

ISSN 0201—5099



ВЫПУСК 10

АСТРОНОМИЯ И ГЕОДЕЗИЯ

ТОМСК — 1984

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РСФСР

НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ПРИКЛАДНОЙ МАТЕМАТИКИ И МЕХАНИКИ
ПРИ ТОМСКОМ ОРДЕНА ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ
И ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ГОСУДАРСТВЕННОМ УНИВЕРСИТЕТЕ им. В. В. КУЙБЫШЕВА

АСТРОНОМИЯ И ГЕОДЕЗИЯ

Выпуск 10



ИЗДАТЕЛЬСТВО ТОМСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

Томск — 1984

СОДЕРЖАНИЕ

Г. С. Тютчев. Развитие астрономии в Томском университете. 1920—1980 гг.	3
Р. Г. Лазарев. Развитие метеорных исследований в Томске	16
Т. В. Бордовицына. Исследования по небесной механике в Томском университете в 1968—1980 годах	24
Н. П. Фаст. Исследования серебристых облаков в Томске	31
Н. В. Васильев. Изучение проблемы Тунгусского метеорита в Томском университете и Томском отделении ВАГО	40
Т. С. Бороненко, В. А. Тамаров, Ю. Б. Шмидт. Алгоритм построения аналитической теории движения ИСЗ в эйлеровых элементах с применением рядов Ли	49
В. А. Шефер. Численная теория движения особой малой планеты Икар	57
Ю. А. Федяев. Программа построения методов Рунге—Кутты высоких порядков на ЭВМ	72
Ю. В. Сурнин, Ю. В. Деметьев. Аппроксимация результатов наблюдений топоцентрической траектории ИСЗ ортогональными многочленами Чебышева	84
В. А. Ащеулов. Определение координат наземной станции по фотографическим и лазерным наблюдениям известных положений спутников	94
Л. Е. Быкова, В. В. Шихалев, В. А. Юрга. Построение численной теории движения IX спутника Сатурна Фебы	104
А. Ю. Вольфенгаут. Алгоритм и программа численного усреднения уравнений движения небесных тел	114
А. А. Сухотин. Применение метода Гаусса—Альфана—Горячева к изучению эволюции орбит метеорных роев	121
П. Б. Бабаджанов, Ю. В. Обрубов. Эволюция орбит и условий встречи с Землей метеорных роев Геминид и Квадрантид	125
Г. В. Андреев, Г. О. Рябова. Об одном способе определения чувствительности РЛС при наблюдениях метеоров	131
А. М. Черницов, С. С. Краев. О применении методов продолжения в задачах улучшения параметров орбит	137
В. М. Григорьевский, С. Я. Колесник, В. В. Калевич. Анализ светового потока, отраженного искусственным спутником Земли. II	143
Н. П. Фаст. Наблюдение серебристых облаков в Томске в 1980 г.	153
В. И. Кириченко, В. В. Сотников. Наблюдение серебристых облаков в Новосибирске	157
Н. Т. Светашкова. Определение плотности падающего потока спорадических метеорных тел	167
И. Н. Потапов. Радиус и альbedo ядра кометы Веста 1976 VI	175
М. Р. Федянин, А. М. Морозов. Некоторые результаты исследования оптических параметров атмосферы	178
Рефераты на опубликованные статьи	187

РАЗВИТИЕ МЕТЕОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ТОМСКЕ

Р. Г. ЛАЗАРЕВ

Развитие метеорных исследований в Томске связано с возникновением и развитием радиолокационного метода регистрации метеоров. Впервые радиолокационные наблюдения метеоров в Томске были проведены в августе 1953 года в эпоху потока Персеид. Эта работа была начата в политехническом институте под руководством Е. И. Фиалко. В группу исследователей входили Ф. И. Перегудов, Э. К. Немирова, Л. П. Серафинович, Г. С. Зубарев и другие. Для регистрации метеорных эхо использовалась радиолокационная станция П-2М. Ранее она применялась группой Б. Ю. Левина для наблюдений метеоров в районе Москвы. В декабре 1953 года в Томске наблюдался поток Геминид (с 11 по 14 декабря). В обоих случаях не преследовалась цель накопления статистического материала, а в основном решались аппаратные задачи.

