ИЗВЕСТИЯ
ТОМСКОГО ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА имени С. М. КИРОВА

Том 100 1962

НЕКОТОРЫЕ СТАТИСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕТЕОРОВ, НАЙДЕННЫЕ РАДИОЛОКАЦИОННЫМ МЕТОДОМ

Е. И. ФИАЛКО

(Представлено научным семинаром радиотехнического факультета)

Систематические радиолокационные наблюдения метеоров в городе Томске, начавшиеся с середины 1957 г., дали возможность получить некоторые статистические характеристики метеоров.

Систематическим наблюдениям, проводившимся в период Международного геофизического года и Международного геофизического сотрудничества, предшествовала напряженная работа коллектива кафедры радиотехнической аппаратуры Томского политехнического института по созданию установки для радиолокации метеоров и проведению пробных наблюдений.

Радиотехнический полигон Томского политехнического института

В 1950 г. в Томском политехническом институте (ТПИ) была начата подготовительная работа, предшествовавшая организации коллектива, способного заниматься проектированием и конструированием аппаратуры для радиолокации метеоров, ее эксплуатацией и обработкой результатов наблюдений.

Разработка аванпроекта установки для радиоисследования метеоров началась в 1953 году в основном силами студентов-дипломантов радиотехнического факультета ТПИ, которые после окончания института составили ядро формировавшегося коллектива.

Аванпроект был закончен в июле 1954 г. Последовавшее затем техническое проектирование завершилось созданием станции „ТПИ-1“ в августе 1956 г. и станции „ТПИ-2“ в августе 1957 г.

Станция „ТПИ-1“, предназначенная для наблюдения метеоров на длине волны $\lambda=10$ *м*, излучает импульсы длительностью $\tau=5$ *мк сек*, мощностью $P_i\approx100$ *квт* с частотой $F_i=300$ имп/сек и $F_i=600$ имп/сек (в последнем режиме одиночные импульсы чередуются с парными). В состав станции, помимо передатчика, приемника и отметчиков дальности, входят индикатор скорости метеора (фиксирующий дифракционную картину, наблюдаемую при формировании следа) и индикатор дрейфа метеорного следа (нониусный индикатор дальности).

При разработке станции „ТПИ-1“ были учтены результаты работ, связанных с измерением скорости метеора [1], скорости дрейфа метеорного следа [2], с повышением помехоустойчивости метеорных радиолокаторов [3] и т. п.

Станция „ТПИ-1“ была развернута в августе 1956 г. на радиотехническом полигоне ТПИ (первая очередь которого была построена летом 1956 г.). В сентябре 1956 г. были проведены пробные наблюдения метеоров, подтвердившие высокие возможности радиолокации метеоров на $\lambda=10$ *м*.

Затем радиолокатор „ТПИ-1“ был передан заказчику—Институту физики атмосферы АН СССР (ИФАН). Испытания установки „ТПИ-1“, проведенные в декабре 1956 г. в районе г. Мурманска при участии сотрудников ТПИ ассистентов Ф. И. Перегудова и В. А. Федорова, продемонстрировали пригодность созданной аппаратуры для работы в полярных условиях.

В состав станции „ТПИ-2“, помимо дальномера, входит угломер. Дальномерная часть установки „ТПИ-2“ по существу является усовершенствованной станцией „ТПИ-1“ (помимо простого индикатора дрейфа имеется когерентно-импульсный индикатор дрейфа и т. п.).

Помимо радиолокатора „ТПИ-2“, на радиотехническом полигоне установлены модернизированные радиолокаторы „П-2М“ ($\lambda\approx4$ *м*), „Мост-2“ ($\lambda\approx1{,}5$ *м*) и оригинальный радиолокатор „М-3“ ($\lambda\approx4$ *м*[1]). Кроме того, для исследования поляризационных эффектов, наблюдаемых при отражении радиоволн от метеорного следа, сконструирована направленная антенна (излучающая в двух взаимно-перпендикулярных плоскостях), аналогичная антеннам, использовавшимся в известных экспериментах [4, 5].

В проектировании и конструировании аппаратуры, проходивших под руководством автора, принимали активное участие ассистент Ф. И. Перегудов (ведущий конструктор передатчиков „ТПИ-1“ и „ТПИ-2“ и станции „М-3“), ассистент Э. К. Немирова (ведущий конструктор приемно-индикаторных установок „ТПИ-1“, „ТПИ-2“, а также—антенны для исследования резонансных эффектов в метеорном следе), ст. инженер И. Д. Золотарев (ведущий конструктор канала угловых координат станции „ТПИ-2“), доцент Г. С. Зубарев (руководивший работами по созданию полигона, по постановке наблюдений на локаторе „П-2М“ и т. п.), ассистент Л. П. Серафинович, ассистент Л. А. Покровский. В работах участвовали также ассистент В. А. Федоров, ст. преподаватель И. Ш. Соломоник, аспирант А. Н. Колесов, аспирант В. П. Денисов, доцент Г. Б. Кац, инженер Л. Г. Шошин, младший научный сотрудник Г. В. Носкова, А. В. Саенко и др.

Радиолокационные наблюдения метеоров в г. Томске

Впервые радиолокационные наблюдения метеоров в г. Томске были проведены в августе 1953 г. в эпоху потока Персеид [6].

