

УДК 550.388.2

КВАЗИТОМОГРАФИЧЕСКИЙ МЕТОД И РАДАРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕТЕОРНОГО КОМПЛЕКСА В ОКРЕСТНОСТИ ОРБИТЫ ЗЕМЛИ

*В.В. Сидоров, С.А. Калабанов, Т.К. Фильмонова,
И.В. Филли, Т.Н. Хайров, А.А. Неткач, Р.А. Ишмуратов*

Аннотация

Многолетние наблюдения притока метеорного вещества, выполненные на метеорном радаре Казанского государственного университета (КГУ), обработаны с использованием квазитомографической компьютерной технологии, разработанной в Казанском университете. Объектом исследования были микропотоки, т. е. малые потоки с численностью 5 и более метеоров в сутки. Построены карты распределения радиантов микропотоков по северной небесной полусфере с разрешением $2^\circ * 2^\circ$ и получены параметры их орбит. Возможности технологии иллюстрируются на примере исследования орбитальной структуры метеорного потока Дневные Ариетиды. Показано, что Ариетиды представляют собой не один рой, а регулярную ассоциацию роёв с наклонениями, меняющимися от 15° до 40° . Диапазон изменения координат перигелия этих роёв близок диапазону координат перигелия комет семейства Марсдена.

Введение

Одним из важных итогов Международного Геофизического Года (1957 г.) было осознание важности радарных исследований метеорных явлений и изучения притока метеорного вещества в атмосферу Земли. Радиоотражения от метеорных следов первым обнаружил Пирс [1] ещё в 1938 г. Он же первым предположил существование условия зеркальности отражений от ионизированных метеорных следов. Первые радарные измерения параметров метеорных потоков были выполнены Хем и Стюартом [2], Ловеллом, Банвеллом, Клеггом [3] в 1947 г. и Мак Кишли и Миллманом [4] в 1948 г. с использованием военных радаров. Первые радарные наблюдения метеоров в Советском Союзе были выполнены в КГУ К.В. Костылёвым в 1956 г. [5] также с использованием военного радара. Разработанные ими методы измерений были статистическими, приспособленными к военным радарам того времени, измерительные возможности которых определялись направленностью антенных систем с фиксированной ориентацией. Наиболее информативным методом представлялся метод Хокинса [6], который наблюдал суточные изменения численности метеорных отражений двумя радарными антеннами, ориентированными на 25° к Северу и Югу от точки Запада, и он первым получил очень приблизительные данные о распределении спорадической метеорной активности по небесной сфере.

Необходимость создания для метеорных исследований специализированных метеорных радаров потребовала привлечения к этой проблеме радиофизиков КГУ во главе с К.В. Костылёвым, который был инициатором создания в Казанском университете Проблемной радиоастрономической лаборатории (ПРАЛ), ориентированной на метеорные исследования и, в частности, на исследование притока метеорного вещества в атмосферу Земли. Было понятно, что решать эту проблему

надо экспериментально, на основе многолетних наблюдений. Но для этого нужно было определиться с методом и разработать соответствующую технику.

Первый специализированный метеорный радар в Казани (КГУ-М1) был построен К.В. Костылёвым, Ю.А. Пупышевым и В.В. Сидоровым [7]. Радар был ориентирован на использование метода Хокинса, однако, по предложению К.В. Костылёва, была применена сканирующая по азимуту антенна для более полного обзора небесной сферы.

Ю.А. Пупышеву [8, 9] удалось значительно улучшить методику Хокинса. Ему первому удалось решить обратную задачу построения распределения радиантов метеоров по небесной сфере по суточным изменениям численности метеорных регистраций в разных азимутах на основе строгого решения системы линейных алгебраических уравнений высокого порядка и обработать данные за более чем 5 лет непрерывных радарных наблюдений [10]. Построенные им карты распределения плотности падающего потока метеоров по небесной сфере не имели аналога в мире и в течение более 2-х десятилетий обеспечивали астрономическую базу для работ по метеорной радиосвязи и для оценки метеорной опасности в космосе. Однако для целей метеорной астрономии, для построения орбитальной структуры околоземного метеорного комплекса было недостаточно разрешающей способности ($20^\circ * 20^\circ$) и не была решена проблема измерения скоростей метеоров.

Осознание дифракционной природы формирования метеорного отражения Ловеллом и Клеггом [11] и предложение Герловсона [12] использовать дифракционные колебания амплитуды метеорного радиоэха для измерения скорости позволили Дэвису и Эллиоту [13] реализовать импульсный вариант дифракционного измерителя скорости. Более того, Дэвис и Гилл [14] распространили дифракционную идею на измерение индивидуальных радиантов метеоров на основе использования приёма метеорного отражения двумя дополнительными приёмными станциями, вынесенными на несколько километров от основной станции. Безусловная полезность этого метода и соответствующей техники для метеорной астрономии сделала его основным методом радарной метеорной астрономии во второй половине 20 в. Однако разрешающая способность этого метода ограничивалась приблизительно 10° , что было существенно хуже оптических методов.

Преимущество непрерывно волновых методов по сравнению с импульсными методами при измерениях скорости метеора было убедительно показано Мак-Кинли [15]. Непрерывно волновая система измерения индивидуальных радиантов была построена в КГУ Н.С. Андриановым, Р.А. Кургановым, А.М. Насыровым и В.В. Сидоровым с тремя приёмными пунктами в окрестности Астрономической обсерватории им. Энгельгардта (КГУ-М3). Отличие Казанской системы от канадской было в использовании не обратного, а наклонного зондирования метеорных следов с передатчиком в Москве [16]. В этой системе большой обзор небесной сферы сочетался со значительным уменьшением вредного влияния начального радиуса следа на его замечаемость [17]. Кроме того, нужно было установить, одинаковый ли контингент метеоров используется при прямом и обратном рассеянии и могут ли радарные измерения быть использованы для прогноза условий наклонного рассеяния. Для этого метод Дэвиса и Гилла был обобщён В.В. Сидоровым, Н.С. Андриановым и В.П. Поповой на случай наклонного рассеяния [18]. Эксперименты показали, что обратное и наклонное рассеяния дают одинаковые результаты, если рабочую частоту радара выбирать в низкочастотной части метрового диапазона (30 МГц) [19]. Однако увеличения углового разрешения на этом пути не было получено, а эксплуатационные затраты на функционирование такой системы оказались слишком велики для организации мониторинга падающего потока метеоров.

Метрологические возможности радара существенно возросли после завершения разработки и исследований угломера (КГУ-М2) [20], ориентированного главным образом на ветровые исследования.

