

ЗАВИСИМОСТЬ СРЕДНЕГО ЧАСОВОГО ЧИСЛА ОБНАРУЖЕННЫХ МЕТЕОРОВ ОТ ДЛИНЫ ВОЛНЫ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ СТАНЦИИ

Е. И. ФИАЛКО

(Представлено научным семинаром радиотехнического факультета)

Как известно, число метеоров, обнаруживаемых радиолокационной станцией, существенно зависит от ее параметров и, в частности, от длины волны. На основании экспериментальных данных Мак-Кинли [5] заключил, что численность обнаруживаемых метеоров изменяется пропорционально квадрату длины волны.

Кайзер [6], рассмотрев случай нормального отражения радиоволн от метеорного следа, нашел, что (приближенно)

$$N \sim (\lambda^3)^{\frac{S-1}{2}},$$

где N — среднее часовое число метеоров, обнаруженных с помощью радиолокатора,

λ — длина волны,

S — константа, характеризующая закон распределения метеорных масс.

При $S \approx 2$

$$N \sim \lambda^{\frac{3}{2}}.$$

Следует, однако, отметить, что эти результаты справедливы при неизменном пороговом сигнале.

В действительности же изменение длины волны, как правило, приводит к изменению величины порогового сигнала; возникает вопрос о том, какова зависимость N от λ в этом случае. Как, например, изменится число обнаруженных метеоров при увеличении длины волны, если при этом длительность импульса и полоса пропускания приемника остаются неизменными?

Основные соотношения

Среднее число метеоров, обнаруживаемых радиолокационной станцией в единицу времени (N), может быть найдено из приближенной

формулы, полученной Кайзером [6] для случая нормального отражения радиоволн от метеорных следов:

$$N = A \cdot \left(\frac{\lambda^3}{\varepsilon} \right)^{\frac{S-1}{2}}, \quad (1)$$

где ε — мощность порогового сигнала,

A — коэффициент, не зависящий от длины волны λ .

Мощность порогового сигнала приемника равна

$$\varepsilon = k \cdot T_0 \cdot \Delta f \cdot F \cdot M, \quad (2)$$

где

k — постоянная Больцмана;

T_0 — комнатная температура;

Δf — эффективная полоса частот (шумовая полоса пропускания) приемника;

M — коэффициент, характеризующий наблюдаемость слабого сигнала

F — коэффициент шумов приемника.

Как известно [1],

$$F = \frac{T_a}{T_0} - 1 + F_{\text{собств.}} \quad (3)$$

где

$F_{\text{собств.}}$ — коэффициент шумов, обусловленный внутренними шумами приемника;

T_a — эффективная температура антенны.

С увеличением длины волны $F_{\text{собств.}}$ уменьшается, а T_a возрастает [3].

В диапазоне метровых волн уровень внешних помех (в частности, космического происхождения) значительно превышает уровень внутренних шумов приемника. Коэффициент шумов можно представить в виде

$$F = B \cdot \lambda^l, \quad (4)$$

где B и l — константы (формула (4) является приближенной). В диапазоне $\lambda = 3 - 9$ м [2, 3, 4]

$$2 < l < 3.$$

Из (1) — (4), имеем:

$$N = A_1 \cdot \lambda^{\frac{(3-l)(s-1)}{2}}, \quad (5)$$

где A_1 — коэффициент, не зависящий от λ . Так как для спорадических метеоров $S \approx 2$ [6, 7], то

$$N = A_1 \cdot \lambda^r,$$

где

$$0 < r < 0,5,$$

что свидетельствует о слабой зависимости среднего часового числа метеоров от длины волны радиолокатора. Этот вывод получен в пред-

положении, что все метеоры, которые могут дать отражения, превышающие пороговый сигнал, будут обнаружены.

В действительности же часть таких метеоров не будет обнаружена, так как длительность отражения радиоволн от слабых метеорных следов может оказаться весьма малой — меньше периода посылки импульсов.

Буллоу показал [7], что число фактически обнаруженных метеоров N_0 равно

$$N_0 = N \cdot \xi. \quad (6)$$

Здесь N — число метеоров, отражения от которых могли бы превысить пороговый сигнал при непрерывном облучении метеорного следа;

$$\xi = p^{1-s} + \frac{1}{\ln p \cdot (s-1)} \left[1 - p^{1-s} \left\{ 1 + (s-1) \ln p \right\} \right], \quad (7)$$

где

$$p = e^{\frac{T_i}{T_{ca}}}, \quad (8)$$

T_i — период посылки импульсов;

T_{ca} — длительность отражения, отсчитываемая на уровне $\frac{1}{e}$ от максимальной амплитуды отраженного сигнала [8].

