

Б.М. Усеинов* , А.А. Солодовник , С.А. Сартин , Г.К. Нуракай 
Северо-Казахстанский университет им. М. Козыбаева, Казахстан, г. Петропавловск
*e-mail: buseinov@gmail.com

СУТОЧНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЧАСТОТЫ ПРОЛЕТА МЕТЕОРОВ ПО ДАННЫМ РАДИОНАБЛЮДЕНИЙ

В работе рассмотрена проблема изучения суточного распределения пролёта метеорных тел методом радионаблюдения. Рассмотрены преимущества выбранного метода регистрации перед классическим оптическим и фотографическим методами наблюдения. Получен объёмный ряд данных с применением реализованной на базе Центра астрофизических исследований при Северо-Казахстанском университете имени Манаша Козыбаева регистрационной установки. Проведена обработка, анализ и систематизация полученных данных о метеорных явлениях. Основываясь на полученных наблюдательных данных, на базе Центра астрофизических исследований при Северо-Казахстанском университете имени Манаша Козыбаева, с помощью программы Multi VirAnalyzer, а именно Date Recorder было рассчитано суточное распределение частоты пролёта метеоров. Также при помощи программного приложения Microsoft Excel были построены диаграммы суточного распределения частоты пролёта метеоров. В ходе анализа полученных диаграмм суточного распределения частоты пролёта метеоров были определены пиковые и среднесуточные значения метеорной активности. Основываясь на суточном распределении были построены диаграммы частоты пролёта метеоров за определенные месяцы в период которых активны метеорные потоки Персеиды и Леониды. Показана явная корреляция с результатами исследований других лабораторий аналогичного направления исследований.

Ключевые слова: метеор, метеорный поток, метеорная активность, анализ данных, суточное распределение, радионаблюдения.

Б.М. Усеинов*, А.А. Солодовник, С.А. Сартин, Г.К. Нуракай
Манаш Қозыбаев атындағы Солтүстік Қазақстан университеті, Қазақстан, Петропавл қ.
*e-mail: buseinov@gmail.com

Радиобақылаулар деректері бойынша метеорлардың ұшып өту жиілігінің тәуліктік таралуы

Бұл жұмыста метеорологиялық денелер аралығының тәуліктік таралуын радио бақылау әдісімен зерттеу мәселесі қарастырылған. Таңдалған тіркеу әдісінің классикалық оптикалық және фотографиялық бақылау әдістеріне қарағанда артықшылықтары қарастырылады. Манаш Қозыбаев атындағы Солтүстік Қазақстан Университеті жанындағы астрофизикалық зерттеулер орталығы базасында іске асырылған тіркеу қондырғысын қолдана отырып, деректердің көлемді қатары алынды. Метеорлық құбылыстар туралы алынған деректерді өңдеу, талдау және жүйелеу жүргізілді. Алынған бақылау деректеріне сүйене отырып, Манаш Қозыбаев атындағы Солтүстік Қазақстан Университеті жанындағы астрофизикалық зерттеулер орталығының базасында Multi VirAnalyzer бағдарламасының, яғни Date Recorder қосымша-бағдарлама көмегімен метеориттердің ұшу жиілігінің тәуліктік таралуы есептелді. Сондай-ақ, Microsoft Excel бағдарламалық қосымшасының көмегімен метеориттердің ұшу жиілігін күнделіктік таралуы диаграммалары жасалды. Метеорлар аралығының тәуліктік таралуының алынған диаграммаларын талдау барысында метеорлық белсенділіктің ең жоғары және орташа тәуліктік құндылықтары анықталды. Күнделікті үлестіруге сүйене отырып, белгілі бір айларда метеорлардың ұшу жиілігінің диаграммалары жасалды және оның барысында Персеидтер мен Леонидтердің метеорлық ағындары белсенді болатыны байқалды. Ұқсас зерттеу бағытындағы басқа зертханалардың зерттеу нәтижелерімен нақты корреляция көрсетілген.

Түйін сөздер: метеор, метеор ағыны, метеорлық белсенділік, деректерді талдау, тәуліктік бөлу, радио бақылау.