Из приведённого обзора видно, что Казанский университет принимал активное участие в развитии радарных исследований метеорных явлений в мире, разрабатывая новые, перспективные методы экспериментального исследования и создавая оригинальную технику мирового уровня. Однако радарная техника всё ещё не обеспечивала измерительных точностей, присущих оптическим методам в решении актуальных проблем метеорной астрономии. Поэтому разработка новых методов и техники эксперимента, обеспечивающей увеличение точности измерений, оставалась по-прежнему актуальной.

При строительстве радиополигона КГУ в Ореховке было принято решение объединить в одной радарной системе сканирующие антенны и фазовый угломер.

1. Метеорный радар Казанского университета

Метеорный радар КГУ-М5 был разработан и введён эксплуатацию в 1975 г. [20]. Радар использует импульсный принцип построения с мощностью в импульсе 100 кВт на рабочей частоте 30 МГц и при частоте посылок 400 Гц. Он оснащён дифракционным измерителем скорости и гониометром из 5 поворотных антенн с погрешностью определения углов прихода метеорных отражений менее 1° . В такой схеме создавалась возможность объединить задачи мониторинга динамики движения атмосферы и притока в неё метеорного вещества по технологии Ю.А. Пупышева. Обзор небесной сферы осуществлялся за счёт поворота антенн по сторонам света каждые 15 мин. В режиме мониторинга радар работал непрерывно с 1986 по 1991 гг. и сессиями в 1993–1994, 1998–2002 гг. и без угломера с 2003 г. по настоящее время.

2. Квазитомографический метод радарных исследований распределения радиантов метеоров

Л.К. Корюкина, В.В. Сидоров и А.Н. Фахрутдинова первыми предложили и реализовали идею использования угломера метеорного радара для исследования метеорных потоков путём минимальноквадратического подбора плоскости перпендикулярной радианту потока в подвижной системе координат [21]. Затем оригинальное решение этой проблемы было дано Д. Джонсом [22], нашедшим удачную проекцию угломерных данных на плоскость перпендикулярную направлению на ось мира, на которой эти проекции выстраивались в одну линию, если отражения принадлежат одному метеорному потоку. Недостаток этих методов в том, что он может быть применён только к крупным метеорным потокам.

В 1991 г. О.И. Белькович, В.В. Сидоров и Т.К. Филимонова [23] реализовали метод определения распределения плотности падающего потока спорадических метеоров по небесной сфере, который был назван квазитомографическим, поскольку информация о структуре падающего потока получалась из данных о проекциях на небесную сферу линий возможного положения радиантов, определяемых как пересечение небесной сферы и плоскости, перпендикулярной измеряемому направлению на отражающую точку на метеорном следе. Проблема сводилась к решению переопределённой системы линейных алгебраических уравнений высокого порядка, как и в задаче Ю.А. Пупышева. Число неизвестных возросло до 500, что соответствовало разрешению $10^\circ * 10^\circ$. Большого разрешения достичь не удалось из-за неустойчивости решения системы уравнений.

Пример квазитомографического решения (1993 г., 1–10 сентября, разрешение $10^\circ * 10^\circ$ — два независимых набора экспериментальных данных) приведён на

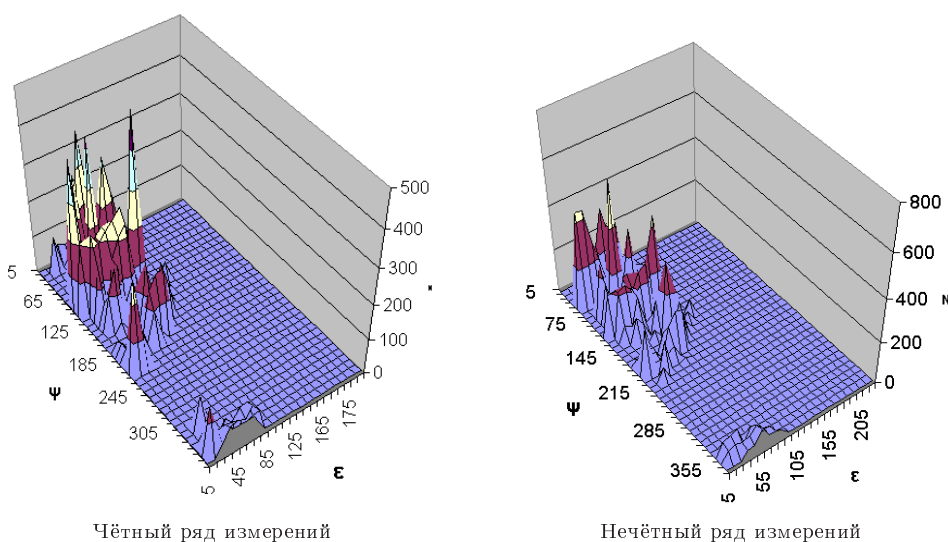


Рис. 1. Распределение радиантов метеоров по небесной сфере в апексных эклиптических координатах(Ψ , ε), 1–10 сентября 1993 г.

рис. 1. Видно, что основные закономерности распределения радиантов метеоров повторяются, хотя карты построены по независимым экспериментальным данным.

Недостатком этого решения является отсутствие данных о скоростях метеоров, поэтому для их интерпретации требовались дополнительные предположения о распределении скоростей метеоров. Неожиданно эти результаты обнаружили резкую неравномерность распределения радиантов спорадических метеоров. Для изучения астрономических причин этой неравномерности потребовалась разработка новых подходов для увеличения разрешения и разделения данных по скоростям метеоров.

3. Дискретное квазитомографическое решение

Метод, разработанный В.В. Сидоровым и С.А. Калабановым [23], основан на поиске точек пересечения линий возможного положения радиантов индивидуальных метеоров на небесной сфере, определяемых углом метеорной станции на основе принципа зеркальности, которые являются общими для метеоров потока (рис. 2). Если рассматривать точки пересечения как возможные модели радиантов потоков, среди которых большинство ложных, можно пытаться исключать ложные модели на основе использования внешнего дополнения – другого набора экспериментальных данных для того же периода наблюдений. Поскольку Казанский радар имеет высокую производительность (он регистрирует несколько тысяч метеорных отражений в сутки), то полученные данные можно разбить на несколько независимых групп. С помощью сравнения данных нескольких групп независимых измерений удалось с определённой вероятностью исключать ложные решения и выделять потоковые метеоры. Метод назван дискретным, поскольку основан на обнаружении радиантов метеорных потоков в дискретной ячейке небесной сферы $2^\circ * 2^\circ$, $\Delta V = 3$ км/с, $\Delta t = 1$ сутки.