При линейной электронной плотности

$$\alpha < 2,4 \cdot 10^{12} \text{ эл./см},$$

длительность отражения равна [8]

$$T_{ca} = \frac{\lambda^2}{16 \cdot \pi^2 \cdot D}, \quad (9)$$

где D — коэффициент диффузии для высоты, на которой расположен отражающий участок метеорного следа.

Рассмотрим частный случай, когда период посылки импульсов значительно превышает длительность существования следа:

$$T_i \gg T_{ca}.$$

Так как $S \approx 2$, то, как нетрудно показать, формула (7) примет вид

$$\xi \approx \frac{1}{\ln p \cdot (S-1)}$$

и с учетом (8) и (9)

$$\xi \approx \frac{T_{ca}}{T_i (S-1)} = A_2 \cdot \lambda^2, \quad (10)$$

где

$$A_2 = \frac{1}{T_i \cdot (S-1) \cdot 16 \cdot \pi^2 \cdot D}$$

Таким образом, среднее часовое число фактически обнаруженных метеоров из (5), (6) и (10) будет равно

$$N_0 \approx A_3 \cdot \lambda^K,$$

где

$$A_3 = A_1 \cdot A_2,$$

$$K = 2 + \frac{(3-l)(S-1)}{2}.$$

Для спорадических метеоров $S \approx 2$; по Шкловскому [4] $l \approx 2,8$, при этом $K \approx 2,1$.

Таким образом, в случае, когда метеорные наблюдения ведутся с помощью радиолокаторов с низкой частотой повторения импульсов, среднее часовое число обнаруженных метеоров пропорционально (приближенно) квадрату длины волны.

При повышении частоты посылки импульсов K уменьшается.

Следует отметить, что с увеличением длины волны несколько уменьшается минимальная величина массы обнаруживаемых метеоров; диаграмма направленности отражения радиоволн от метеорного следа становится менее острой [5]; увеличивается число „ненормальных“ отражений и т. д.

Рассмотрение этих вопросов, а также обсуждение рекомендаций по выбору длины волны радиолокатора, предназначенного для метеорных наблюдений, выходят за рамки настоящей статьи.¹⁾

Выводы

1. В случае, если при изменении длины волны мощность порогового сигнала поддерживается неизменной, среднее часовое число обнаруженных метеоров пропорционально

$$N \sim \lambda^{\frac{3(S-1)}{2}}$$

и при $S \approx 2$

$$N \sim \lambda^{\frac{3}{2}}.$$

2. Но мощность порогового сигнала зависит от длины волны. В случае, если бы обнаруживались все метеоры, способные дать отражение, превышающее пороговый сигнал, среднее часовое число

$$N \sim \lambda^{\frac{(3-l)(S-1)}{2}}$$

¹⁾ Здесь не рассматривается случай наличия атмосферных помех и не учитывается оперативность системы.

и при $l \approx 2,8$, $S \approx 2$

$$N \sim \lambda^{0,1}.$$

3. Так как в импульсном режиме часть кратковременных метеоров оказывается необнаруженной, хотя сигналы, отраженные от них, и превысили бы пороговый сигнал, то среднее часовое число метеоров оказывается зависящим от отношения длительности существования следа к периоду посылки сигналов.

В частности, при весьма низкой частоте повторения импульсов и при $l \approx 2,8$, $S \approx 2$

$$N \sim \lambda^{2,1}.$$

ЛИТЕРАТУРА

1. Сифоров В. И. Радиоприемные устройства, Воениздат, 1954.
2. Колосов А. А. Резонансные системы и резонансные усилители, Связьиздат, 1949.
3. Сиверс А. П. Радиолокационные приемники, Связьиздат, 1953.
4. Шкловский И. С. О природе радиоизлучения Галактики, *Астрономический журнал*, 1952, том 29, вып. 4.
5. McKinley D. W. R. Variation of Meteor Echo Rates with Radar System Parameters, *Can Journ. Phys.*, 1951, v. 29, No. 5, pp. 403—426.
6. Kaiser T. R. Theory of the Meteor Height Distribution Obtained from Radio-Echo Observations, *Mon. Not. Roy. Astr. Soc.*, 1954, v. 114, No. 1, pp. 39—62.
7. Bullough K. Radio Echo Observations of the Day-and Night-time Streams 1951 October to 1953 December. *Jodrell Bank Annals*, 1954, Ser. 1,1, No. 3, pp. 68—97.
8. Kaiser T. R., Closs R. L. Theory of Radio Reflections from Meteor Trails. *Phil. Mag.*, Ser. 7., 1952, v. 43, No. 336, pp. 1—32.