


**С.А. Сартин¹, А.А. Солодовник¹, Б.М. Усеинов^{1*},
А.М. Жукешов² , А.У. Амренова²**

¹Северо-Казахстанский государственный университет им. М. Козыбаева,
Казахстан, г. Петропавловск, *e-mail: buseinov@gmail.com

²Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Казахстан, г. Алматы

ОПЫТ РЕГИСТРАЦИИ ОТРАЖЕНИЯ РАДИОСИГНАЛОВ ОТ ПЛАЗМЕННЫХ МЕТЕОРНЫХ ТРЕКОВ В ОБСЕРВАТОРИИ СКГУ

Одной из актуальных задач астрофизических исследований тел Солнечной Системы является регистрация метеорных явлений, протекающих в верхних слоях атмосферы Земли. Статистика таких событий позволяет получить осреднённые оценки концентрации метеороидов в околоземном пространстве. Эти данные имеют важное практическое приложение в области безопасности развития космической инфраструктуры. В статье показано, что оптические методы регистрации метеоров, несмотря на их разнообразие, страдают ограниченностью, связанной с влиянием метеорологии атмосферы, дневной и антропогенной засветки неба. В этой связи актуален переход на применение методов регистрации метеоров, базирующихся на свойстве образуемых или плазменных треков отражать радиоволны.

Изложены результаты работ по развитию материальной базы и методики радионаблюдений метеоров в Центре астрофизических исследований Северо-Казахстанского государственного университета. Применён подход регистрации отражённого от плазменного метеорного трека радиосигнала удалённой станции. Обработка информации производилась в онлайн режиме с использованием стандартных программных средств.

Сравнение полученных результатов с опубликованными данными о применении метода показало сходство амплитудно-временной структуры сигнала с типичными для применяемого метода. Вполне реалистично и суточное распределение частоты метеорных событий. Таким образом, можно констатировать создание в Республике Казахстан первого пункта для регистрации метеоров в радиодиапазоне.

Ключевые слова: метеороиды, метеорные треки, отражение радиоволн, антенна, радиостанция, амплитудно-временная структура, статистика метеоров.

S.A. Sartin¹, A.A. Solodovnik¹, B.M. Useinov^{1*},
A.M. Zhukeshov², A.U. Amrenova²

¹M. Kozybayev North Kazakhstan state University,
Kazakhstan, Petropavlovsk, *e-mail: buseinov@gmail.com

²Al-Farabi Kazakh national university, Kazakhstan, Almaty

Experience of registration of reflection of radio signals from plasma meteor tracks in the observatory of SKSU

One of the actual problems of astrophysical studies of The solar system bodies is the registration of meteor phenomena occurring in the upper layers of The earth's atmosphere. Statistics of such events allow to obtain averaged estimates of the concentration of meteoroids in near-earth space. These data have an important practical application on the security of space infrastructure development. In this paper, it is shown that optical methods of meteor registration, despite their diversity, suffer from limitations associated with the influence of atmospheric meteorology, daylight and anthropogenic illumination of the sky. In this regard, the transition to the use of methods of registration of meteors based on the property of formed or plasma tracks to reflect radio waves is relevant.

The results of work on the development of the material base and methods of radio observations of meteors in the center of astrophysical research of North Kazakhstan state University are presented. The approach of registration of the radio signal reflected from the plasma meteor track of the remote station is applied. Information processing was carried out online using standard software.

Comparison of the obtained results with the published data on the application of the method showed a high degree of similarity of the amplitude-time structure of the signal with typical for the applied

method. The daily frequency distribution of meteor events is also quite realistic. Thus, we can state the creation in the Republic of Kazakhstan of the first point for registration of meteors in the radio range.

Key words: meteoroids, meteor tracks, reflection of radio waves, antenna, radio station, amplitude-time structure, meteor statistics.

С.А. Сартин¹, А.А. Солодовник¹, Б.М. Усеинов^{1*},
А.М. Жукешов², А.У. Амренова²

¹М. Қозыбаев атындағы Солтүстік Қазақстан мемлекеттік университеті,
Қазақстан, Петропавл қ., *e-mail: buseinov@gmail.com

²Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Қазақстан, Алматы қ.

СКМУ обсерваториясында плазмалық метеорлық іздерден радиосигналдардың шағылуын тіркеу тәжірибесі