Позднее, к 1956 году, была сконструирована установка «ТПИ-1», антенна которой — полуволновой диполь, рабочая длина волны $\lambda = 10$ м. Наблюдения на этой установке были впервые проведены с 6 по 13 сентября 1956 года и дали хорошие результаты. Выбранная длина волны оказалась очень удачной для массовой регистрации метеорных эхо. Вскоре была сконструирована новая станция «ТПИ-2», также имеющая в качестве антенны полуволновой вибратор. С помощью этой установки наблюдения проводились непрерывно с июля 1957 г. по май 1960 г. по программе МГГ—МГС и МГСС. Было зарегистрировано более 700 000 радиоэхо, построены распределения радиоэхо по численности, длительности, дальности.

Е. И. Фиалко был разработан и применен ряд методов определения параметра распределения масс, метод определения радианта метеорного потока для слабонаправленной антенны с использованием эффекта лепесткования, способы

определения коэффициента диффузии и вероятности метеорной ионизации и проведены другие работы теоретического и прикладного характера [1, 2, 3]. Им было показано, что распределение метеорных тел по энергиям движения имеет такую же форму (степенного закона), что и распределение масс. Предложен простой способ сравнения метеорных радиолокаторов по чувствительности. Разработаны рекомендации по выбору параметров систем, предназначенных для радиобнаружения метеоров.

Большое внимание томскими исследователями уделялось вопросам теории взаимодействия радиоволн с ионизированными метеорными следами. В частности, Э. К. Немировой рассмотрены явления резонанса и поляризационные эффекты при отражении радиоволн от метеорных следов и их влияния на наблюдаемые характеристики радиоэхо.

Ряду теоретических и практических вопросов исследования метеоров посвящены работы Ф. И. Перегудова. Особенно следует отметить его работу «Характеристика метеора как радиолокационной цели». Ф. И. Перегудов получил ряд интересных результатов в теории рассеяния радиоволн метеорными следами (образование зон Френеля и др.).

В течение 1957—1960 гг. был накоплен обширный экспериментальный материал, который дал возможность подробно исследовать суточную и сезонную вариации наблюдаемых численностей радиоэхо. Было установлено явление асимметрии суточной вариационной кривой [4, 5], показано, что мощность антисолнечного источника больше мощности солнечного на 35%.

В конце пятидесятых и в шестидесятых годах большое внимание уделялось также теоретическому исследованию функции распределения метеорных частиц на основе наблюдательных данных. Эта функция представляется обычно в виде произведения трех функций: распределения по массам, скоростям и направлениям движения. Хорошо известной обычно считается функция распределения масс. Главное внимание уделялось изучению истинного (гелиоцентрического) распределения радиантов спорадических метеоров. Р. Г. Лазаревым была построена экспоненциально-эллиптическая модель распределения истинных радиантов метеорных тел в эклиптической системе координат [6, 7]. Модель количественно отражает факт быстрого убывания (по закону Гаусса) плотности истинных радиантов по мере удаления от плоскости эклиптики и характеризует количественно значительное преобладание прямых движений частиц в плоскости эк-

липтики. Используя предлагаемую модель, удалось получить среднее значение гелиоцентрической скорости метеорных тел [6]. Проводились также исследования третьей функции — распределения метеорных тел по скоростям. Было объяснено наблюдаемое двуимодальное распределение радиометеоров по скоростям селективностью радиолокационного метода (Р. Г. Лазарев, М. К. Назаренко).

В это же время были начаты исследования метеорных потоков и прежде всего распределение потоковых частиц по массе в различных диапазонах масс. Исследовались потоки Персеид, Геминид, Квадрантид, а также спорадические метеоры [8]. Рассматривались вопросы влияния пылевой метеорной составляющей в атмосфере на выпадение осадков (гипотеза Боуэна) [9] и другие.

