

ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКТОР ЗАМЕЧАЕМОСТИ РАДИОМЕТЕОРОВ

Горелов Д.Ю., Волощук Ю.И.

Харьковский национальный университет радиоэлектроники
61166, Харьков, пр. Ленина, 14; ПНИЛ каф. ОПТ, тел. (057) 700-22-84

E-mail: ellvin@rambler.ru

The radar-tracking method of supervision allows to estimate directly seen distribution of speed of meteoric ph. Transition from seen distributions to true distributions of speeds of meteoric bodies near to the Earth usually carry out by weight processing results of the measurements, taking into account selectivity of a method of supervision from speed of a meteoric body. In the report are received estimate the physical factor замечаемости for models of a meteoric zone by Lebedinets and by Kostylev.

Введение. Полученные непосредственно по данным радиолокационных наблюдений распределения орбит метеорных тел сильно искажены избирательностью наблюдений по отношению к скоростям и координатам радиантам метеоров. Для перехода от измеренного распределения к истинному распределению орбит комплекса метеорных тел с массами больше некоторой заданной минимальной величины, движущихся по орбитам с перигелийными расстояниями $q \leq 1$ а.е. и афелийными расстояниями $Q \geq 1$ а.е., каждой орбите должен быть присвоен статистический вес $P = P_z \cdot P_a \cdot P_\phi$. Геометрический фактор P_z учитывает зависимость замечаемости от координат радианта метеоров, а также параметров диаграмм направленности передающей и приемной антенн. Физический фактор P_ϕ – учитывает зависимость от скорости метеора v . Астрономический фактор P_a – зависимость вероятности встречи метеорного тела с Землей от элементов орбит метеорных тел.

Физический фактор замечаемости. Замечаемость радиометеоров от геоцентрической скорости v является функцией нескольких аргументов. Во-первых, она определяется принятыми зависимостями коэффициента ионизации $\beta(v)$ в метеорном следе от скорости метеорного тела, породившего его. Во-вторых, моделью начального радиуса $r_0(v, H, h)$ ионизированных метеорных следов от скорости метеора и высоты приведенной атмосферы H на данной высоте h . В-третьих, зависимостью электронной плотности α вдоль следа радиометеора от его плотности δ , массы M_0 , зенитного расстояния радианта z и длины волны РЛС λ .

Физический фактор замечаемости определяется выражением [1]:

$$P_\phi = \frac{1}{l_0} \int_0^{l_0} I(\alpha_{эф}^{\min}) n(M_0) dM_0, \quad (1)$$

где l_0 – некоторая средняя длина метеорных следов; $I(\alpha_{эф}^{\min})$ – длина участка метеорного следа, на котором эффективная электронная плотность больше $\alpha_{эф}^{\min}$ (минимального значения электронной плотности, при которой могут быть обнаружены следы данной РЛС в направлении максимального излучения); $n(M_0)$ – дифференциальное распределение масс метеорных тел.

Эффективная линейная электронная плотность рассчитывается по формуле [1]:

$$\alpha_{эф} = \alpha(\delta, M_0, v, z, \lambda) \frac{1 - \exp\left(-8\sqrt{2}\pi^2 v^{-1} D \sqrt{R \cdot \lambda^{-3}}\right)}{8\sqrt{2}\pi^2 v^{-1} D \sqrt{R \cdot \lambda^{-3}}} \exp\left[-\left(\frac{2\pi r_0}{\lambda}\right)^2\right], \quad (2)$$

где R – наклонная дальность от РЛС до точки зеркального отражения на следе; D – коэффициент амбиполярной диффузии.

В бывшем СССР сложились две большие школы по изучению распределения метеорного вещества в атмосфере Земли и Солнечной системе. Представители каж-

дой из школ разработали свою теоретическую модель линейной электронной плотности вдоль метеорного следа. Кратко остановимся на этих моделях.

Электронная плотность по Лебединцу [1] определяется выражением

$$\alpha = \beta(v) \sqrt[3]{v^2 M_0^2 \delta^{-2}} \frac{\rho \Lambda A}{2\mu m_H Q} \left(1 - \frac{1}{6} \frac{\rho \Lambda A H \sqrt[3]{v^2}}{Q M_0 \cos(z) \sqrt[3]{M_0 \delta^2}} \right)^2 \cdot \left[\frac{\varepsilon_l}{M} \right], \quad (3)$$

где ρ – плотность атмосферы на высоте h ; Λ – коэффициент теплопередачи; A – коэффициент формы; μ – средний атомный вес метеорного вещества; m_H – масса атома водорода; Q – энергия испарения 1 г метеорного вещества.