Күн жүйесіндегі денелерін астрофизикалық зерттеудің кезек күттірмейтін міндеттерінің бірі – Жер атмосферасының жоғарғы қабаттарында кездесетін метеоризм құбылыстарын тіркеу. Мұндай оқиғалардың статистикасы жақын жер кеңістігінде метеороидтардың шоғырлануының орташа бағасын алуға мүмкіндік береді. Бұл мәліметтер ғарыштық инфрақұрылымды дамыту қауіпсіздігі саласындағы маңызды практикалық қолдануға ие. Мақалада Солтүстік Қазақстан мемлекеттік университетінің астрофизикалық зерттеулер орталығында метеорологиялық бақылаудың материалдық базасы мен әдіснамасын дамыту бойынша жұмыс нәтижелері келтірілген. Қашықтағы станцияның плазмалық метеоритінен шағылысқан радиосигналды жазу тәсілі қолданылады. Ақпаратты өңдеу стандартты бағдарламалық қамтамасыз етуді қолдану арқылы онлайн режимінде жүргізілді. Нәтижелері әдісті қолдану туралы жарияланған мәліметтермен салыстыру сигналдың амплитудалық-уақыттық құрылымы мен қолданылатын әдіске тән ұқсастығын көрсетті. Метеорологиялық оқиғалардың жиілігін күнделікті бөлу де шынайы. Осылайша, біз Қазақстан Республикасында метеориттерді радиожиілікте тіркеудің алғашқы нүктесін құрдық деп айта аламыз.

Түйін сөздер: метеороидтар, метеориттер, радиотолқындардың көрінісі, антенна, радиостанция, амплитудалық-уақыт құрылымы, метеорология.

Введение

Задачи и методы регистрации метеоров

Изучение физического состояния околоземного космического пространства в наше время привлекает внимание не только с фундаментальных позиций астрофизики, но и исходя из важных практических интересов. Речь идёт, например, об эффективном и безопасном использовании объектов космической инфраструктуры, то есть искусственных спутников Земли и пилотируемых аппаратов и комплексов. Определённую угрозу их существованию представляет вероятность столкновения с частицами космического вещества – метеороидами и микрометеороидами. Одной из актуальных задач науки является как можно более точное оценивание концентрации таких объектов вблизи Земли и временных изменений этого параметра. Её решению уделяется особенное внимание с периода непосредственно предшествующего началу освоения космоса и до наших дней. [1-12]

Работы в этом направлении систематически проводятся в Центре Астрофизических Исследований Северо-Казахстанского государственного университета (ЦАИ СКГУ), начиная с 2009 года.

Как показывает опыт, регистрация метеоров с помощью наиболее распространённых сегодня приёмников – цифровых камер имеет ограничения, как с точки зрения проникающей способности, а камеры уверенно регистрируют треки метеоров до 3-4 звёздной величины, так и из-за негативного влияния метеорологических условий и засветки неба Луной. Применение электронно-оптических усилителей изображения и телевизионной техники позволяет резко повысить проникающую способность, но поле изображения при этом становится заметно меньше, чем у цифровых камер. Кроме того, остаются в силе метеорологические ограничения [1, 13-18].

В наибольшей мере от помех оптического и метеорологического характера при наблюдении метеоров свободны их наблюдения в радиодиапазоне [1, 19-22]. В этой связи нами была поставлена задача в дополнение к существующей приборной базе метеорных наблюдений в ЦАИ СКГУ создать комплекс, позволяющий освоить методику регистрации метеорных треков в радиодиапазоне. Такой подход позволит с одной стороны снизить влияние погодных факторов на наблюдения метеоров, а с другой перейти к изучению дневных метеорных потоков. И, что осо-

бенно актуально, метеорных потоков действующих кратковременно. Разумеется, наиболее эффективным будет сочетание как оптических, так и радионаблюдений метеоров.

Приборы и методика радионаблюдений метеоров в обсерватории СКГУ

Физической основой регистрации метеорных явлений в атмосфере является формирование плазменного трека вдоль траектории полёта метеора. Такой след на высотах в диапазоне от 100 до 60 км может существовать от долей секунды до десятков секунд в зависимости от массы и скорости тела, породившего метеор. Этого вполне достаточно для обнаружения плазменного трека благодаря отражению от него радиоволн. Более того появляется возможность изучения временной эволюции трека, связанной с атмосферными воздействиями на него на больших высотах [1-4].

В связи с этим вполне очевидным стало применение радаров к регистрации метеоров. Радиолокация метеоров довольно продуктивный подход к регистрации не только факта возникновения метеора, но и к определению координат объекта на небесной сфере и его скорости. Однако, применяемая при этом аппаратура настолько специфична, что её использование требует разрешения компетентных органов, а применение её в условиях города и вовсе находится под запретом. Поэтому в практике университетской обсерватории, находящейся в городской черте, радарные наблюдения метеоров исключены.

Однако, существует и другой подход к регистрации метеоров в радиодиапазоне. Здесь функции облучателя и приёмника разделены. Источником радиоволн (облучателем) служит достаточно мощная радиостанция, работающая в диапазоне, в котором ионосфера прозрачна для радиоволн. Метод радионаблюдений метеоров заключается в следующем: передающая станция излучает радиоволны, которые рассеиваются на следах метеоров (рис. 1). Отражённый от следа сигнал принимается приёмником в виде кратковременного сигнала. Затем принятый сигнал подвергается дальнейшей обработке [20, 21-23-28].

Таким образом, для регистрации метеоров достаточно иметь внешнюю антенну, чувствительный УКВ(65 – 73 МГц) или FM (88 – 108 МГц) – радиоприёмники компьютер для записи информации, полученной в ходе наблюдения. Конечно, оптимальным будет оперативно обрабатывать получаемую информацию.

