

УДК 523.53

МЕТОДИКА И СТАТИСТИКА ТЕЛЕВИЗИОННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ ТЕЛЕСКОПИЧЕСКИХ МЕТЕОРОВ

© 2006 г. Ю. М. Горбанев, А. В. Голубаев, В. В. Жуков, Е. Ф. Князькова, С. Р. Кимаковский,
И. И. Кимаковская, С. В. Подлесняк, Л. А. Сарест, И. А. Стогнеева, В. А. Шестопапов

Астрономическая обсерватория Одесского национального университета, Одесса, Украина

Поступила в редакцию 04.04.2005 г.

Представлен обзор по телевизионному и телескопическому методам наблюдений метеоров и задач метеорной астрономии, которые решаются с использованием этих методов. Описан созданный в астрономической обсерватории Одесского национального университета метеорный патруль на базе телескопа системы Шмидта и телевизионного приемника. Метеорный патруль позволяет фиксировать метеорные явления с временным разрешением 0.04 с. Приведены исследованные характеристики патруля, а также рассматриваются некоторые аспекты методики наблюдений и обработки. Представлены результаты наблюдений в период 2003–2004 гг. При суммарном времени патрулирования 679 часов и поле зрения $36' \times 48'$ зафиксировано 368 метеоров на 1093 отдельных кадрах. Обсуждается статистика наблюдений метеоров, приводится классификация метеорных изображений, рассматриваются особенности некоторых зафиксированных метеорных явлений.

PACS: 96.30.Za; 91.65.Sn; 94.20.Xa; 91.67.gn-in

ВВЕДЕНИЕ

Особенность астрономических наблюдений метеоров заключается в том, что заведомо не известны ни область на небесной сфере, ни время, когда произойдет событие. Кроме того, метеорные явления в атмосфере длятся порядка секунд и меньше. Все это предъявляет к аппаратуре и методике наблюдений особые требования, которые пытались соблюдать в практике метеорных исследований. С появлением новых технологий модифицировались аппаратура и методы наблюдений. Еще на заре становления наблюдательных методов метеорной астрономии стали практиковать метеорное патрулирование, которое заключается в том, что панорамная приемная аппаратура постоянно готова к приему сигнала из некоторой области небесной сферы для фиксации метеорного явления.

Метеорные исследования в тематике Одесской астрономической обсерватории существовали на протяжении многих десятилетий. С 1957 г. по программе Международного геофизического года на обсерватории функционировали три базисные станции фотографического метеорного патрулирования (Крамер и др., 1963), а также была разработана методика обработки наблюдательного материала (Бабаджанов, Крамер, 1963). С 1990-х годов патрулирование в Одессе по ряду причин прекратилось. С целью возобновления регулярного патрулирования метеорных явлений был создан новый метеорный патруль.

Старый метеорный патруль на базе однотипных камер НАФА ЗС/25 (объектив Уран-9, диа-

метр $D = 10$ см, фокусное расстояние $F = 25$ см, размер кадра 18×24 см, поле зрения $39^\circ \times 53^\circ$) мог фиксировать фотографическим методом метеоры ярче нулевой звездной величины. Согласно исследованиям (Кашеев и др., 1989), для таких метеорных патрульных установок среднее значение порога регистрации соответствует $-1.5^m \pm 1.0^m$. Более слабые метеоры могли фиксировать только такие уникальные приборы, как телескопы системы супер-Шмидт, но даже у них порог регистрации не превышал $+3.5^m \pm 0.3^m$ (McCrosky, Posen, 1961). Слабые метеоры вплоть до $+12^m$ могли фиксировать только радиолокационным методом, но речь в данном случае идет о регистрации ионизированного следа, а не оптического изображения метеора. Поэтому слабые метеоры могли быть доступны изучению только с помощью визуальных телескопических наблюдений. Но такие наблюдения, когда метеор находился в поле зрения доли секунды, были отягощены очень большими ошибками, связанными с наблюдательной селекцией.

Существует ряд задач метеорной астрономии, для решения которых требуется не только регистрация слабых метеоров в оптическом диапазоне, но и высокое пространственное и временное разрешение. Телевизионный метод является для таких задач наиболее приемлемым и поэтому повсеместно используется в практике метеорных наблюдений.

Использование телевизионных установок на базе ортиконов дало возможность получать большие массивы наблюдений метеоров и повысить

проникающую способность метеорных патрулей. Как описано в работе (Мальшев, 1992), в Душанбе проводились телевизионные наблюдения метеоров с помощью установки, снабженной объективом Юпитер-3 ($D/F = 1/1.5$, $F = 50$ мм). При наблюдениях использовалась черезстрочная кадровая развертка при 625 строках и частоте 25 кадров в секунду. При рабочем поле зрения $20^\circ \times 30^\circ$ за 35 ч наблюдений получалось 180 изображений метеоров. Данная аппаратура при всех своих возможностях страдает рядом недостатков, в частности инерционностью в получении изображений, что не позволяет использовать такие наблюдения для изучения "хвостов" и послесвечения метеоров.

Появление ПЗС-камер, которые работают в телевизионном режиме, открыло новые горизонты перед метеорными исследованиями. Главные преимущества перед фотографическими наблюдениями состоят в том, что пространственное и временное разрешение таких приемников излучения позволяют изучать метеорные явления, которые длятся десятые доли секунды. В сравнении с телевизионными установками на базе ортиконов, ПЗС-приемники не страдают инерционностью при фиксации движущихся объектов.

В настоящее время ПЗС-приемники широко используют для метеорных наблюдений. В работе (Stenbaek-Nielsen, Jenniskens, 2002) представлены результаты наблюдений яркого метеора из потока Леонид, который был зафиксирован с помощью ПЗС-приемника с частотой 1000 кадров в секунду. От кадра к кадру метеор перемещался меньше, чем на 1 пиксел ($1.5'$), и благодаря этому удалось проследить динамику метеорного процесса. Но даже такого пространственного разрешения ($1.5'$ на пиксел) недостаточно для получения точных позиционных измерений и выявления тонкой структуры метеорного явления. Расчеты показывают, что наблюдения с разрешением не менее секунды дуги являются приемлемыми для решения ряда задач метеорной астрономии.

С появлением современных телевизионных и компьютерных технологий новый класс аппаратуры стал использоваться в практике метеорной астрономии.

Существуют ли аналоги патрульных инструментов?

На Зоннебергской обсерватории в течение десятка лет велись фотографические патрульные наблюдения звездного неба. В настоящее время сделана попытка перехода на ПЗС-приемники. Используется чип PHILIPS с объективом "рыбий глаз" (Kroll, Fleischmann; 2001; Kroll 2001a, 2001b). Накопление в течение пяти минут позволяет зарегистрировать объекты приблизительно до $9-10^m$, что необходимо для исследования переменных звезд, метеоров, GRB-источников (Gamma Ray Burst) и т.д.

Другие патрульные системы позволяют регистрировать звезды до $+8^m$ (Murray и др., 2002) и имеют поле зрения $40^\circ \times 35^\circ$.

Для патрулирования и фиксации болидов (Rafert и др., 2001) используются четыре камеры с объективами "рыбий глаз" с ПЗС-приемниками. Такая система позволяет фиксировать объекты ярче -1.5^m .

В работе (Hawkes и др., 2001) указывается, что применение новой техники телевизионной записи с помощью ПЗС-приемника позволит изучить структуру метеорного явления, и для этих целей наиболее подходящими являются длиннофокусные оптические системы с большой апертурой.

В работе (Pawlowski и др., 2001) представлены интересные результаты использования телескопа с диаметром зеркала 3 м и ПЗС-приемником с полем зрения $0.28^\circ \times 0.28^\circ$. Это пример применения оптического прибора с самой большой апертурой, когда-либо использованной для наблюдений метеоров. Приемник излучения этого инструмента фиксирует звезды до $+18^m$, метеоры – от $+5^m$ до $+10^m$, что соответствует фотометрическим массам от 10^{-7} кг до 10^{-9} кг. На основании результатов многочисленных наблюдений метеоров потока Леонид в 1999 г. утверждается, что поток содержит частицы в области масс, указанной выше, и что малые метеорные тела более широко представлены в потоке, чем ожидалось согласно кометной модели выброса. Такой телескоп, по мнению авторов, является мощным детектором спорадических метеоров, который фиксирует в среднем более 140 метеорных явлений в час.

При планировании телескопических наблюдений метеоров очень важны параметры телескопов. Изучению этой проблемы посвящена работа (Kresakova, 1978), в которой утверждается, что предельная звездная величина регистрируемого метеора составляет 11.5^m .

Существуют наблюдательные комплексы, которые позволяют проводить видеонаблюдения спорадических и потоковых метеоров и обрабатывать их в реальном времени. Такая система (Taff, 1986) включает в себя два однотипных телескопа.

Особо следует отметить гибридную телевизионную систему, разработанную на спутниковой станции Космотен в сотрудничестве с ИКИ РАН и САО РАН (Багров и др., 2000; 2003a). Система представляет собой широкоугольную высокоскоростную оптическую камеру для обнаружения вспыхивающих и движущихся объектов. В конструкции камеры комбинируется электронно-оптический преобразователь первого поколения (ЭОП) и матричный ПЗС-приемник. Такая камера позволяет обнаруживать движущиеся объекты и быстротекающие явления, в том числе и метеорные. На максимальной кадровой частоте 7.5 Гц в поле

$22^\circ \times 18^\circ$ обеспечивается проникающая способность около 12^m (в системе, близкой к фотометрической полосе V) в формате (1380×1024) пикселей $\times 10$ бит. При этом точность локализации обнаруженного источника составляет около $1'$. Отмечается, что во время наблюдений в полнолуние, при кадровой частоте записи 7 кадров в секунду, предельная звездная величина достигала $+8^m$ (Масленникова, 2003). Это говорит о существовании зависимости предельной звездной величины от фоновой засветки неба. Статистика метеорных наблюдений дает около 150 явлений за ночь, причем каждое из них занимает 4–8 кадров (Багров и др., 2003б).