Для этой цели использовалась радиолокационная станция „П-2М“ с дополнительным яркостным отметчиком и фотоприставкой. Ранее эта установка использовалась Б. Ю. Левиным для метеорных наблюдений, организованных им в районе Москвы.

В декабре 1953 г. в Томске наблюдался поток Геминид [6]. Наблюдения проводились с 11 по 14 декабря в ночные и утренние часы, в общей сложности в течение 31 часа 10 минут.

Всего было зарегистрировано 209 метеоров; среднее часовое число $N\approx7$. Наибольшая численность была отмечена 2^h и $3^h\ 30^m$ 12 декабря (по местному томскому времени), когда часовое число достигло 36.

---

[1]) Радиолокаторы „ТПИ-2“, „М-3“ и „Мост-2“ обладают примерно одинаковыми параметрами P_i, F_i, τ_i.

При постановке наблюдений потока Геминид был учтен опыт работ, проводившихся Б. Ю. Левиным [7], И. С. Астаповичем [8], П. О. Чечиком [9], а также иностранными исследователями [10 и др].

Однако эти наблюдения проводились с целью решения некоторых аппаратурных вопросов, а не для накопления статистического материала.

Впервые в СССР наблюдения на длине волны $\lambda = 10$ *м* были проведены с 6 по 13 сентября 1956 г. с помощью станции „ТПИ-1" на радиотехническом полигоне Томского политехнического института. За время наблюдений, длившихся в общей сложности 41 час, было зафиксировано более 7000 метеоров; среднее часовое число $\overline{N} \approx 170$. Фоторегистрация экрана яркостного отметчика дальности велась в течение 6 часов 40 минут (с 1^h по 7^h 40^m 13 сентября 1956 г.). 7—8 сентября аппаратура работала круглосуточно (с двумя часовыми перерывами), что позволило определить суточную вариацию часового числа, максимум которого достиг ≈ 300 в 5^h—6^h, а минимум ≈ 60 в 18^h—19^h местного времени [11].

Было также получено распределение метеорных радиоэхо по длительностям и дальностям [12, 11].

В декабре 1956 г., как уже упоминалось, Ф. И. Перегудов при участии В. А. Федорова наблюдал поток Геминид в районе г. Мурманска (также с помощью станции „ТПИ-1").

С июля 1957 г. начались наблюдения на станции „ТПИ-2", установленной на радиотехническом полигоне ТПИ.

За период с июля 1957 г. по декабрь 1958 г. было зарегистрировано более 325 тысяч метеоров (средне-часовое число = 177), причем около 43700 из них дали отражения с длительностью > 1 *сек*.

В августе 1957 г. были зафиксированы дифракционные картины, а в начале 1958 г. была измерена скорость дрейфа метеорных следов когерентно-импульсным методом.

Высоты метеоров измерялись в период действия потоков Геминид, Урсид, Квадрантид и др.

Радиолокационные наблюдения, проведенные в период МГГ, позволили накопить обширный статистический материал.

Вариация часового числа метеоров, зарегистрированных радиолокатором на $\lambda = 10$ *м*

Как известно, число метеоров, зарегистрированных локатором в течение одного часа (часовое число N), не остается постоянным. Суточное, а также сезонное изменения часового числа N связаны с вращением Земли вокруг своей оси и вокруг Солнца, распределением метеорного вещества в пространстве и т. д. Кроме того, величина и характер изменения N определяются параметрами радиолокатора (длиной волны, мощностью передатчика, диаграммой направленности антенны, частотой посылки импульсов и т. п.).

Некоторое представление об уровне метеорной активности за определенный интервал времени T_Σ может дать среднее часовое число $\overline{N} = \frac{N_\Sigma}{T_\Sigma}$ (где N_Σ — общее число метеоров, зарегистрированных за время наблюдения T_Σ).

Но при этом остается неясным, как часто (и во сколько раз) часовое число может превысить уровень $\overline{N}$, или наоборот, как часто можно ожидать понижения часового числа.

Выяснение рассматриваемой задачи важно также в интересах разумного проектирования радиолокационных устройств: в ряде случаев нужно знать, какова вероятность регистрации весьма большого или весьма малого числа метеоров радиолокатором, рассчитанным на $\overline{N}$. В связи с этим представляет интерес экспериментальное изучение закона распределения часовых чисел.

Для наблюдений использовалась станция „ТПИ-2" ($\lambda = 10$ *м*) с ненаправленными передающей и приемной антеннами (полуволновыми вибраторами на высоте $\approx \frac{\lambda}{3}$ над уровнем земли); мощность в импульсе $P_i \approx 100$ *квт*, длительность импульса $\tau_i = 5$ *мксек*, частота повторения импульсов $= 600$ имп/сек; для повышения помехоустойчивости системы и обеспечения однозначности измерения дальности использовались раздвоенные импульсы, чередовавшиеся с одиночными. Метеорные радиоэхо регистрировались на фотопленке, протягивавшейся со скоростью ≈ 30 *мм/мин*.

В июле-декабре 1957 г. наблюдения велись в течение 602,5 час. Наблюдались как потоки (в том числе потоки Персеид, Геминид и др.), так и спорадические метеоры. За это время было зарегистрировано 134280 метеоров. Дифференциальное распределение часовых чисел (рис. 1) имеет экстремальный характер.

Мода распределения лежит в пределах 150 ÷ 200 метеоров в час; среднечасовое число $\overline{N} \approx 222$.