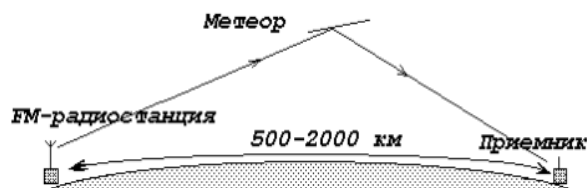


Рисунок 1 – Принцип регистрации метеоров с помощью УКВ-радиоприёмника

Заметим, что необходимо подобрать оптимальные частоты радиодиапазона. Нужно найти такую частоту, на которой нет постоянного присутствия местных станций, но на ней должны работать мощные дальние станции на расстояниях, удобных для метеорных отражений. Выбор такой частоты сильно зависит от географии и места установки антенны и приёмника. Радиостанция должна находиться на расстоянии 500 – 2000 км от приёмника вне зоны ее прямой слышимости (до 50 км), поскольку электромагнитные волны данного диапазона плохо огибают земную поверхность и не отражаются от ионосферы Земли.

При пролёте метеора образуется плазменный след, существующий несколько секунд. Он отражает сигнал дальней радиостанции и на некоторое время она становится слышна в месте расположения приёмника наблюдателя. Приём отраженного сигнала дальней радиостанции длится от долей до единиц секунд, причем профиль этого музыкально-речевого сигнала (МРС) имеет яркую особенность – мгновенное появление и плавный спад (затухание сигнала). Это позволяет выделить метеорные МРС от сигналов иной природы, которые могут появляться в FM-эфире.

Отметим, что даже при устранении помех количество метеорных МРС будет зависеть не только от метеорной активности, но и от побочных факторов. К ним можно отнести количество и время работы радиостанций на данной волне, состояние атмосферы и ионосферы, факторы солнечной активности.

В ЦАИ СКГУ изготовлена дипольная антенна длиной 12 метров для метеорных радионаблюдений. Диаграмма направленности антенны ориентирована по меридиану. На рисунке 2 представлен её общий вид.

Опробовав различные комбинации регистрирующих приборов и программ обработки, остановились на следующей их комбинации. Антенна улавливает сигнал и подаёт его на US-

BFM tuner (рис. 3), который подключен к ноутбуку. Этот прибор представляет собой компактное устройство, предназначенное для поиска сигналов радио и телевизионных станций. Оно эффективнее обычных приемников. На корпусе FM tuner имеется USB выход и вход для коак-

сиального кабеля. Этот сигнал обрабатывается программой HDTVPLAYER и подается на звуковой выход ноутбука через миниджек. С помощью AUX кабеля звуковой сигнал уже передается непосредственно на осциллограф и регистрируется программой Data Recorder.



Рисунок 2 – Антенна для регистрации метеоров ЦАИ СКГУ

Программа HDTVPLAYER (рис. 4) позволяет выполнять поиск и прослушивание телевизионных и радиостанций. К плюсам программы можно отнести простоту её использования. В программе предусмотрена возможность записи звуковых дорожек и видео.



Рисунок 3 – Комплект прибора USBFM tuner

Программа сама выбирает наиболее подходящие частоты с самым четким сигналом, но имеется и вариант автонастройки частот с округлением до тысячной.

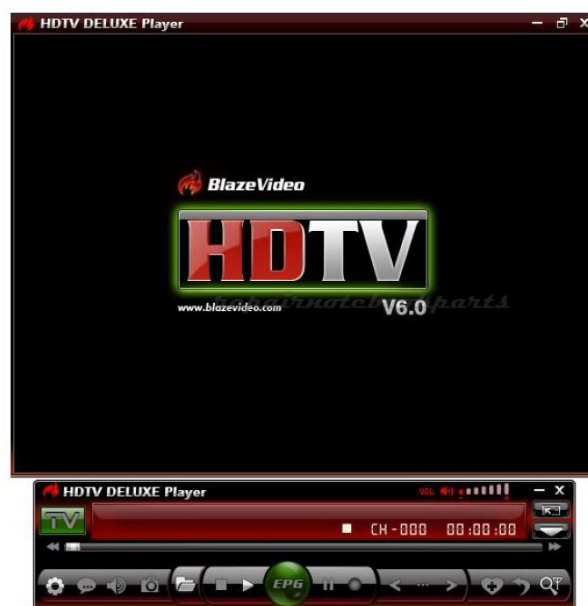


Рисунок 4 – Рабочий экран программы HDTVPLAYER

Наиболее подходящей FM-станций стала радиостанция в городе Тула, с частотой 90,2 МГц, вещающая с Тульского областного радиотелевизионного передающего центра. Расстояние до неё около 2000 км. Исследования на указанной

частоте проводились в дневные и ночные часы на протяжении трёх месяцев с 04.03.2019 по 06.05.2019 и дали неплохой результат. Было зафиксировано более 3000 явлений, сходных с метеорными, при среднем количестве метеорных явлений в сутки около 80 и средней длительности метеорного явления – 0,4 с.