Какие задачи метеорной астрономии решаются с использованием новой техники?

Телевизионные наблюдения с использованием базисных станций проводятся на многих обсерваториях. Такие наблюдения позволяют определять траектории и орбиты метеоров, а также отождествлять радианты (Suzuki и др., 2003). Некоторые исследователи используют телевизионные наблюдения небазисных метеоров для определения радиантов и других параметров метеоров (Zimnikoval, 2003).

Часто телевизионные наблюдения проводят во время действия основных метеорных потоков, в частности Леонид (Fujiwara и др., 2003). Такие наблюдения позволяют определять численные величины притока метеорного вещества во время пиков активности метеорного потока.

Современные телескопические наблюдения (Curtis, 1995) позволяют определять активность метеорных потоков и координаты радиантов на коротких временных интервалах. В работе (Pravec, 1992) проанализированы телескопические наблюдения метеорного потока Квадрантид. Кроме определения координат радианта и уровня активности, отмечается наличие длинных метеорных следов. В работе (Znojil, 1987) на основании телескопических наблюдений метеорного потока Орионид в 1985 г. делается вывод об увеличении концентрации мелких частиц в потоке. Телескопические наблюдения метеоров часто используют для определения областей радиации различных метеорных потоков (Yoshida, 1993).

Весьма актуальна проблема точности телескопических наблюдений метеоров, статистическому анализу которой посвящена работа (Pravec, Vosek, 1991).

Базисные телескопические наблюдения метеоров позволяют определять, например, отношение между оптической яркостью метеора и свойствами ионизированного следа (Znojil и др., 1985).

Из всего вышеприведенного следует, что существует множество технических решений, которые могут использоваться для наблюдательных задач метеорной астрономии. Мы рассмотрим од-

но из таких технических решений – комбинацию телескопического и телевизионного метода, которую нам удалось успешно применить к метеорным наблюдениям.

Перед нами стал вопрос о выборе аппаратуры для метеорного патрулирования. Несмотря на то, что короткофокусные системы более продуктивны по числу зафиксированных метеоров (сотни явлений за ночь), по причине небольшой точности таких позиционных определений (порядка минут дуги) мы остановились на длиннофокусной системе (не менее 50 см). Кроме того, мы отказались от применения телевизионных трубок (ортикон и т.п.), а также приемников на основе ЭОП по причине инертности изображений. Эти недостатки не позволили бы нам изучать такие явления, как послесвечение метеоров, “хвосты”, и ухудшили бы временное разрешение. Поэтому выбор был сделан в пользу телевизионного приемника на основе ПЗС и телескопа системы Шмидта.

МЕТЕОРНЫЙ ПАТРУЛЬ ОДЕССКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ

Наблюдательная станция Крыжановка Одесской астрономической обсерватории имеет координаты: $\phi = 46^\circ 33' 38.6''$ с.ш.; $\lambda = 30^\circ 48' 23.4''$ в.д. и высоту над уровнем моря 40 м. Метеорный патруль в настоящее время представлен в следующей комплектации (рис. 1): вся наблюдательная аппаратура является съемной и установлена на экваториальной монтировке “АПШ-4”, оснащенной часовым шаговым электроприводом; две короткофокусные камеры с объективами Индустар-И52 и Уран-9; телескоп системы Шмидта 17/30 см (диаметр коррекционной пластины и диаметр зеркала, соответственно).

В метеорной астрономии всегда проявлялся интерес к новым панорамным приемникам излучения, и в настоящее время любая новинка представляет интерес как для любителей астрономии, так и для профессионалов.

В работе (Koschny, 2003) обсуждаются новые видеокамеры с очень чувствительными датчиками, которые делают возможным фиксирование изображений метеоров. Сравняется качество изображений двух таких камер – Mintron и Watec 120N.

Наш выбор остановился на монохромной камере Watec LCL – 902K. При установке на телескоп автоматическая регулировка усиления нами отключена. Малые габаритные размеры камеры позволяют поместить ее в фокусе телескопа Шмидта без создания дополнительного виньетирования. Заявленная в паспортных данных чувствительность в 0.00015 лк при относительном отверстии 1 : 1.4 нами не проверялась и оспаривается некоторыми специалистами по видеотехнике. Мы можем лишь утверждать, что наша камера



Рис. 1. Метеорный патруль Одесской астрономической обсерватории.

может регистрировать в фокусе телескопа Шмидта (17/30 см) звезды до $+12.8^m$ в фотометрической полосе V.

Для оцифровки аналогового сигнала с камеры применяется TV-тюнер с восьмиразрядным АЦП. Временная привязка компьютера осуществляется с помощью модуля Trimble ACE III GPS. Запись изображения проводится с включенным часовым приводом. В нашей телескопической системе поле зрения полдюймовой камеры составляет $36' \times 48'$. Размер единичного пиксела в дуговой мере составляет $3.8''$. В результате ряда экспериментов было определено, что наша система может работать в двух режимах. Как известно, в телевизионном сигнале содержится 625 строк (из них 576 с видеоинформацией) и отображаются последовательно 2 полукадра, состоящие из четных строк (четный полукадр) и нечетных строк (нечетный полукадр). Такая организация ввода изображения для движущегося объекта имеет следующий недостаток: при анализе нельзя использовать разрешение по одной из координат больше, чем число строк в одном полукадре. Первый режим дает возможность считывать один полукадр в течение 20 мс, и затем в течение «мертвого» времени 20 мс изображения не будет. Второй режим позволяет считывать и четный, и нечетный полукадр за каждые 20 мс и не иметь мертвого времени. Следует отметить, что для планирования метеорного патрулирования нас интересовали оба режима. Изображения метеоров, полученные первым способом, представляют собой прерывистые штри-

хи, причем длина перерыва примерно равна длине штриха. При втором способе считывания перерывов между штрихами нет, но следует учитывать, что поскольку первая часть штриха получена по четным строкам, а вторая по нечетным, а за время считывания метеор смещается, изображение имеет полосатый вид. Эта специфика для ярких метеоров проявляется в том, что посередине метеорного штриха видна звездообразная точка. Эта точка имеет инструментальное происхождение и объясняется следующим образом: после считывания четного полукадра происходит переключение на считывание нечетного полукадра, и точка посередине изображения штриха метеора считывается дважды. За счет большой яркости происходит засветка соседних пикселей, что и приводит к появлению световой точки на штрихе. У слабых метеоров такой эффект выражен слабее или совсем отсутствует. Для быстрых ярких искусственных спутников, когда на отдельном кадре изображение выглядит как штрих, наблюдается аналогичный эффект. Несмотря на то, что более длинный штрих траектории метеора позволяет при обработке получить больше точек, мы остановились на режиме, когда у системы есть мертвое время. Что нам дает такой режим? Наряду с получением позиционных наблюдений метеоров несомненный интерес представляют явления, происходящие после пролета метеора. При наличии мертвого времени мы можем разделить эти явления, что невозможно при считывании и отображении и четного, и нечетного кадра – изображение метеора просто накладывается на изображение послесвечения метеорного явления.

Таким образом, комплекс метеорного патруля предназначен для фиксации метеорных явлений, которые находятся в поле зрения доли секунд. Определение кинематических, динамических и фотометрических характеристик таких быстропротекающих астрономических явлений предъявляет к приемной аппаратуре особые требования. Эти требования обусловили необходимость проведения ряда экспериментов для детального изучения характеристик приемной аппаратуры.

В первую очередь была определена такая важная характеристика ПЗС-камеры, как зависимость чувствительности от длины волны регистрируемого излучения. Для этих целей была собрана экспериментальная установка на основе спектрофотометра СФ-16, где вместо штатного фотоприемника была установлена ПЗС-камера. В результате измерений выяснилось, что камера чувствительна к излучению в диапазоне выше 4000 \AA , и ее чувствительность резко увеличивается до максимального значения в районе 7000 \AA , где имеет плато до 9500 \AA . Затем чувствительность камеры резко падает до 12000 \AA .

