

УДК 523.53

СКОРОСТИ МЕТЕОРНЫХ ТЕЛ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ.

II. ЗАМЕЧАЕМОСТЬ МЕТЕОРОВ

Ю. И. ВОЛОЩУК, Б. Л. КАЩЕЕВ, А. А. ТКАЧУК

Предложен косвенный метод оценки функции селективности радионаблюдений по отношению к метеорам разных скоростей. Метод основан на сопоставлении видимых и истинных распределений скоростей метеорных тел с различных областей небесной сферы. Истинные распределения получены методом «скользящего окна», предложенным в ч. I данной работы. Определены поправки к среднему значению внеатмосферной скорости метеорных тел, найденному по видимому распределению, изменение среднего значения гелиоцентрической скорости и моментов более высокого порядка (дисперсии, коэффициентов асимметрии и эксцесса) по небесной сфере.

Наиболее общий метод учета селективности наблюдений при исследовании метеоров заключается в том, что каждому зарегистрированному метеору присваивают вес P , обратно пропорциональный вероятности наблюдения метеоров с данными параметрами. При радионаблюдениях этот вес обусловлен так называемыми геометрическим и физическим факторами замечаемости [2], если рассматривают распределения каких-либо параметров метеорных тел с постоянной предельной массой и вблизи Земли. При статистической обработке результатов наблюдений с целью получения эмпирических распределений проводится сортировка метеоров по интересующему параметру с соответствующими весовыми коэффициентами.

В настоящей работе мы ограничимся вопросом скоростей метеорных тел вблизи орбиты Земли и по этой причине не будем касаться астрономического фактора замечаемости метеоров, который необходимо учитывать, если рассматривать распределение метеорного вещества в Солнечной системе.

Геометрический фактор замечаемости метеоров определяется главным образом формой и ориентацией диаграммы направленности антенны, местом расположения станции, временем проведения наблюдений и характеризует относительную замечаемость метеоров с различными координатами радиантов. Методика расчета геометрического фактора замечаемости достаточно хорошо разработана [2, 4]. Кроме того, если разделить небесную сферу на ограниченные области и рассматривать распределения скоростей метеоров для каждой области отдельно, то при круглосуточных наблюдениях влияние геометрического фактора замечаемости будет сведено к минимуму.

Физический фактор характеризует относительную замечаемость метеоров с различными скоростями и наклоном траектории. Методика непосредственного расчета этого фактора также известна и широко применяется на практике [2, 3, 5, 7, 8], но при этом возникают определенные трудности с выбором наиболее достоверных соотношений и параметров физической теории метеоров. В первую очередь это относится к зависимостям коэффициента ионизации от скорости метеоров, начального радиуса

метеорных следов от высоты и скорости, коэффициента амбиполярной диффузии от высоты, высоты образования метеоров от их массы, плотности и скорости. Кроме того, играет определенную роль принятая теория рассеяния радиоволн на метеорных следах, вид ионизационной кривой, распределение метеорных тел по массе.

Все это приводит к неопределенностям при расчете физического фактора замечаемости метеоров, особенно в области малых ($v_{\infty} < 20$ км/с) и больших ($v_{\infty} > 60$ км/с) скоростей метеорных тел. Поэтому представляют интерес попытки косвенного определения физического фактора замечаемости метеоров [9]. В работе [1] предложен и реализован метод получе-

Среднее значение $\bar{P}_1$ и коэффициент вариации σ_0 геометрического фактора замечаемости

$\lambda' - \lambda_a, ^\circ$	$\bar{\beta}', ^\circ$							
	0		30		60		90	
	$\bar{P}_1$	σ_0	$\bar{P}_1$	σ_0	$\bar{P}_1$	σ_0	$\bar{P}_1$	σ_0
0	49,8	0,03	48,6	0,02	46,2	0,16	36,2	0,18
30	49,6	0,12	48,3	0,11	45,6	0,13		
60	49,6	0,12	47,3	0,08	43,4	0,12		
90	49,1	0,12	45,1	0,11	38,4	0,22		
120	44,3	0,18	39,5	0,27	34,4	0,30		
150	28,6	0,43	26,4	0,63	24,3	0,48		
180	24,4	0,60	23,8	0,73	18,6	0,78		

ния исправленных (истинных) распределений внеатмосферных и гелиоцентрических скоростей метеорных тел по результатам радионаблюдений, не требующий расчета физического фактора замечаемости (метод «скользящего окна»). Развивая дальше этот метод, можно косвенно оценить функцию селективности радионаблюдений, результаты которых были использованы для получения распределений скоростей метеорных тел.

После того как получены оценки истинной плотности вероятности гелиоцентрических скоростей метеорных тел в метеорной зоне Земли, и располагая плотностями вероятностей скоростей видимых распределений метеоров [1], можно оценить селективность метода наблюдений, включающую как физический фактор, так и избирательность аппаратуры.