Рассмотрев амплитудно-временные характеристики сигналов FM-станций, отраженных от метеорного следа, мы выявили, что подавляю-

щее их число следует отнести к отражениям от ненасыщенных плазменных метеорных треков. Например, в дату 4 апреля было зафиксировано 87 метеорных сигналов. Из них 80 сигналов – это сигналы от ненасыщенных метеорных следов, 5 сигналов – сигналы от насыщенных метеорных следов и 2 сигнала – сигналы от метеорных следов промежуточного типа. Морфологические отличия видов сигналов представлены на рисунке 5.

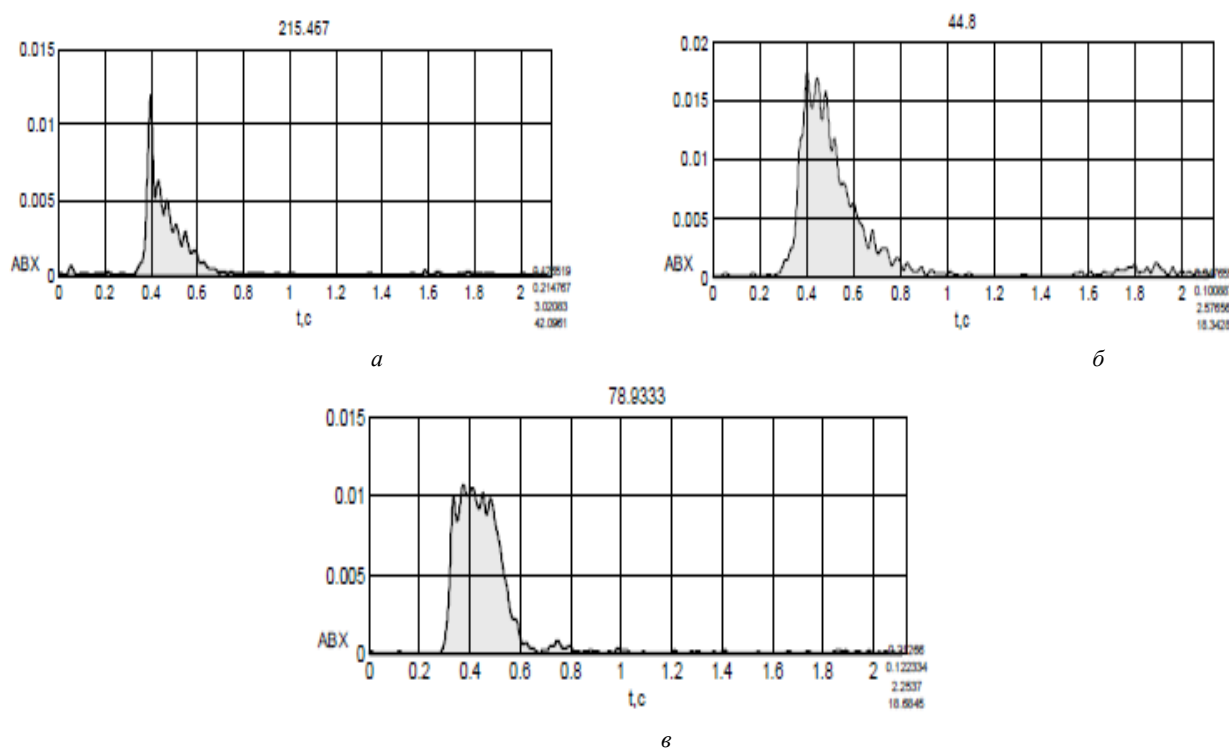


Рисунок 5 – Амплитудно-временная характеристика сигнала FM-станции, отраженного от:
а) – ненасыщенного метеорного следа; б) – метеорного следа промежуточного типа;
в) – насыщенного метеорного следа

Обсуждение

Главной задачей начального этапа систематических наблюдений метеоров в радиодиапазоне стало доказательство самого факта регистрации отражений сигналов от метеорных треков. Есть два пути её решения. Это сопоставление временной структуры отражённого сигнала с типичными отражениями от плазменных треков и изучение статистики появления сигналов и сравнение её со статистикой метеоров.

В этой связи усилия сосредоточились на изучении возможности регистрации радиосигналов, отражённых от ненасыщенных метеорных треков. Прерывистая структура такого сигнала объяснима с позиции интерференции отраженных волн. При этом весь трек представляют как совокупность зон Френеля. Такой подход учитывает и плавное размывание плазменного трека с характерным временем от десятых долей до целых секунд, вследствие чего интенсивность отраженного сигнала уменьшается по экспонен-

циальному закону. Профиль отражённого сигнала от ненасыщенного метеора, приведён на рисунке 6 [15, 19-21].