Координаты радиантов метеорных потоков определяются компьютерным перебором всех возможных ситуаций. Имитационным моделированием показано, что при использовании этого алгоритма при пороге регистрации 4 метеора в сутки поток со средней плотностью 6 метеоров в сутки будет обнаружен с вероятностью

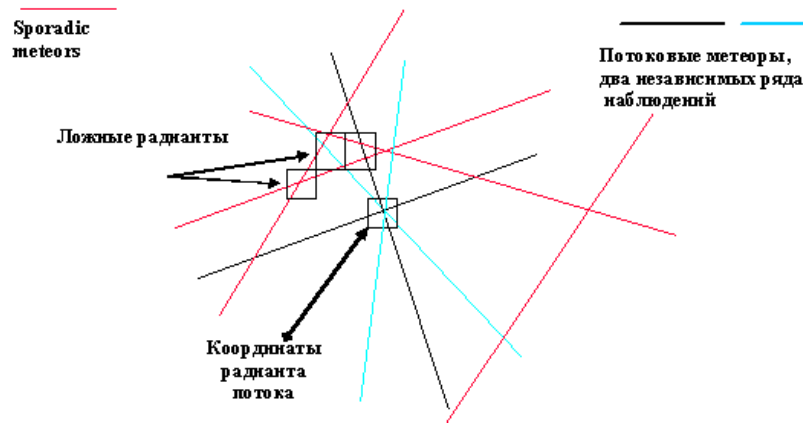


Рис. 2. Линии возможного положения радиантов на небесной сфере для отдельных метеоров, которые доставляет гониометр радара

0.82 (вероятность обнаружения) при вероятности обнаружения ложного радианта (вероятность ложной тревоги), равной 0.05. Такой выбор значения ложной тревоги потребовал ограничения размеров выборки N_{\max} , участвующей в одном цикле расчёта из условия $C_2^N \leq \lambda P/a$, где λ – пороговая пуассоновская плотность обнаруживаемого потока, P – количество элементарных ячеек, на которое разбита вся небесная сфера, a – отношение плотности обнаруживаемого потока к плотности системного шума, которое в моделируемом случае было равно 10. Реально был использован более высокий порог $N_{\min} = 5$ метеоров в сутки, а ограничение выборки без потери полезной информации осуществлялось за счёт отбора метеоров из узкого интервала скоростей ($\Delta V = 3$ км/с) по результатам дифракционных измерений скоростей метеоров. Такая операция возможна, если признать справедливой гипотезу Саутворда [21], высказанную им на основании анализа данных Гарвардского метеорного проекта в США, о том, что спорадические метеоры – это метеорные потоки, не разделяющиеся из-за недостаточной точности измерительной техники. Эта гипотеза не была принята научным сообществом опять таки из-за низкой точности радарных измерений.

Дискретный элемент разрешения был назван микропотоком на том основании, что этим методом наблюдаются приблизительно 1000–2000 малых потоков в месяц [22], в то время как крупных потоков можно наблюдать около 1–2 потока в месяц. Микропоток – это поток из 5 и более метеоров с участка небесной сферы $2^\circ \times 2^\circ$ за сутки в дискретном интервале скоростей $dV = 3$ км/с для чувствительности Казанского метеорного радара. В микропотоковом представлении метеорный поток – это совокупность независимо наблюдаемых микропотоков с близко расположенными радиантами и близкими скоростями. Микропоток может представлять собой либо случайный выброс спорадического фона, либо фрагмент некоторого метеорного потока без различия техники наблюдения и методики обнаружения.

На рис. 3 представлена карта небесной сферы в апексных эклиптических координатах (ψ , ε) с распределением микропотоков за месяц наблюдений. Интенсивности микропотоков представлены оттенками серого цвета. Можно увидеть уменьшение плотности распределения микропотоков для области $\varepsilon > 90$ в сторону антиапекса. Это следствие того, что догоняющие Землю метеоры с геоцентрическими скоростями менее 16 км/с радаром практически не замечаются из-за их недостаточной ионизирующей способности. Это известный экспериментальный факт так

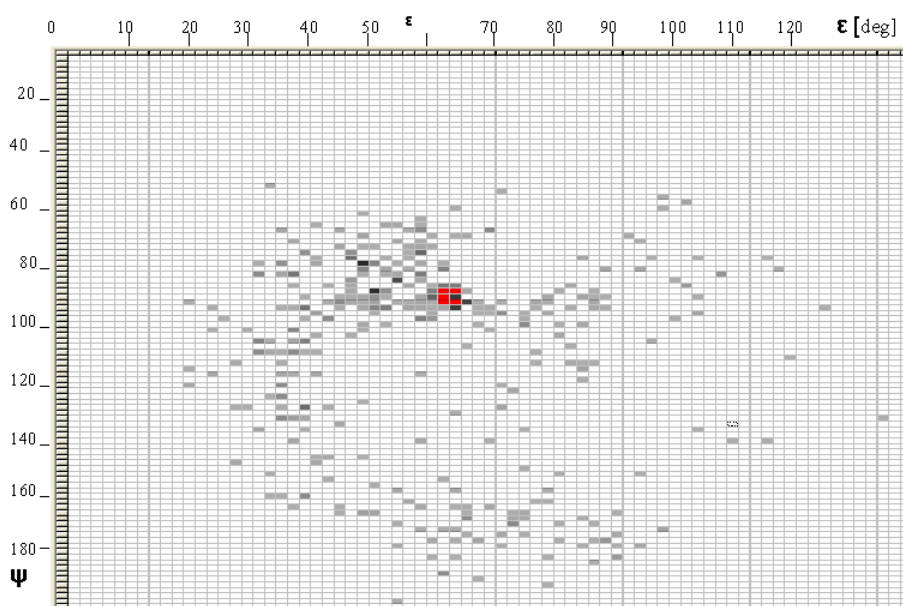


Рис. 3. Распределение радиантов микропотоков по северной небесной полусфере в январе 1994 г. Цена деления 2°

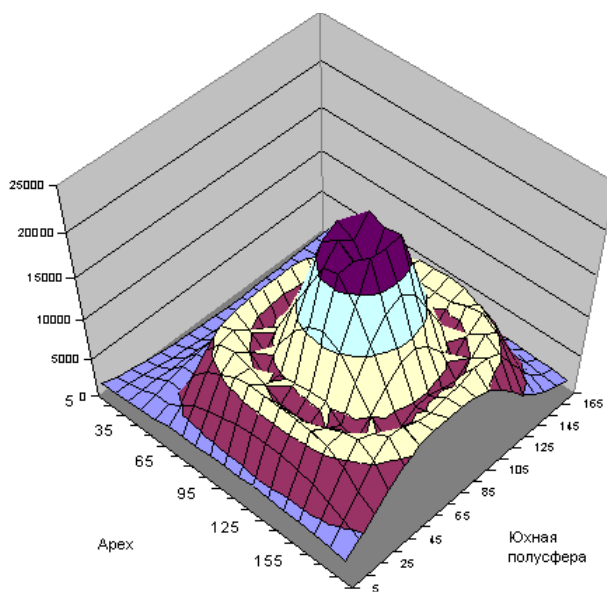


Рис. 4. Распределение среднесуточной инструментальной чувствительности метеорного радара по северной небесной полусфере в апексных эклиптических координатах для декабря

же, как и для оптически наблюдаемых метеоров. Наблюдение этого эффекта в данном случае подчёркивает правильность методики, поскольку ионизирующая способность метеоров в алгоритм не была заранее заложена. Чётко выделяется радиант метеорного потока Квадрантиды.