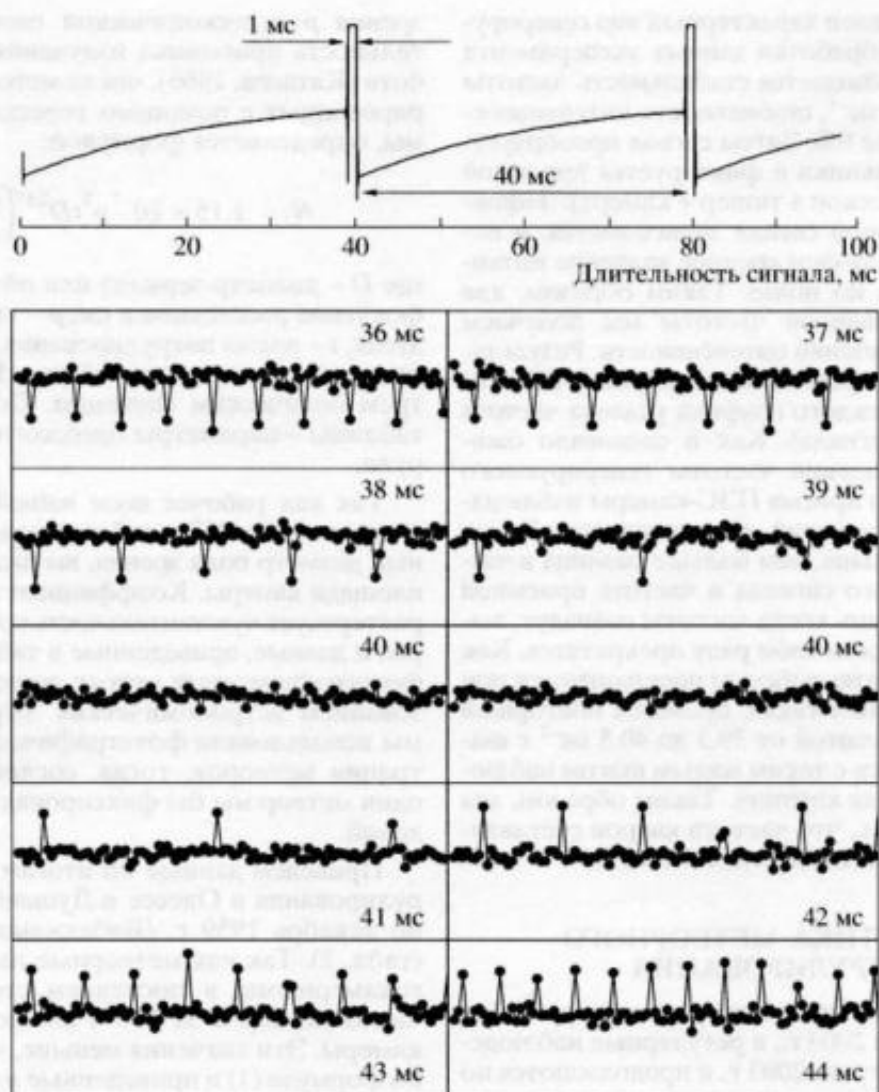


Рис. 2. Характерный вид генерируемого сигнала для тестирования ПЗС-приемника и результаты эксперимента по определению частоты смены кадров.

Для проверки достоверности полученных результатов возникает необходимость в определении фактического значения частоты кадров, а также в исследовании ее стабильности. Для этих целей был изготовлен прибор для тестирования работы камеры, который мы назвали преобразователь "звук – свет". Преобразователь представляет собой интегральный компаратор, выход которого нагружен на светодиод, установленный в коллиматоре с целью контроля частотных параметров ПЗС-камеры. Порог срабатывания компаратора (2 мВ) обеспечивает преобразование входного аудиосигнала выбранной частоты в прямоугольные импульсы тока светодиода. Для формирования фронта и плато импульса применена входная RC-цепь с заданными параметрами. С помощью такого прибора мы можем генерировать звуковой сигнал с заданной частотой и, преобразова-

зовав его в световой сигнал, регистрировать с помощью рабочей камеры. Сгенерированный звуковой сигнал при преобразовании испытывает искажения, но мы имеем возможность записывать уже измененный сигнал. В ходе эксперимента мы генерируем сигнал любой продолжительности с частотой от 35 до 45 мс^{-1} с шагом 1 мс^{-1} .

Таблица 1. Параметры метеорных патрулей

Объектив	D , см	F , см	ρ , град	N (за 100 ч)
Шмидт (Маунт-Паломар)	45.7	91.1	9.00	46.0
Супер-Шмидт	24.9	20.3	50.00	300.0
Уран-9	10.0	25.0	51.30	19.0
Шмидт (Одесский патруль)	17.0	50.0	0.78	0.5

На рис. 2 представлен характерный вид генерируемого сигнала. Обработка данных эксперимента показала, что соблюдается стабильность частоты с точностью 0.05 мс^{-1} , стабильность интенсивности сигнала не хуже 6%. Затем сигнал преобразуется в световые вспышки и фиксируется приемной аппаратурой (телескоп + тюнер + камера). Зафиксированный камерой сигнал записывается, и после обработки получаем среднее значение интенсивности сигнала по полю. Таким образом, для каждой генерированной частоты мы получаем временной ряд значений интенсивности. Результаты эксперимента представлены на рис. 2 (250 точек за 10 с, для каждого графика указана частота генерируемого сигнала). Как и следовало ожидать, при несовпадении частоты генерируемого сигнала и частоты приема ПЗС-камеры наблюдаются выбросы значений интенсивности. Таких выбросов тем больше, чем больше разница в частоте генерируемого сигнала и частоте приемной аппаратуры. И лишь когда частоты совпадут, выбросы точек во временном ряду прекратятся. Как видно из рис. 2, такие выбросы прекращаются при частоте 40 мс^{-1} . Был также проведен повторный эксперимент с частотой от 39.5 до 40.5 мс^{-1} с шагом в 0.1 мс^{-1} . Даже с таким малым шагом наблюдается аналогичная картина. Таким образом, мы можем утверждать, что частота кадров составляет 40 мс^{-1} с точностью не хуже 0.1 мс^{-1} .

СТАТИСТИКА МЕТЕОРНОГО ПАТРУЛИРОВАНИЯ

Тестовые испытания метеорного патруля были начаты с июня 2003 г., а регулярные наблюдения начались с августа 2003 г. и продолжаются по настоящее время.

При выборе оптики для патрулирования метеорных явлений обычно делают оценку эффективности регистрации метеоров. Основными характеристиками телескопа, с точки зрения эффективности регистрации метеоров, являются диаметр зеркала или объектива телескопа D и его фокусное расстояние F . Существенную роль при патрулировании метеоров играет диаметр поля

зрения p телескопической системы и чувствительность приемника излучения k . Согласно работе (Катасев, 1966), число метеоров N , зарегистрированных с помощью телескопической системы, определяется формулой:

$$N = 1.15 \times 10^{-7} p^2 t D^{2.87} \left(\frac{D}{F}\right)^{0.21}, \quad (1)$$

где D – диаметр зеркала или объектива в см, F – фокусное расстояние в см, p – поле зрения в градусах, t – время патрулирования в часах. В табл. 1 приведены данные из работы (Катасев, 1966) по трем оптическим системам. Последняя строчка таблицы – параметры одесского метеорного патруля.

Так как рабочее поле нашей системы прямоугольное ($36' \times 48'$), в таблице приведен эквивалентный диаметр поля зрения, вычисленный для такой площади камеры. Коэффициент $x = 1.15 \times 10^{-7}$ характеризует чувствительность приемной аппаратуры, и данные, приведенные в таблице, относятся к фотографическому методу регистрации с использованием астрономических эмульсий. Если бы мы использовали фотографический метод регистрации метеоров, тогда, согласно формуле (1), один метеор мы бы фиксировали за 200 ч наблюдений.

Приведем данные по итогам метеорного патрулирования в Одессе и Душанбе с июля 1957 г. по декабрь 1959 г. (Бабаджанов, Крамер, 1963) (табл. 2). Так как метеорные патрули были многокамерными, в последнем столбце приведено число метеоров за 100 ч наблюдений для одной камеры. Эти значения меньше, чем вычисленные по формуле (1) и приведенные в табл. 1 (для камеры НАФА ЗС/25 – 19 метеоров). Меньшее количество зафиксированных метеоров в Маяках и Душанбе объясняется наличием на этих станциях в комплекте метеорного патруля обтюраторов, что понижает проникающую силу камер. Но главным фактором в проникающей способности камер на всех станциях является, конечно, чувствительность фотоэмульсии. Полуэмпирическая формула (1) получена для астрономических светочувстви-

Таблица 2. Статистика метеорного патрулирования

Название станции	Время патрулирования, часы	Кол-во камер	Число метеоров		
			всего	за сто часов	на одну камеру
Душанбе	744.5	7	394	52.92	7.56
Гисар	741.5	7	511	68.91	9.84
Маяки	1394.0	4	260	18.65	4.66
Крыжановка	1036.0	4	302	29.15	7.29
Ботанический сад	949.5	4	242	25.49	6.37
Крыжановка (Шмидт)	678.8	1	368	54.21	54.21

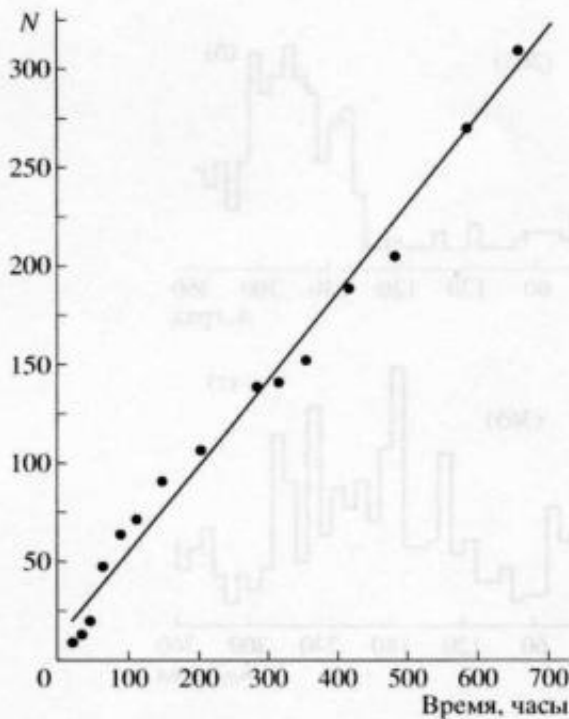


Рис. 3. Зависимость числа зарегистрированных метеоров от времени патрулирования.