В середине шестидесятых годов в Томске был создан новый институт, ТИАСУР, и радиолокационный полигон перешел в ведение этого института. Руководителем наблюдательных работ стал М. К. Назаренко, общее научное руководство осуществлял Г. Н. Глазов. На полигоне была установлена вращающаяся пятиэлементная антенна типа волновой канал. В 1965—1967 гг. интенсивно велись наблюдения метеорных потоков (всего около 15 потоков) и спорадических метеоров. При наблюдениях потоков антенна перемещалась согласно вычисленной эфемериде радианта. Были получены подробные характеристики потоков (численность, распределение по массе и др.) [10, 11]. Измерялись радианты и скорости частиц. М. К. Назаренко провел подробное теоретическое исследование распределения радиантов и скоростей спорадических метеоров. Раздельно исследовались случаи гелиоцентрических скоростей, превосходящих скорость Земли и меньших этой скорости. Подробно исследовалась зависимость гелиоцентрической скорости от элонгации от апекса.

В 1968 г. в НИИ прикладной математики и механики при Томском госуниверситете была организована лаборатория небесной механики. С этого периода исследования в области метеорной астрономии концентрируются в основном в секторе статистических исследований метеорной материи этой лаборатории. Продолжаются теоретические исследования радиантов спорадических метеоров [12]. Была проверена гипотеза об изменении интенсивности нейтронной компоненты космического излучения в связи с вариацией метеорной активности [13]. Подтверждено, что интенсивность космического излучения увеличивается в эпоху действия почти всех крупных потоков.

Начиная с 1974 г. Н. Т. Светашковой под руководством профессора К. В. Костылева (Казанский госуниверситет) ведутся работы по созданию методик и алгоритмов интерпретации радиотехнических наблюдений метеоров, полученных на радиолокационных станциях и метеорных радиотрассах [14—16]. Основой методик является статистическое моделирование метеорных явлений методом Монте—Карло.

Для осуществления процесса моделирования наблюдений метеоров на конкретной РЛС должны быть известны географические координаты и энергетические параметры станции, диаграммы направленности приемной и передающей антенн. Должна быть также выбрана физическая модель метеорного явления. В качестве случайных величин с заданными законами распределения рассматриваются масса и скорость метеорного тела и полярные координаты точек пересечения траекториями метеорных частиц плоскости эхо. Часовое число моделируемых следов радианта задается как функция плотности потока метеорных тел в некотором интервале массы и скоростей. Алгоритм построен в общем виде, что дает возможность моделировать радиотехнические наблюдения метеоров методом рассеяния вперед с целью интерпретации наблюдений или прогнозирования астрономических характеристик МРР. В частности, если принять длину трассы равной нулю, получается радиолокационный случай.

На основе моделирования радионаблюдений метеоров и сравнения результатов моделирования с данными наблюдений разработаны методики поиска минимальной регистрируемой массы при заданном положении радианта, определения структурных характеристик метеорных потоков, оценки отдельных параметров физической теории метеоров, вычисления видимого распределения плотности потока метеорных тел по небесной сфере.

Преимуществом этих методик является точный учет селективности радиосистемы для каждой зеркальной точки на следе, возможность применения для интерпретации наблюдений на трассах и простота пересчета результатов при изменении физической модели метеорного явления. Реализация этих методик позволила получить оригинальные данные о плотности метеороидов в некоторых потоках [17], характере изменения структурных параметров главных метеорных потоков в зависимости от долготы Солнца [18] и распределении видимой плотности потока спорадических метеорных тел с массами больше 10^{-3} г по небесной сфере.

В семидесятые годы начало развиваться плодотворное совместное сотрудничество НИИ ПММ с Институтом астрофизики АН Тадж. ССР (Душанбе) и с Астрономической обсерваторией им. Энгельгардта (Казань).

В 1975—1978 гг. по данным радиолокационных наблюдений в Гиссарской АО ($\lambda = 15\text{—}17$ м) были подробно исследованы дифференциальные и интегральные распределения численности радиоэхо в зависимости от длительности сигналов и определен параметр распределения масс метеорных потоков Геминид, Квадрантид, Леонид, Лирид, Персеид и η -Акварид. Г. В. Андреевым были тщательно исследованы и определены направленные свойства и чувствительность антенной системы Гиссарской АО и разработан новый метод определения чувствительности РЛС относительно потоков с любыми скоростями, плотностями частиц, радиантами и в любом направлении плоскости эхо. Это позволило построить новый алгоритм численного решения основного дифференциального уравнения теории падающего потока.