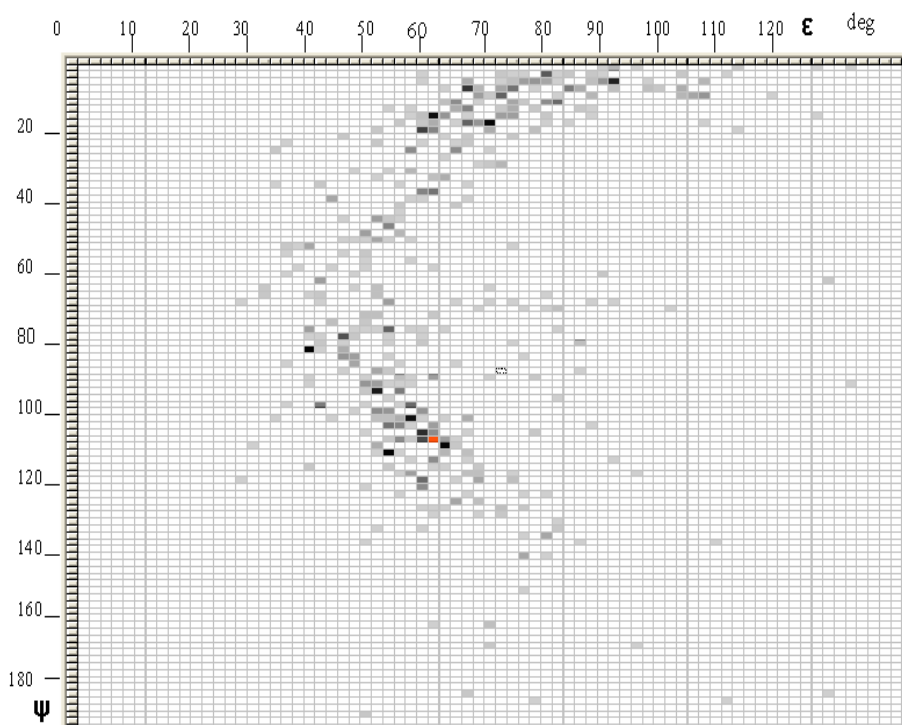


Рис. 5. Карта распределения радиантов микропотоков по небесной сфере, наблюдаемых в апреле 1986 г.

На этой карте можно увидеть овальные структуры, связанные с перемещением областей максимальной чувствительности радара вследствие вращения Земли. На рис. 4 представлено распределение чувствительности Казанского метеорного радара по небесной сфере объясняющее наблюдаемые овальные структуры.

На рис. 5 демонстрируется карта распределения радиантов микропотоков для апреля 1986 г. Видны те же овальные структуры, но смещенные в соответствии с сезонными изменениями доступной для наблюдений области небесной сферы.

Видно, что микропотоки располагаются неравномерно вдоль полосы максимальной чувствительности, сбиваясь в группы или ассоциации. То, что большинство таких ассоциаций имеют близкие скорости, заставляет предполагать родственную связь входящих в них микропотоков. Причины образования таких ассоциаций не вполне ясны, однако можно предположить, что они являются результатом эволюции метеорного вещества комет и астероидов. Именно то, что спорадический метеорный комплекс и малые потоки, регистрируемые метеорным радаром, могут хранить память о прошлых астрономических событиях, делает их важными для понимания основных этапов эволюции метеорного вещества в Солнечной системе. Области радиации таких ассоциаций практически всегда можно обнаружить вблизи радиантов крупных метеорных потоков.

Отметим, что по описанной выше методике обработано 70 месяцев непрерывных наблюдений и для каждого зарегистрированного микропотока получены элементы орбит. Это громадный экспериментальный материал, который ещё предстоит осмыслить. Проиллюстрируем возможности метода при изучении метеорного потока Дневные Ариетиды.

4. Метеорный поток Дневные Ариетиды

Поток Ариетиды интересен тем, что его радиант близок к направлению на Солнце и он почти не наблюдается оптическими средствами. Кроме того, в работах [3, 4] высказывалось мнение о возможной связи этого потока с недавно (2001 г.) открытым семейством малых комет Марсдена на Американской космической солнечной обсерватории (SOHO). Радарные данные относительно орбиты Ариетид значительно расходятся у разных авторов, наблюдающих Ариетиды в разные годы. В табл. 1 приведены параметры орбиты Ариетид полученные разными авторами в разные годы. Расхождения значительнее, чем декларируемые этими авторами погрешности. Особенно велики различия по наклонениям. Мы сделали попытку объяснить эти различия на основе квазитомографического анализа радарных данных в Казани.

Табл. 1

T (ГГ)	q (AU)	e	ω ($^\circ$)	Ω ($^\circ$)	i ($^\circ$)	L ($^\circ$)	B	Авторы
1951	0.09	0.94	29	77.5	21	104.9	10.0	Ловелл (1954)
1959	0.10	0.94	30	77.7	19	106.3	9.4	Кашеев и Лебединец (1967)
1961	0.06	0.96	23.0	85.5	33.4	105.0	12.4	Нилсон (1964)
1968	0.08	0.96	28.2	78.3	20.6	105.0	9.6	Лебединец (1972)
1969	0.08	0.96	28.0	81.7	17.4	108.6	8.1	Гартрелл и Элфорд (1975)
1969	0.085	0.94	25.9	77.6	25	101.4	10.6	Секанина (1976)
Среднее значение	0.08	0.95	26.4	80.1	25.1	104.3	10.5	

На рис. 6 и 7 приведены карты распределения радиантов микропотоков для июня 1986 г. и июня 1987 г. В верхней части карт, вблизи плоскости эклиптики, располагается область повышенной плотности микропотоков с несколько размытым радиантом потока Дневные Ариетиды.

Сравнивая две карты, можно видеть, что конфигурация радиантов микропотоков в области активности Ариетид несколько отличается. Более того, и максимумы активности потока в разные годы имеют разные координаты радиантов. Создаётся впечатление, что Ариетиды имеют несколько ветвей, по-разному проявляющихся в разные годы.

Мы предприняли попытку разобраться в орбитальной структуре этого потока, вычислив элементы орбит каждого парциального микропотока из области активности Ариетид. Было отобрано 195 микропотоков за 4 года активности Ариетид (1986, 1987, 1988, 1994) с минимальным числом метеоров в микропотоке, равным 5, и вычислены параметры их орбит.