тельных фотоэмульсий, а в практике метеорного патрулирования использовалась, как правило, аэрофотопленка, что уменьшило количество зафиксированных метеоров. Последняя строка табл. 2 соответствует данным метеорного патрулирования на наблюдательной станции Крыжановка с 1 августа 2003 г. по 27 декабря 2004 г.

Подсчитаем, во сколько раз выросла эффективность метеорного патруля при использовании ПЗС-приемника. Согласно итогам работы одесского метеорного патруля в 2003–2004 гг., время патрулирования составило 678,8 ч и зафиксировано 368 метеоров. По этому наблюдательному материалу можно построить график интегральной зависимости количества зафиксированных метеоров от времени патрулирования (рис. 3). За 100 часов патрулирования с помощью одесского метеорного патруля в среднем регистрируется 55 ± 12 метеоров. Таким образом, по сравнению с фотографическим методом (табл. 1), применение ПЗС-приемника дает выигрыш в количестве зафиксированных метеоров на два порядка.

Метеор фиксируется на отдельном кадре фильма в виде штриха. Длина штриха зависит от видимой скорости перемещения изображения метеора в фокальной плоскости телескопа. В зависимости от этой скорости метеорное явление может быть зафиксировано нашей системой в виде последовательности изображений. На рис. 4а представлена гистограмма распределения частоты



Рис. 4. Распределение количества звезд и распределение частоты количества метеорных штрихов в рабочем кадре.

ты количества кадров с изображением метеора, где максимальное количество кадров может достигать 11. Максимум распределения приходится на 2–3 штриха (50% зафиксированных явлений) и затем резко падает. Метеорные изображения в виде длинных штрихов, пересекающих все поле зрения, достаточно немногочисленны. Часто изображение метеора расположено в углу кадра, а доля таких метеоров достигает 20%. Метеоры с малыми угловыми скоростями и максимальной длиной траектории в кадре по длительности составляют 0,04–0,44 с. При удачном расположении штриха на изображении фиксируются метеорные явления от стадии появления до исчезновения.

При позиционной обработке наблюдательного материала важной характеристикой кадра является количество опорных звезд. На рис. 4б представлена гистограмма распределения количества звезд, используемых при позиционных и фотометрических измерениях. Максимальное количество звезд может достигать 70, но обычно в кадре фиксируется 10–20 опорных звезд, что вполне достаточно для вычислений.

Согласно работе (Астапович, 1958), существует зенитная вариация численности метеоров и связано это с тем, что вблизи горизонта из-за уда-

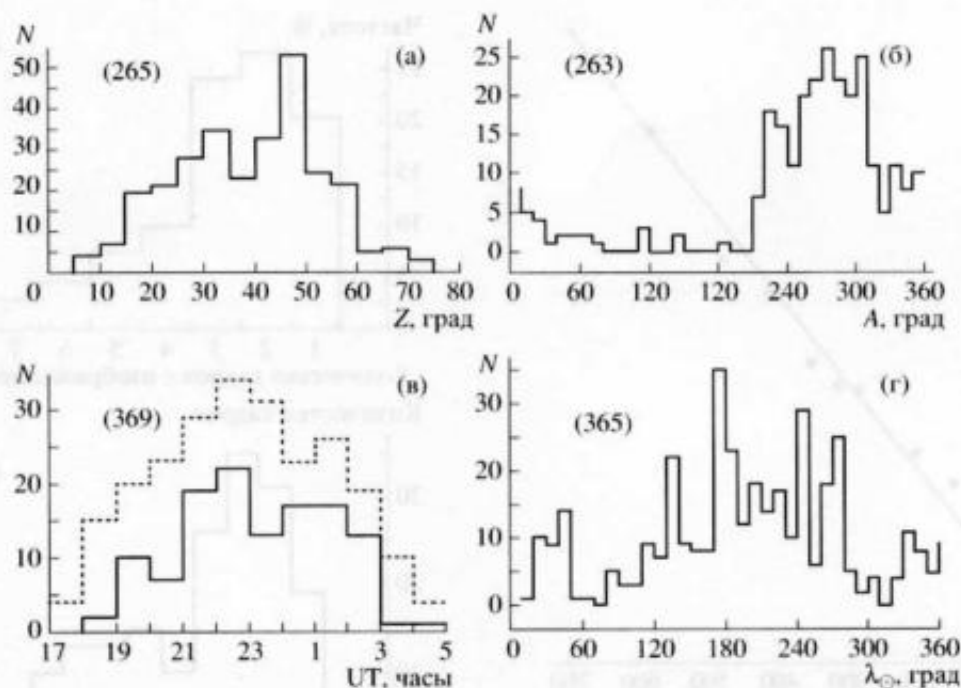


Рис. 5. Статистика метеорных наблюдений, в скобках на рисунках указано количество метеоров выборки. На графике (в) сплошная линия представляет весенне-летний период, точечная – осенне-зимний период.

ленности метеоров и атмосферного поглощения наблюдаемое число метеоров минимально. В зените оно также минимально, но по причине меньшего объема атмосферы, в котором происходит метеорные явления. На этом основании считают, что должен существовать максимум численности метеоров, и наблюдатели действительно отмечают наибольшее число болидов, обычных и телескопических метеоров на зенитных расстояниях порядка 60° . Азимутальная вариация определяется тем, что наибольшее число метеоров фиксируется из апекса и экваториальных радиантов. Таким образом, общепринято считать, что наибольшее число метеоров фиксируется на юго-востоке на зенитных расстояниях порядка 60° .

Как соответствуют этим вариациям наши наблюдательные данные? На рис. 5а представлена гистограмма распределения зенитных расстояний, на которых регистрировались метеоры нашим патрулем. При наблюдениях существует некоторая наблюдательная селекция с выбором участка звездного неба для патрулирования, так как основным рабочим диапазоном зенитных расстояний был интервал 20° – 65° . Низко над горизонтом и в зените патрулирование проводилось реже, чем и объясняется минимальное количество зафиксированных метеоров на соответствующих зенитных расстояниях. Но селективностью патрулирования нельзя объяснить максимум в распределении в интервале 45° – 50° (53 метеорных явления при среднем значении 24 метеора

для других интервалов в диапазоне 20° – 65°). Возможно, это и есть результат зенитной вариации, описанной в работе (Астапович, 1958), но для телескопических метеоров интервал зенитных расстояний смещен к меньшим значениям.

На рис. 5б представлена гистограмма распределения астрономических азимутов, на которых зафиксированы метеоры. Наблюдения проводились в южной части неба, а максимум распределения (270° – 280°) смещен в восточную часть небосвода, но не на юго-восток, как утверждает в работе (Астапович, 1958).

Суточный ход метеорной активности по нашему патрулированию иллюстрирует рис. 5в. Такой ход характерен для спорадической метеорной составляющей (Катасев, 1966). Рис. 5г иллюстрирует годовой ход метеорной спорадической активности с максимумом в сентябре–октябре и минимумом в марте–апреле с некоторыми всплесками во время действия метеорных потоков, что не противоречит другим источникам (Катасев, 1966).

При визуальных телескопических наблюдениях исследователи всегда пытались определить угловую скорость перемещения метеора. Визуально такую характеристику мог получать только опытный наблюдатель, но точность определения, особенно при большой угловой скорости метеора, была весьма низка. По нашему наблюдательному материалу мы можем определить длину штриха метеорного изображения с точностью не хуже десятка угловых секунд, а затем, зная время

экспозиции (0.02 с), вычислить угловую скорость метеора. На рис. 6а представлена гистограмма распределения угловой скорости метеоров ω . Прежде чем анализировать зависимость, следует внести некоторые поправки. Наше рабочее поле составляет $36' \times 48'$, и метеор с угловой скоростью 20 град/с за время экспозиции 0.02 с оставит изображение в виде штриха длиной $24'$. Это изображение может попасть в рабочее поле частично. С увеличением угловой скорости вероятность расположения штриха метеорного изображения, для которого можно измерить координаты и начала, и конца штриха, резко падает. Такая аппаратная селекция требует поправок, поэтому мы применили статистическое моделирование, которое позволило вычислить коэффициент k , равный отношению количества модельных метеоров, для которых длину штриха измерить нельзя, к числу метеоров, длина штрихов которых измерялась. На рис. 6б изображена зависимость коэффициента k от угловой скорости метеора. Как и следовало ожидать, для метеоров с малыми угловыми скоростями поправочный коэффициент мал, так как короткий штрих почти всегда полностью попадает в поле зрения. А вот с увеличением угловой скорости растет и коэффициент, так как все больше длинных штрихов метеоров имеют начало или конец за кадром. Вариации размеров модельного поля, генераторов случайных чисел и количества модельных метеоров в расчетах дают ошибку в значении поправочного коэффициента не более 0.02. С учетом поправочного коэффициента для каждой величины угловой скорости было исправлено наблюдаемое распределение угловой скорости за аппаратную селекцию (рис. 6в). Интересно провести сравнение теоретического и наблюдаемого количества метеоров, для которых невозможно измерить длины штрихов. Для наблюдаемых метеоров (общее число $N = 367$) число "неизмеряемых" составляет 107, а модельные поправки дают величину 113 метеоров, что очень близко к наблюдениям. Для малых угловых скоростей (7–8 град/с) исправленное распределение почти не отличается от наблюдаемого, а при $\omega > 9$ град/с правая часть распределения увеличивается, не изменяя главной особенности – максимума в районе $\omega = 6–8$ град/с.