Известно, что нелинейное преобразование плотности вероятности случайной величины x в плотность вероятности случайной величины y , связанное с x функциональной зависимостью $y=f(x)$, определяется соотношением

$$w(y) = w(x) \left| \frac{df(x)}{dx} \right|. \quad (1)$$

Получить истинную плотность вероятности $w_{\pi}(v_{\infty})$ для различных областей небесной сферы, зная истинное распределение $w_{\pi}(v_{\infty})$ можно, либо воспользовавшись этой зависимостью и формулами (6), (7) из работы [1], либо методом статистического моделирования.

При интерпретации результатов измерений метеоров учет селективности метода наблюдения производят в соответствии со следующей формулой:

$$w_{\pi}(v_{\infty}) = w_{\nu}(v_{\infty}) P. \quad (2)$$

В общем случае весовая функция P зависит от нескольких параметров. Здесь мы приняли, что при измерениях средние значения зенитного расстояния радиантов z меняются несущественно и можно считать, что P

является функцией только скорости v_∞ и координат радиантов β' , $\lambda' - \lambda_a$ (λ_a — долгота апекса Земли).

Из формулы (2) следует, что, поделив видимую плотность вероятности скоростей v_∞ на истинную плотность вероятности, можно получить оценки функции $1/P$, т. е. функции замечаемости метеоров при радионаблюдениях.

Поскольку рассматривается не общее распределение скоростей метеорных тел со всей небесной сферы, а распределения для ограниченных по размерам областей небесной сферы, то можно предположить, что в пределах каждой области геометрический фактор замечаемости метеоров $1/P_1$

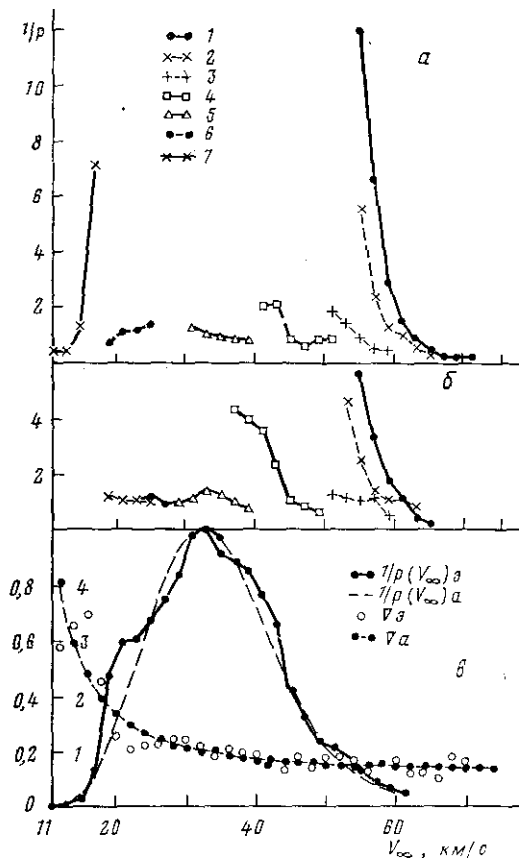


Рис. 1

Рис. 1. Функция селективности радионаблюдений метеоров: а — для $\beta' = 0^\circ$; б — для $\beta' = 30^\circ$; в — общая кривая: 1 — $\lambda' - \lambda_a = 0^\circ$; 2 — 30° ; 3 — 60° ; 4 — 90° ; 5 — 120° ; 6 — 150° ; 7 — $\lambda' - \lambda_a = 180^\circ$. Индексом «э» обозначены эмпирические значения, индексом «а» аппроксимирующая функция

Рис. 2. Поправка к среднему значению внеатмосферной скорости метеорных тел

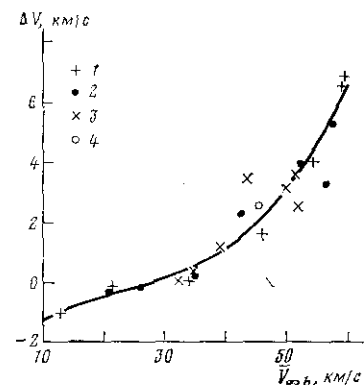


Рис. 2

должен меняться незначительно. Это предположение подтверждается данными, приведенными в таблице. Для большинства областей отношение среднеквадратического отклонения величины P_1 от среднего значения $\bar{P}_1$ (коэффициент вариации σ_0) не превышает 20%, и только для больших углов элонгации от апекса изменение P_1 становится существенным.

На основании этих данных можно заключить, что полученная описанным выше методом функция селективности $1/P$ характеризует главным образом физический фактор замечаемости $1/P_2(v_\infty)$ и аппаратную селекцию наблюдений к метеорам разных скоростей, если она существует.