B.M. Useinov*, A.A. Solodovnik, S.A. Sartin, G.K. Nurakay
Manash Kozybaev North Kazakhstan University, Kazakhstan, Petropavlovsk
*e-mail: buseinov@gm ail.com

Daily distribution of meteor flight frequency according to radio observations

The paper considers the problem of studying the daily distribution of the passage of meteoroids by radio observation. The advantages of the chosen method of registration over the classical optical and photographic methods of observation are considered. A voluminous series of data was obtained using a registration facility implemented on the basis of the Center for Astrophysical Research at the North Kazakhstan University named after Manash Kozybayev. Processing, analysis and systematization of the obtained data on meteor phenomena have been carried out. Based on the obtained observational data, on the basis of the Center for Astrophysical Research at the North Kazakhstan University named after Manash Kozybayev, using the Multi VirAnalyzer program, namely the Date Recorder, the daily distribution of the meteor flight frequency was calculated. Also, with the help of the Microsoft Excel software application, diagrams of the daily distribution of the meteor passage frequency were constructed. During the analysis of the obtained diagrams of the daily distribution of the meteor passage frequency, the peak and average daily values of meteor activity were determined. Based on the daily distribution, diagrams of the frequency of meteor passages were constructed for certain months during which the Perseid and Leonid meteor showers are active. A clear correlation with the results of studies of other laboratories of a similar line of research is shown.

Keywords: meteor, meteor showers, daily distribution, meteor activity, data analysis, radio surveillance.

Введение

Исследования распределения метеорного вещества в окрестностях Земли и связанных с ними метеорных явлений имеют большое прикладное значение. Кроме того метеоры – это естественные зонды, способствующие изучению направления ветров и определению других параметров атмосферы на высоте от 50 до 120 км. Ионизируя атмосферу, ночью метеоры создают тонкий и плотный слой в ионосфере еще его называют спорадическим слоем Es в ионосфере Земли [1-4]. Эти ионосферные неоднородности, которые создаются метеорами, используются в радиосвязи для передачи сигналов на сверхдальние расстояния. Научное значение метеорных потоков заключается в том, что, благодаря им есть возможность изучить кометное вещество, хоть и в малом количестве. Проведение исследований химического состава метеороидов способствует решению задач, связанных с происхождением Солнечной системы.

Наряду с одиночными метеорами в течение года отмечаются метеорные потоки как совокупность метеоров, порождённых вторжением в атмосферу Земли роя метеоритных тел. Основной механизм образования метеороидного роя связывают выбросом частиц из кометного ядра силой давления газов при их сублимации.

Метеорное вещество рассредоточено приблизительно равномерно вдоль всей орбиты кометного ядра, образуя своего рода тороид,

обращающийся вокруг Солнца. Типичным примером такого рода метеорного потока являются Персеиды. Большинство метеорных потоков имеют сходную структуру.

Пространственная плотность метеорного вещества в потоках выше, чем средняя плотность спорадических метеоров. Однако даже в таких обильных потоках, как Персеиды или Геминиды, одна частица, дающая метеор, видимый невооружённым глазом, приходится в среднем на кубический объём пространства с ребром в 100 – 120 км. И только для наиболее плотных участков метеорных потоков первой группы, порождающих метеорные дожди взаимное расстояние между подобного рода частицами снижается до 30 и даже до 15 км, как это имело место во время звёздных дождей Леонид в 1833, 1866 и 1966 годов [5-7].

Мерой пространственной плотности распределения метеороидов является динамика суточного числа метеорных явлений, определяемая с учетом изменения условий столкновения этих частиц с нашей планетой. Наиболее реальным способом получения такой информации является проведение радионаблюдений метеорной активности. Исследования такого рода практикуются в Центре Астрофизических Исследований СКУ. В нашей работе мы ставили целью работы обработку данных таких наблюдений.

Метод исследования

Явлением возникновения метеорного следа является процесс сгорания в верхних слоях атмосферы Земли метеорных тел. В результате сгорания вокруг метеорного тела образуется полоса газа, которая называется ионизированным следом. Такой след в длину имеет размеры, достигающие нескольких километров, а в ширину – нескольких метров [8].