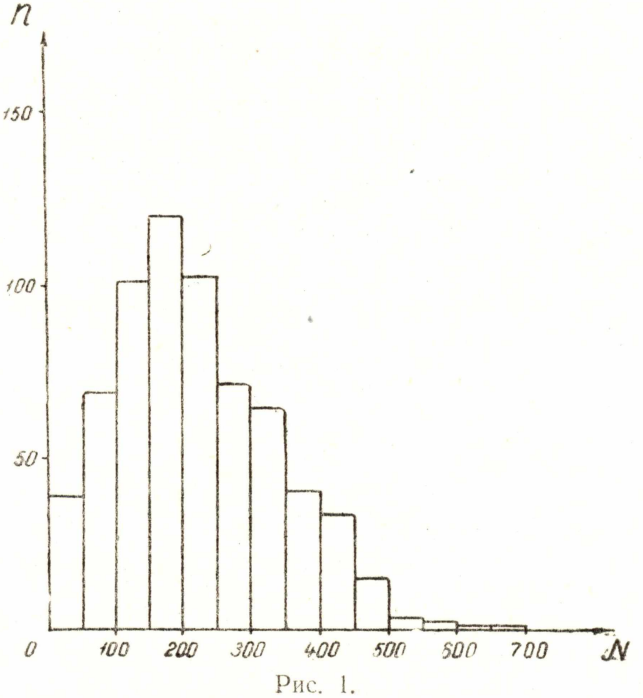

Рис. 1.

На рис. 2 представлено нормированное интегральное распределение часовых чисел. Срединное значение часового числа ≈ 200. Вероятность превышения двукратного среднего уровня (то есть $N \gtrsim 440$) меньше 4% (см. рис. 2). Вероятность того, что N окажется больше 500, не превосходит 1%. Заметим, что за все время наблюдений наибольшее часовое число только один раз достигло значения $N_{max} = 650 \div 700$.

Совершенно естественно, что полученные результаты носят предварительный характер. Для их уточнения следует проанализировать

также первое полугодие и рассмотреть интервалы времени малые по сравнению с 1 часом.

При использовании низкооперативной или низкочувствительной аппаратуры дифференциальное распределение часовых чисел имеет монотонно-убывающий характер. Для подтверждения этого положения воспользуемся сводкой, рассылаемой Астрономической обсерваторией им. Энгельгардта (г. Казань) участникам работ по программе МГГ. В течение августа, сентября и ноября 1957 г. наблюдения на станции

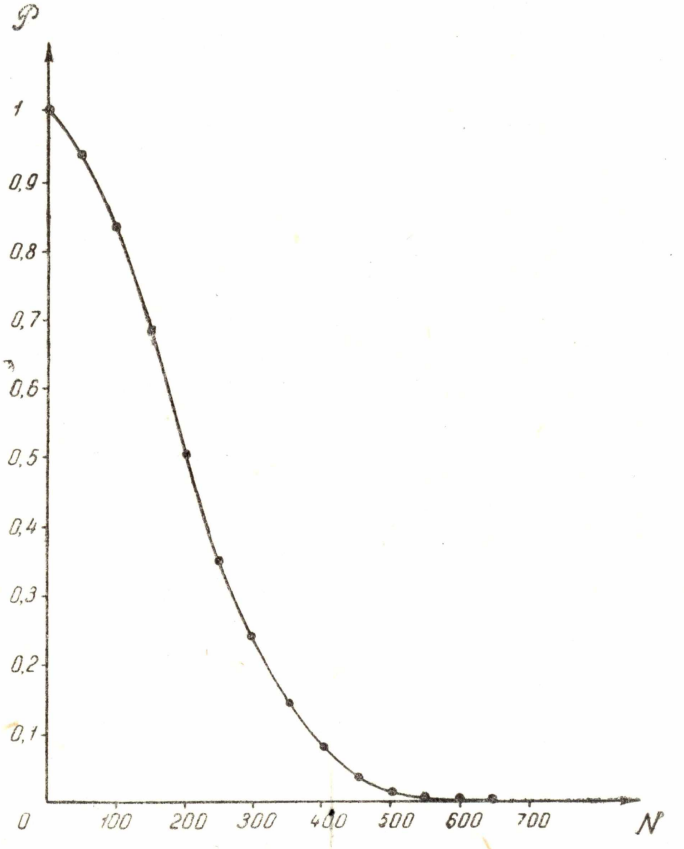

Рис. 2.

„П-2М“ (модернизация К. В. Костылева) велись в течение 1088 часов; за это время было зафиксировано 1075 метеоров (таким образом, среднее часовое число ≈ 1). Дифференциальное распределение часовых чисел изображено на рис. 3.

Хотя результаты, полученные за сравнительно небольшой срок, носят предварительный характер, представляется возможным сделать ряд выводов.

1. Распределение часовых чисел носит экстремальный характер, если используется достаточно чувствительная и высокооперативная аппаратура.

2. На $\lambda = 10$ *м* при мощности передатчика $P_i \approx 100$ *квт* можно регистрировать в среднем около 200 метеоров в час. При этом в течение приблизительно половины времени наблюдений будет обнаруживаться более 200 метеоров в час.

3. Время, в течение которого может наблюдаться часовое число, вдвое превышающее средний уровень $\overline{N}$, составляет $\approx \frac{1}{25}$ общего времени наблюдений.

