

В. Б. МИЛИН

ОБ АНОМАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОЛЯХ В АТМОСФЕРЕ

(Представлено академиком О. Ю. Шмидтом 28 I 1954)

Большая изменчивость электрического поля в приземном слое атмосферы зависит от различного рода метеорологических явлений. Резкие изменения градиента потенциала в связи с осадками, облачностью, грозами дают значительные отклонения от величины градиента «нормального» поля, наблюдающегося при ясной безоблачной погоде. Эта связь является не причинной, а косвенной, так как она в основном обусловлена изменением объемных зарядов и их распределением в атмосфере, а также изменением проводимости под воздействием различных метеорологических элементов.

Для нормального поля наблюдается обычно уменьшение градиента потенциала с поднятием вверх. Такое распределение поля может быть объяснено наличием в нижних слоях атмосферы пространственного заряда, объемная плотность которого ρ убывает с высотой.

Аномальные поля с быстрыми и нерегулярными колебаниями наблюдаются при осадках, влияние которых на поле весьма сложно и мало изучено. Большой интерес представляют аномальные поля при облачности. Наблюдения, проведенные Главной геофизической обсерваторией в 1949—1950 гг. над распределением электрических полей в свободной атмосфере, измерения распределения градиента потенциала электрического поля по высоте в приземном слое атмосферы, проведенные в Кировском педагогическом институте им. В. И. Ленина в 1952—1953 гг., показали, что в условиях облачности наблюдается возрастание градиента потенциала с высотой.

Учитывая, что влияние облачности должно сказаться на распределении и величине объемных зарядов, сравним картину высотного распределения ρ при нормальных полях и аномальных, искаженных воздействием облаков.

На рис. 1 представлен ход ρ с высотой по наблюдениям ГГО⁽¹⁾ в безоблачные ясные дни (кривая I) и в дни с облачностью (кривая II). Как показывают графики, ход плотности объемных зарядов связан

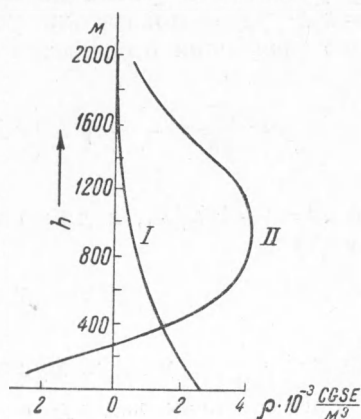


Рис. 1

с резким убыванием ρ с высотой при нормальных полях и противоположен в дни с облачностью. В последних случаях объемные заряды могут, как это наблюдается на высоте 900 м, превышать почти в 2 раза наземные значения ρ и в 10 раз превышать значения ρ на этой же высоте в ясные дни.

Эти данные убедительно показывают характер изменений в распределении объемных зарядов в атмосфере под воздействием облаков, что приводит к соответствующему изменению в ходе градиента потенциала с высотой.

Закономерности возрастания градиента потенциала с высотой для аномального поля и убывания градиента потенциала с высотой для нормального поля тесно связаны с условиями турбулентного обмена, плотностью объемных зарядов и полярной проводимостью воздуха.

Теория изменения градиента потенциала с высотой для нормального поля была представлена рядом авторов (^{2,3}) и экспериментально подтверждена.

Как известно, изменение градиента потенциала с высотой может быть описано выражением вида:

$$i = \lambda \frac{dV}{dh} + k \frac{d\rho}{dh}, \quad (1)$$

где i — вертикальный электрический ток в атмосфере, выраженный как сумма тока проводимости и тока, обусловленного переносом объемных зарядов вследствие турбулентного перемешивания; λ — проводимость атмосферы; dV/dh — градиент потенциала электрического поля в атмосфере; ρ — плотность объемных зарядов; k — коэффициент турбулентного обмена.

Мною и С. Г. Малаховым было показано (²), что для приземного слоя атмосферы, где λ можно принять постоянным, а коэффициент турбулентности увеличивающимся с высотой по степенному закону $k = k_1 h^{1-\varepsilon}$ (ε — показатель устойчивости атмосферы), общее решение этого уравнения получается в функциях Бесселя и имеет вид:

$$y = \frac{dV}{dh} = \frac{i}{\lambda} + \sqrt{h} \left\{ AJ \frac{1}{1+\varepsilon} \left(\frac{2V\overline{D}}{1+\varepsilon} h^{\frac{1+\varepsilon}{2}} \right) + BN \frac{1}{1+\varepsilon} \left(\frac{2V\overline{D}}{1+\varepsilon} h^{\frac{1+\varepsilon}{2}} \right) \right\}, \quad (2)$$

где $D = -4\pi\lambda/k_1$, и для случая нормального поля решение уравнения (1)

$$y = \frac{i}{\lambda} + B' x^n K_n(x), \quad (3)$$

где $n = \frac{1}{1+\varepsilon}$ — индекс функции Макдональда.