На рис. 1, а и б представлены графики отношения видимых и истинных плотностей вероятностей величины v_∞ для $\beta' = 0^\circ$ и $\beta' = 30^\circ$ и различных значений $\lambda' - \lambda_a$. Для $\beta' = 60^\circ$ при изменении $\lambda' - \lambda_a$ от 0 до 180° v_∞ меняется в диапазоне (30...60) км/с, а для $\beta' = 90^\circ$ — в пределах (37...53) км/с, поэтому при получении оценок функции $1/P(v_\infty)$ эти данные не использовались.

Как видно, примененный метод позволяет получить фрагменты функции $1/P(v_\infty)$ в различных диапазонах скоростей v_∞ . Аппроксимируя их полиномами второй и третьей степеней по методу наименьших квадратов, «сшивая» последовательно один фрагмент за другим (в тех диапазонах скоростей, где фрагменты перекрываются, производилось усреднение) и нормируя полученную кривую к максимальному значению, получаем функцию $1/P(v_\infty)$, приведенную на рис. 1, в, сплошной линией. Аппроксимируем эту функцию по методу наименьших квадратов выражением вида

$$y = ax^b e^{cx}. \quad (3)$$

Если пронормировать полученную зависимость по максимальному значению к единице, получим следующие оценки параметров выражения (3):

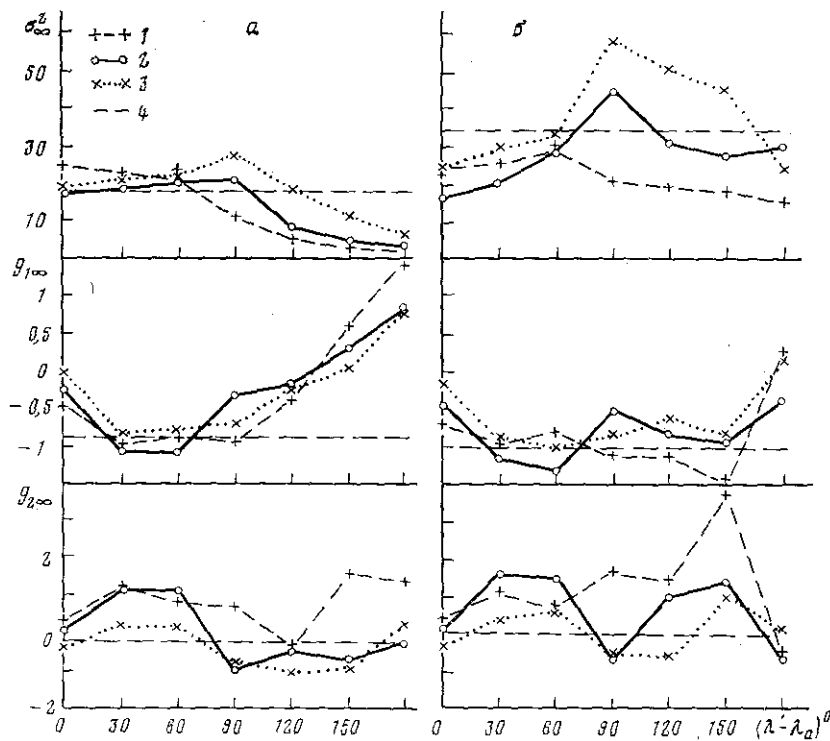


Рис. 3. Изменение выборочных статистик истинных распределений скоростей v_∞ и v_h по небесной сфере: 1 — $\beta' = 0^\circ$; 2 — $\beta' = 30^\circ$; 3 — $\beta' = 60^\circ$; 4 — $\beta' = 90^\circ$ σ^2 — дисперсия; g_1 — коэффициент асимметрии; g_2 — коэффициент эксцесса

$\ln a = -33,13$, $b = 13,42$, $c = -0,412$. На рис. 1, в эта зависимость показана пунктирной линией.

Для оценки качества аппроксимации учтем, что эта зависимость должна использоваться при интерпретации результатов измерений в соответствии с формулой (2). При этом основное требование к аппроксимирующей зависимости заключается в том, чтобы отношение ∇ значений $1/P(v_\infty)$ для соседних значений скоростей v_∞ (в нашем случае шаг составлял 2 км/с) мало отличалось от соответствующих оценок, полученных из исходной кривой. На рис. 1, в нанесены соответствующие точки. Как видно из графика, совпадение получилось достаточно хорошим.

Получив оценки функции селективности, можно по видимым распределениям, аналогичным приведенным на рис. 2 в работе [1] восстановить истинные распределения.