Под влиянием внешних факторов атмосферы, таких как диффузия и ветер, происходит разрушение метеорного следа, вследствие чего происходит быстрый спад уровня сигнала. При достаточной величине радиосвязи метеорный след используется для исследований, проводимых в радиодиапазоне. У данного метода исследования есть ряд преимуществ по сравнению с оптическими методами: радионаблюдения почти не зависят от погоды, они могут производиться даже сквозь облака и в

дневное время, когда следа не видно из-за солнечного света [9-10]. След метеора пропадает спустя пару секунд, а иногда и доли секунд с момента появления. Вследствие, как уровень сигнала, что идет на приемник, будет ниже предельного значения, через управляющее устройство выключится манипулятор.

Скорость потока данных из накопительного прибора на выход в районе одного слова за секунду, при всем этом данная величина является константой. Во время возникновения всплеск скорости потока данных будет двадцать два слова за секунду, но при этом можно добиться средней скорости, она так же не будет обусловлена переменяющей связью и ее значение варьируется около значения обычной скорости потока [11-14].

На рисунке 1 представлены временные характеристики радиоволн, отраженных от метеорного следа. Уровень отраженного сигнала изменяется во времени, как это показано на рисунке 1.

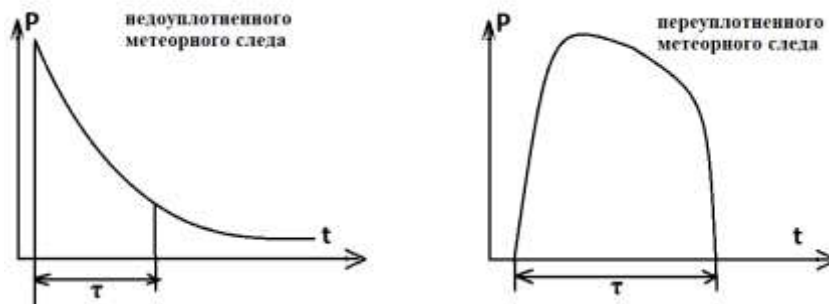


Рисунок 1 – Временные характеристики радиоволн, отраженных от метеорного следа

Метеорные следы подвергаются воздействию ионосферных ветров, которые изменяют их положение и форму. В результате наблюдаются многократные отражения, приводящие к сильной флуктуации уровня принимаемого сигнала, показанного на рисунке 2 [15].

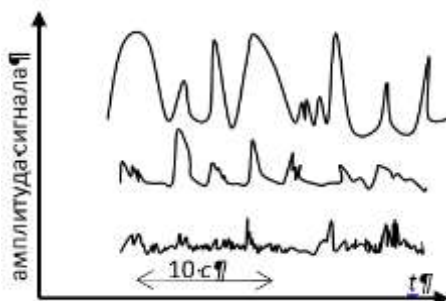


Рисунок 2 – Временные характеристики радиоволн, отраженных от метеорного следа

Любой вид радиолинии метеорного отображения между собой связывают определенные характерные черты. К примеру, имеется вероятность реализации деятельности

радиолиний выполнимо в области непосредственной фикции метеорного покрова от передающего также принимаемого края радиолинии; длина такого рода радиолинии доходит 2200 километров. Нужно сосредоточить интерес на том что в данном способе не нужно присутствие непростых антенн либо приборов также использовать передатчики значительной силы с целью данного эксперимента мощности во 0,5 – 2 кВт станет достаточным. Таким образом в функционировании радиолиний допустимо применение волны так именуемого метрового диапазона частота каковых колеблется во границах 30 – 80 МГц также у них невысок степень нарушений. Согласно радиолиниям метеорного отображения, правильнее в целом транслировать узкополосные сигналы, фактором этому стали возникновение некоторых искажений в период передачи широкополосного сигнала. Подчеркнем то что при этом появляется потребность в непростой технике, что сумеет

гарантировать передачу уведомлений в период появления метеорного следа [16].