МЕТОДИКА НАБЛЮДЕНИЙ И ОБРАБОТКИ

Регулярное метеорное патрулирование проводится группой наблюдателей из пяти человек, работающих посменно. Период ночи, в который проводятся наблюдения, ограничен окончанием вечерних и началом утренних гражданских сумерек и не зависит от положения и фазы Луны. Инструмент наводится на выбранный участок неба и далее гидируется автоматически со скоростью суточного вращения небесной сферы. Выбранная

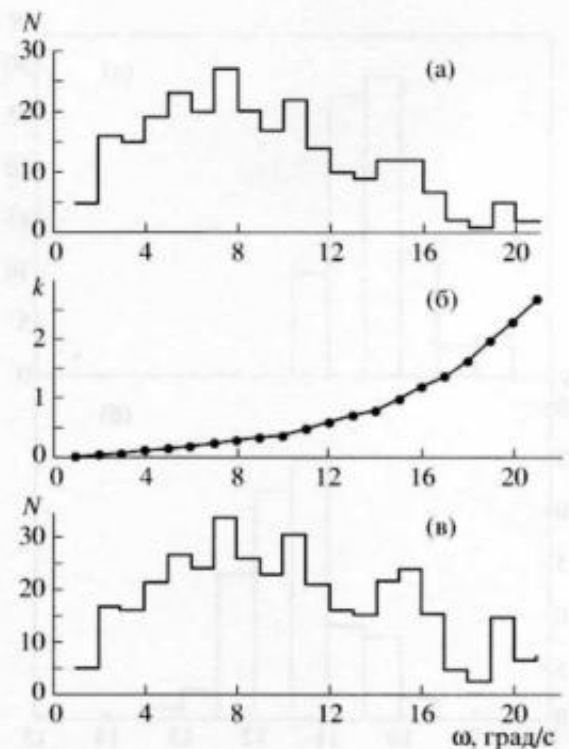


Рис. 6. Распределение метеоров по видимым угловым скоростям.

область в обязательном порядке отождествляется по атласу звездного неба. Выбор области осуществляется произвольно вокруг эфемеридного радианта на некотором угловом расстоянии от него. За один сеанс патрулирования происходит параллельная запись 15-минутного фильма и фиксация явлений на мониторе оператором, который имеет возможность отмечать номера кадров. Эти кадры после записи фильма повторно просматриваются. Обычно, кроме метеорных явлений, фиксируются изображения искусственных спутников Земли. Если просмотр фильма завершается отождествлением метеорного явления, то делается вырезка фрагмента с временной привязкой первого кадра. В результате наблюдений на лазерный диск записывается AVI-фильм, состоящий из 50 кадров (2 с записи) перед пролетом метеора, некоторого числа кадров с самим метеорным явлением и 50 последующих кадров.

Количество зафиксированных метеоров могло быть еще больше, если бы, к сожалению, не требовалось проводить технологические перерывы между сериями, необходимые для просмотра и архивирования фрагментов, перенаведения телескопа и подготовки к следующей серии наблюдений. В лучшие зимние ночи наблюдателям удавалось проводить около тридцати 15-минутных серий, т.е. чистое время патрулирования не превышало 7.5 ч за ночь. Существенно повысить эффективность

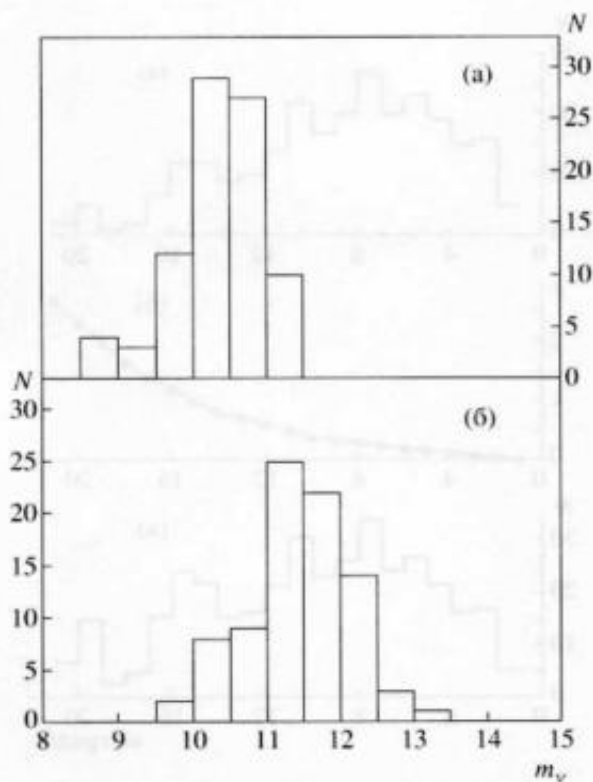


Рис. 7. Распределение предельных звездных величин для одиночных и просуммированных кадров.

патрулирования должна автоматическая система регистрации и записи метеорных явлений, находящаяся в настоящее время на стадии постановки задачи и разработки алгоритмов обнаружения в кадре движущихся объектов, в том числе предельно слабых.

Короткие экспозиции (20 мс), которые используются при патрулировании, дают возможность получать хорошее временное разрешение метеорного явления, но проигрывают по проникающей силе. На рис. 7 представлены гистограммы распределений для одиночных кадров и программно просуммированных за 2 с (50 кадров). Для единичных кадров средняя предельная звездная величина меньше, максимум распределения (рис. 7б) смещен почти на одну звездную величину, и если на суммарных кадрах предельная величина может достигать 13^m , то на единичном только 11.5^m (рис. 7а).

Для того, чтобы исследовать качество изображений звезд на программно суммированных кадрах, были проведены следующие вычисления. Для 200 кадров (при частоте 25 кадров в секунду и экспозиции 20 мс) было проведено суммирование, начиная с первого кадра, с последующим увеличением количества кадров. На рис. 8 представлены результаты такой обработки. Среднее значение фона неба $B_{\text{сред}}$ с увеличением количества накопленных кадров через 2–4 с экспозиции ста-

билизируется (рис. 8а), что отчетливо видно по величине дисперсии σ фона (рис. 8б). Показательная и зависимость числа достоверно отличаемых звезд на кадре N_d от количества накопленных кадров (рис. 8в), а также средней звездной величины m_v по всем звездам на кадре (рис. 8г) (не путать с предельной звездной величиной). Таким образом, при обработке телевизионных изображений имеет смысл программно суммировать не более 100 кадров (2 с).

При выборе режима и формата записи рабочих фильмов основным критерием было качество изображения звезд и метеоров, а также фона неба. Правильный выбор фоновых значений позволяет уверенно фиксировать достаточно слабое протяженное метеорное послесвечение, но для этого приходится жертвовать рабочим диапазоном интенсивностей. Гистограммы распределений значений фона неба для фильмов, полученных при патрульных наблюдениях, представлены на рис. 9. Так, при записи в цветовой модели RGB24 (рис. 9а) фоновым значением была величина около 120 единиц (полный диапазон составляет от 0 до 255 единиц). Т.е. рабочим диапазоном был интервал всего в 135 единиц интенсивности, и для того, чтобы увеличить диапазон, после ряда экспериментов мы остановились на цветовой модели YUV9, которая позволила нам при фоновых значениях в 110 единиц (рис. 9в) увеличить рабочий диапазон до 145 единиц.

Обычно при визуальных и фотографических наблюдениях лунный свет является серьезной помехой для фиксации метеорных явлений, особенно это сказывается для слабых метеоров. Телевизионные установки, использующие в качестве приемной трубки видикон, суперортикон и т.п., также подвержены большой засветке рабочего поля. Для нашей системы оказалось возможным проводить патрулирование даже во время полнолуния.

На рис. 9б,г представлены распределения значений фона в относительных единицах для цветовой модели (RGB4 и YUV9, соответственно), для ночей с лунной засветкой, а также во время утренних и вечерних сумерек. Как показывает практика наблюдений, фиксацию метеорных явлений можно проводить даже при полной Луне и в сумерках. Наблюдения в сумерках позволяют фиксировать так называемые дневные метеорные потоки, которые ранее регистрировались только радиолокационным методом (Ueda и др., 2001).

НАБЛЮДАТЕЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ И КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТЕОРНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Созданная база данных метеорных наблюдений подвергается следующей обработке: прово-

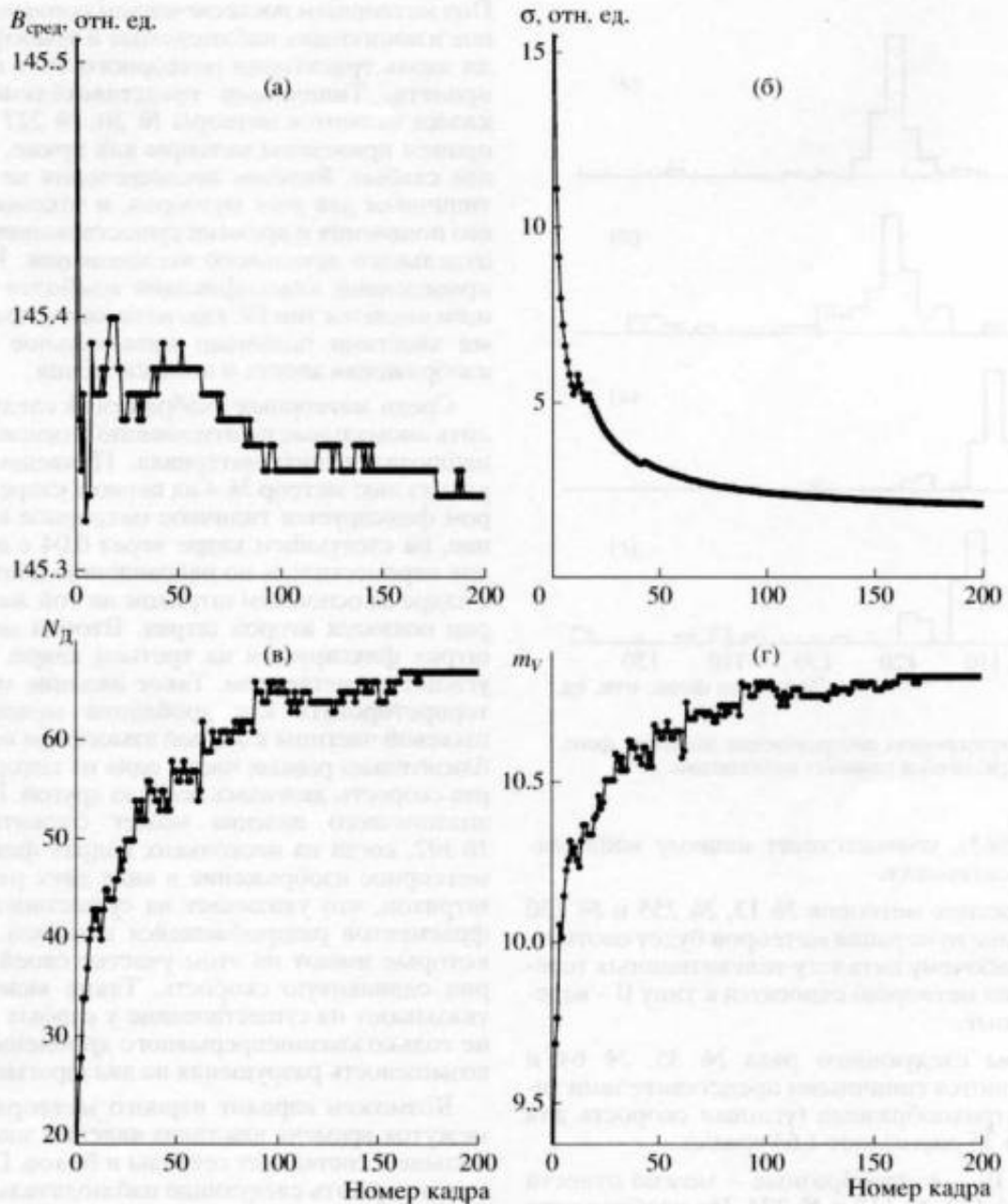


Рис. 8. Графическое представление поиска оптимального количества кадров для суммирования.

дится отождествление и каталогизация звездных участков с определением временной привязки начала экспозиции, определение экваториальных координат центра изображения, а также вычисление соответствующего зенитного расстояния и азимута. Проводятся позиционные и фотометрические измерения изображений звезд и метеоров.

В данной работе мы приводим предварительную классификацию метеорных изображений. Согласно (Бабаджанов, Крамер, 1963), существует следующая классификация мгновенных изображений метеоров: тип I – точечные; тип II – веретенооб-

разные, хорошо заметные продольные размеры; тип III – штрихообразные; тип IV – каплеобразные; тип V – состоящие из яркой головной части и длинных “хвостов”.

Полученные с помощью нашего метеорного патруля изображения метеорных явлений не мгновенные, так как экспозиции, согласно (Бабаджанов, Крамер, 1963), должны составлять 5.6×10^{-4} с с частотой 20 мс^{-1} . Поэтому зафиксированные нами метеоры представляют собой штрихи (рис. 10), но классификация, приведенная в (Бабаджанов,

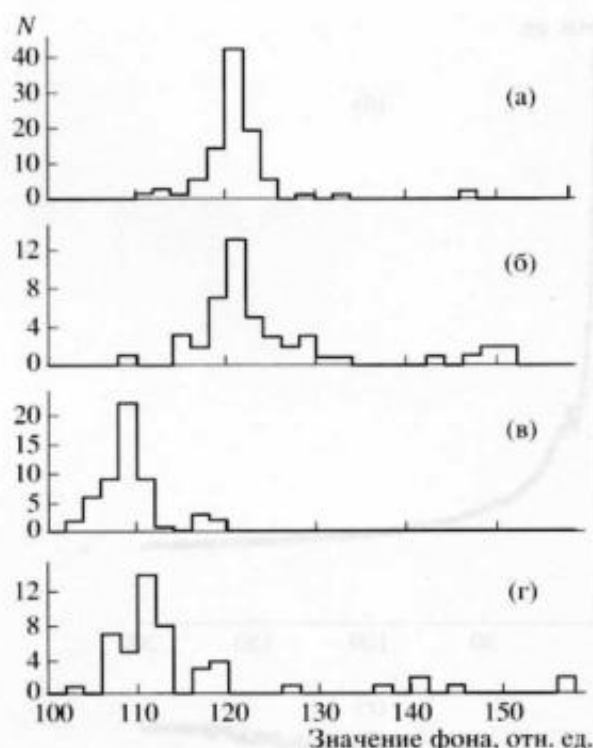


Рис. 9. Гистограммы распределения значений фона неба при различных режимах наблюдений.

Крамер, 1963), соответствует нашему наблюдательному материалу.

Изображения метеоров № 13, № 255 и № 270 (здесь и далее нумерация метеоров будет соответствовать рабочему каталогу телевизионных телескопических метеоров) относятся к типу II – веретенообразные.

Метеоры следующего ряда № 35, № 64 и № 120, являются типичными представителями типа IIa – штрихообразные (угловая скорость для метеора № 35 составляет 1.64 град/с).

К типу III – каплеобразные – можно отнести метеоры № 112, № 118 и № 224. Их изображения имеют характерные и уверенно фиксируемые “хвосты”, при мгновенных экспозициях такой метеор будет иметь вид капли.

Следует особо отметить, что большую часть наблюдательного материала составляют метеоры слабее нулевой звездной величины, а при получении мгновенных изображений фотографическим методом (Бабаджанов, Крамер, 1963) удавалось зафиксировать только очень яркие метеоры. Кроме того, фотографический метод не мог фиксировать явление послесвечения, так как изображение послесвечения попадало на ту же часть, что и изображение метеора и “хвоста”. В нашем же случае, когда послесвечение попадает на следующий кадр и не совпадает с изображением метеора, есть возможность детально изучить это явление.

Под метеорным послесвечением понимают свечение и ионизацию, наблюдаемые в атмосфере Земли вдоль траектории метеорного тела после его пролета. Типичными представителями такого класса являются метеоры № 30, № 227 и № 229, причем приведены метеоры как яркие, так и более слабые. Явление послесвечения не является типичным для всех метеоров, и закономерности его появления и времени существования требуют отдельного детального исследования. Из вышеприведенной классификации наиболее подходящим является тип IV, где, возможно, под длинными хвостами понимали интегральное свечение изображения хвоста и послесвечения.

Среди метеорных изображений следует выделить аномальные по отношению к основной массе наблюдательного материала. Приведем некоторые из них: метеор № 4 на первом кадре, на котором фиксируется типичное метеорное изображение, на следующем кадре через 0.04 с изображение переместилось по направлению движения, но в кадре за основным штрихом на той же траектории появился второй штрих. Второй метеорный штрих фиксируется на третьем кадре, но резко угасает на четвертом. Такое явление можно интерпретировать как дробление межпланетной пылевой частицы в земной атмосфере на две приблизительно равные части, одна из которых, потеряв скорость, двигалась вслед за другой. Примером аналогичного явления может служить метеор № 392, когда на нескольких кадрах фиксируется метеорное изображение в виде двух отдельных штрихов, что указывает на существование двух фрагментов раздробившейся пылевой частицы, которые имеют на этом участке своей траектории одинаковую скорость. Такие явления явно указывают на существование у слабых метеоров не только квазинепрерывного дробления, но и на возможность разрушения на два фрагмента.