В отличие от сигнала, отражённого от насыщенного метеорного следа он имеет заострен-

ную форму, связанную с резким скачком энергии и быстрым экспоненциальным спадом. На рисунке 7 показан скриншот программы Multi Vir Analyzer, с сигналом отраженным от ненасыщенного метеорного трека.

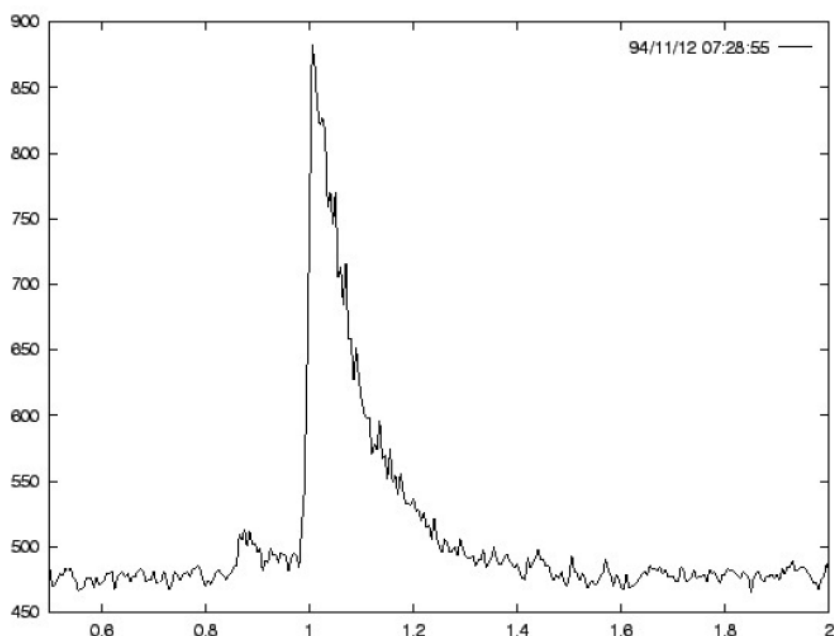


Рисунок 6 – Радиосигнал от ненасыщенного метеорного трека

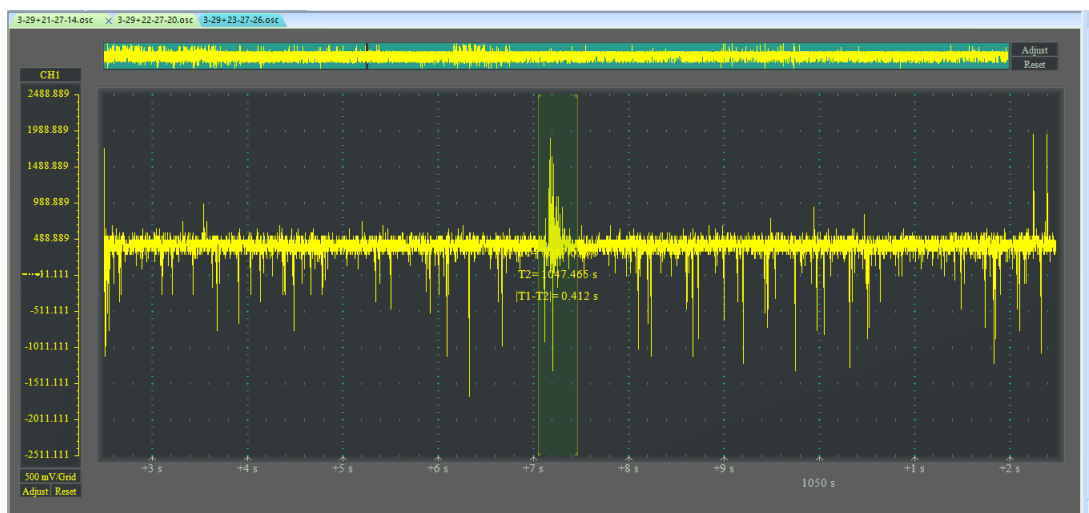


Рисунок 7 – Сигнал, отражённый от ненасыщенного метеорного трека, зафиксированный 29 марта 2019 года

На рисунке 8 представлен результат обработки этого сигнала программой Microsoft Office Excel. По амплитудным точкам проведена

аппроксимирующая экспонента, показывающая характер убывания энергии метеорного плазменного трека со временем.