Приемлемым диапазоном частот, используемых в радионаблюдениях, для налаживания связи считается предел от 85 до 115 МГц. Практическая же протяженность радиосвязи изменяется в пределах до 2200 км. Исходя из этой совокупности факторов, метеорное радионаблюдение способствует созданию более эффективного и экономного канала радиосвязи для большого круга применений.

В центре астрономических исследований собрана установка для проведения регистрации метеорных наблюдений. Которая представляет собой дипольную антенну длиной 12 метров, установленную с ориентированным направлением на север и на юг. Сигнал получаемый антенной с выхода приемника попадал на звуковую карту компьютера непрерывно обрабатывающий и анализирующий поток звука, способствующий нахождению метеорного сигнала. После чего данные записи были обработаны при помощи программ Multi VirAnalyzer и Microsoft Office Excel [17-18].

Результаты и обсуждение

При помощи программы Microsoft Office Excel были построены диаграммы метеорных следов. На рисунках 3-4 представлены метеорные следы, обработанные в программе Microsoft Office Excel.

На диаграммах, полученных в ходе обработки, при помощи программы Microsoft Office Excel, можно увидеть спад вольтажа (данные которых представлены по оси ординат) с течением времени, сопровождающийся импульсами метеора небольшой длительностью. Импульсный спад метеорного сигнала имеет более гибкую и углубленную форму, похожую на яму. Характерное быстрое изменение формы импульса, полученного от метеорного следа, за небольшой промежуток времени влияет на величину площади, которая в этом случае не будет достигать больших значений. То есть по характеру изменения импульса сигнала метеоры зарегистрированные в эти числа можно отнести к метеорам 2 типа.

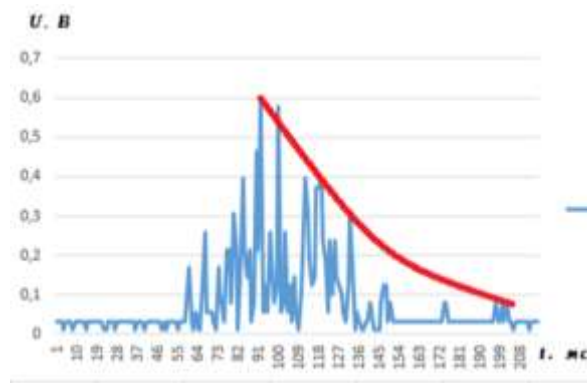


Рисунок 3 – Импульс метеора, зафиксированного 18.08.19 в 16:24

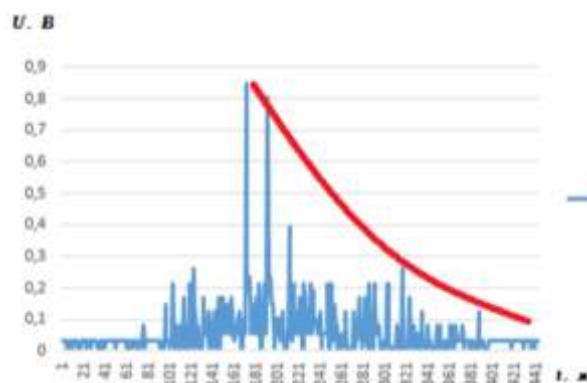


Рисунок 4 – Импульс метеора, зафиксированного 02.08.2019

Кроме классификации метеоров немаловажную роль играет их суточное распределение. Частоту появления метеоров можно отнести к достаточно подробно изученному вопросу метеорной астрономии. На основе радиолокационных наблюдений выявлено, что число метеоров, которые регистрируются за час, изменяется в течение суток. По полученным, выше описанным методом, данным изучили характер суточного распределения частоты пролета метеоров за август 2019 года и ноябрь 2020 года. Результаты обработанных записей за август месяц в виде диаграммы представлены на рисунке 5.

