

07 16 68 2-1

КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

На правах рукописи

СУЛЕЙМАНОВА Светлана Львовна

**СЕЛЕКТИВНОСТЬ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ
НАБЛЮДЕНИЙ МЕТЕОРОВ**

Специальность 05.12.01 -
теоретические основы радиотехники

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук



Казань - 2000

Работа выполнена на кафедре радиофизики физического факультета
Казанского государственного университета

Научный руководитель: доктор физико-математических наук,
профессор Белькович О.И. (КГУ)

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук,
профессор Насыров А.М. (КГУ)

НАУЧНАЯ БИБЛИОТЕКА
КФУ



0000947734

кандидат физико-математических наук,
доцент Хузяшев Р.Г. (КГЭИ)

Ведущая организация: НИИДАР "Резонанс", г. Москва.

Защита диссертации состоится "22" марта 2000 г. в 14.30 час.
в 212 ауд. физического факультета КГУ на заседании диссертацион-
ного совета Д053.29.05 по специальности 05.12.01 - теоретические основы
радиотехники при Казанском государственном университете.

Адрес: 420008, г. Казань, ул. Кремлевская, 18, КГУ.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке
им. Н.И.Лобачевского Казанского государственного университета.

Автореферат разослан "19" марта 2000 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
канд. техн. наук

Бухмин В.С.

Актуальность темы исследования. Из всех существующих наземных методов изучения метеорных тел лишь три типа методов - фотографические, телевизионные и радиолокационные - позволяют определить скорость и радиант метеорного тела. С помощью этих методов уже накоплен огромный наблюдательный материал.

Но полученные из наблюдений распределения скоростей и плотности радиантов метеорных тел разных звездных величин, а также вычисленные по ним распределения орбит метеороидов разных масс оказываются непохожи между собой, так как они сильно искажены избирательностью наблюдений, существенно различной для оптических и радиолокационных методов наблюдений метеоров.

Таким образом, когда возникает необходимость сравнить распределения скоростей, полученные двумя разными методами, возможна неопределенность истолкования результатов. Различие распределений скоростей можно считать либо реально существующим и присущим различным диапазонам масс метеорных тел, либо можно отнести за счет неточного учета физических факторов.

Наиболее полный и тщательный учет избирательности (селективности) различных методов наблюдений метеоров, должен дать ответ на вопрос о сходстве или различии распределений плотности радиантов и скоростей метеорных тел с массой выше некоторой заданной.

Самый общий и широко применяемый метод учета селективности наблюдений заключается в весовой статистической обработке результатов наблюдений, когда каждому зарегистрированному метеору приписывается вес, обратно пропорциональный вероятности наблюдения метеора с данными параметрами. Вероятность наблюдения метеора с данными параметрами в зависимости от его скорости называется функцией селективности.

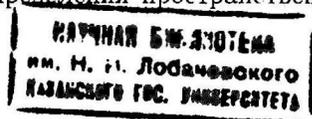
Расчет функции селективности вызывает определенные трудности,

связанные с недостаточно хорошо известными параметрами метеорных тел и зависимостями физической теории метеоров. Существенное значение имеет принятая теория испарения метеорных тел и рассеяния радиоволн на ионизированных метеорных следах различной электронной плотности. Также до сих пор не было сделано сравнения распределений скоростей и плотности радиантов метеорных тел, полученных оптически и радиолокационными методами наблюдений и приведенных к одной регистрируемой массе.

Целью диссертационной работы является создание метода расчета функции селективности по скоростям метеорных тел для радиолокационных способов наблюдений с учетом усовершенствованной теории испарения метеорных тел, а также с учетом отражения радиоволн от недоуплотненных и переуплотненных метеорных следов, его апробация на примере расчета плотности падающего потока метеорных тел Геминид и Персеид для рассеяния вперед, построение распределений внеатмосферных скоростей спорадических метеорных тел с массой выше некоторой заданной и распределений высот отражающих точек для радиолокационного способа наблюдений.

