

А. Е. ФЕДОРИЩЕВ

Львовский политехнический институт

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ДАВЛЕНИЯ ДЛЯ УЧЕТА РЕФРАКЦИИ

Вблизи поверхности Земли рефракция оказывает ощутимое влияние на результаты геодезических, электрооптических и астрономических определений. Скорость света и форма световой кривой зависят в основном от характеристик состояния атмосферы — градиентов температуры и давления воздуха. Действием влажности на лучи оптического диапазона обычно пренебрегают [2, 3].

На практике трудно получить точные данные о вертикальном распределении метеоэлементов в атмосфере. В ряде случаев для установления необходимых характеристик прибегают к оценкам метеопараметров, пользуясь стандартной атмосферой, что не соответствует действительности, поскольку в нижних слоях воздуха под влиянием солнечной радиации и разнородной подстилающей поверхности метеоэлементы претерпевают значительные изменения и существенно отличаются от стандартных.

Поэтому выявление закономерностей распределения метеоэлементов в атмосфере, основанное на реальных измерениях, представляет интерес и практическую ценность.

Для изучения вертикального распределения давления воздуха и учета рефракции нами проведены исследования, базирующиеся на данных аэрологических зондирований [1, 4], вы-

полненных в пограничном слое атмосферы в различных районах страны на высотах 2, 50, 100, 200, 400 и 600 м.

Все результаты 1200 аэрологических определений разделены по давлению  $P$  на высоте 2 м на пять групп и сведены в матрицы (1)—(5). Столбцы матриц для каждой высоты зондирования атмосферы содержали по 40 значений  $P$ . Интервалы  $P$  для матриц (1)—(5) приведены в табл. 1.

Таблица 1

Интервалы атмосферного давления  $P$ , измеренного на высоте 2 м

Матрица	Интервал $P$ , мбар
1	985—989
2	990—994
3	995—999
4	1000—1004
5	1005—1012

Предположим, что атмосферное давление в исследуемом слое воздуха изменяется с высотой по экспоненциальному закону

$$P = P_0 \exp(ah), \quad (1)$$

где  $P_0$  — давление воздуха в миллибарах на земной поверхности;  $a$  — параметр, определяемый экспериментально;  $h$  —

высота текущей точки над земной поверхностью, м.

Логарифмируя выражение (1), получаем

$$\lg P = \lg P_0 + ah \lg e. \quad (2)$$

С целью нахождения коэффициентов  $\lg P_0$  и  $a$  для каждой из матриц (1)—(5) был применен статистический метод решения, изложенный в работах [9, 10].

В процессе обработки результатов, содержащихся в матрицах (1)—(5), на ЭВМ по указанному методу получены коэффициенты и ряд других характеристик, позволяющих выполнить подробный их анализ и оценку точности. Величины  $a$  и  $\lg P_0$  приведены в табл. 2. Из сопоставления данных табл. 2 видно,

Таблица 2

Значения параметров  $a$  и  $\lg P_0$  для соответствующих слоев  $P$

Параметры	Матрица				
	1	2	3	4	5
$a$	-0,000122	-0,000121	-0,000121	-0,000120	-0,000121
$\lg P_0$	2,994164	2,996643	2,998683	3,006973	3,003820

что параметры  $a$  всех матриц отличаются друг от друга не более чем на единицу шестого знака. В нашем случае это соответствует в среднем изменению  $P$  на 0,1 мбар. Такой величиной вследствие ее малости можно пренебречь и, приняв за окончательное значение  $a = -0,000121$ , считать параметры  $a$  независимыми от давления воздуха на высоте 2 м.

Исследуем теперь возможность существования линейной зависимости между логарифмами значений  $P$  на земной поверхности и на высоте  $h = 2$  м.

Для этого запишем следующую систему уравнений ошибок:

$$\left. \begin{aligned} d + c \lg P_{2_1} - \lg P_{0_1} &= V_1; & d + c \lg P_{2_2} - \lg P_{0_2} &= V_2; \\ d + c \lg P_{2_3} &= \lg P_{0_3} = V_3; & d + c \lg P_{2_4} - \lg P_{0_4} &= V_4; \\ & & d + c \lg P_{2_5} - \lg P_{0_5} &= V_5, \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

где  $d$  и  $c$  — коэффициенты линейной зависимости;  $\lg P_0$  — логарифм атмосферного давления на земной поверхности;  $\lg P_2$  — логарифм атмосферного давления на высоте 2 м; индексы 1—5 соответствуют номерам матриц табл. 1.

Таблица 3

Значения  $P$ , мбар, характеризующие экспоненциальную зависимость (5) в слое воздуха 2—600 м

Высота, м							
2	50	100	200	300	400	500	600
970	964,17	958,48	946,87	935,53	924,30	913,21	902,26
980	974,11	968,25	956,63	945,16	933,83	922,64	911,56
990	984,15	978,12	966,40	954,81	943,36	932,24	920,87
1000	993,99	988,01	976,16	964,45	952,89	941,46	930,17
1010	1003,93	997,89	985,92	974,10	962,41	950,87	939,47
1020	1013,87	1007,77	995,69	983,74	971,94	960,30	948,77
1030	1024,81	1017,65	1005,45	993,38	981,47	969,70	958,07
1040	1033,73	1027,53	1015,20	1003,03	991,00	979,12	967,35
1050	1043,67	1037,41	1024,96	1012,67	1000,53	988,53	976,68

Подставив численные значения  $\lg P_0$  из табл. 1 и решив систему (3), получим коэффициенты  $d=0,0002$  и  $c=0,9998$ . Значения  $d$  и  $c$  позволяют с достаточной степенью достоверности принять

$$\lg P_0 = \lg P_2. \quad (4)$$

Тогда уравнение (1) можно записать в окончательном виде так:

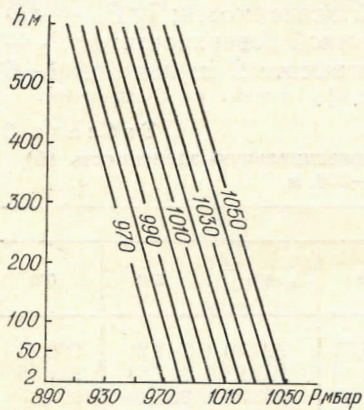
$$\lg P = \lg P_2 \exp(-0,000121)h. \quad (5)$$

Зависимость (5) характеризует статистическое распределение атмосферного давления в слое воздуха 2—600 м.