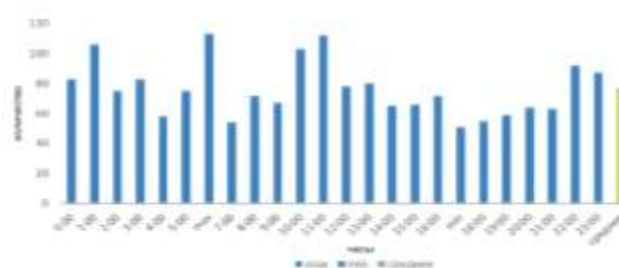


Рисунок 5 – Максимум метеорной активности 13 августа 2019 года

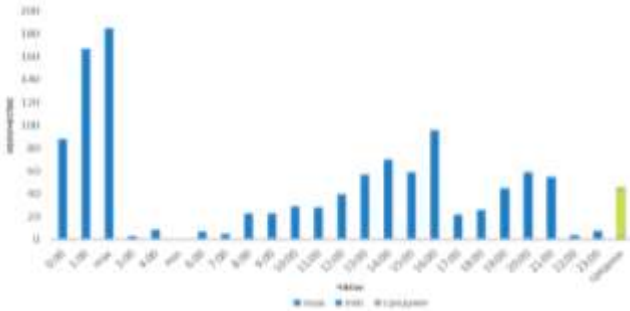


Рисунок 6 – Максимум метеорной активности 14 августа 2019 года

На рисунке 6 показан резкий спад активности метеора 14 августа после достижения пикового значения активности метеоров 13 августа. Результаты обработанных записей за август месяц в виде диаграммы представлены на рисунке 7.

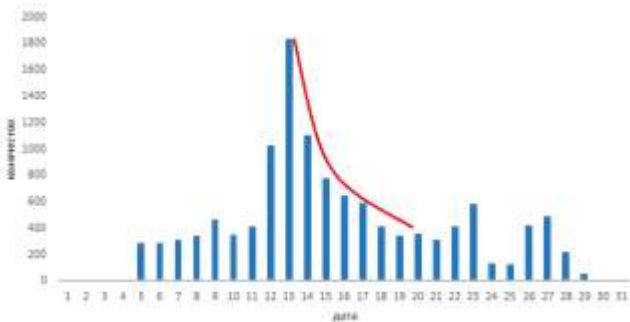


Рисунок 7 – Суточное распределение метеоров за август 2019 года

В период с 17 июля по 24 августа активен метеорный поток «Персеиды» следует отметить что максимум его приходится на 12,13 или же 14 числа августа [19-22]. В ходе обработки данных и анализа диаграмм было замечено, что по ходу приближения к пику активности потока число метеоров возросло и в 2019 году максимум активности зарегистрировали 13 августа что подтверждает диаграмма, представленная на рисунке 12. После достижения максимума активности число метеоров резко уменьшилось и минимум наблюдался 29 августа. Максимальное количество метеоров в сутки в период наблюдений составил 1833 метеора, а минимальное – 60 метеоров в сутки.

Кроме обработки данных за август были проанализированы данные полученные в ноябре 2020 года. Наблюдения велись с 10 по 30 ноября включительно. Результаты обработки и анализа данных представлены в виде диаграмм на рисунках 8, 9, 10 и 11.

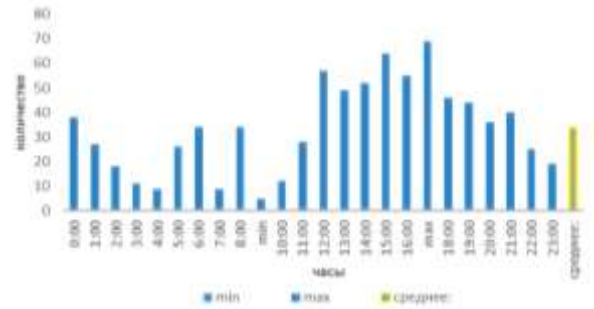


Рисунок 8 – Суточное распределение метеоров за 12 ноября

Максимум метеорной активности в ноябре 2020 года приходился на 18 ноября. Суточное распределение метеоров за данный период представлен в виде диаграммы на рисунке 10.

