

В. К. ПИСАРЕНКО

К ОПРЕДЕЛЕНИЮ СТРАТИФИКАЦИИ 200-МЕТРОВОГО СЛОЯ АТМОСФЕРЫ ПРИ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ

В связи с ускоренным освоением богатых природных ресурсов Крайнего Севера и Сибири, а также расширением арктических и антарктических исследований, возникает необходимость в создании высокоточных геодезических сетей. А для этого нужно знать распределение температуры воздуха в нижнем 200-метровом слое атмосферы, где в основном проводят геодезические измерения. Поскольку метеорологические наблюдения в этом слое зачастую не ведутся, большое значение приобретают способы, позволяющие определять качественное состояние приземного слоя атмосферы по характеристике радиационного баланса на земной поверхности и скорости ветра на уровне флюгера (обычно 8 м). К ним относятся классификации Пасквилла [3], Тернера [4] и Улига [5], представляющие собой таблицы, которые нельзя применить для геодезических целей.

Перед нами стояла задача установить классификацию, по которой можно определять изменения температуры воздуха в нижнем 200-метровом слое атмосферы в зимних условиях*. Для этого были использованы профили температуры, полученные в результате серийных наблюдений. Температуру воздуха регистрировали термоградиентсграфом с погрешностью 0,2—0,3°С практически одновременно на 18 уровнях в 300-метровом слое атмосферы. Для анализа был выбран 200-метровый слой, в котором проявляются действия подстилающей поверхности и сил турбулентного трения на распределение температуры. Анализ профилей температуры воздуха показал, что распределение ее в этом слое зависит от времени суток, облачности и скорости ветра. Поэтому стратификацию 200-метрового слоя атмосферы предлагаем определять в зависимости от высоты

* Под зимними условиями понимаем наличие отрицательной температуры и снежного или ледяного покрова.

Солнца, облачности нижнего яруса и скорости ветра, измеренной на высоте 25 м над поверхностью Земли. Высота Солнца и облачность определяют радиационный баланс земной поверхности. Условные радиационные индексы приняты аналогично указанным в работе [5], причем для более детального учета степени инсоляции значения высоты Солнца, составляющие 15° и меньше, разбиты на 10 интервалов через 7°30'.

Таблица 1

Определение условного радиационного индекса по высоте Солнца и облачности

Высота Солнца		Радиационный индекс при облачности		
от	до	0—2	3—7	8—10
+22°30'	+30°00'	4	3	2
+15°00'	+22°30'	3	2	1
+ 7°30'	+15°00'	2	1	0
0°00'	+ 7°30'	1	0	—1
— 7°30'	0°00'	0	—1	—2
—15°00'	— 7°30'	—1	—2	—3
—22°30'	—15°00'	—2	—3	—4
—30°00'	—22°30'	—3	—4	—5
—37°30'	—30°00'	—4	—5	—6
—45°00'	—37°30'	—5	—6	—7
—52°30'	—45°00'	—6	—7	—8
—52°30'	и ≤	—7	—8	—9

Примечание. Облачность дается в баллах.

Определение изменения температуры воздуха по полученной классификации производится следующим образом. По высоте Солнца и облачности в момент наблюдения в табл. 1 находим условный радиационный индекс. По радиационному индексу и измеренной на высоте 25 м скорости ветра, пользуясь табл. 2, определяем изменение температуры воздуха во всем 200-метровом слое атмосферы. Внутри слоя, как показал анализ экспериментальных данных, распределение температуры воздуха практически происходит по линейному закону.

Основное отличие полученной классификации от существующих в метеорологии состоит в том, что она дает количественные характеристики стратификации. Кроме того:

1. В существующих классификациях учет состояния облачности затруднен тем, что необходимо определить не только степень покрытия неба облаками, но и высоту облаков. Для предлагаемой классификации достаточно знать нижнюю облачность в 10-балльной системе.

2. Изменена высота, на которой определяется скорость ветра. Вместо 8 м принято 25 м. Это вызвано тем, что высокоточные геодезические измерения проводят, как правило, на гео-

дезических знаках высотой около 25 м. Кроме того, внедрение в геодезическое производство радиодальномеров с выносными приемопередатчиками требует определения метеорологических элементов на этой высоте.

Таблица 2

Определение изменения температуры воздуха в 200-метровом слое атмосферы по радиационному индексу и скорости ветра

Скорость ветра, м/с	Изменение температуры воздуха (°C) при радиационных индексах, взятых из табл. 1													
	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4
0,0—0,9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	0	0	0	-1	-2
1,0—1,7	7	6	5	4	3	2	1	0	0	0	0	-1	-2	-2
1,8—2,9	5	4	3	2	1	0	0	0	-1	-1	-1	-1	-2	-2
3,0—3,9	4	3	2	1	0	0	0	-1	-1	-1	-1	-1	-2	-2
4,0—5,1	3	2	1	0	0	-1	-1	-1	-1	-2	-2	-2	-2	-2
5,2—6,0	2	1	0	0	0	-1	-1	-1	-1	-2	-2	-2	-2	-2
6,1—6,6	1	0	0	0	-1	-1	-1	-1	-1	-2	-2	-2	-2	-2
6,7—7,5	0	0	0	-1	-1	-1	-2	-2	-2	-2	-2	-3	-3	-3
7,6—8,4	0	0	-1	-1	-1	-1	-2	-2	-2	-3	-3	-3	-3	-3
≥8,5	0	0	-1	-1	-1	-1	-2	-2	-3	-3	-3	-3	-3	-3

