0,50	3,8	0,3
	1,00	4,2	1,9
	2,00	4,8	2,8
18 ³⁰ —19 ³⁰	0,25	2,2	0
	0,50	2,8	
	1,00	3,0	1,4
	2,00	3,7	2,0

При малых скоростях ветра заметны изменения значений влажности, тогда как при больших скоростях эти значения почти одинаковы.

6. Изменение показателей преломления в значительной мере зависит от давления воздуха, состояния погоды и других факторов.

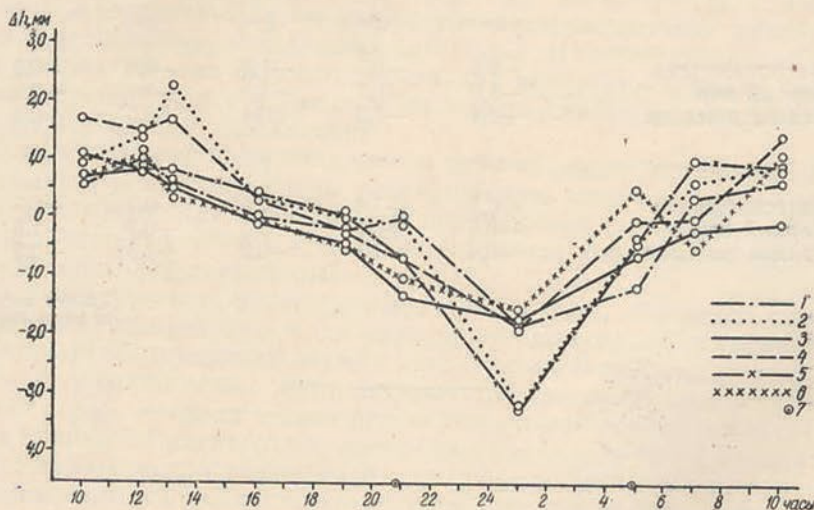


Рис. 4. График суточного хода (7—8/VII 1965 г.) ошибок в отсчетах по рейке, вызванных рефракцией на различных высотах и над различными подстилающими поверхностями:

1 — на высоте 1,5 м над метеоплощадкой; 2 — на высоте 0,75 м над метеоплощадкой; 3 — на высоте 1,5 м над черным паром; 4 — на высоте 0,75 м над черным паром; 5 — на высоте 1,5 м над озимой пшеницей; 6 — на высоте 0,75 м над озимой пшеницей; 7 — моменты восхода и захода Солнца.

7. Показатели преломления воздуха меняют свои значения с высотой и периодом суток.

При выполнении геодезических работ лучи часто проходят на разных высотах с неодинаковыми показателями преломления воздуха, из-за чего возникают ошибки измерений. При геометрическом нивели-

ровании превышения получают как разность отсчетов по задним и передним рейкам.

Если рассматривать нивелирование I класса при длине визирного луча $S=50$ м и принять, что нивелируемый отрезок находится на наклонной местности, так что луч на заднюю рейку будет проходить на высоте около 1,5 м, а на переднюю рейку на высоте 0,75 м, возникнут ошибки в отсчетах по рейкам $\Delta h_{2,1}$ и $\Delta h_{1,0,5}$.

Ошибки эти можно найти по формуле

$$\Delta h = \frac{S^2}{2R_c}, \quad (5)$$

где S -- длина визирного луча; R_c -- радиус рефракционной кривой, который можно вычислить из следующего приближенного соотношения

$$\frac{1}{R_c} = \frac{\Delta N}{\Delta z}, \quad (6)$$

где $\Delta N = N_2 \text{ м} - N_1 \text{ м}$ или $\Delta N = N_1 \text{ м} - N_{0,5} \text{ м}$, а $\Delta z = 1 \text{ м}$.

Вычислены ошибки Δh для $h=1,5$ м и Δh для $h=0,75$ м. Построен график (рис. 4).

Разность между соответствующими линиями графика указывает величину ошибки на станции в миллиметрах -- δh .

В моменты изотермии и близкие к ним ошибки равны нулю или близки к нулю.

Ошибки δh для различных подстилающих поверхностей и периодов суток приведены ниже:

	9 ³⁰	11 ³⁰	12 ³⁰	15 ³⁰	18 ³⁰
Метеоплощадка	-0,4	-0,5	-1,7	-0,3	-0,2
Черный пар	-1,0	-0,7	-1,1	-0,4	-0,2
Озимая пшеница	+0,4	-0,3	+0,4	+0,5	-0,6
	20 ³⁰	0 ³⁰	4 ³⁰	6 ³⁰	9 ³⁰
Метеоплощадка	+0,1	+1,4	-0,8	-0,3	-0,3
Черный пар	-0,6	+0,1	-0,6	-0,2	-1,5
Озимая пшеница	+0,4	-1,7	-0,9	+1,5	-0,2

Работа поступила
10 июня 1969 года.