В 1976—1979 гг. на основе метода Кайзера — Бельковича были вычислены [21—23] структурные характеристики (плотность падающего потока, пространственная плотность частиц и вещества, приток метеорного вещества на Землю) для перечисленных выше шести потоков. В настоящее время только группа О. И. Бельковича (ЛОЭ) и метеорная группа в Томске занимаются подобными исследованиями. За рубежом после работ Т. Р. Кайзера и Хьюза, использовавших упрощенный вариант теории падающего потока, подобные исследования не проводятся.

В этот же период Г. В. Андреевым и Р. Г. Лазаревым была построена вероятностная теория флуктуаций числа наблюдаемых метеоров, что впервые в практике метеорной астрономии позволило аналитически по наблюдаемой численности производить разделение метеоров на потоковые и спорадические [19, 20]. Известно, что до сих пор эта задача решалась чисто качественно путем наблюдения фона до начала действия потока и после его окончания. Показано также, что метод флуктуаций может быть полезен при объяснении годовой кривой активности метеоров и анализе пространственного распределения спорадических и потоковых метеоров. Метод был апробирован на материалах радионаблюдений в Душанбе, Томске, Фрунзе и в большинстве случаев дал хорошие результаты.

При изучении структуры метеорных потоков и сравнении разных потоков по активности необходимо учитывать так

называемую астрономическую селекцию, под которой, в частности, понимается влияние гравитационной фокусировки планет и их движения на структуру потока. Внимательное изучение существующей методики Б. Ю. Левина показало ее неточность. В связи с этим Г. В. Андреевым в 1977—1980 гг. под руководством академика Тадж. ССР П. Б. Бабаджанова была проведена теоретическая работа по учету гравитационной фокусировки для случая метеорных потоков. Получено общее уравнение, описывающее изменение бесконечно малой площадки вне сферы притяжения планеты и у ее поверхности. Примененный подход оказался интересным и в методическом отношении, поскольку был получен новый вывод формулы зенитного притяжения (формулы Г. Скиапарелли), а также уравнение, показывающее, каким должно быть прицельное расстояние малого тела при данной скорости и угле входа, чтобы оно выпало на поверхность планеты. По этим формулам подсчитано влияние тяготения на плотность падающего потока для всех планет Солнечной системы, а для Земли подобрана более простая аппроксимирующая функция.

В 1979—1980 гг. Г. О. Рябовой и Г. В. Андреевым были созданы методика и комплекс программ для машинной реализации нового алгоритма решения основного дифференциального уравнения теории падающего потока. Этот комплекс позволил исследовать селективные функции О. И. Бельковича теории падающего потока. Показано, что с удалением от максимума диаграммы направленности и от опорной скорости точность селективных функций существенно падает.

В этот же период Г. В. Андреевым и Г. О. Рябовой были переработаны архивные данные радиолокационных наблюдений метеорных потоков 1965—1966 гг. в Томске и по новому алгоритму вычислены структурные характеристики (параметр распределения масс, плотность потока, приток вещества, ширина потока по половинной максимальной плотности) в различных диапазонах масс для метеорных потоков Ариетид, Геминид, Квадрантид, Леонид, Лирид, Орионид и Персеид. Г. В. Андреевым, Г. О. Рябовой и Н. Т. Светашковой произведено сравнение трех методов вычисления плотности падающего потока. Разработанные в НИИ ПММ методы расчета структурных характеристик и известный способ Кайзера — Бельковича дают результаты, согласующиеся между собой в пределах точности для среднескоростных потоков. Однако они более универсальны, в то время как область применения последнего ограничена вследствие допущенных упрощений и аппроксимаций.