4. Вероятность того, что (на $\lambda=10$ *м*) часовое число превысит значение $N=500$, составляет всего $\approx 1\%$.

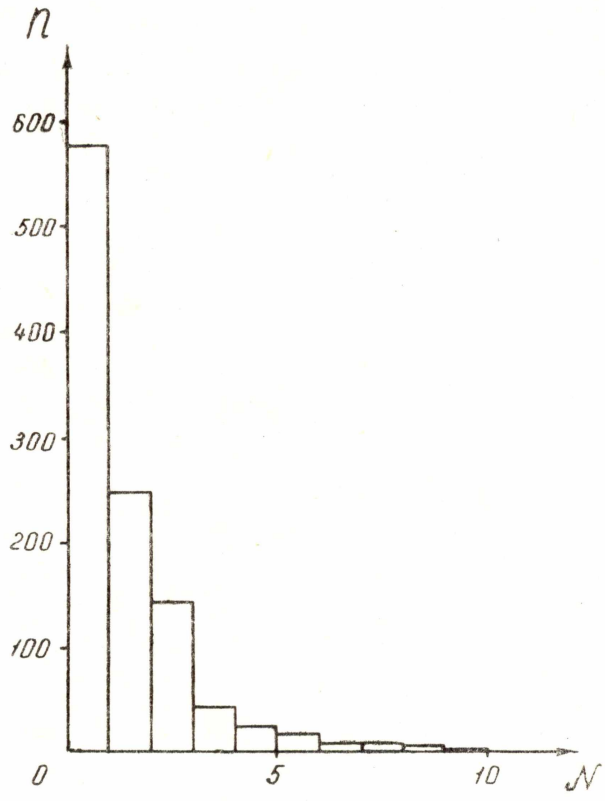

Рис. 3.

Распределение метеорных радиоэхо по длительности

За период с июля по декабрь 1957 г., как уже указывалось, было зарегистрировано 134280 метеорных радиоэхо, принадлежавших как метеорным потокам, так и спорадическим метеорам. Из них 22180 отражений имели продолжительность $\tau \geqslant 1$ *сек*.

Интегральное распределение радиоэхо по длительностям представлено на рис. 4 в логарифмическом масштабе (для $\tau > 1$); $N(\tau)$ — количество отражений с длительностью $\geqslant \tau$.

Нетрудно видеть, что в области длительных эхо характер зависимости $N(\tau)$ несколько иной, чем в области $\tau \approx 1 \div 10$ *сек*.

Характер зависимости $N(\tau)$ определяется законом распределения метеорных тел по массам и особенностями отражения радиоволн от метеорных следов [13].

Как видно из рис. 4, в интервале $\tau \approx 1 \div 10$ *сек* интегральное распределение $N(\tau)$ удовлетворительно аппроксимируется гиперболой $N(\tau) \sim \tau^{-0,86}$, а в интервале $\tau \approx 10 \div 60$ *сек* — гиперболой $N(\tau) \sim \tau^{-1,55}$.

Используя распределение радиоэхо по длительностям, характеризующее всю совокупность зарегистрированных метеоров (как спорадических, так и относящихся к потокам) за второе полугодие 1957 г., найдем некоторое усредненное значение показателя s.

Находя s для интервала $\tau \approx 1 \div 10$ *сек* по формуле $s = 1 + \frac{4}{3} \frac{\lg N_1/N_2}{\lg \tau_2/\tau_1}$,

а s_2 для интервала $\tau \approx 10 \div 60$ *сек* по формуле $s = 1 + \frac{2}{3} \frac{\lg N_1/N_2}{\lg \tau_2/\tau_1}$ (см. [13]), получим $s_1 \approx 2{,}15$ и $s_2 \approx 2{,}05$.

Как известно, для спорадических метеоров характерен показатель $s \approx 2$ [14].

Такое соответствие результатов свидетельствует, по-видимому, о том, что большая часть метеорной материи относится к спорадическому фону. Возможно также, что вклад метеорных потоков с распределениями масс метеорных тел, отличающимися от спорадического фона как в ту, так и в другую сторону (т. е. с $s \lesssim 2$ и с $s \gtrsim 2$), в земную атмосферу одинаков.