Изучать эти орбиты удобно по трехмерным корреляционным графикам, которые строились как распределения парциальных микропотоков и числа метеоров в них по выбранным парам параметров их орбит. Трёхмерность передаётся пузырьковым представлением, где размеры пузырьков характеризуют число метеоров в парциальном микропотоке. Никакие критерия отбора при выделении микропотоков, кроме первичной их фильтрации при дискретном представлении, не использовались.

На рис. 8 показано распределение микророёв (пузырьки) и зарегистрированное число метеоров N в микропотоке (размер пузырька) по наклонениям i орбит и датам активности Ариетид.

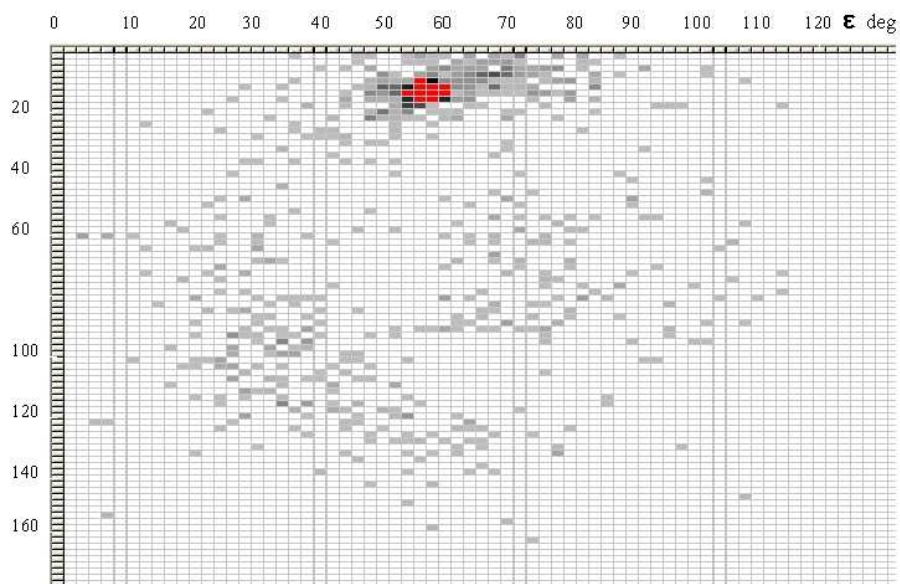


Рис. 6. Карта распределения радиантов микропотоков по небесной сфере, наблюдаемых в июне 1986 г.

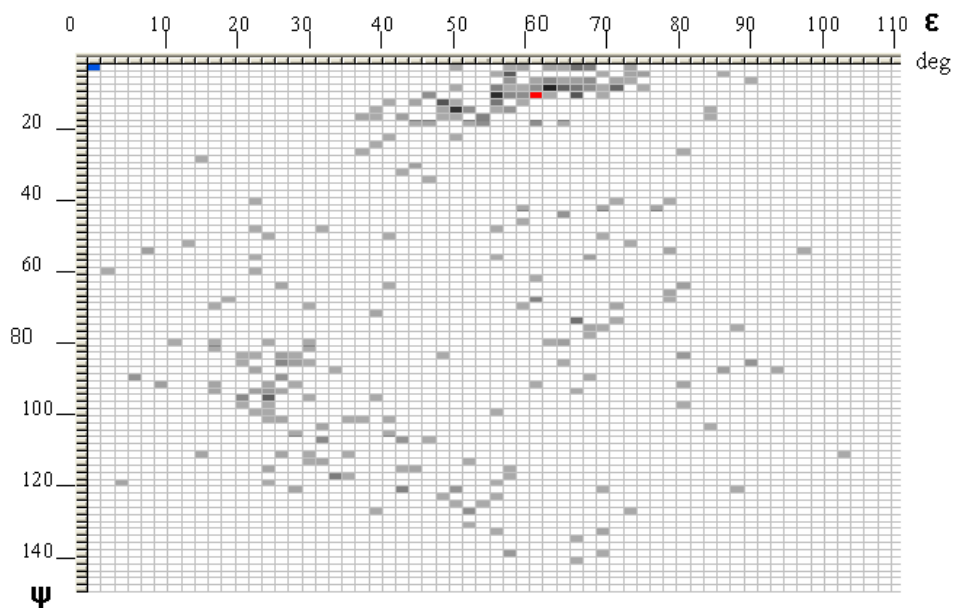


Рис. 7. Карта распределения радиантов микропотоков по небесной сфере, наблюдаемых в июне 1987 г.

Видно, что со временем наклонение орбит парциальных потоков растёт вплоть до 12 июня, когда наблюдается максимум численности, далее растёт число микропотоков, возможно связанных с Ариетидами, но с большим разбросом наклонений и других параметров орбит.

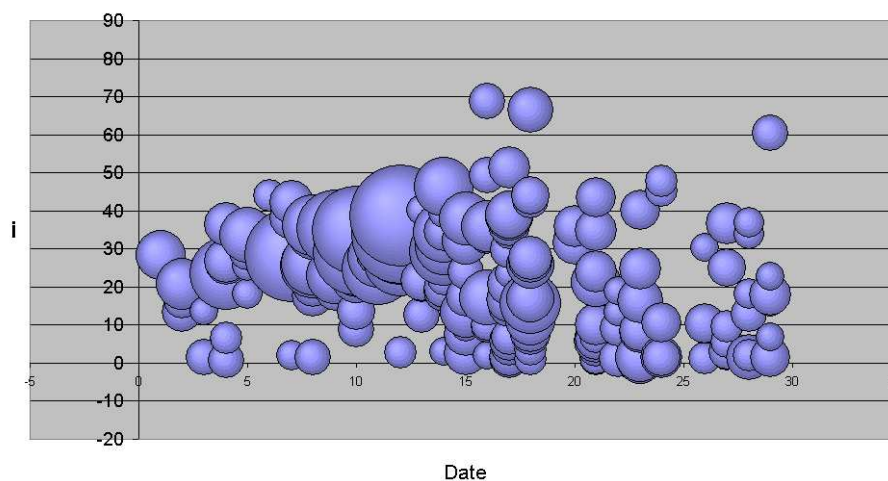


Рис. 8. Распределение микророёв и числа метеоров в них по наклонению и датам активности