С 1982 г. НИИ ПММ является одним из исполнителей международных проектов МАП и ГЛОБМЕТ, и основная тематика исследований по метеорной астрономии определяется программами этих проектов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Фиалко Е. И. Радиолокационные наблюдения метеоров на волне $\lambda=10$ м.— Астрон. циркуляр, 1956, № 175, с. 21—22.
2. Фиалко Е. И. Некоторые проблемы радиолокации метеоров. Томск: Изд-во Томск. ун-та, 1961.— 209 с.
3. Фиалко Е. И. Радиолокация метеоров. М.: Советское радио, 1967.— 110 с.
4. Лазарев Р. Г. О суточной и сезонной вариации часовых чисел метеоров.— Труды ТИРиЭТа.— Томск: Изд-во Томск. ун-та, 1964, вып. 3, с. 86—92.
5. Лазарев Р. Г. О суточной и сезонной вариации часовых чисел метеоров. Ч. 2.— Изв. Томского политехн. ин-та, 1965, т. 131, с. 3—16.
6. Лазарев Р. Г. Численность спорадических метеорных тел.— Астрономический журнал, 1965, т. 42, вып. 5, с. 1075—1083.
7. Лазарев Р. Г. О некоторых статистических характеристиках метеорной материи в окрестности земной орбиты.— Астрономический журнал, 1967, вып. 4, с. 849—859.
8. Лазарев Р. Г., Фиалко Е. И. К вопросу о распределении метеорных тел по массам в метеорных потоках Квадрантид, Персеид и Геминид.— Труды ТИРиЭТа. Томск: Изд-во ТГУ, 1964, вып. 3, с. 93—97.
9. Лазарев Р. Г. О гипотезе Е. Г. Боуэна (по материалам наблюдений в Томске).— Астрон. циркуляр, 1964, № 301, с. 2—4.
10. Назаренко М. К., Лазарев Р. Г. Радиолокационные наблюдения метеорного потока Леонид. — Астрон. циркуляр, 1965, № 362, с. 1—3.
11. Лазарев Р. Г., Назаренко М. К. Радиолокационные наблюдения потока Леонид 1966 г. в Томске.— Астрон. циркуляр, 1967, № 420, с. 1—3.
12. Лазарев Р. Г., Халина Н. Т. О распределении радиантов спорадических метеоров.— Астрономия и геодезия, 1973, вып. 2, с. 28—36.
13. Лазарев Р. Г., Светашкова Н. Т. О метеорной вариации интенсивности космических лучей.— В кн.: Материалы третьей научной конференции по математике и механике, вып. 2. Томск: Изд-во Томского ун-та, 1973, с. 89—90.
14. Костылев К. В., Светашкова Н. Т. Метод статистического моделирования радиолокационных наблюдений метеорного потока. I. Алгоритм метода.— Астрон. вестник, 1977, т. 11, № 1, с. 53—59.
15. Костылев К. В., Светашкова Н. Т. Метод статистического моделирования радиолокационных наблюдений метеорного потока. II. Поток Геминид.— Астрон. вестник, 1977, т. 11, № 3, с. 154—163.
16. Костылев К. В., Светашкова Н. Т. Применение метода статистического моделирования метеорных явлений для изучения метеор-

ного распространения радиоволн.— *Астрономия и геодезия*, 1976, вып. 6, с. 63—75.

17. Светашкова Н. Т. Характеристики падающего метода метеоров по радиолокационным наблюдениям в Томске.— *Астрономический циркуляр*, 1979, № 1074.

18. Светашкова Н. Т. Плотность метеорных тел в потоках Геминид, Квадрантид, Ариетид.— *Астрономический циркуляр*, 1979, № 1075.

19. Андреев Г. В., Лазарев Р. Г. О статистическом выявлении метеорных потоков, ассоциаций и фона на основе теории флуктуаций яркости.— *Астрономия и геодезия*, 1976, вып. 6, с. 56—62.

20. Андреев Г. В., Лазарев Р. Г. О флуктуациях числа наблюдаемых метеоров.— *Астрономия и геодезия*, 1979, вып. 7, с. 41—45.

21. Андреев Г. В., Лазарев Р. Г., Рубцов Л. И. О притоке вещества в атмосферу Земли от метеорного потока Леонид по радионаблюдениям 1966—1968 гг.— В кн.: *Проблемы радиометеорных исследований атмосферы*. Харьков, 1977, с. 29—30.

22. Андреев Г. В., Лазарев Р. Г., Рубцов Л. И. Структура метеорного потока Квадрантид по радионаблюдениям на длине волны 17 метров.— *Астрономия и геодезия*, 1979, вып. 7, с. 46—57.

23. Андреев Г. В., Лазарев Р. Г., Рубцов Л. И., Рябова Г. О. О структурных параметрах метеорного потока Леонид 1966—1968 гг.— В кн.: *Взаимодействие метеорного вещества с Землей*. Новосибирск: Наука, СО АН СССР, 1980, с. 206—214.

Поступила в редакцию в ноябре 1980 г.