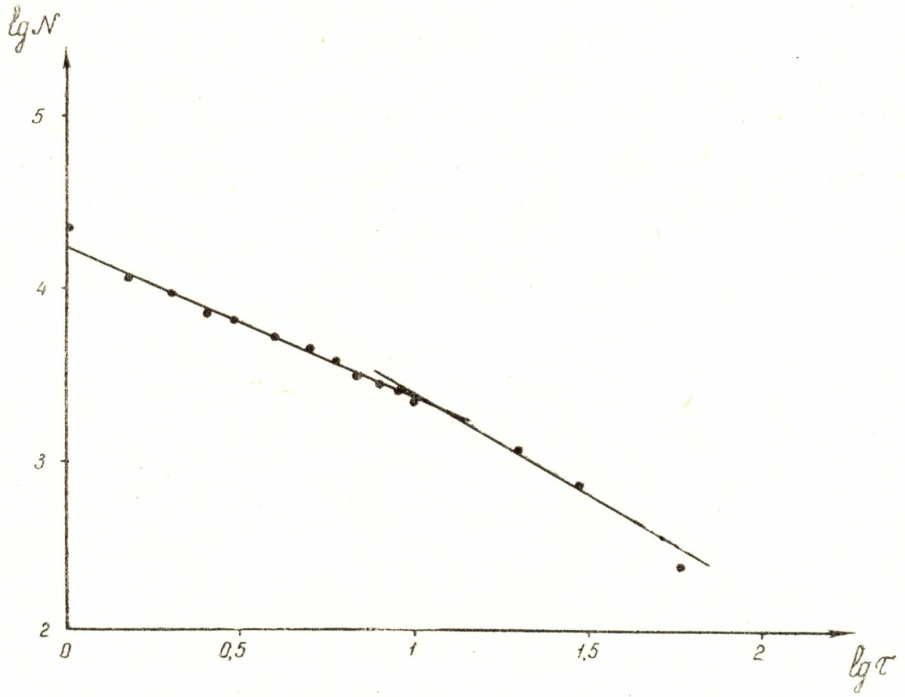

Рис. 4.

Распределение метеорных тел по массам

Из распределения метеорных радиоэхо по длительности в интервале $\tau \approx 1 \div 10$ *сек* для каждого часа находился показатель s, характеризующий распределение метеорных тел по массам (см. [15, 16, 13]):

$$s \approx 1 + \frac{4}{3} \frac{\lg \frac{N_1}{N_2}}{\lg \frac{\tau_2}{\tau_1}},$$

где N_1 (и N_2) — количество отражений с длительностями $\geqslant \tau_1$ (и τ_2).

Строго говоря, показатель s должен быть определен для группы метеоров с одинаковыми скоростями. Однако представляет также интерес определение s для всей совокупности наблюдавшихся метеоров. При этом будет определена как приближенная величина s, так и степень ее дисперсии.

Из распределения радиоэхо по длительностям (в интервале $\tau = 1 \div 10$ *сек*) за 1957 г. найдено значение $\bar{s}=2{,}3$; величина показателя s изменялась в пределах от 1,25 до 4,25 (рис. 5).

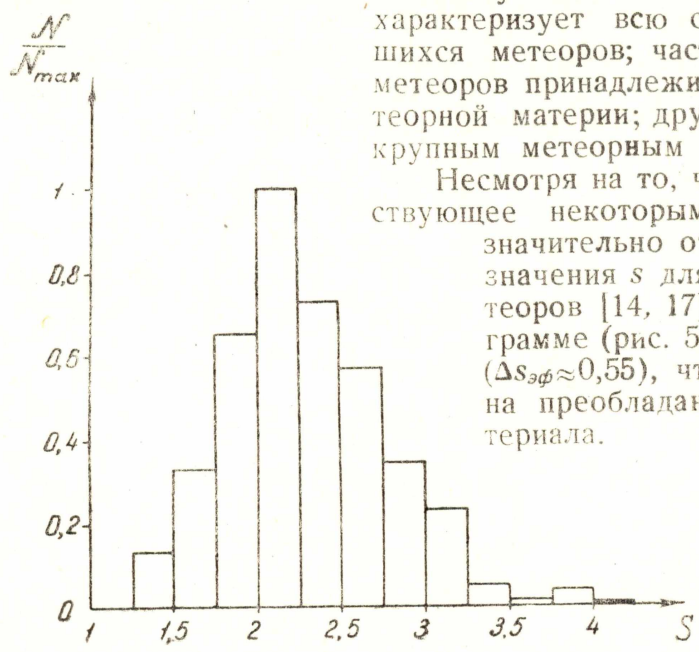

Рис. 5.

Полученное таким образом значение s характеризует всю совокупность наблюдавшихся метеоров; часть зарегистрированных метеоров принадлежит к спорадической метеорной материи; другая часть—относится к крупным метеорным потокам.

Несмотря на то, что значение s, соответствующее некоторым метеорным потокам, значительно отклоняется от среднего значения s для всей совокупности метеоров [14, 17], дисперсия s на гистограмме (рис. 5) относительно невелика ($\Delta s_{эф} \approx 0{,}55$), что, вероятно, указывает на преобладание спорадического материала.

Распределение интервалов между метеорными радиоэхо

При наблюдении метеорных отражений на экране индикаторов, а также при просмотре пленок с регистрациями метеорных радиоэхо создается впечатление о группировании метеоров во времени. Аналогичный эффект отмечался также при визуальных наблюдениях метеоров.

Такое группирование метеоров во времени может быть результатом группирования метеорных тел в пространстве. Однако при совершенно случайном характере вторжения метеорных тел в земную атмосферу время от времени могут появляться группы метеоров, в том числе группы с равными интервалами между метеорами.

Некоторые исследователи пришли к выводу о том, что группирование метеорных радиоэхо во времени является следствием того, что метеоры вторгаются в земную атмосферу группами [18].

Было высказано также мнение о том, что появление эхо в виде „цепочек" объясняется главным образом наличием восходящих электрических разрядов [19]. В ряде работ допускается как возможность группирования метеорных тел в пространстве, так и случайность характера попадания метеорных тел в атмосферу Земли [20, 21].

В некоторых работах показано, что в условиях как нормального [22], так и наклонного [23] зондирования метеорных следов отсутствуют доказательства в подтверждение теории, согласно которой метеорные тела влетают в атмосферу группами.

В связи с наличием противоречивых мнений по излагаемому вопросу представляется целесообразным сравнить распределение интервалов между зафиксированными метеорными радиоэхо с теоретическим распределением, полученным в предположении совершенно случайного попадания метеоров в атмосферу Земли.