Научная новизна работы определяется следующим :

1. Создана теория расчета функции селективности радионаблюдений, учитывающая усовершенствованную теорию испарения метеороидов и отражение радиоволн от ионизированных метеорных следов.
2. Впервые на основе модифицированной теории селективности удалось получить совпадение расчетных и наблюдаемых высот метеорных радиозех на частоте 2 МГц.
3. Впервые с учетом селективности метода наблюдений, распределения внеатмосферных скоростей спорадических метеорных тел выше заданной массы, полученные из обработки фотографических, телевизионных и радиолокационных каталогов хорошо совпадают между собой.
4. Разработана методика определения пространственной плотности ме-



теороидов в зависимости от эклиптической широты на расстоянии 1 а.е. от Солнца, для различных диапазонов масс метеороидов.

5. На основе модифицированной теории расчета функции селективности разработан метод обработки радионаблюдений метеоров на радиотрассах. Предлагаемый метод обработки радионаблюдений метеоров на радиотрассах, в отличие от существующих имитационных, основан на аналитическом решении задачи, вследствие чего программа расчета более компактна.

6. Путем математического моделирования амплитудного распределения метеорного распространения радиоволн при рассеянии вперед в зависимости от длины волны и длины трассы, получена формула, которая может быть использована как для определения чувствительности аппаратуры, так и для определения неучтенных потерь в специальных линиях связи.

Достоверность полученной теории селективности радионаблюдений определяется:

а) совпадением расчетных и наблюдаемых высот метеорных радиозвон на радиочастоте 2 МГц;

б) совпадением распределений внеатмосферных скоростей метеорных тел выше заданной массы, полученные по результатам оптических и радионаблюдений метеорных тел.

Практическая значимость работы определяется тем, что в результате создана внутренне непротиворечивая теория расчета селективности радиолокационных наблюдений метеоров, учитывающая все новейшие разработки физической теории испарения и теории рассеяния радиоволн от ионизированных метеорных следов, выводы из которой согласуются с результатами наблюдений.

Полученные на основе этого метода распределения внеатмосферных скоростей могут послужить основой для построения распределений элементов орбит спорадических метеорных тел в окрестностях орбиты Зе-

мли и, в дальнейшем, распределения метеорного вещества в Солнечной системе. Предлагаемый метод обработки радионаблюдений метеоров на радиотрассах позволяет осуществить прогнозирование метеорного пространства радиоволн.

Апробация работы. Основные положения и результаты диссертации докладывались на Международной конференции "Астероиды, Кометы, Метеоры 1993" (Белгирейт, Италия - 1993 г.), на Втором симпозиуме по классической и небесной механике (Москва - Великие Луки, 23-28 августа 1996 г.), на Международной научной конференции, посвященной 125-летию Астрономической обсерватории Одесского университета "Современные проблемы астрономии" (Одесса, 2-6 сентября 1996 г.), на Международной конференции "Метеороиды-98" (Братислава, август 1998 г.), а также на итоговых конференциях Казанского университета.

По теме диссертации опубликовано 4 научных статьи и 3 тезиса в соавторстве. В этих работах автор принимал участие в постановке задачи, в выполнении расчетов на ЭВМ и в интерпретации полученных результатов.

Структура и объем диссертации Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и списка цитированной литературы из 99 названий. Общий объем диссертации составляет 117 страниц, включая 21 рисунок и 1 таблицу.

На защиту выносятся:

1. Модифицированная теория расчета селективности радионаблюдений, учитывающая усовершенствованную теорию абляции и рассеяния радиоволн на ионизированных метеорных следах различной электронной плотности для радиолокационных станций различной чувствительности.
2. Распределение высот метеорных радиозех на частоте 2 МГц.
3. Распределения внеатмосферных скоростей спорадических метеорных тел выше заданной массы, полученные с учетом селективности метода наблюдений.

4. Метод определения пространственной плотности метеороидов как функции эклиптической широты на расстоянии 1 а.е. от Солнца для различных диапазонов масс метеороидов.
5. Метод обработки радионаблюдений метеоров на радиотрассах, основанный на аналитическом решении задачи прогнозирования метеорного распространения радиоволн для любых трасс.
6. Формула для определения чувствительности аппаратуры и неучтенных потерь в специальных линиях связи, полученная методом математического моделирования амплитудного распределения метеорного распространения радиоволн в зависимости от длины волны и длины трассы.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность работы, ее цель, научная новизна, практическая ценность и достоверность полученных результатов. Формулируются основные положения, выносимые на защиту. Дано краткое содержание работы.