Возможен вариант парного метеора, но промежуток времени для таких явлений значительно больше и составляет секунды и более. Примером могут служить следующие наблюдательные факты: в одном фильме на протяжении 15 мин фиксируются 2 или 3 метеора, которые отделены во времени друг от друга коротким промежутком и имеют схожую траекторию. Так, метеор № 137 зафиксирован через 2.6 с после пролета метеора № 136, и их траектории параллельны и находятся на угловом расстоянии 17'. Через 12 мин 30.24 с на траектории метеора № 137 зафиксирован метеор № 138. По-видимому, эти метеоры представляют группу пылевых частиц, которые двигались в межпланетном пространстве по схожим орбитам. О существовании таких групп указывается в работе (Апати и др., 1981), где представлены результаты регистрации ударов пылевых частиц на ИСЗ Интеркосмос-14 с помощью пробойных датчиков ударов пылевых частиц. Утверждается, что существуют группы от 2 до 6 частиц (к одной

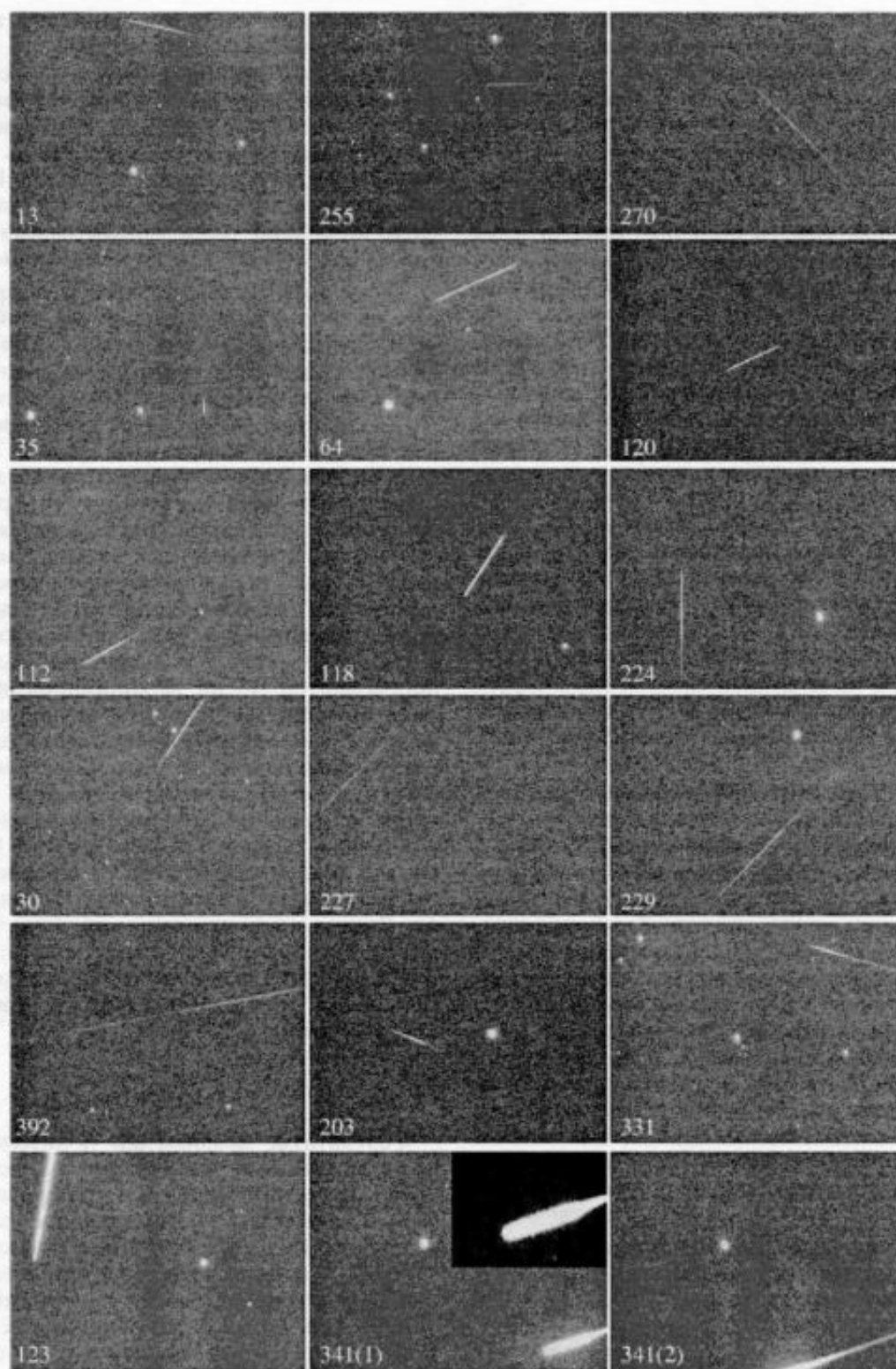


Рис. 10. Типичные изображения метеоров.

группе относились удары, зарегистрированные в течение 10 с). Авторы (Апати и др., 1981) считают, что в верхней атмосфере, вероятно, происходит непрерывное дробление метеорных тел.

Для метеоров, фиксируемых с помощью нашего метеорного патруля, можно определить не только промежутки времени между явлениями, но и направление движения, что дает дополнительную

информацию. Если метеорные события № 136 и № 137 возможно интерпретировать как дробление в атмосфере, то метеоры № 137 и № 138, отделенные во времени более чем 12 мин, двигались до столкновения с земной атмосферой как отдельные пылевые частицы.

Характерен и другой аномальный случай (метеор № 203). Метеорное изображение неоднородно вдоль траектории (первая половина штриха ярче, чем вторая). Такая аномальность прослеживается на пяти кадрах, и, кроме того, метеор обладает ярким "хвостом". Мы интерпретируем такое явление как периодические колебания блеска, которые кратны частоте смены кадров нашего приемника излучения. Периодические колебания блеска, конечно, связаны с физикой метеорного явления, с плотностью, составом и структурой пылевой частицы, что должно проявиться на кривой блеска метеора. Так, метеор № 331 представляет класс метеорных изображений, который замечателен тем, что в отличие от 98% метеоров стандартного вида (перерывы между штрихами равны длине самих штрихов) имеет диффузный, смазанный вид вдоль направления движения. Объяснить такие метеорные изображения, как метеор № 331, можно влиянием состава и структуры пылевой частицы на ее процесс интенсивного дробления во время сгорания в земной атмосфере.

Процент ярких метеоров (около нулевой звездной величины) в нашем наблюдательном материале весьма мал, это связано в первую очередь с небольшим полем зрения телескопа и сравнительно меньшим количеством таких метеоров. Представителем ярких метеоров в нашей выборке является метеор № 123, изображение штриха которого не попало полностью в кадр, на последующем кадре метеор оставляет яркое послесвечение. Более эффектным было метеорное явление № 341, и хотя метеор прошел по углу кадра, штрих короткий и полностью попал в кадр, на врезке метеор представлен в увеличенном виде (яркая звезда в центре кадра – γ Близицево, $m_V = +1.9^m$). Обращает на себя внимание несимметричный яркий "хвост", а также яркое послесвечение, наблюдавшееся более 2 с.

Такое явление, как стационарный метеор, с помощью фотографического метода фиксируется достаточно редко, кроме этого, достоверность отождествления оставляет некоторую неопределенность. Телевизионный метод позволяет для стационарных метеоров достоверно показать динамику развития явления, что невозможно при использовании ПЗС-приемников с большим временем накопления. В работе (Мартыненко и др., 1978) представлен снимок стационарного метеора из потока α -Персеид, сфотографированный Л.Б. Шмелевым 12 августа 1972 г. Диаметр изображения такого метеора составляет около 5', и

при использовании телескопической телевизионной системы такой метеор дал бы неточечное изображение на многих кадрах. За все время наблюдений нами не было зафиксировано точечного стационарного метеора, но были получены изображения пяти метеоров с очень короткими штрихами (угловая скорость менее 1 град/с). Такие метеоры при визуальных наблюдениях или патрулировании короткофокусными камерами классифицировались как стационарные.

И, наконец, нельзя не отметить зарегистрированные (более двух десятков событий) процессы зарождения метеорного явления, а также его конечной стадии. Если прекращение метеорного явления для нашего класса метеоров особо ничем не выделяется, то процесс "рождения" метеора является самой неизученной фазой. Так как мы имеем возможность покрупно анализировать события, то можно достоверно утверждать, что процессу появления метеорного штриха предшествует образование в поле зрения туманного пятна, в 2–3 раза превышающего поперечник метеорного изображения. В работе (Лебединец, 1987), рассматривая слабые фотографические метеоры, автор указывает, что "...аномальные метеоры порождаются очень неоднородными родительскими метеорными телами, от которых вблизи точки появления метеора сразу отделяется целое облачко осколков, отстающее от родительского метеорного тела и дающее в течение некоторого времени основное свечение метеора (происходит некоторая "начальная вспышка")". По-видимому, это явление и регистрируется с помощью нашего телевизионного телескопического патруля. Задача изучения этого явления требует накопления и анализа наблюдательного материала, что и делается в настоящее время коллективом метеорной группы Одесской астрономической обсерватории.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты наблюдений показывают новые возможности и перспективность телевизионного телескопического метода в исследовании природы метеорных тел и различных процессов, сопровождающих их полет в земной атмосфере. В настоящее время разрабатывается методика позиционных определений для изображений звезд и метеоров, а также фотометрических измерений. В этой работе мы упомянули только самые интересные явления. Наш наблюдательный материал представляет несомненный интерес для дальнейшей обработки с точки зрения актуальных задач метеорной астрономии. Среди них следует выделить следующие возможные для небазисных наблюдений: определение экваториальных координат точки радианта метеора методом Станюковича для изучения областей радиации слабых метеорных

потоков; определение относительного торможения метеорных частиц, а также исследование взаимосвязи свечения метеорных явлений с метеорными "хвостами" и послесвечением.

В настоящее время создана и находится в стадии ввода в эксплуатацию вторая телевизионная установка, которая позволит проводить базисные наблюдения метеоров.