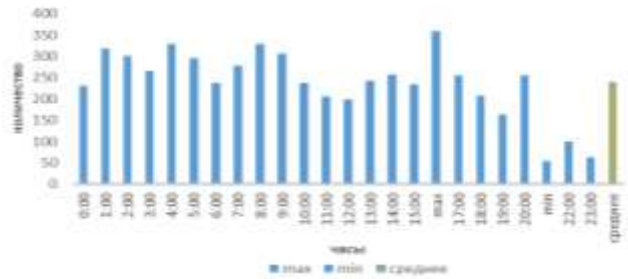


Рисунок 9 – Суточное распределение метеоров за 18.11.2020

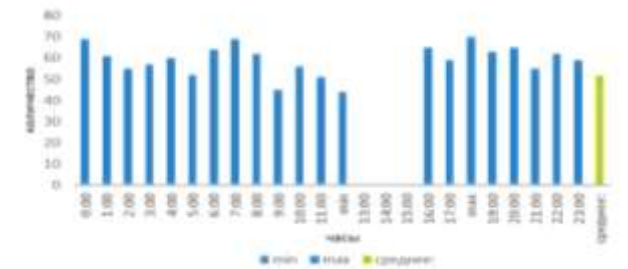


Рисунок 10 – Суточное распределение метеоров за 27 ноября

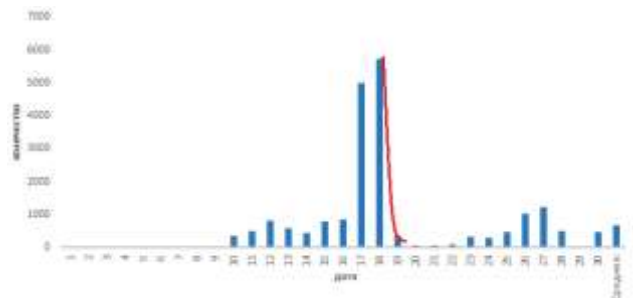


Рисунок 11 – Суточное распределение метеоров за ноябрь 2020 года

Входе анализа полученных данных были построены диаграммы на которых выделили среднее суточное количество метеоров оранжевым цветом соответственно [23-25].

Заключение

На диаграммах суточного распределения за август 2019 и ноябрь 2020 наблюдается резкий спад метеорной активности после достижения пикового значения. В период наблюдений в ноябре месяце с 14 по 21 ноября активен метеорный поток Леониды максимум которого, как показывают наблюдения обычно приходится на 17 или 18 ноября. Количество метеоров в момент максимума активности 18 ноября составило 358 метеоров в час, минимального значения активность достигла в 21:00 и количество составило 54 метеора в час. Общее количество метеоров за сутки составило 5718 метеоров. Стоит отметить, что данные изменения метеорной активности связаны с активностью не только спорадических метеоров, но и активностью метеорных потоков, и данное доказательство видно на диаграммах суточного распределения метеорной активности за месяца

август и ноябрь. Так как в августе активен высоко-интенсивный метеорный поток Персеиды в ноябре – Леониды и средне-интенсивный метеорный поток Тауриды, а максимумы их приходится на даты с высокими показателями активности 13 августа и 18 ноября отсюда следует вывод что в данные промежутки времени и даты возможно наладить эффективную радиосвязь основываясь на метод радиосвязи.

Подводя итоги, следует отметить, что метод радионаблюдения является одним из наиболее эффективных методов изучения метеорной активности, а именно суточного распределения метеоров так, как данному методу не нужны особые условия для получения данных о метеорной активности. А суточное распределение частоты пролетов метеоров несет в себе огромную информацию об околоземном пространстве так же как и сами метеоры несут в себе информацию о космических телах от которых они произошли. Из этого всего следует, что изучение метеорной активности несет в себе большую теоретическую и практическую значимость на равне с другими современными проблемными темами исследований.