Результаты наблюдений. Для исследования была использована эпоха потока Персеид. Наблюдения велись с помощью станции „ТПИ-2".

В течение первой половины суток 12 августа 1958 г. увеличение часового числа метеоров наблюдалось дважды: от 2^h до 4^h (обусловленное потоком Персеид) и от 6^h до 9^h (обусловленное, по-видимому, повышением спорадического фона) по томскому декретному времени.

В течение двух ночных часов (2^h—4^h) было зафиксировано 508 метеоров, причем интервалы между соседними радиоэхо были заключены в пределах от 0 до 70 секунд. В утренние часы (6^h—9^h) было зарегистрировано 852 метеора с интервалами от 0 до 120 *сек*.

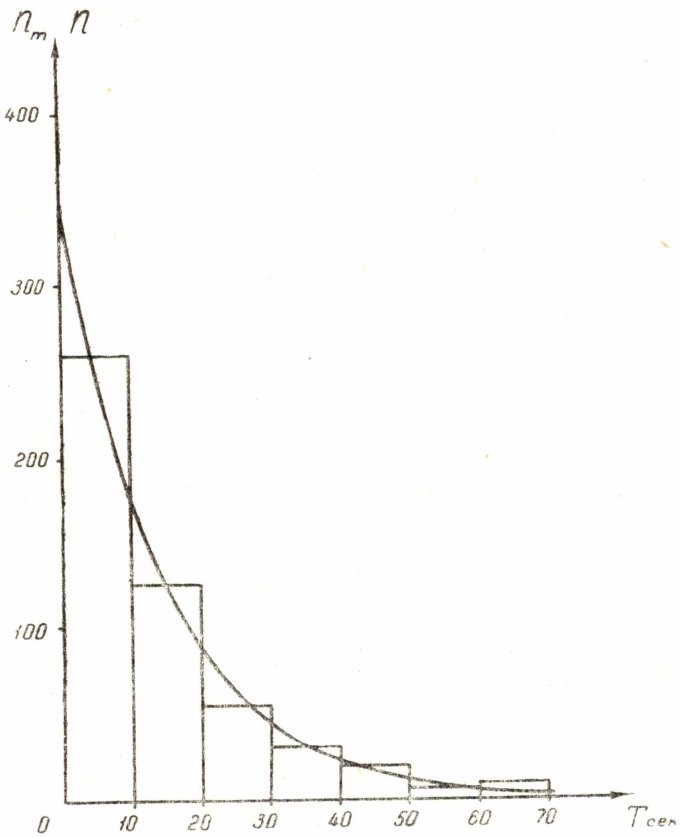

Рис. 6.

Дифференциальное распределение интервалов между метеорными радиоэхо построено в виде гистограмм на рис. 6 и 7.

Теоретическое распределение интервалов T при случайном попадании метеоров в атмосферу, как известно [22, 23], имеет вид

$$n_m = f(T)\,\Delta T = \frac{N_\Sigma}{\overline{T}}\, e^{-\frac{T}{\overline{T}}}\Delta T, \qquad (1)$$

где $f(T)\,\Delta T$ — количество интервалов длительностью от T до $T+\Delta T$; N_Σ — общее количество метеоров, зафиксированных за время наблюдения T_Σ; $\overline{T} = \frac{T_\Sigma}{N_\Sigma}$ — средний интервал между радиоэхо.

Для двух рассматриваемых промежутков времени (2^h—4^h и 6^h—9^h) формула (1) принимает вид

$$n_m = f(T)\,\Delta T = 358e^{-\frac{T}{14.2}} \qquad (2)$$

и

$$n_m = f(T)\,\Delta T = 670e^{-\frac{T}{12{,}7}} \qquad (3)$$

(T — в секундах).

Эти распределения представлены сплошными линиями на рис. 6 и 7. Как видим, соответствие между экспериментальными и теоретическими распределениями интервалов в обоих случаях вполне удовлетворительное.