Первая глава состоит из семи параграфов. В главе приведены основные положения физической и статистической теорий метеоров. Приведены основные уравнения физической теории метеоров, связывающие такие величины как скорость метеороида, его массу и плотность, линейную электронную плотность следа и коэффициент ионизации. Рассмотрена усовершенствованная теория испарения метеорных тел, предложенная В.С.Тохтасевым [1]. На основе статистической теории метеоров рассмотрены характеристики, определяющие рассеяние радиоволн метеорными следами.

При расчете функции селективности важное значение имеет разделение ионизированных метеорных следов на три типа: недоуплотненные, переуплотненные и следы промежуточного типа. Обычно недоуплотненные следы и следы промежуточного типа объединяют в один класс, что для наших статистических задач вполне допустимо.

Впервые такое разделение следов на типы было сделано в работе Кайзера и Клосса [2]. Согласно им электронная плотность, разграничивающая переуплотненные и недоуплотненные следы α_c была оценена примерно в 2.4×10^{12} эл/см. Более тщательное рассмотрение вопроса привело к выводу, что эта граница зависит от начального радиуса метеорного следа и длины волны радиолокатора. Из равенства нулю диэлектрической постоянной ионизованного газа на оси следа в начальный момент времени О.И.Белькович получил следующую формулу для определения α_c :

$$\alpha_c = 8.9 \times 10^{11} (1 + (kr_0)^2 + \theta_0) \text{ эл/см}, \quad (1)$$

где k - волновое число, r_0 - начальный радиус метеорного следа, θ_0 - ослабляющий множитель, учитывающий влияние времени формирования следа и периода посылок радиолокационной станции.

Однако в более ранних работах О.И.Бельковича [3] и К.В.Костылева [4] граничная электронная плотность α_c находится из условия равенства пороговой амплитуды для обоих типов следов:

$$\alpha_c = 6 \times 10^{11} \exp\left(\frac{4}{3}[(kr_0)^2 + \theta_0]\right) \text{ эл/см}. \quad (2)$$

Именно из-за этого в этих работах исследуются лишь недоуплотненные следы, так как значение α_c , полученное из условия равенства амплитуд, слишком большое. Поэтому минимальная регистрируемая электронная плотность в любом направлении радиолокатора соответствует только недоуплотненным следам. Различие между переходными электронными плотностями, рассчитанными по двум различным формулам тем больше, чем больше высота метеорного следа.

Из обработки радиолокационных наблюдений метеорных потоков, проводимых в метеорном отделе АОЭ, расчета распределения высот отражающих точек на метеорных следах, выполненного в данной диссертационной работе, был сделан вывод, что наиболее верно определение переходной электронной плотности α_c по формуле (1), так как при этом учитываются отражения радиоволн не только от недоуплотненных, но и от переуплотненных метеорных следов.

Вторая глава состоит из четырех параграфов. В ней излагается и обосновывается предлагаемый метод расчета селективности радиолокационного метода наблюдений метеоров. На основе усовершенствованной теории испарения метеорных тел и теории рассеяния радиоволн на ионизированных метеорных следах различной электронной плотности в аналитическом виде получены формулы для учета селективности радиолокационного метода наблюдений, включающие в себя физическую, геометрическую и аппаратную селекцию.

Было принято, что комплекс метеорных тел состоит из двух групп частиц, твердых, с плотностью $\delta_1 = 2 \text{ г/см}^3$ и рыхлых, с плотностью $\delta_2 = 0.2 \text{ г/см}^3$. В первом приближении будем считать, что количество частиц в каждой из групп одинаково. По формуле полной вероятности распределение внеатмосферных скоростей спорадических метеорных тел с массой выше некоторой заданной запишем в виде:

$$P(v) = \frac{(1 + \lambda)P_L(v)}{\Phi_{\delta_1}(v) + \lambda\Phi_{\delta_2}(v)}, \quad (3)$$

где λ - отношение вероятностей появления рыхлых и твердых метеорных тел, $P_L(v)$ - наблюдаемое распределение скоростей. $\Phi_{\delta_1}(v)$, $\Phi_{\delta_2}(v)$ - функция селективности для твердых и рыхлых метеорных тел.