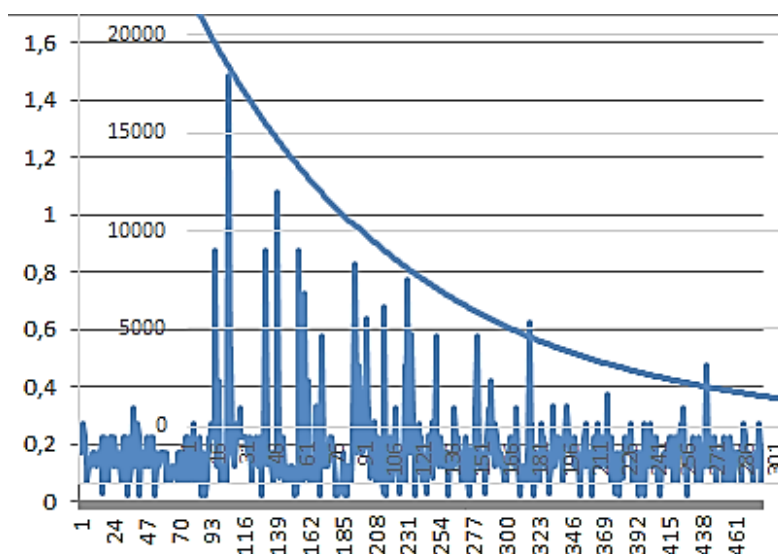


Рисунок 8 – Экспоненциальная аппроксимация развития отражённого сигнала.
По горизонтальной оси дано время в миллисекундах,
по вертикальной – условные отметки энергии сигнала

Непрерывные ряды наблюдений позволили изучать суточный ход частоты метеорных собы-

тий. Пример обработки такого рода данных приведён на рисунке 9 на дату 5 мая 2019 года.

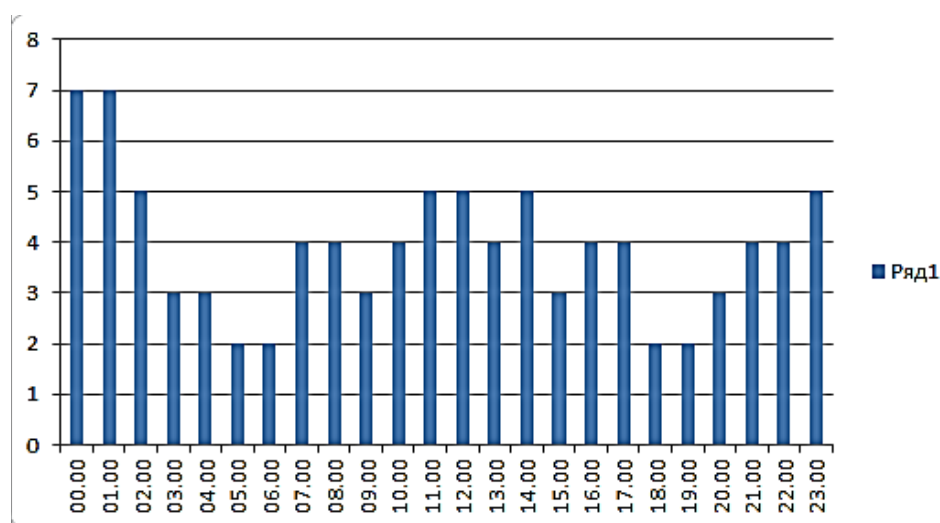


Рисунок 9 – Диаграмма суточного распределения метеорных тел за 5 мая

Диаграмма отражает количество метеорных событий (по вертикали) по времени (по горизонтали). Видно, что в период с 00.00 до 02.00 часов – наблюдался пик частоты метеоров, именуемый апексом. Он характерен тем, что метеорные тела летят навстречу Земле, загораясь на большой высоте. В период с 03.00 до 06.00 часов частота

идёт на спад, с 18.00 до 20.00 активность минимальна. Это соответствует появлению на небе догоняющих Землю метеоров и носит название антиапекса. Довольно высокую дневную метеорную активность можно объяснить действием метеорного потока η -Аквариды, максимум, которого ежегодно приходится на 6 мая.

Заключение

Поскольку приведённые в работе ситуации неоднократно воспроизведены в ходе длительного мониторинга отражённых радиосигналов, то самый факт их существования позволяет с высокой степенью уверенности утверждать, что в Обсерватории СКГУ создан комплекс аппаратуры, позволяющий регистрировать отраженные

от плазменных метеорных треков радиосигналы. Развитие этого комплекса предусматривает переход на использование направленных антенн, которые могут быть нацеливаемыми на радианты метеорных потоков. Кроме этого, в наших дальнейших планах предусмотрено проведение эксперимента по одновременной регистрации метеоров как в оптическом, так и в радио диапазонах.