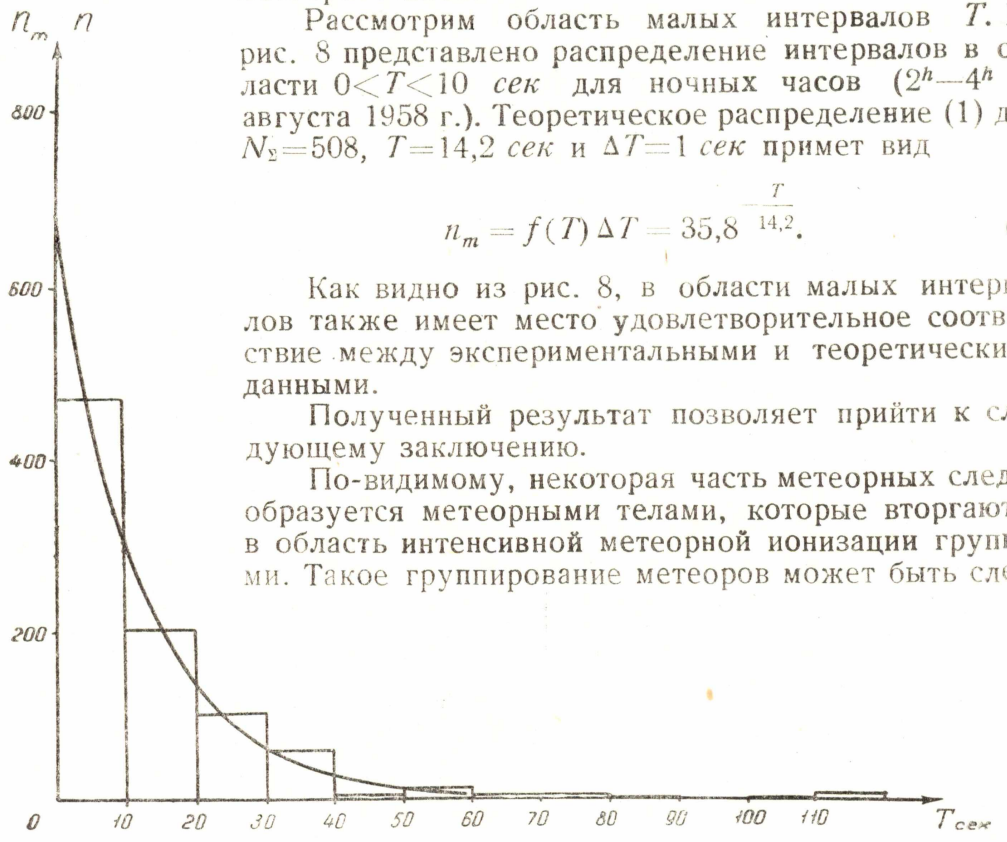

Рис. 7.

Рассмотрим область малых интервалов T. На рис. 8 представлено распределение интервалов в области $0<T<10$ *сек* для ночных часов (2^h—4^h 12 августа 1958 г.). Теоретическое распределение (1) для $N_{\text{э}}=508$, $T=14{,}2$ *сек* и $\Delta T=1$ *сек* примет вид

$$n_m = f(T)\,\Delta T = 35{,}8\,e^{-\frac{T}{14{,}2}}. \qquad (4)$$

Как видно из рис. 8, в области малых интервалов также имеет место удовлетворительное соответствие между экспериментальными и теоретическими данными.

Полученный результат позволяет прийти к следующему заключению.

По-видимому, некоторая часть метеорных следов образуется метеорными телами, которые вторгаются в область интенсивной метеорной ионизации группами. Такое группирование метеоров может быть следствием эффекта группирования метеорных тел в пространстве, а также следствием распада рыхлых метеорных тел на отдельные части, движущиеся в земной атмосфере с различными скоростями. Однако, по-видимому, появление большинства групп метеорных радиоэхо является результатом случайного совпадения моментов вторжения метеоров в земную атмосферу.

Выводы

На длине волны $\lambda=10$ *м* при мощности передатчика $P_i\approx100$ *квт* и частоте посылок импульсов $F_i\approx300\div600$ имп/сек дифференциальное распределение часовых чисел имеет экстремальный характер. Срединное значение часового числа приблизительно равно среднему часовому числу.

По наблюдениям, проведенным в 1957 г., среднее часовое число зарегистрированных метеоров $\overline{N}\approx200$.

Вероятность того, что в течение часа будет обнаружено более 500 метеоров, не превышает 1%.

По наблюдениям 1957 и 1958 гг. $\overline{N}\approx177$.

Интегральное распределение метеоров по длительностям радиоэхо, зарегистрированных во втором полугодии 1957 г., удовлетворительно

аппроксимируется параболами $N(\tau)\sim\tau^{-0,86}$ в интервале длительностей $\tau\approx 1\div 10$ *сек* и $N(\tau)\sim(\tau)^{-1,55}$ в интервале $\tau\approx 10\div 60$ *сек*, что соответствует показателю $s\approx 2{,}05\div 2{,}15$.

Как следует из дифференциального закона распределения показателя s (по наблюдениям 1957 г.), величина s изменялась в пределах от 1,25 до 4,25; мода распределения—в интервале $s\approx 2\div 2{,}25$; $\bar{s}\approx 2{,}3$; среднее квадратичное отклонение (от $\bar{s}$) $\Delta s_{эф}\approx 0{,}55$.

Распределение интервалов между радиоэхо, наблюдаемыми на $\lambda = 10$ *м*, находится в удовлетворительном соответствии с теоретическим распределением, построенным в предположении случайного попа-

