

**ПРОВОДИМОСТЬ АТМОСФЕРЫ  
В МОМЕНТ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ  
АТОМОВ С ЧАСТИЦАМИ  
СВЕРХВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ**

Сокуров В.Ф., Шершунов З.Л.

Таганрогский государственный  
педагогический институт, Таганрог,  
e-mail: hershunov\_zahar@mail.ru

При прохождении лавины широкого атмосферного ливня (ШАЛ) через атмосферу Земли релятивистские частицы ионизируют атомы воздуха. В результате этого на 1 см пути каждой релятивистской частицы рождается около 100 электрон-позитронных пар [1]. Возникает столб ионизации. Электронный компонент этого столба довольно быстро рекомбинирует, так как время жизни рожденного электрона порядка  $10^{-7}$  с. Ионный же компонент значительно более долговечен и рассеивается в течение единиц секунд.

Существующее в атмосфере Земли вертикальное электрическое поле создает электрический ток в столбе ионизации за счет ускорения ионов. Величина плотности этого тока зависит от длины пробега ионов и их скорости, которая в свою очередь зависит от приложенного потенциала. Длина пробега определяется плотностью плазмы и нейтралов в шнуре.

Плотность тока в ионизационном столбе определяется по формуле:

$$j = \frac{e^2 E n}{2M} t,$$

где  $e$  – заряд электрона;  $E$  – потенциал, приложенный к ионному столбу;  $M$  – масса иона;  $n$  – концентрация плазмы в столбе ионизации;  $t$  – время жизни столба.

Концентрация плазмы в столбе ионизации определяется пространственным распределением частиц ШАЛ:

$$n = I \int_0^r f(x, t, 0) dx,$$

где  $f(x, t, 0) = \frac{1(1)}{2\pi r_0^2} \cdot \frac{x^{1-b}}{\lambda + x} \cdot N(E_0, t, 0)$  –

функция пространственного распределения (ФПР) частиц ШАЛ [2];  $I = 80$  1/см [1] – коэффициент линейной ионизации;

$\lg N(E_0, t, 0) = \lg p_{600} + 4,44 - \lg(b - 2) + 0,98b$

– полное число частиц на уровне наблюдения [3];

$b = 3,54 - 2,16(1 - \cos \Theta) + 0,15 \lg p_{600}$  – параметр, определяющий крутизну ФПР [3];  $x = \frac{r}{r_0}$ ;

$r$  – расстояние от оси ливня,  $r_0$  – параметр ФПР;  $E_0 = 4,1 \cdot 10^{17} p_{600}^{0,96}$  – энергия первичной частицы [4];  $p_{600}$  – классификационный параметр, измеряемый на Якутской установке ШАЛ [3].

Поскольку максимум развития ливня с  $E_0 = 10^{19} - 10^{20}$  эВ находится вблизи уровня моря ( $h_{\max} = 0,5 - 2,0$  км), приведенные выше уравнения вполне применимы для оценки концентрации плазмы ионизационного столба на этих высотах.

Для определения тока в столбе ионизации необходимо оценить эффективную толщину шнура. Поскольку распределение концентрации плазмы в ионизационном столбе определяется из законов пространственного распределения частиц ШАЛ, зададимся эффективным радиусом порядка мольеровского  $R_{\text{эф}} = 80$  м и определим среднюю концентрацию плазмы на этой площади.

Получим среднюю концентрацию плазмы ионизационного столба ШАЛ с  $E_0 = 10^{20}$  эВ для  $0,5 < h < 2,0$  км и  $0,5 < R < 100,0$  м:

$$\bar{n} = \frac{\iint n(x, t) x dx dt}{\int_r x dx}.$$

Таким образом, эффективный ток в плазме для ливней с  $E_0 = 10^{20}$  эВ:

$$I_0^{\text{э}} = j S_{\text{э}} = \frac{e^2 E \bar{n} t}{2M} S_{\text{э}},$$

где  $E = 1,5 \cdot 10^5$  В – потенциал для  $0,5 < h < 2,0$  км;  $t = 10^{-2}$  с;  $S_{\text{э}} = \pi r_{\text{э}}^2$ ;  $M$  – масса иона, можно принять равной массе иона кислорода;  $e$  – заряд электрона.

Для ливня с  $E_0 = 10^{20}$  эВ получаются следующие значения:

$$j = 8 \cdot 10^{-2} \text{ А/м}, \quad I_0^{\text{э}} = 10^3 \text{ А}.$$

Так как плотность тока  $j$  пропорциональна проводимости  $\sigma$ , то из соотношения  $j = \sigma E$ , получим значение проводимости в момент прохождения частицы сверхвысокой энергии через атмосферу Земли:

$$\sigma = 10^{-3} \text{ сименс}.$$

Эффективное сопротивление среды  $R = 10^2$  Ом.

Выделяемая мощность при прохождении лавины:

$$P = I^2 R = 10^8 \text{ Вт}.$$

**Список литературы**

- Charman W.N. Atmospheric Electric Fields as a possible from Extensive Air Showers. – Nature. – 1967. – №215. – P. 497.
- Гусев А.Н., Сокуров В.Ф., Черныш Г.Н. Моделирование потока электромагнитного излучения ОНЧ диапазона в высоких широтах // VII школа – семинар по ОНЧ излучениям. – Якутск: Изд. ЯФ СО АП СССР, 1985. – С. 67.
- Гусев А. Н., Сокуров В. Ф., Черныш Г. Н. Плотность потока дискретных сигналов в овале полярных сияний // VII школа-семинар по ОНЧ излучениям. – Якутск: Изд. ЯФ СО АП СССР, 1985.
- Efimov N.N., Sokurov V.F. Measurement of Spectrum of the EAS Cerenkov Radiation Densities. – Proc.16-th ICRC, Kyoto 1979. – Vol. 8. – P. 152-155.