В выражениях (2) и (3) все параметры задаются в системе СИ.

Электронная плотность по Костылеву [2] определяется следующим образом. Во-первых, находим давление атмосферы $P_{\max}$ в точке максимума электронной плотности:

$$P_{\max} = 1.131 \cdot 10^3 (v)^{-2.15} (M_0 \delta^2)^{0.28} (\cos(z))^{0.3094 + 0.037 \ln(M_0 \delta^2) + 0.112 \ln(v)}. \quad (4)$$

Линейная электронная плотность в следе:

$$\alpha = 62 \frac{\beta(v) (\cos(z))^{0.88}}{\mu_m H \cdot 10^5} \exp \left(- \frac{0.7685 (\cos(z))^{\gamma-1}}{v^{2.15} (M_0 \delta^2)^{0.05}} e^{-0.01 \Delta t (v-40)} \right) \times \\ \times 0.4472 (\exp(\Delta t) - \exp(-\Delta t)) (1 - \exp(2.75 - \Delta t))^2, \quad \left[\frac{\varepsilon_l}{M} \right] \quad (5)$$

где μ_m – средняя масса молекулы испарившегося вещества; Δt – нормированная высота с началом отсчета на высоте, соответствующей концу ионизированного следа, $\Delta t = \frac{h_{\max} + 1.697H - h}{H}$; высота максимума ионизации $h_{\max}$ определяется по таблицам [3] с учетом (4).

В выражениях (4) и (5) параметры μ_m и M_0 задаются в граммах; v – в километрах в секунду; δ – в граммах на сантиметр кубический; H , $h_{\max}$ и h в километрах.

Проведем сравнительный анализ моделей линейной электронной плотности по Лебединцу (3) и по Костылеву (5). Во-первых, получим таблицу высот максимумов ионизации, собственно значений максимальной электронной плотности в функции массы и скорости метеорного тела. В расчетах плотность метеорных тел была принята равной 3400 кг/м³, коэффициент теплопередачи равным единице, коэффициент формы равным 1.2, средний атомный вес метеорного вещества равным 55.85, средняя масса молекулы испарившегося вещества равной 9.3 · 10⁻²⁶ кг, энергия испарения 1 г метеорного вещества равной 8 Дж/кг, зенитное расстояние равным 0.666. Плотность атмосферы в функции высоты определялась выражением $\rho = 1.405 \cdot 10^{-6} \exp\left(\frac{95-h}{H}\right)$ кг/м³ (здесь высоты h и H в километрах). Длина волны РЛС была принята 9.646 м, что соответствует рабочей длине волны комплекса МАРС [1]. Во-вторых, рассчитаем зависимости средней длины метеорных следов от скорости в диапазоне масс метеорных тел был принят 10⁻⁹ ÷ 10⁻⁴ кг для моделей электронной плотности по Лебединцу (3) и по Костылеву (5).

Проведенные исследования показали, что обе модели довольно хорошо сходятся. Однако наблюдается несколько существенных различий: высота максимума ионизации для модели Костылева в среднем на 4 км выше, чем для модели Лебединца для всех значений масс и скоростей метеорных тел. Кроме того, электронная плотность для модели (5) больше электронной плотности для модели (3) в 2 ÷ 10 раз.

Данное различие, на наш взгляд, объясняется принятой в модели (5) более сильной зависимостью линейной электронной плотности от эффекта торможения метеорной частицы.

Расчет физического фактора замечаемости для комплекса МАРС. Физический фактор замечаемости был рассчитан для 5 порогов эффективной электронной плотности: $1 - 5 \cdot 10^{10}$, $2 - 10^{11}$, $3 - 5 \cdot 10^{11}$, $4 - 5 \cdot 10^{12}$, $5 - 5 \cdot 10^{12}$ эл/м. Коэффициент s в выражении дифференциального распределения по массам принят равным 2.2. В таблице 1 приведены расчетные модели коэффициента ионизации β , высоты приведенной атмосферы H , коэффициента амбиполярной диффузии D и начального радиуса r_0 .