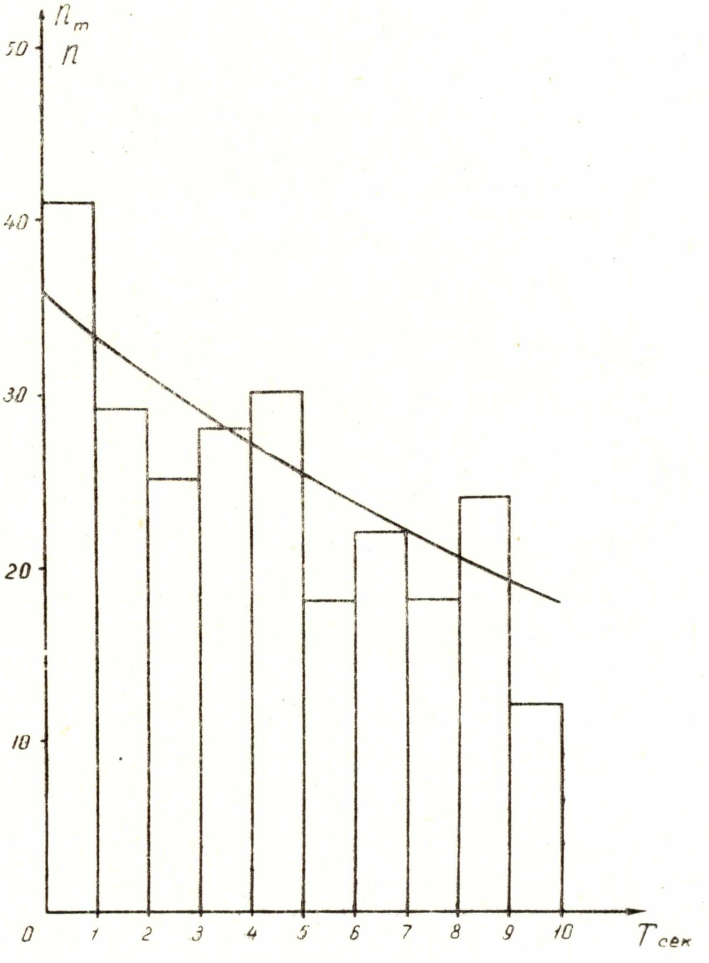

Рис. 8.

дания метеорных тел в земную атмосферу. Это подтверждает вывод, полученный ранее [22, 23], о том, что группирование метеорных эхо во времени может не являться следствием группового вторжения метеорных тел в атмосферу.

ЛИТЕРАТУРА

1. J. G. Davies, C. D. Ellyett. The diffraction of radio waves from meteor trails and the measurement of meteor velocities, Phil. Mag., Ser. 7, 40, N 305, 614, 1949.

2. J. S. Greenhow. A radio echo method from investigation of atmospheric winds at altitudes of 80 to 100 km., Journ. Atm. Terr. Phys., 2, N 5, 282, 1952.

3. A. Aspinall, J. A. Clegg, A. C. B. Lovell. The day-time meteor streams of 1948, part I, Measurement of the activity and radiant positions, M. N. R. A. S., 109, 352, 1949.

4. E. R. Billam, I. C. Browne. Observations of polarization effects in radio echoes from meteor trails, „Meteors", Ed. by T. R. Kaiser, p. 73, 1955.
5. E. R. Billam, I. C. Browne. Characteristics of radio echoes from meteor trails. IV. Polarization effects, Proc. Phys. Soc., Sec. B, **69**, Part 1, N 433, 98, 1956.
6. Е. И. Фиалко, Г. И. Галибин, Г. С. Зубарев, Р. П. Чебатарев и др.. Восстановление и перевод станции П-2М на слабонаправленную антенну. Отчет по 3-му этапу темы 300. Томский политехнический институт, 1953.
7. Б. Ю. Левин. Наблюдения Драконид радиолокационным методом, Астр. цирк., № 57, 2, 1946.
8. И. С. Астапович. Радионаблюдения телеметеорного дождя потока Геминид, 1953, А. Ц., № 169, 17, 1956.
9. П. О. Чечик. Радиотехника и электроника в астрономии, Госэнергоиздат, 1953.
10. J. A. Clegg. Determination of meteor rediants by observation of radio echoes from meteor trails, Phil. Mag., **39**, 578, 1948.
11. Е. И. Фиалко, Ф. И. Перегудов, Э. К. Немирова. Предварительные результаты радиолокационных наблюдений метеоров на $\lambda=10$ *м*, Бюллетень Комиссии по кометам и метеорам Астросовета АН СССР, № 2, 39, 1957.
12. Е. И. Фиалко. Радиолокационные наблюдения метеоров на волне $\lambda=10$ *м*, Астр. циркуляр, № 175, 21, 1956.
13. Е. И. Фиалко. Распределение метеорных радиоэхо по длительности. 1. Отражение от устойчивых следов, Астр. журнал., **36**, вып. 5, 867, 1959.
14. T. R. Kaiser. Radio echo studies of meteor ionization, Phil. Mag. Suppl., 2, № 8, 495, 1953.
15. Е. И. Фиалко. Некоторые результаты исследования распределения метеорных тел по массам, Астр. циркуляр, № 195, 22, 1958.
16. Е. И. Фиалко. Метод исследования закона распределения метеорных тел по массам, Астр. журнал, **36**, вып. 6, 1058, 1959.
17. I. C. Browne, K. Bullogh, S. Evans, T. R. Kaiser. Characteristics of radio echoes from meteor trails. II. The distribution of meteor magnitudes and masses, Proc. Phys. Soc., B, **69**, 83, 1956.
18. L. R. Wylie, H. T. Castillo. Ohio J. Sci., **6**, 339, 1956.
19. G. A. Isted. Marconi Rev., **17**, 37, 1954.
20. C. A. Shain, F. J. Kerr. A note on factors affecting the interpretation of transiet echoes from the ionosphere, J. Atm. Terr. Phys., **6**, N 5, 280, 1955.
21. B. H. Briggs. Observations of short bursts of signal from a distant 50 c/s transmitter, J. Atm. Terr. Phys., 8, N 3, 171. 1956,
22. K. R. Bowden, J. G. Davies. The time distribution of meteors, J. Atm. Terr. Phys., **11**, N 1, 62, 1957.
23. T. J. Keary, H, J. Wirth. Tha random occurence of meteors in the upper atmosphere, J. Geoph. Res., **63**, N 1, 67, 1958.