Учитывая диапазон фактического изменения атмосферного давления, по формуле (5) вычисляем значения  $P$ , мбар в интервале 970 мбар  $\leq P \leq$  1050 мбар через 10 мбар для высот 2, 50, 100, 200, 300, 400, 500 и 600 м. Величины  $P$  приведены в табл. 3.

Для удобства и быстроты определения  $P$  на основании табл. 3 построен график (номограмма) статистической зависимости вертикального распределения атмосферного давления в слое воздуха 2—600 м (рисунок). При построении номограммы по оси абсцисс откладывали значения  $P$ , мбар; по оси орди-

нат — высоты  $h$ , м. Оценка точности определения  $P$  по формуле (5) выполнена на ЭВМ. Средние квадратические погрешности  $m_{P_i}$ , вычисленные по использованным результатам, приведены в верхней половине табл. 4 для высот 50, 100, 200, 400 и 600 м. В нижней части таблицы даны значения  $m_{P_i}$ , полученные из 235 аэрологических независимых определений, не включенных в матрицы (1) — (5). Погрешности  $m_{P_i}$  вычислялись по отклонениям  $\Delta P_i$  между давлениями  $P_{z_i}$ , измеренными на соответствующих высотах в процессе зондирования, и давлениями  $P_{H_i}$ , определенными на этих же высотах по номограмме



и по формуле

$$\Delta P_i = P_{z_i} - P_{H_i} \quad (6)$$

и по формуле

$$m_{P_i} = \sqrt{\frac{[\Delta P_i^2]}{n-1}} \quad (7)$$

Номограмма вертикального распределения давления воздуха в слое 2—600 м.

Здесь  $n$  — количество зондирований;  $i=50, 100, 200, 400$  и  $600$  м.

Анализ результатов табл. 4 показывает, что погрешность определения  $P$  зависит как от высоты зондирования, так и от давления  $P$ , измеренного у подстилающей поверхности Земли.

Таблица 4

Средние квадратические погрешности  $m_{P_i}$  определения атмосферного давления  $P$  в слое воздуха 2—600 м

Матрица	Интервалы атмосферного давления на высоте 2 м, мбар	Количество зондирований	Средние квадратические погрешности $m_{P_i}$ , мбар				
			$m_{P_{50}}$	$m_{P_{100}}$	$m_{P_{200}}$	$m_{P_{400}}$	$m_{P_{600}}$

По зависимым результатам

1	985—989	40	±2,35	±2,42	±2,62	±3,40	±4,12
2	990—984	40	1,41	1,42	1,54	2,01	2,55
3	995—999	40	1,48	1,43	1,48	2,08	2,93
4	1000—1004	40	1,69	1,75	2,05	2,82	3,76
5	1005—1012	40	2,63	2,69	2,81	3,39	4,15

По независимым результатам

1	985—989	7	±1,08	±1,15	±1,45	±3,46	±4,47
2	990—994	10	1,00	1,15	1,73	2,83	5,38
3	995—999	8	1,07	1,41	2,66	2,70	6,28
4	1000—1004	12	1,20	1,55	2,68	4,16	6,12
5	1005—1012	10	1,05	1,05	1,61	3,16	5,25

При пониженном и повышенном  $P$  точность определения уменьшается и на высоте 600 м может составить 4 мбар. В слое воздуха до 200 м при нормальном  $P$  погрешности  $m_{P_i}$  примерно одинаковы.

Величины  $m_{P_i}$  верхней и нижней части табл. 4 для соответствующих интервалов  $P$  и высот  $h$  имеют амплитуду колебаний порядка 1—2 мбар, хотя погрешности  $m_{P_i}$  нижней части таблицы вычислены по сравнительно незначительным выборкам  $P$ .

Таким образом, формула (5) и номограмма (рисунок) позволяют с указанной выше точностью учитывать атмосферное давление в исследуемом слое для вычислений поправок за вертикальную рефракцию при геодезических, электрооптических и астрономических определениях.

**Список литературы:** 1. *Девятова В. А.* Микроаэрологические исследования нижнего километрового слоя атмосферы. М., Гидрометеониздат, 1957. 2. *Иордан В., Эггерт О., Кнейсль М.* Руководство по геодезии. Перевод с немецкого. М., «Недра», 1971. 3. *Куштин И. Ф.* Рефракция световых волн в атмосфере. М., «Недра», 1971. 4. «Труды ГГО и УкрНИГМИ», 1963, вып. 144/40, 167; 1964, вып. 150; 1966, вып. 189; 1971, вып. 276. 5. *Хижак Л. С.* Комплексный метод исследования результатов наблюдений. — «Геодезия, картография и аэрофотосъемка», 1974, вып. 20. 6. *Хижак Л. С., Черняга П. Г.* Разработка некоторых вопросов комплексного метода исследования результатов наблюдений. — «Геодезия, картография и аэрофотосъемка», 1974, вып. 20.

Работа поступила 14 декабря 1976 года.  
Рекомендована кафедрой геодезии Львовского политехнического института.