На рис. 2 показаны значения величины поправки к средней скорости $\bar{v}_{\infty b}$, найденной по выражению

$$\Delta v = \bar{v}_{\infty k} - \bar{v}_{\infty b} \quad (4)$$

при различных значениях $\bar{v}_{\infty b}$. В этой формуле $\bar{v}_{\infty b}$ — среднее значение внеатмосферной скорости метеоров, найденное по видимому распределению, $\bar{v}_{\infty k}$ — среднее значение, найденное по исправленному распределению.

Видно, что при $\bar{v}_{\infty b}$ в диапазоне (25...35) км/с поправка близка к нулю, при меньших значениях $\bar{v}_{\infty b}$ она отрицательна, а при значениях $\bar{v}_{\infty b} > 35$ км/с $\Delta v > 0$ и при $\bar{v}_{\infty b} \approx 60$ км/с достигает (6...7) км/с. При аппроксимации зависимости $\Delta v(v_{\infty b})$ полиномом третьей степени по методу наименьших квадратов (сплошная линия на рис. 2) получаем следующие значения коэффициентов полинома:

$$a_0 = -74, a_1 = 0,21, a_2 = -0,64 \cdot 10^{-2}, a_3 = 0,93 \cdot 10^{-4}.$$

На рис. 3 представлена зависимость выборочных статистик истинных распределений скоростей v_k и v_{∞} в функции $\lambda' - \lambda_a$. Сравнение этого рисунка с аналогичными зависимостями для видимых распределений (см. рис. 1, в в работе [1]) позволяет сделать следующие выводы:

1. Истинные распределения как внеатмосферной v_{∞} , так и гелиоцентрической v_k скорости метеорных тел по сравнению с видимыми изменяются примерно одинаково.

2. Дисперсия истинных распределений в функции $\lambda' - \lambda_a$ изменяется меньше, чем у видимых распределений, хотя характер изменений сохраняется.

3. Асимметрия и эксцесс истинных распределений изменяются в более широких пределах, чем для видимых распределений, причем для истинных распределений коэффициент асимметрии меньше, чем для соответствующих видимых распределений, а коэффициент эксцесса у них, как правило, больше.

4. Характер изменения коэффициента эксцесса истинных и видимых распределений в зависимости от $\lambda' - \lambda_a$ заметно различается.

ЛИТЕРАТУРА

1. Волощук Ю. И., Кашеев Б. Л., Ткачук А. А. Скорости метеорных тел по результатам радиолокационных наблюдений. I. Распределения скоростей. — Астрон. вестн., 1981, т. 15, № 2, с. 118—126.
2. Кашеев Б. Л., Лебединец В. Н., Лагутин М. Ф. Метеорные явления в атмосфере Земли. М.: Наука, 1967, 260 с.
3. Лебединец В. Н., Корпусов В. Н., Соснова А. К., Шушкова В. Б. Отражение радиоволн от метеорных следов. III. Замечаемость радиометеоров. — Геомагнетизм и аэронавтика, 1971, т. 11, № 6, с. 1011—1020.
4. Лебединец В. Н., Манохина А. В. О геометрическом факторе замечаемости радиометеоров при некруглосуточных наблюдениях. — Тр. ИЭМ, 1976, вып. 4(61), с. 34—40.
5. Лебединец В. Н., Манохина А. В. Замечаемость метеоров. — Тр. ИЭМ, 1978, вып. 8(81), с. 12—39.
6. Левин Б. Ю. Физическая теория метеоров и метеорное вещество в Солнечной системе. М.: Изд-во АН СССР, 1956, 293 с.
7. Ткачук А. А. Замечаемость слабых радиометеоров. — В сб. Проблемы космической физики, 1974, вып. 9. Киев: Вища школа, с. 92—98.
8. Ткачук А. А. Влияние селективности радионаблюдений на распределение скоростей метеоров. — В сб. Метеорные исследования, М.: Радио и связь, 1981, № 7, с. 28—36.
9. Чеботарев Р. П. О замечаемости радиометеоров. — Тез. докл. Всес. симпози. Взаимодействие космического вещества с атмосферой Земли, 1978, Фрунзе, с. 34.

Харьковский институт
радиоэлектроники

Поступила в редакцию
29.VII.1980

THE VELOCITIES OF METEOROIDS FROM RADAR OBSERVATIONS.

II. METEOR DETECTION

Yu. I. VOLOSHCHUK, B. L. KASHCHEEV, A. A. TKACHUK

An indirect method is proposed of evaluation of the radio observation selectivity function for meteors with different velocities. This method is based on a comparison of apparent and true meteor body velocity distributions in different sky regions. The true distributions are obtained by a «moving window» method described in the Part I of this work. Some corrections to a meteor bodies pre-atmospheric velocity, averaged according to apparent distribution, are given, as well as variations of heliocentric average velocities and of higher order moments (dispersion, asymmetry and excess coefficients) across the celestial sphere.