Литература

- 1 Бабаджанов П.Б. Метеоры и их наблюдение. – М.: Наука, 1987. – 105 с.
- 2 Бронштэн В.А. Физика метеорных явлений. – М.: Наука, 1981. – 416 с.
- 3 Бронштэн В.А. Метеоры, метеориты, метеориды. – М.: Наука, 1987. – 398 с.
- 4 Rendtel J. and Arlt R. Handbook for Meteor Observers. – International Meteor Organization, Potsdam, 2015. – 138 p.
- 5 Harris A.W. and D’Abramo G. The population of near-Earth asteroids //Icarus. – 2015. – Vol. 257. – P.302–312.
- 6 Jenniskens P. and Niñon Q. CAMS verification of single-linked high-threshold D-criterion detected meteor showers //Icarus. – 2016. – Vol.266. – P.371–383.
- 7 Jenniskens P. and Niñon Q., Gural P.S., Albers J., Haberman B., Johnson B., Holman D., Morales R., Grigsby B.J., Samuels D. and Johannink C. CAMS confirmation of previously reported meteor showers //Icarus. – 2016. – Vol.266. – P.355–370.
- 8 Abedin A., Spurno P., Wiegert P., Pokorný P., Borovička J. and Brown P. On the age and formation mechanism of the core of the Quadrantid meteoroid stream //Icarus. – 2015. – Vol.261. – P.100–117.
- 9 Jenniskens P., Niñon Q., Gural P.S., Albers J., Haberman B., Johnson B., Morales R., Grigsby B.J., Samuels D. and Johannink C. CAMS newly detected meteor showers and the sporadic background //Icarus. – 2016. – Vol.266. – P.384–409.
- 10 Ott T., Drolshagen E., Koschny D. and Poppe B. PaDe – The particle detection program. In A. Roggemans and P. Roggemans, eds. //Proc. of the Int. Meteor Conf., Egmond, the Netherlands, International Meteor Organization. – 2016. – P.209–213.
- 11 Ortiz J.L., Madiedo J.M., Morales N., Santos-Sanz P. and Aceituno F.J. Lunar impact flashes from Geminids: analysis of luminous efficiencies and the flux of large meteoroids on Earth //Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. – 2015. – Vol.454. – P.344–352.
- 12 Korec M. QHY (5L-II-M) CCD camera for video meteor observation //In J. Rault.-L. and P. Roggemans, eds., Proc. of the Inter. Meteor Conference Mistelbach, Austria, 27-30 August 2015. IMO. – 2015. – P.85–89.
- 13 Солодовник А.А., Маугазина А.О. Опыт применения электронно-оптического преобразователя МПН – 8КМ в астрономических наблюдениях //Мат. междуна. научно-практической конф. «Эффективные инструменты современных наук 2016». – Чехия, Прага, 22-30 апреля 2016. – Praha Publ. House: Education and Science. – 2016. – С.33–38.
- 14 Солодовник А.А., Маугазина А.О. К вопросу об эффективности применения цифровых приёмников излучения к регистрации метеорных явлений //Мат. междуна. научно-практической конф. «Эффективные инструменты современных наук 2016». – Чехия, Прага, 22-30 апреля 2016. – Praha Publ. House: Education and Science. – 2016. – С.38–42.
- 15 Аскарова М.М., Сартин С.А., Терехин Н.С., Варкушина М.А. Применение имеющегося в центре Астрофизических исследований оборудования для наблюдения метеорных потоков //Вестник СКГУ им. М. Козыбаева. – 2019. – Т.11. – С.78–82.
- 16 Ueda M., Fujiwara Y. Television meteor radiant mapping //Earth, Moon, and Planets. – 1995. – Vol. 68. – P.585–603.
- 17 Ueda M., Nakamura T., Sugimoto M. and Tsutsumi M. Detection of three meteor streams by double-station TV observations in 1994 //WGN. – 1997. – Vol.25, No. 4. – P.165–181.
- 18 Molau S., Crivello S., Goncalves R., Saraiva C., Stomeo E. and Kac J. Results of the IMO VideoMeteor Network – January 2017 //WGN, Journal of the IMO. – 2017. – Vol.45 (3). – P.63–66.
- 19 Лебединец В.Н., Корпусков В.Н., Соснова А.К. Исследование метеорных потоков радиолокационным методом //Труды ИЭМ. – 1971. – № 24. – С.100–113.
- 20 Brown P. Recent shower outbursts detected by the Canadian Meteor Orbit Radar (CMOR). /In Roggemans A. and Roggemans P., eds. //Intern. Meteor Conf. Egmond, the Netherlands. – 2016. – P.42–45.
- 21 Janches D., Swarnalingam N., Plane J.M.C., Nesvorný D., Feng W., Vokrouhlický D. and Nicolls M.J. Radar detectability studies of slow and small zodiacal dust cloud particles: II. A study of three radars with different sensitivity //Astrophys. J. – 2015. – Vol.807 (1). – P.13.
- 22 Кашеев Б.Д., Лебединец В.Н. Радиолокационные исследования метеорных явлений. – М.: Изд-во Акад. наук СССР, 1961. – 124 с.
- 23 Kaiser T.R. Theory of the meteor height distribution obtained from radio 116echo observations, II. Sporadic meteors //Mon. Not. Roy. Astron. Soc. – 1954. – Vol. 114, №1. – P.52–62.
- 24 Kaiser T.R. The interpretation of radio echoes from meteor trails //Spec. Suppl. J. Atm. Terr. Phys. – 1955. – Vol.2. – P.55–56.
- 25 Okamoto S. Forward scatter meteor observations //Radio meteor observation Bulletin (electron version). – 1997–1998. – No.53.