Для того, чтобы получить функцию селективности радиолокационного метода наблюдений, рассмотрим переход от наблюдаемого часового числа метеоров к плотности потока метеорных тел. Тогда функция селективности запишется в виде:

$$\Phi(v) = \Sigma_{eff} \left(\frac{\beta_v}{\beta_0} \right)^{1-S}, \quad (4)$$

где эффективная собирающая площадка

$$\Sigma_{eff} = H h_0 \sin^{-2} \chi I \int_{\vartheta_1}^{\vartheta_2} R_0^{S-1} \frac{f^{S-1}(\vartheta) d\vartheta}{\cos^2 \vartheta}, \quad \text{при } \alpha_{m0} < \alpha_c. \quad (5)$$

$$\Sigma_{eff} = H h_0 \sin^{-2} \chi I \int_{\vartheta_1}^{\vartheta_2} \left(\frac{\alpha_0}{\alpha_c} \right)^{S-1} \frac{d\vartheta}{\cos^2 \vartheta}, \quad \text{при } \alpha_{m0} = \alpha_c. \quad (6)$$

$$\Sigma_{eff} = H h_0 \sin^{-2} \chi I_n \left(\frac{\alpha_{c0}}{\alpha_0} \right)^{3(S-1)} \times$$

$$\times \left[\int_{-\pi/2}^{\vartheta_1} \frac{f^{4(S-1)}(\vartheta) d\vartheta}{\cos^2 \vartheta} + \int_{\vartheta_2}^{\pi/2} \frac{f^{4(S-1)}(\vartheta) d\vartheta}{\cos^2 \vartheta} \right], \text{ при } \alpha_{m0} > \alpha_c. \quad (7)$$

Здесь α_0 - минимальная регистрируемая электронная плотность в максимуме диаграммы направленности радиолокатора, в предположении отсутствия влияния на амплитуду сигнала начального радиуса метеорного следа и коэффициента диффузии, α_{m0} - минимальная регистрируемая электронная плотность метеорного следа в произвольном направлении радиолокатора и при произвольной скорости метеорного тела, β_0, β_v - коэффициенты ионизации при скорости $v = 40$ км/с и при произвольной скорости v км/с соответственно, H - приведенная высота атмосферы, h_0 - высота максимума ионизации метеороида, найденная с помощью модифицированной теории испарения метеорных тел, R_0 - ослабляющий множитель, учитывающий влияние начального радиуса метеорного следа, длину волны радиолокатора и аппаратурные особенности, а χ - зенитный угол метеорного следа.

При определении средней толщины l метеорного следа, которая входит в формулу эффективной собирающей площадки, было проведено интегрирование по массам, следовательно, в нашем решении не рассматривается индивидуальная масса метеорных тел. Для каждого шага интегрирования по ϑ определяется лишь минимальная регистрируемая электронная плотность α_{m0} , необходимая для приведения к потоку метеорных тел с массой выше некоторой заданной.

Множитель $\left(\frac{\beta_1}{\beta_c} \right)^{1-S}$ необходим для перехода от электронных плотностей в формуле эффективной собирающей площадки к массам.

Исследована зависимость селективности радиолокационного метода наблюдений от различных параметров. Получена сильная зависимость функции селективности от длины волны, минимальной регистрируемой электронной плотности радиолокационной станции, плотности метеор-

ных тел, а также от начального радиуса метеорного следа. Функция селективности мало зависит от параметра S распределения метеорных тел по массам.

С учетом разработанной теории расчета функции селективности были решены следующие задачи:

1. Впервые получено хорошее совпадение между собой распределений внеатмосферных геоцентрических скоростей метеорных тел с массой выше заданной, определенных из обработки фотографических, телевизионных и радиолокационных каталогов, с учетом селективности метода наблюдений

2. Впервые удалось получить совпадение расчетных и наблюдаемых высот метеорных радиоэхо на частоте 2 МГц. Полное распределение относительных высот для всех наблюдаемых интервалов скоростей было найдено из формулы:

$$p(t) = \int_{v_{10}}^{v_{74}} \int_0^{\infty} p_{L,v}(\xi, t) p(v) dv d\xi, \quad (8)$$

где $t = \frac{h-h_0}{H}$ - относительная высота, h_0 - характеристическая высота, т.е. высота максимума ионизации следа с минимальной регистрируемой электронной плотностью следа, H - высота однородной атмосферы, $p_{L,v}(\xi, t)$ - условное распределение относительных высот отражающих точек для фиксированной скорости метеорных тел, $p(v)$ - распределение скоростей.