Таблица 1

Коэффициент ионизации [5]	$\beta = 3.0893 \cdot 10^{-6} (v - 8.13)^3$
Приведенная высота [3]	$H = 46.8273 - 0.95h + 0.0055h^2$ км
Коэффициент диффузии [4]	$D = \exp(0.108h - 7.842)$ м ² /с
Начальный радиус [5]	$0.109 v^{0.65} \exp\left(\frac{h-95}{H}\right)$ м
Диапазон высот	70 ÷ 120 км
Диапазон масс метеорных тел	$10^{-10} \div 10^{-2}$ кг

На рисунках 1 а) 1 б) приведены рассчитанные и пронормированные к 1 на скорости $v = 40$ км/с зависимости физического фактора замечаемости комплекса МАРС для определения линейной электронной плотности по Лебединцу (3) и Костылеву (5) соответственно для пяти значений порога. Приведенные на рисунке 1 зависимости хорошо согласуются с кривыми из [1]: лучше всего замечаются метеоры со скоростями 20 ÷ 40 км/с. При уменьшении порога чувствительности РЛС (увеличении значения $\alpha_{эф}^{\min}$) максимум замечаемости радиометеоров смещается в сторону больших скоростей. Плохая замечаемость медленных метеоров связана с малыми значениями коэффициента ионизации при малых скоростях. В случае быстрых ме-

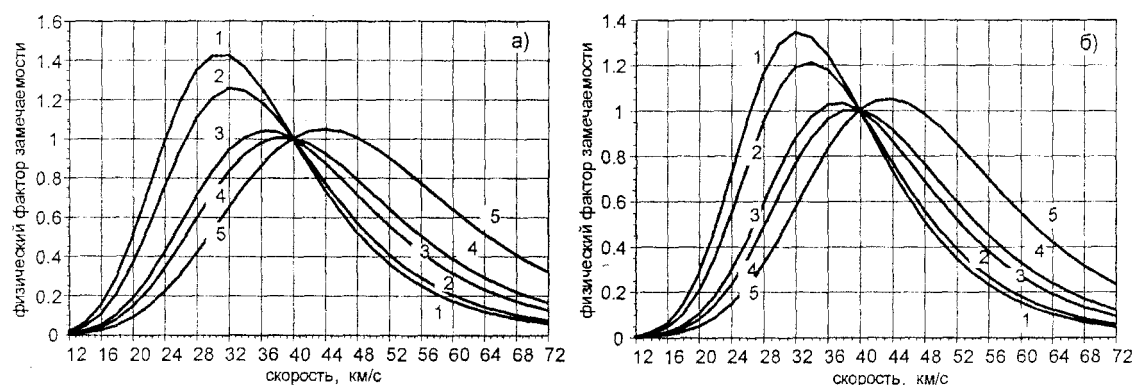


Рис. 1.

теоров возрастают начальные радиусы ионизированных метеорных следов, что приводит к уменьшению амплитуд сигналов, рассеянных метеорными следами. Данный эффект объясняется умножением (аналогично эффективной электронной плотности) мощности рассеянного следом сигнала на множитель ослабления

$$K = \left[\varphi(\Delta) \exp\left(-\frac{4\pi^2 r_0^2}{\lambda^2}\right) \right]^2. \text{ Увеличение чувствительности РЛС позволяет регистриро-}$$

вать более мелкие метеорные тела, которые испаряются на больших высотах и следы которых имеют большие начальные радиусы, что, в свою очередь, приводит к ухудшению замечаемости быстрых метеоров. Последнее утверждение полностью согласуется с полученными зависимостями.

Как видно из графиков, представленных на рисунке 1, кривые физического фактора замечаемости для моделей Лебединца и Костылева практически полностью совпадают. Последнее позволяет нам сделать вывод о высокой правдоподобности полученных результатов.

Литература

1. Лебединец В.Н., Кашеев Б.Л., Лагутин М.Ф. Метеорные явления в атмосфере Земли. – М.: Наука, 1967. – 260с.
2. Костылев К.В. Астрономические основы метеорной радиосвязи. – Казань: Казанский университет, 1970. – 142 с.
3. Стандартная атмосфера. ГОСТ 4401–73. – М., 1977. – 118 с.
4. Белькович О.И. Статистическая теория радиолокации метеоров. – Казань: Казанский университет, 1971. – 104 с.
5. Ткачук А.А. Влияние селективности радионаблюдений на распределение скоростей метеоров. – В кн.: Метеорные исследования, вып. 7.– М.: Радио и связь, 1981. –С. 28-36.