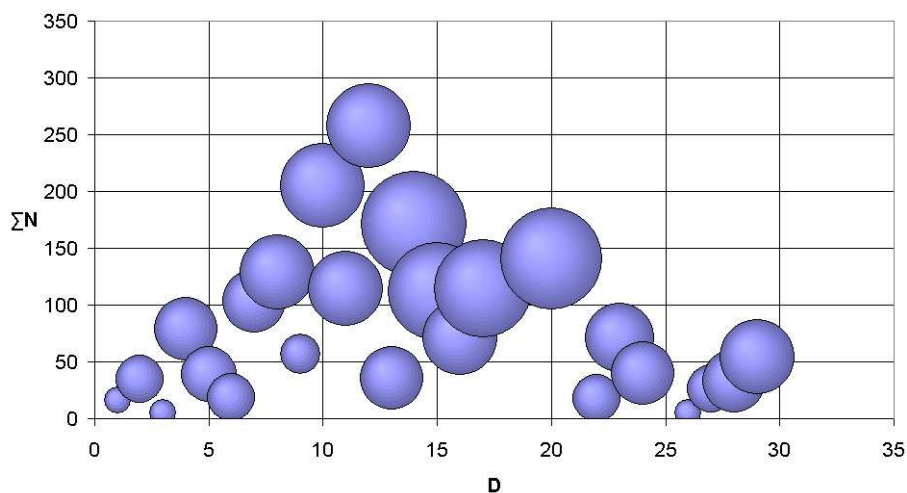


Рис. 9. Распределение числа парциальных микропотоков (площадь пузырька), действующих в течение суток наблюдений, по суммарной численности ΣN и датам активности D

Распределение числа парциальных микропотоков (площадь пузырька), наблюдаемых за сутки, по значениям максимальной его активности (см. рис. 9) и датам, также обнаруживает увеличение числа сопутствующих микропотоков после 12 июня, так что вопрос о несогласованности дат максимумов активности Ариетид у разных авторов снимается.

Максимум по данным за 4 года (1986, 1987, 1988, 1994) наблюдается 12 июня. После 12 июня действует сопутствующая Ариетидам ассоциация микропотоков, природу которой предстоит ещё понять.

На рис. 10 и 11 представлены распределения микророёв и числа метеоров в них по перигелийному (рис. 10) и афелийному (рис. 11) расстояниям в функции наклонения i .

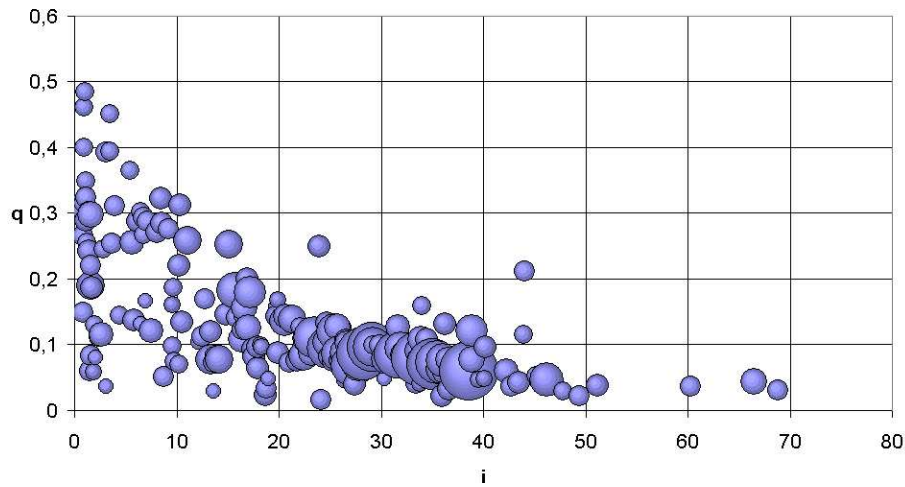


Рис. 10. Распределение микророев (координаты пузырьков) и числа метеоров в них (площадь пузырька) по перигелийному расстоянию q и наклонению i

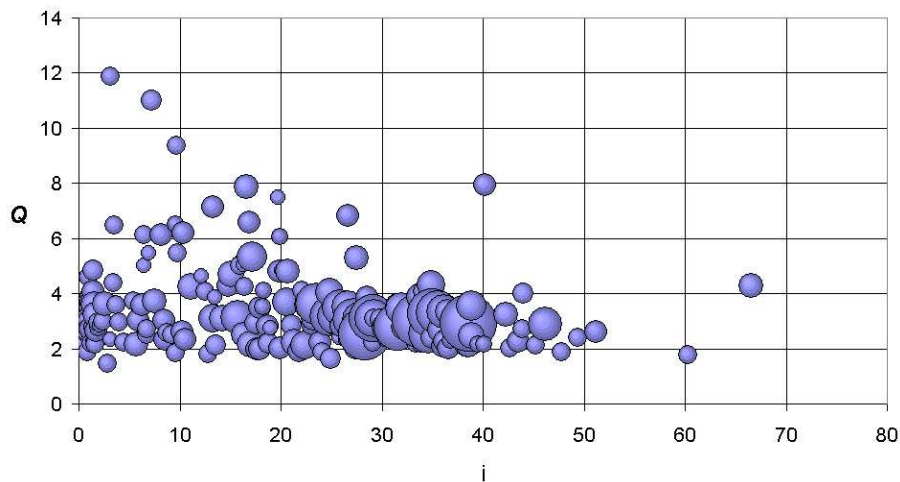


Рис. 11. Распределение микропотоков и числа метеоров в них по афелийному расстоянию Q и наклонению i

Видно, что основная часть Ариетид представляет собой набор орбит с наклонениями, меняющимися от 40° до 20° , с одновременным ростом перигелийного расстояния q от 0.05 АЕ до 0.15 АЕ. При наклонениях, меньших 20° , наблюдаются микророй с широким спектром q . Верхняя граница q_{\max} этого набора микророев растёт почти линейно от 0.17 АЕ до 0.4 АЕ с уменьшением наклонения от 20° до 0° .

Возможно, что регулярный ряд основной части Ариетид продолжается вплоть до эклиптики с уменьшением наклонения от 20° до 0° , но на этом участке сам рой невидим. Наблюдаются микророй, разброс перигелийных расстояний q для которых растёт по мере приближения к эклиптике.