По этой формуле численным методом было построено теоретическое распределение высот метеорных радиоэхо для радиолокационной станции с длиной волны $\lambda = 150$ м, расположенной в Аделаиде (Австралия). Учет отражений радиоволн не только от недоуплотненных, но и от переуплотненных следов при построении распределения высот метеорных радиоэхо на частоте 2 МГц позволил впервые получить совпадение расчетных и наблюдаемых распределений высот.

3. Была разработана методика определения зависимости простран-

ственной плотности метеороидов от эклиптической широты на расстоянии 1 а.е. от Солнца для различных диапазонов масс метеороидов.

Из наземных наблюдений можно получить трехмерное распределение плотности вероятностей $p(a, e, i)$ для орбит, пересекающих сферу радиусом R , равным одной астрономической единице. Для этого достаточно сделать допущение, которые впервые было предложено Э.Эпиком [5] и позднее подтверждено в работе [6]: распределение аргументов перигелия ω равномерное для орбит с фиксированными значениями a, e, i .

Для определения пространственной плотности метеорных тел был использован комбинированный метод, который включает в себя определение распределения внеатмосферных скоростей метеорных тел (можно использовать каталоги орбит) и определение распределения плотности радиантов метеорных тел по небесной сфере радиотомографическим методом. Было получено, что частицы с большей массой концентрируются к плоскости эклиптики, и этот факт подтверждает теорию о плоской и сферической компонентах метеорного вещества в Солнечной системе.

Третья глава состоит из пяти параграфов. В ней представлен разработанный метод определения плотности падающего потока для метеорных потоков, основанный на аналитическом решении задачи прогнозирования метеорного распространения радиоволн для любых трасс.

Для разработки этого метода было получено аналитическое выражение для нахождения координат зеркальных точек, равномерно расположенных на активной кривой радианта, элементарная собирающая площадка для каждой зеркальной точки была спроектирована на нормальную вектору скорости метеороида плоскость, проходящую через начало координат. Это позволило перейти при вычислении полной собирающей площадки от множества плоскостей к одной. Путем математического моделирования амплитудного распределения метеорного распространения радиоволн получена формула калибровки чувствительности аппаратуры, которая может быть также использована для определения неучтен-

ных потерь в специальных линиях связи:

$$\alpha_0 = 28183.826 \lambda^{-2.2} L^{-0.93+0.05 \lambda} \left(\frac{U}{A_c} \right) \text{ эл/см}, \quad (9)$$

где λ - длина волны радиолокатора в м, L - длина трассы в км, U - минимальная регистрируемая (пороговая) амплитуда сигнала, A_c - амплитуда, соответствующая точке пересечения асимптот распределения.

Разработанный метод был апробирован на хорошо изученном потоке Геминид. В результате определены плотность потока метеорных тел Геминид 1997 г. и Персеид 1995 г. в относительных единицах.

В заключении приведены основные теоретические выводы и результаты диссертационной работы.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

Для расчета функции селективности радиолокационных методов наблюдения метеорных тел были предложены и обоснованы следующие теоретические положения:

1. Показано, что при переходе от переуплотненных ионизированных метеорных следов к недоуплотненным следует пользоваться формулой (1), предложенной О.И.Бельковичем, а не формулой, полученной из равенства амплитуд. Это позволяет учитывать отражение радиоволн от ионизированных метеорных следов всех типов, а не только от недоуплотненных.
2. На основе усовершенствованной теории испарения метеорных тел, а также с учетом отражения радиоволн от недоуплотненных и переуплотненных следов метеорных тел, в аналитическом виде получены формулы для учета селективности радиолокационного метода наблюдений, включающие в себя физическую, геометрическую и аппаратную селективности.
3. Исследована зависимость селективности радиолокационного метода наблюдений от различных параметров. Получено, что функция селективности мало зависит от параметра S . Показана сильная зависимость

функции селективности от длины волны, минимальной регистрируемой электронной плотности радиолокационной станции, плотности метеорных тел, а также от начального радиуса метеорного следа.