Для выяснения надежности определения температуры воздуха в 200-метровом слое атмосферы в зимних условиях по полученной классификации был использован критерий χ^2 Пирсона [1]:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^m \frac{(k_i - np_i)^2}{np_i}, \quad (1)$$

где k_i — число наблюдавшихся значений температуры воздуха; n — количество всех наблюдений; p_i — вероятность попадания случайной величины в данный интервал.

В качестве теоретического принято распределение Вейбулла, так как многоугольник распределения фактического изменения температуры совпал с графиком плотности распределения Вейбулла при $b=1,5$. Плотность распределения Вейбулла записывается в виде:

$$f(x) = \frac{b}{a} \left(\frac{x}{a}\right)^{b-1} \exp \left[-\left(\frac{x}{a}\right)^b \right], \quad (2)$$

где a и b — положительные постоянные параметры распределения. Был проведен анализ 432 профилей температуры зимнего периода. Все профили температуры были разбиты на 12 градаций изменений температуры (табл. 3) с точностью $\pm 0,5^\circ \text{C}$. Условия и время зондирования атмосферы позволили определить на основании полученной классификации соответ-

ствующие количество профилей по приведенным грациям температуры. Для нахождения количества профилей по распределению Вейбулла были использованы данные фактического распределения температуры, по которым вычислены среднее квадратическое отклонение $\sigma(x)$, математическое ожидание x и коэффициент вариации $v(x)$. Затем для $b=1,5$ и значений x от 0,06 до 2,37 через интервал 0,21 по таблицам [2] были выбраны значения плотностей распределения Вейбулла, по которым получено число профилей каждой из 12 градаций температуры воздуха.

Таблица 3

Результаты анализа профилей температуры

Изменение температуры (°C) воздуха в слое 2—217 м	Количество профилей соответствующей градации температуры		
	по фактическим данным	по полученной классификации	по распределению Вейбулла
—3	25	22	24
—2	67	68	72
—1	71	73	76
0	71	72	74
+1	58	66	63
+2	45	56	51
+3	35	33	28
+4	15	11	12
+5	13	9	10
+6	13	8	9
+7	10	7	7
+8	9	7	6
Итого:	432	432	432

Используя данные табл. 3, по формуле (1) вычислили меры расхождений количества профилей по фактическим данным и полученного по классификации с соответствующим их количеством по распределению Вейбулла. Для фактического распределения температуры и распределения Вейбулла $\kappa_{\phi} = 2,55$, а для распределения температуры по полученной нами классификации и распределения Вейбулла $\kappa_{кл} = 9,91$, что соответственно равно вероятности 0,98 и 0,36 при числе степеней свободы $r=9$. Эти величины указывают на то, что вероятности вычисленных мер расхождений достаточно велики для того, чтобы эти расхождения можно было считать существенными [1].

Подсчет вероятности (относительной частоты) определения соответствующего состояния нижнего 200-метрового слоя атмосферы по полученной классификации показал, что изотермическое состояние устанавливается достаточно надежно — с вероятностью 0,92; инверсионное распределение — с вероятностью

стью 0,66; а падение температуры в указанном слое — с вероятностью 0,82. Сравнение соответствующих градаций температуры полученной классификации со средними значениями вертикальных градиентов температуры в 200-метровом слое атмосферы показало, что они одинаковы в пределах точности измерения температуры.

Таким образом, полученная классификация в целом правильно отображает фактическое изменение температуры в этом слое в зависимости от высоты Солнца, облачности нижнего яруса и скорости ветра на высоте 25 м над поверхностью Земли.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гайдаев П. А., Большаков В. Д. Теория математической обработки геодезических измерений. М., «Недра», 1969, 400 с.
2. Шор Я. Б., Кузьмин Ф. И. Таблицы для анализа и контроля надежности. М., «Советское радио», 1968, 426 с.
3. Pasquill F. The Estimation of the Dispersion of Windborne Material. — «Meteorol. Mag.», 1961, Vol. 90, No. 1063, S. 33—49.
4. Turner D. B. Relationships between 24-Hour Mean Air Quality Measurements and Meteorological Factors in Nashville, Tennessee. «Journ. Air Pol. Control Assoc.», 1961, Vol. 11, No. 10, S. 45—59.
5. Uhlig S. Bestimmung der Stabilitätsgrade der Luft an Hand von Wettermeldungen. — «Mitteilungen des Deutschen Wetterdienstes», 1965, No. 35, S. 3—17.

Работа поступила в редколлегия 16 июня 1975 года. Рекомендована кафедрой инженерной геодезии Ухтинского индустриального института.