Афелийное расстояние Q как у основной части роя, так и у возмущённой, с изменением i практически не меняется и остаётся около 3 АЕ, хотя можно видеть

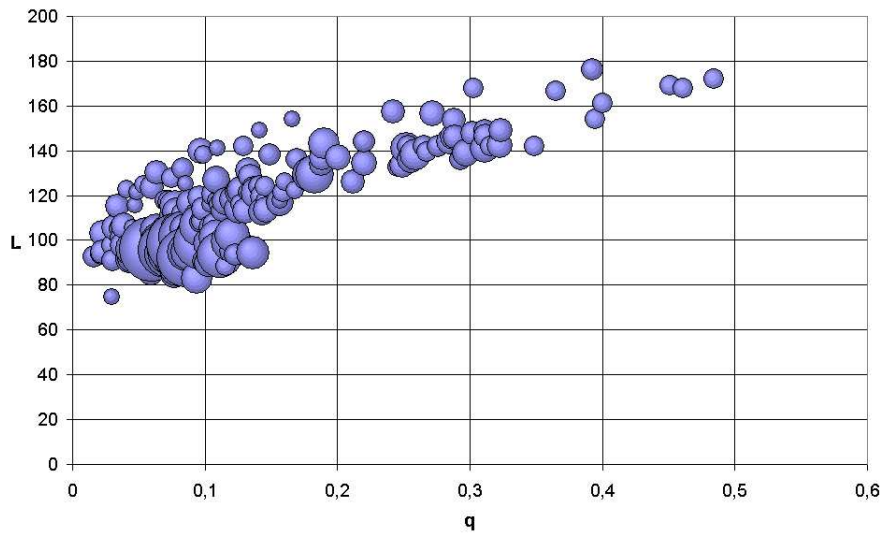


Рис. 12. Распределение парциальных микророек Ариетид и числа метеоров в них по долготе перигелия L и перигелийному расстоянию q

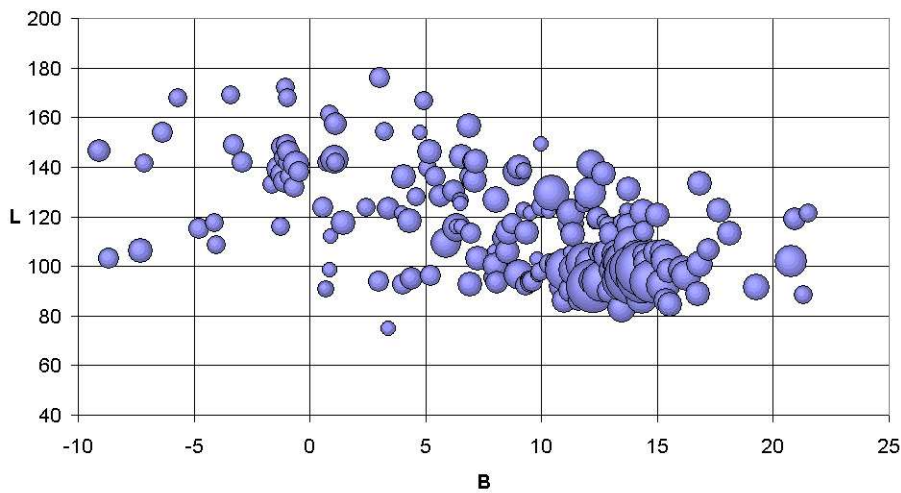


Рис. 13. Распределение координат парциальных микророек и числа метеоров в них (площадь пузырька) по координатам перицентра. L – долгота, B – широта

прореженную группу микророек, у которых афелийное расстояние растёт до 12 АЕ с уменьшением наклона от 20° до 0° . Это не противоречит предположению о том, что основная часть регулярного ряда роёв Ариетиды продолжается вплоть до эклиптики.

На рис. 12 представлено распределение парциальных микророек Ариетид и числа метеоров в них по долготе перигелия L и перигелийному расстоянию q . Видно, что основная часть роя Ариетиды меняет перигелийное расстояние от 0.05 до 0.4, в то время как долгота перигелия остаётся почти постоянной.

Ассоциации микророёв, по-видимому связанные с Ариетидами, демонстрируют рост L от 120° до 180° с изменением перигелийного расстояния q от 0.1 АЕ до 0.5 АЕ.

Область изменения координат перигелия B и L основной части Ариетид по мнению Ю.М. Горбанёва [26] (см. рис. 13) достаточно хорошо совпадает с координатами недавно обнаруженных солнечной космической обсерваторией (SOHO) малых комет семейства Марседена.

Так что можно обсуждать две модели эволюции, одна модель - это эволюция одной большой коротко перигелийной кометы, которая, меняя своё наклонение, в конце концов оказалась в плоскости эклиптики, но с выросшим перигелийным расстоянием q . При этом предполагается, что каждое новое положение орбиты кометы порождало свой метеорный рой.

Вторая модель предполагает, что наблюдаемые рои оставили кометы одного семейства, имеющие какое-то общее происхождение, например кометы группы Марседена. Природа микропотоков, сопровождающих семейство роёв Ариетид, также требует осмысления.

Заключение

Разработанный в КГУ новый квазитомографический метод изучения метеорного комплекса вблизи орбиты Земли по данным метеорного радара с угломером применён к данным за 4 года непрерывных наблюдений. Новые возможности высокого разрешения этого метода проиллюстрированы на примере метеорного комплекса Ариетиды.

Использовано понятие микропоток как минимально-регистрируемая совокупность метеоров с одинаковыми радиантами и скоростями. Микропоток – это астрономический объект, независимо регистрируемый радаром с полной информацией о составляющих его орбитах. Построены ежемесячные карты распределения радиантов микропотоков по северной небесной полусфере с разрешением $2^\circ * 2^\circ$. Это приблизительно в 5 раз лучше разрешающей способности других действующих сейчас радарных систем.

Показано, что метеорный рой Ариетиды представляет собой совокупность метеорных роёв с наклонениями, регулярно изменяющимися от 40° до 0° , а расхождения орбитальных радарных данных у разных авторов связаны с тем, что в разные годы максимум активности потока перемещается от одного роя к другому.

Возможно, метеорный поток Ариетиды представляет собой уникальный случай, когда семейство составляющих его парциальных метеорных роёв сохранило для нас память об эволюции крупного астероида или кометы.

Возможно также, что эти рои уже сразу сформировались как результат эволюции семейства нескольких родственных комет или астероидов, может быть из группы Марседена.

Summary

V. V. Sidorov, S. A. Kalabanov, T. K. Filimonova, I. V. Filin, T. H. Khairov, A. A. Netkach.
Quasi-tomographic method and radar investigations of meteor complex near the Earth orbit.

Long-term observations of meteoric substance inflow, executed on a meteoric radar of the Kazan university, are processed with use quasitomographic computer technology which have been developed in Kazan State University. Object of research were microshowers, i. e. small showers with number of 5 and more meteors in days from discreet area of the sky $2^\circ * 2^\circ$. The maps of microstreams radiants distribution on northern celestial sphere from 4 year data with the resolution $2^\circ * 2^\circ$ are constructed. Parameters of their orbits are received. Opportunities

of technology are illustrated on an example of research of orbital structure Day time Arietids. It is shown, that Arietids represent not one stream, and regular association of streams with the inclinations varying from 15° up to 40° . The range of change of perihelion coordinates is close to a range of the perihelion coordinates of Marsden family comets.