С учетом разработанной теории расчета функции селективности были решены следующие задачи:

1. Впервые получено, что с учетом селективности метода наблюдений распределения внеатмосферных геоцентрических скоростей метеорных тел с массой выше заданной, найденные из обработки фотографических, телевизионных и радиолокационных каталогов, хорошо совпадают между собой.
2. Учет не только недоуплотненных, но и переуплотненных следов при построении распределения высот метеорных радиоэхо на частоте 2 МГц позволил впервые получить совпадение расчетных и наблюдаемых распределений высот.
3. Была разработана методика определения пространственной плотности метеороидов в зависимости от эклиптической широты на расстоянии 1 а.е. от Солнца для различных диапазонов масс метеороидов.
4. На основе модифицированной теории селективности разработан метод обработки радионаблюдений метеоров на радиотрассах.
5. Путем математического моделирования амплитудного распределения метеорного распространения радиоволн при рассеянии вперед в зависимости от длины волны и длины трассы, получена формула для определения чувствительности аппаратуры и неучтенных потерь в специальных линиях связи.
6. С учетом модифицированной теории селективности для рассеяния вперед определены плотность потока метеорных тел Геминид в 1997 г. и Персеид в 1995 г. в относительных единицах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Tokhtashev V.S. Ablation of meteoroids // Abstract for IAU Symposium 160 "Asteroids, Comets, Meteors 1993", Belgirate (Novara). - Italy. - 1993. -

P. 295.

2. Kaiser T.R., Closs R.L. Theory of radio reflections from meteor trails // *Phil. Mag.* - 1952. - Ser. 7, Vol. 43, No. 336. - P. 1-32.

3. Белькович О.И. Статистическая теория метеоров // Диссерт. на соиск. уч. ст. д. физ.-мат. наук. - Казань, 1986. - 301 с.

4. Костылев К.В. Астрономические основы метеорной радиосвязи. - Казань, 1970. - 142 с.

5. Öpik E.J. Collision probabilities with the planets and the distribution of interplanetary matter // *Proc. Roy. Irish Acad.* - 1951. - V. A54, No. 12. - P. 165-199.

6. Andreev V.V., Belkovich O.I., Evdokimov O.I., Suleymanova S.L. Some peculiarities of mass, velocity and radiant distributions of sporadic meteoroids // *Planet. Spase Sci.* - 1994. - V. 42, No. 9. - P. 785-790.

РЕЗУЛЬТАТЫ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ В РАБОТАХ:

1. Andreev V.V., Belkovich O.I., Evdokimov O.I., Suleymanova S.L. Some peculiarities of mass, velocity and radiant distributions of sporadic meteoroids // *Planet. Spase Sci.* - 1994. - V. 42, No. 9. - P. 785-790.

2. Belkovich O.I., Suleymanova S.L. Space Density Distribution of meteoroids over the sphere with radius 1 au // *Odessa Astr. Publ.* - 1996, V. 9. - P.177-178.

3. Belkovich O.I., Suleymanova S.L. How to find meteoroid flux density from radio forward scattering observations // *Meteoroids 1998., Astron. Ins., Slov. Acad. Sci.* - Bratislava, - 1999, - P. 103-106.

4. Belkovich O.I., Suleymanova S.L., Tokhtashev V.S. Meteor height distributions: a new look // *Meteoroids 1998., Astron. Ins., Slov. Acad. Sci.* - Bratislava, - 1999, - P. 63-66.

5. Андреев В.В, Сулейманова С.Л., Орбиты метеороидов и их фазовое пространство // Второй симпозиум по классической и небесной меха-

нике. Тезисы докладов. - Москва - Великие Луки, 23-28 августа 1996г.
С.9-10.

6. Andreev V.V., Belkovich O.I., Suleymanova S.L. Some peculiarities of velocity and radiant distributions of sporadic meteoroids //Abstract for IAU Symposium 160 "Asteroids, Comets, Meteors 1993", Belgirate (Novara). - Italy. -1993. - P. 15.

7. Andreev V.V., Belkovich O.I., Suleymanova S.L., Tokhtashev V.S. Selectivity of radar meteor observations: whether the problem has been solved? // Abstract book. - Inter.Conf. "Meteoroids 1998". - Slovakia, Tatranska Lomnica. - 1998. - P. 9.

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'V. Andreev', located to the right of the text.

Отпечатано в ООО «ДАС»
Подписано в печать 17.05.2000. Тираж 100 экз.
Заказ 03/46.
420008, Казань, ул. Университетская, 17
Тел. 64-69-26

7-00