- 26 Ollson-Steel D.I., Elford W.G. The height distribution of radio meteors observations at 2 MHz //J. Atmos. and Terr. Phys. – 1987. – Vol.49, No.3. – P.243-258.
 27 Southworth R.B. Spase density of radio meteors //Spec. Rept. Smithson. Astrophys.Obs. – 1967. – No.39. – P.75-97.
 28 Suzuki K. Strong Activity of 1995 Perseids Observed in Japan //WGN, Inter. Meteor Organization. – 1995. – Vol. 23, No.5. – P.180-182.

References

- 1 P.B. Babadzhanov, *Meteors and their observation*, (Moscow, Nauka, 1987), p.105. (in Russ).
- 2 V.A. Bronshten, *Physics of meteor phenomena*, (Moscow, Nauka, 1981), p.416. (in Russ).
- 3 V.A. Bronshten, *Meteors, meteorites, meteoroids*, (Moscow, Nauka, 1987), p.398. (in Russ).
- 4 J. Rendtel and R. Arlt. *Handbook for Meteor Observers*, (International Meteor Organization, Potsdam, 2015), p.138.
- 5 A.W. Harris and G. D’Abramo, *Icarus*, 257, 302-312 (2015).
- 6 P. Jenniskens and Q. Niñon, *Icarus*, 266, 371-383 (2016).
- 7 P. Jenniskens and Q. Niñon, P.S. Gural, J. Albers, B. Haberman, B. Johnson, D. Holman, R. Morales, B.J. Grigsby, D. Samuels and C. Johannink, *Icarus*, 266, 355-370 (2016).
- 8 Abedin, P. Spurno, et al, *Icarus*, 261, 100-117 (2015).
- 9 P. Jenniskens, Q. Niñon, et al, *Icarus*, 266, 384-409 (2016).
- 10 T. Ott, E. Drolshagen, D. Koschny and B. Poppe “PaDe – The particle detection program”. In A. Roggemans and P. Roggemans, eds, *Proc of the Int Meteor Conf, Egmond, the Netherlands, Inter Meteor Organization*, 209-213 (2016)
- 11 J.L. Ortiz, J.M. Madiedo, et al, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 454, 344-352 (2015).
- 12 M. Korec “QHY (5L-II-M) CCD camera for video meteor observation”. In J. Rault -L. and P. Roggemans, eds, *Proc of the Inter Meteor Conf Mistelbach, Austria, 27-30 August 2015. IMO*, 85-89 (2015).
- 13 A.A. Solodovnik and A. O. Maugazina Experience of using the MPN-8KM electron – optical Converter in astronomical observations, *Mat. of the Inter scientific and practical conf “Effective tools of modern Sciences 2016” Czech Republic, Prague, April 22-30 (2016)*, 33-38 (2016). (in Russ).
- 14 A.A. Solodovnik and A.O. Maugazina On the issue of the effectiveness of using digital radiation receivers for recording meteor phenomena, *Proc of the Inter scientific and practical conf “Effective tools of modern Sciences 2016” Czech Republic, Prague, April 22-30, 2016*, 38-42 (2016). (in Russ).
- 15 M.M. Askarova, S.A. Sartin, et al, *Bulletin of the NKSU named after M. Kozybaev*, 11, 78-82 (2019). (in Russ).
- 16 M. Ueda, Y. Fujiwara, *Earth, Moon, and Planets*, 68, 585-603 (1995).
- 17 M. Ueda, T. Nakamura, M. Sugimoto and M. Tsutsumi, *WGN*, 25 (4), 165-181 (1997).
- 18 S. Molau, S. Crivello, et al, *WGN, Journal of the IMO*, 45 (3), 63–66 (2017).
- 19 V.N. Lebedinets, V.N. Korpusov, A.K. Trudy IEM, 24, 100-113 (1971). (in Russ).
- 20 P. Brown Recent shower outbursts detected by the Canadian Meteor Orbit Radar (CMOR), In Roggemans A. and Roggemans P., eds, *Inter Meteor Conf Egmond, the Netherlands*, 42-45 (2016).
- 21 D. Janches, N. Swarnalingam, et al, *Astrophys. J.*, 807 (1), 13 (2015).
- 22 D. Kashcheev and V.N. Lebedinets *Radiolokatsionnyye issledovaniya meteornykh yavleniy*, (Moscow, Izd-vo Akad. nauk SSSR, 1961), p.124. (in Russ).
- 23 T.R. Kaiser, *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.*, 114 (1), 52-62 (1954).
- 24 T.R. Kaiser, *Spec. Suppl. J. Atm. Terr. Phys*, 2, 55-56 (1955).
- 25 S. Okamoto, *Radio meteor observation Bulletin (electron version)*, 53 (1997 – 1998).
- 26 Ollson-Steel, W.G. Elford, *J. Atmos. and Terr. Phys.*, 49 (3), 243-258 (1987).
- 27 R.B. Southworth, *Spec. Rept. Smithson. Astrophys. Obs.*, 239, 75-97 (1967).
- 28 K. Suzuki, *WGN, Inter. Meteor Organization*, 23 (5), 180-182 (1995).