Литература

1. *Pierce J.A.* Abnormal ionization in the E-region of the ionosphere // Proc. Inst. Radio Eng. – 1938. – V. 26. – P. 892–902.
2. *Hey J.S., Stewart J.S.* Radar observation of meteors // Proc. Phys. Soc. – 1947. – V. 59. – P. 858–883.
3. *Lovell A.C.B., Banwell C.J., Clegg J.A.* Radio echo observations of the Giacobinid meteors // Mon. Not. Roy. Astr. Soc. – 1947. – V. 107. – P. 164–175.
4. *McKinley D.V.R., Millman P.M.* A phenomenological theory of radar echoes from meteors // Proc. Inst. Radio Eng. – 1948. – V. 37. – P. 364–375.
5. *Костылёв К.В.* Аппаратура Астрономической обсерватории им. Энгельгардта для радиолокационных наблюдений метеоров с автоматической регистрацией // Астроном. ж. – 1958. – № 4. – С. 643.
6. *Hawkins G.S.* A radio-echo survey of sporadic meteor radiant // Mon. Not. Roy. Astr. Soc. – 1956. – V. 116. – P. 92–104.
7. *Костылёв К.В., Пупышев Ю.А., Сидоров В.В.* Аппаратура Астрономической обсерватории им. Энгельгардта для радиолокационных наблюдений метеоров // Бюл. Астроном. обсерватории им. Энгельгардта. – 1960. – № 35. – С. 1–18
8. *Пупышев Ю.А.* Определение видимого распределения радиантов спорадических метеоров из азимутальных радиолокационных наблюдений // Метеорное распространение радиоволн. – Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1964. – Т. 2. – С. 82–110.
9. *Пупышев Ю.А.* Видимое и истинное распределение плотности радиантов спорадических метеоров // Метеорное распространение радиоволн. – Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1966. – Т. 3. – С. 5–23.
10. *Пупышев Ю.А., Филимонова Т.К., Казакова Т.В.* Карты распределения по всей небесной сфере видимой плотности радиантов спорадических метеоров // Метеорное распространение радиоволн. – Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1980. – Т. 15. – С. 21–41.
11. *Lovell A.C.B., Clegg J.A.* Characteristics of radio echoes from meteor trails. I: The intensity of radio reflections and electron density in the trails // Proc. Phys. Soc. – 1948. – V. 69. – P. 491–498.
12. *Herlofson N.* The theory of meteor ionization // Repts. Prog. Phys. – 1948. – V. 11. – P. 444–454.
13. *Davies J.G., Ellyett C.D.* The diffraction of radio waves from meteor trails and the measurement of meteor velocities // Phil. Mag. – 1949. – V. 40, No 7. – P. 614–626.
14. *Gill J.C., Davice J.G.* A radio echo method of meteor orbit determination // Mon. Not. Roy. Astr. Soc. – 1956. – V. 116. – P. 105–113.
15. *McKinley D.V.R.* Meteor velocities determined by radio observations // Astrophys. J. – 1951. – V. 113. – P. 225–267.
16. *Sidorov V.V., Andrianov N.S., Kurganov R.A.* Oblique scattering method for measuring individual Radiants and meteor Velocities, Physics and Dynamics of Meteors // Dordrecht-Holand, 1986. – P. 13.

17. *Сидоров В.В., Шешегов С.Г.* Обзор небесной сферы при использовании метода измерения индивидуальных метеоров по наклонным радио-отражениям // Приём и обработка сигналов в сложных информационных системах. – Казань: Изд-во Казан. ун-та, 2001. – Вып. 22.
18. *Сидоров В.В., Андрианов Н.С., Попова В.П.* Изучение орбит мелких метеорных тел методом наклонного радиозондирования // *Астроном. вестн.* – 1970. – Т. 4, № 1.
19. *Sidorov V.V., Andrianov N.S., Popysev Y.A.* The distribution of orbit parameters and the changes in incident meteor particle flux density // *Mon. Not. Roy. Astr. Soc.* – 1970. – No 48.
20. *Макаров В.А., Нестеров В.Ю., Пупышев Ю.А., Сидоров В.В., Степанов А.М., Фахрутдинова А.М., Шуваригов В.А.* Радиолокационный комплекс КГУ-М5 для измерения координат отражающих точек на метеорном следе // Метеорное распространение радиоволн. – Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1981. – Т. 17. – С. 96–100.
21. *Сидоров В.В., Корюкина Л.К., Фахрутдинова А.Н.* Использование угломера метеорной станции для определения координат метеорных потоков // Метеорное распространение радиоволн. – Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1969. – Т. 5–6. – С. 5–8.
22. *Jones J., Morton J.D.* The determination of meter stream radiants from single station observations // *Bull. Astr. Ins. Czech.* – 1977. – V. 28, No 5. – P. 267–272.
23. *Belkovich O.I., Sidorov V.V., Filimonova T.K.* Calculation of meteor radiant distribution by using one meteor radar with goniometer // *Astr. Vestn. – M.,* 1991. – V. 25, No 2. – P. 225–232.
24. *Сидоров В.В., Калабанов С.А.* Метод решения задачи определения координат радиантов метеорных потоков по угломерным данным метеорного радара // *Астроном. Вестн.* – 2003. – Т. 37, № 2. – С. 162–173.
25. *Ohtsuka K., Nacano S., Yoshikawa M.* On the Association among Periodic Comet 96P/Machholz, Arietids, the Marsden Comet Group, and the Kracht Comet Group // *Publ. Astr. Soc. Japan.* – 2003. – V. 55, February. – P. 321–324.
26. *Горбанёв Ю.М., Князькова Е.Ф.* Молодые метеорные рои вблизи Солнца. II. Статистическая связь метеоров с семейством короткопериодических комет // *Астроном. Вестн.* – 2003. – Т. 37, № 5. – С. 1–14.

Поступила в редакцию
10.10.05

Сидоров Владимир Васильевич – доктор физико-математических наук, профессор кафедры радиофизики Казанского государственного университета.

E-mail: Vladimir.Sidorov@ksu.ru

Калабанов Сергей Александрович – кандидат физико-математических наук, научный сотрудник кафедры радиофизики Казанского государственного университета.

E-mail: Sergei.Kalabanov@ksu.ru

Филимонова Тамара Константиновна – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры инженерной кибернетики Казанского государственного энергетического университета.

Филин Илья Викторович – научный сотрудник кафедры радиофизики Казанского государственного университета.

E-mail: ifilin88@yandex.ru

Неткач Анастасия Александровна – аспирант кафедры радиофизики Казанского государственного университета.

Хайров Тимур Наильевич – студент Казанского государственного университета.
E-mail: *haiti@yandex.ru*

Ишмуратов Рашит Аминович – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры информатики и информационно-управляющих систем Казанского государственного энергетического университета.