Литература

- 1 Рыхлова Л.В., Левкина П.А. Околоземная астрономия: новые задачи и новые проблемы// *Астрономический журнал*. – 2018. – Том 95, № 85. – С. 7-14.
- 2 Морозова Т.И., Попель С.И. К вопросу о плазменно-пылевых процессах, сопровождающих метеорные потоки // *Физика плазмы*. – 2020. – Том 46, № 11. – С. 993-1006
- 3 Шалимов С. Козловский А. О режимах диффузионного расплывания ионизованных метеорных следов. // *Физика плазмы*. – 2019. – Том 45, № 10. – С. 922-926
- 4 Baggaley W.J. The effect of meteoric ion processes on radio studies of meteoroids // *Moiu Not. Roy. Astrmriu Soc.* . – 1972. – Том 159, № 2. – С. 203-217.
- 5 Musatenko S.I., Musatenko Yu.S., Kurochka E.V., Lastochkin A.V., Cholij V.Ya., Maksimenko O.I., Slipchenko A.S. Dusty plasma in the midlatitude ionosphere during meteor showers // *Geomagnetism and Aeronomy*. – 2006. – Т. 46, № 2. – С. 173-182.
- 6 Сидоров А.В., Орехов А.О. Рассеяние радиоволн на насыщенных метеорных следах// *Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук*. – 2013. – С. 1-5
- 7 Воронин С.В., Дорошенко В.И., Ксенофонтов Ю.Г. Радиолинии метеорной связи в телекоммуникационной сети северного морского пути // *Труды учебных заведений связи*. – 2019. – Том 5, № 3. – С. 13-18.
- 8 Артемьев И.А. Будни радиолокации. – М.: Детгиз, 2013. – 286 с.
- 9 Сартин С.А., Солодовник А.А., Усеинов Б.М., Жукешов А.М., А.У. Амренова А.У. Опыт регистрации отражения радиосигналов от плазменных метеорных треков в обсерватории СКГУ// *Вестник. Серия Физическая (ВКФ)* . – 2020. – Том 72, № 1. – С. 49-57
- 10 Kaiser T. R. Radio echo studies of meteoric ionization // *Advances in Physics*. – 1959. – , Том 2, № 8. – С. 495-544.
- 11 Manning L.A. The strength of meteoric echoes from dense columns // *J. Atm. Terr. Физика*. – 1953. Том 4. – С. 219-225.
- 12 Белоцерковский Г.Б. Основы радиолокации и радиолокационные устройства. – М.: Советское радио, 1975. – 332 с.
- 13 Куликовский П.Г. Справочник любителя астрономии. – М: Наука, 1971. – 633 с.
- 14 Антипов И.Е., Коваль Ю.А., Сапрыкин А.В. Метеорный прием сигналов удаленных телецентров в условиях местных помех // *Радиотехника*. – 2006. – № 2. – С. 4-8.
- 15 Елизаветин И.В. Теория радиолокационной космической съемки и обработки радиолокационных снимков. – Самара: Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, 2012. – 83 с.

- 16 Диапазон частот и радиоволн <https://www.radartutorial.eu/07.waves/wa04.ru.html>
- 17 Кулаков А.Л., Стулов В.П. Определение параметров метеорных тел по данным наблюдений // *Астрономический вестник*. – 1992. – №5, Т. 26. – С. 67-75.
- 18 Сартин С.А., Варкушина М.А., Аскарова М.М., Терехин Н.С. Применение имеющейся в центре астрофизических исследований оборудования для наблюдений за метеорными дождями // *Вестник Северо-Казахстанского университета им. М. Козыбаева*. – 2018. – Том 41, № 4. – С. 78-81.
- 19 Roggemans P. August 2019 report CAMS BeNeLux. – 2019. – Vol. 4 (5) . – P. 273-275.
- 20 Verbelen F. Radio meteors August 2019 // *MeteorNews*. – 2019. – Том 4, № 5. – С. 296-303.
- 21 Pajer U., Rendtel J., Gyssens M., and Verbeeck C. // *Proc. of the International Meteor Conference*. – Bollmannsruh, 03-06 October, 2019. – P. 168-170.
- 22 Miskotte K., and Vandeputte M., Perseids 2019: another peak in activity around solar longitude 141.0? // *MeteorNew*. – 2021. – Vol 5, (1). – P. 25-30.
- 23 Федоров Р.Р., Бернгардт О.И. Мониторинговые наблюдения метеорного эха на радаре ЕКВ ИСЗФ СО РАН: алгоритмы, валидация, статистика. // *Солнечно-земная физика*. – 2021. – Т.7, № 1. – С. 59–73.
- 24 Verbelen F. Radio meteors November 2020 // *MeteorNews*. – 2021. – Том 6, № 1. – С. 73-81.
- 25 Филоненко А.Д. Радиоизлучение метеорных тел в диапазоне сверхнизких частот. // *Астрономический вестник. Исследования солнечной системы*. – 2020. – Т. 54. № 5. – С.442-448.