Рассматривая задачу об изменении градиента потенциала с высотой для аномальных полей, для случая роста градиента потенциала по мере поднятия вверх, исходя из общего решения (2), можем записать:

$$y = \frac{i}{\lambda} + \{A' x^n I_n(x) + B' x^n K_n(x)\}. \quad (4)$$

Из (4) следует:

1) при $x \rightarrow 0$, при $n > 0$, $x^n I_n(x) \rightarrow 0$, $x^n K_n(x) \sim 1$, $y \rightarrow y_0 = \frac{i}{\lambda} + B'$;

2) при $x \rightarrow \infty$ $x^n K_n(x) \rightarrow 0$, $y \rightarrow \infty$.

Имея значения y_1, y_2, y_3, y_4 на четырех фиксированных высотах, можно найти значения постоянных A' и B' :

$$A' = \frac{y_1 - y_2 - B' [x_1^n K_n(x_1) - x_2^n K_n(x_2)]}{x_1^n I_n(x_1) - x_2^n I_n(x_2)} = \frac{y_3 - y_4 - B' [x_3^n K_n(x_3) - x_4^n K_n(x_4)]}{x_3^n I_n(x_3) - x_4^n I_n(x_4)}, \quad (5)$$

откуда

$$B' = \frac{[x_1^n I_n(x_1) - x_2^n I_n(x_2)] (y_3 - y_4) - (y_1 - y_2) [x_3^n I_n(x_3) - x_4^n I_n(x_4)]}{\alpha\beta - \gamma\delta},$$

$$\text{где } \alpha = x_3^n K_n(x_3) - x_4^n K_n(x_4),$$

$$\beta = x_1^n I_n(x_1) - x_2^n I_n(x_2), \gamma = x_1^n K_n(x_1) - x_2^n K_n(x_2),$$

$$\delta = x_3^n I_n(x_3) - x_4^n I_n(x_4).$$

Определив A' и B' , можно воспользоваться формулой (4), написанной в виде

$$y = y_0 - B' + A' x^n I_n(x) + B' x^n K_n(x),$$

как расчетной для определения градиента потенциала на любой высоте при полях, возрастающих с высотой.

При вычислении градиента потенциала для достаточно больших высот, когда значением второго члена в фигурной скобке уравнения (4) можно пренебречь, решение получит вид:

$$y = \frac{dV}{dh} = \frac{i}{\lambda} + A' x^n I_n(x). \quad (7)$$

Из (7) легко получить связь между значениями градиента потенциала y_1, y_2, y_3 на трех произвольно выбранных высотах h_1, h_2, h_3 :

$$\frac{y_3 - y_1}{y_2 - y_1} = \frac{x_3^n I_n(x_3) - x_1^n I_n(x_1)}{x_2^n I_n(x_2) - x_1^n I_n(x_1)}. \quad (8)$$

Из (8) можно получить расчетную формулу для определения градиента потенциала в приземном слое атмосферы, если известны градиенты потенциала на двух высотах:

$$y_3 = y_1 + \frac{(y_2 - y_1) [x_3^n I_n(x_3) - x_1^n I_n(x_1)]}{x_2^n I_n(x_2) - x_1^n I_n(x_1)}. \quad (9)$$

Для проверки расчетов мною использованы измерения градиента потенциала, проведенные Главной геофизической обсерваторией в 1949—1950 гг. (1). Для этой цели из приведенной в цитируемой статье таблицы выбраны возрастающие с высотой профили градиента потенциала в в/см.

Таблица 1

Дата измерения	h, м			dV/dh на высоте 250 м по формуле (9)
	50	150	250	
8 VIII 1949 г.	1,1	1,5	1,9	1,97
11 VIII 1949 г.	1,4	1,5	1,6	1,61
18 VII 1950 г.	1,0	1,2	1,5	1,42
21 VII 1950 г.	0,8	0,9	1,1	1,01
10 VIII 1950 г.	0,1	0,2	0,3	0,3
25 VIII 1950 г.	1,0	1,1	1,3	1,21

Сравнение чисел табл. 1, полученных для случая слабой турбулентности, считая, что $k_1 = 10^2$ см²/сек, при $\varepsilon = 0$, $\lambda = 2 \cdot 10^{-4}$ сек⁻¹, показывает достаточно хорошее согласие результатов вычислений с данными наблюдений.

Кировский государственный
педагогический институт
им. В. И. Ленина

Поступило
20 VII 1953

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ И. М. Имянитов, Труды ГГО, в. 35 (97) (1952). ² В. Б. Милин, С. Г. Малахов, Изв. АН СССР, сер. геофиз., 3 (1953). ³ П. Н. Тверской, М. П. Тимофеев, Изв. АН СССР, сер. геогр. и геофиз., 12, 5 (1948).