В заключение хотелось бы выразить благодарность А.М. Вишненко и Ю.Н. Бондаренко за создание и помощь в отладке оптики метеорного патруля, также О.Ш. Шахруханову за разработку часового привода телескопа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Апати И., Васюкова З.В., Кащеев Б.Л. и др.* Результаты исследования метеорного вещества на ИСЗ "Интеркосмос-14" и соответствующих наземных наблюдений метеоров // Космич. исслед., 1981. Т. 19. № 5. С. 790–794.
- Астапович И.С.* Метеорные явления в атмосфере Земли. М., 1958. 640 с.
- Багров А.В., Выгон В.Г., Бондарь С.Ф. и др.* Гибридная телевизионная система для наблюдения слабых космических объектов. // Сб. науч. тр. конф. "Околоземная астрономия и проблемы изучения малых тел Солнечной системы". Обнинск, 25–29 октября 1999 г. М.: Космосинформ, 2000. С. 334–346.
- Багров А.В., Бескин Г.М., Бирюков А. и др.* Широкоугольная высокоскоростная оптическая камера для обнаружения вспыхивающих и движущихся объектов // Сб. тр. конф. "Околоземная астрономия-2003". Терскол, Санкт-Петербург, 2003а. Т. 2. С. 101–106.
- Багров А.В., Выгон В.Г., Бондарь С.Ф.* Задачи оперативных наблюдений тел естественного происхождения, движущихся через околоземное космическое пространство // Сб. тр. конф. "Околоземная астрономия-2003". Терскол, Санкт-Петербург, 2003б. Т. 2. С. 29–41.
- Бабаджанов П.Б., Крамер Е.Н.* Методы и некоторые результаты фотографических исследований метеоров // Ионосфера и метеоры. 7. 1963. № 12. С. 144.
- Катасев Л.А.* Исследование метеоров в атмосфере Земли фотографическим методом. Ленинград: Гидрометеорологическое издательство, 1966. 334 с.
- Кащеев Б.Л., Волощук Ю.И., Кручиненко В.Г.* Метеоры и метеорное вещество. Ред. Крамер Е.Н. Киев: Наук. думка, 1989. 292 с.
- Крамер Е.Н., Воробьева В.А., Руденко С.А.* Опыт работы на метеорном патруле Одесской астрономической обсерватории во время МГТ // Изв. Одесск. астрон. обсерв. 1963. Вып. 2. С. 5–63.
- Лебединец В.Н.* Торможение слабых фотографических метеоров и плотность метеорных тел // Астрон. вестн. 1987. Т. 21. № 1. С. 65–74.
- Мальшиев И.Ф.* Телевизионные наблюдения метеоров в Душанбе в 1979 г. // Астрон. вестн. 1992. Т. 26. № 1. С. 112–114.
- Мартыненко В.В., Вагнер Л.Я., Кремнева Н.М. и др.* Структура радиантов и активность Персеид в 1971 г. // Астрон. вестн. 1978. Т. 12. № 4. С. 235–243.
- Масленникова Е.С.* Телевизионные наблюдения метеорного потока Персеид и их обработка. // Сб. тр. конф. "Околоземная астрономия-2003". Терскол, Санкт-Петербург, 2003. Т. 1. С. 259–265.
- Currie M.J.* A short-duration telescopic shower // WGN, J. Int. Meteor Organiz. 1995. V. 23. № 4. P. 151–154.
- Fujiwara Y., Ueda M., Kawasaki Y., Nakamura T.* TV observation of the leonid meteor shower in 2002: First observation of a faint meteor storm // Publ. Astron. Soc. Japan. 2003. V. 55. № 6. P. 1157–1162.
- Hawkes R.L., Bussey J.E., Macphie S.L., Pollock C.S., Taggart L.W.* Techniques for high resolution meteor light curve investigations // Proc. Conf. Meteoroids 2001. 6–10 August 2001. Kiruna, Sweden (ESA SP-495) 2001. P. 281–286.
- Koschny D.* Comparing two potential meteor cameras – the Mintron and the Watec 120N // Proc. Int. Meteor Conf. September 19–21, 2003. Bollmannsruh, Germany / Eds Triglav-Cekada M., Trayner C. Int. Meteor Organization, 2004. P. 59–63.
- Kresakova M.* The performance of telescopes for the observation of meteors // Bull. Astron. Inst. Czechoslovakia. 1978. V. 29. № 1. P. 50–56.
- Kroll P., Fleischmann F.* Whole-sky patrol with 7k × 4k-CCD chips // Astron. Nachr. 2001. V. 322. № 5–6. P. 315–316.
- Kroll P.* Photographic and CCD sky patrols with small telescopes // Astron. Gesellschaft. V. 18. Abstracts of contributed talks and posters presented the Annual sci. meeting of the Astron. Gesellschaft at the Joint European and National meeting JENAM 2001 of the European astron. soc. and the Astron. Gesellschaft at Munich, September 10–15, 2001a. Abstract 229 p.
- Kroll P.* Whole-sky patrol with 7k × 4k-CCD chips // Astron. Gesellschaft. V. 18. Abstracts of contributed talks and posters presented at the Annual sci. meeting of the Astron. Gesellschaft at the Joint European and National meeting JENAM 2001 of the European astron. soc. and the Astron. Gesellschaft at Munich, September 10–15, 2001b. Abstract 229 p.
- McCrosky R.E., Posen A.* Orbital elements of photographic meteors // Contr. Smith. Astrophys. Obs. 1961. V. 4. № 2. P. 15–84.
- Murray Ian.S., Beech Martin, Schroeder M.* Leonid light curve morphology: Review of 1998–2001 data // Proc. Int. Conf. Asteroids, Comets, Meteors – ACM 2002. 29 July–2 August 2002. Berlin, Germany / Ed. Warmbein B. ESA SP-500. Noordwijk, Netherlands: ESA Publ. Div. 2002. P. 297–299.
- Pawłowski J.F., Hebert T.J., Hawkes R.L., et al.* Flux of very faint Leonid meteors observed with a 3 m liquid mirror telescope intensified CCD system // Meteoritics and Planet. Sci. 2001. V. 36. № 11. P. 1467–1477.
- Pravec P.* The 1992 Quadrantid maximum telescopically // Proc. Int. Meteor Conf. Smolenice, Slovakia, 2–5 July 1992. P. 63–66.
- Pravec P., Bocek J.* Statistical results about the precision of telescopic records of meteors // Proc. Int. Meteor Conf., 19–22 September, 1991. Potsdam, Germany / Eds

- Roggemans P., Arlt R. Int. Meteor Organization, 1991. P. 48–53.
- Rafert J.B., Nemiroff R.J., Perez-Ramirez D., et al. CONCAM coverage of the 2001 Leonid meteor shower // Bull. Amer. Astron. Soc. 199th AAS Meeting, 2001. V. 34. P. 560.
- Stenbaek-Nielsen H., Jenniskens P. A shocking Leonid meteor at 1000 frames/s // 34th COSPAR Sci. Assembly. The Second world space congress, 10–19 October, 2002. Houston, USA, 2002. P. 1650.
- Suzuki S., Akebo T., Suzuki K., Yashida T. Multi-station TV observations of the 2001 Leonids // WGN. J. Meteor Organization, 2003. V. 31. № 6. P. 183–188.
- Taff L.G. Bi-telescopic, deep, simultaneous meteor observations // Proc. Int. Meeting. Asteroids, Comets, Meteors. II. June 3–6, 186. Uppsala, Sweden, 1986. P. 603–608.
- Ueda M., Fujiwara Y., Sugimoto M., et al. Results of double-station TV observations in 1998 and 1999 // Proc. Conf. Meteoroids 2001. 6–10 August 2001. Kiruna, Sweden (ESASP-495), 2001. P. 325–330.
- Yoshida T. The telescopic radiant areas of some meteor streams // Proc. Int. Astron. Symp. Meteoroids and their parent bodies. July 6–12, 1992 / Eds Stohl J., Williams I.P. Bratislava: Astron. Inst., Slovak Acad. Sci., 1993. P. 205.
- Zimnikoval P. TV observations of meteors from the Aquarius region in early August // Proc. Int. Meteor Conf. September 19–21, 2003. Bollmannsruh, Germany / Eds Triglav-Cekada M., Trayner C. Int. Meteor Organization., 2003. P. 180–183.
- Zhojil V., Hollan J., Simek M. The relation between meteor optical brightness and properties of the ionized trail. II. Bouble station observations (results of the Ondrejov meteor expeditions in 172 and 1973) // Bull. Astron. Inst. Czechoslovakia. 1985. V. 36. P. 44–56.
- Zhojil V., Hollan J., Hajduk A. Concentration of small particles in Orionids // Bull. Astron. Inst. Czechoslovakia. 1987 V. 38. № 6. P. 372–375.

Methods and Statistics of TV Observations of Telescopic Meteors

Yu. M. Gorbanev, A. V. Golubaev, V. V. Zhukov, E. F. Knyaz'kova, S. R. Kimakovskii, I. I. Kimakovskaya, S. V. Podlesnyak, L. A. Sarest, I. A. Stogneevea, and V. A. Shestopalov

Astronomical Observatory, Odessa National University, Shevchenko Park, Odessa, 270014 Ukraine

Abstract—A review of TV and telescopic methods of meteor observations and of the problems of meteor astronomy addressed using these methods is presented. A meteor patrol developed at the Astronomical Observatory of Odessa National University and based on a Schmidt telescope and a TV detector is described. The meteor patrol allows meteor events to be recorded with a time resolution of 0.04 s. The investigated characteristics of the patrol are reported, and some aspects of the methods of observations and reduction employed are considered. The results of observations made during the period 2003–2004 are reported. A total of 368 meteors were recorded on 1093 individual frames during a total patrol time of 679 hours within a $36' \times 48'$ field of view. The statistical data for meteor observations are reported, and classification of meteor images is presented. The specific features of some recorded meteor events are analyzed.