References

- 1 L.V. Rykhlova, and P.A. Levkina, *Astronomical Journal*, 95 (85), 7-14 (2018). (in Russ).
- 2 T.I. Morozova, and S.I. Popel' *Plasma Physics*, 46 (11), 993-1006 (2020). (in Russ).
- 3 S. Shalimov and A. Kozlovsky *Plasma Physics*, 45, (10), 922-926 (2019). (in Russ).
- 4 W.J. Baggaley, *Moiu Not. Roy. Astrmiiu Soc*, 159, 203-217 (1972).
- 5 S.I. Musatenko, Yu.S. Musatenko, E.V. Kurochka, A.V. Lastochkin, V.Ya. Cholij, O.I. Maksimenko, and A.S. Slipchenko, *Geomagnetism and Aeronomy*, 46 (2), 173-182 (2006).
- 6 A.V. Sidorov, and A.O. Orekhov, *Actual problems of the humanities and natural sciences*, 1-5 (2013). (in Russ).
- 7 S.V. Voronin, V.I. Doroshenko, and Yu.G. Ksenofontov, *Proceedings of educational institutions of communication*, 5, 13-18 (2019). (in Russ).
- 8 I.A. Artemyev *Everyday life of radar*, (Moscow: Izd-vo Detgiz, 2013), 286 p. (in Russ).
- 9 S.A. Sartin, A.A. Solodovnik, B.M. Useinov, A.M. Zhukeshov, and A.U. Amrenova, *Rec.Contr.Phys.*, 1 (72), 49-57 (2020). (in Russ).
- 10 T.R. Kaiser, *Advances in Physics*, 2 (8), 495-544 (1959).
- 11 L.A. Manning, *J. Atm. Terr., Physics*, 4, 219-225 (1953).
- 12 G.B. Belotserkovsky, *Fundamentals of radar and radar devices*, (Moscow, Izd-vo Soviet Radio, 1975) 332 p. (in Russ).
- 13 P.G. Kulikovskiy *Spravochnik lyubitelya astronomii*, (Moscow, Nauka, 1971), 633 s. (in Russ).
- 14 I.E. Antipov, Yu.A. Koval, and A.V. Saprykin *Radiotekhnika*, 2, 4-8 (2006). (in Russ).
- 15 I.V. Elizavetin, *Theory of radar satellite imagery and processing of radar images* (Samara: Izd-vo VSUTI, 2012) 83 p. (in Russ).
- 16 Frequency range and radio waves <https://www.radartutorial.eu/07.waves/wa04.ru.html> (in Russ).
- 17 A.L. Kulakov, and V.P. Stulov *Astronomical Bulletin*, 26 (5), 67-75 (1992). (in Russ).
- 18 S.A. Sartin, M.A. Varkushina, M.M. Askarova, and N.S. Terekhin, *Bulletin of the North Kazakhstan University named after M. Kozymbayev*, 41 (4), 78-81 (2018). (in Russ).
- 19 P. Roggemans August 2019 report CAMS BeNeLux, 4 (5), 273-275 (2019).
- 20 F. Verbelen, *MeteorNews*, 4 (5), 296-303 (2019).
- 21 U. Pajer, J. Rendtel, M. Gyssens, and C. Verbeeck, *Proc. of the International Meteor Conference*, (Bollmannsruh, 03-06 October, 2019) p. 168-170.
- 22 K. Miskotte, and M. Vandeputte, *MeteorNew*, 5, (1), 25-30 (2021).
- 23 R.R. Fedorov, and O.I. Berngardt, *Solnechno-zemnaya fizika*, 7, (1) (2021). (in Russ).
- 24 F. Verbelen, *MeteorNew*, 6, (1), 73-81 (2021).
- 25 A.D. Filonenko, *Solar System Research*, 54, (5), 442-448 (2020). (in Russ).