

**Радиомониторинг ближнего космоса метеорным радаром КФУ на примере крупного болида, наблюдавшегося 17 ноября 2021г.**

О.Н. Шерстюков<sup>1</sup>, Д.В.Коротышкин<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Казанский Федеральный (Поволжский) Университет  
420008, г.Казань, ул. Кремлевская, 18.  
E-mail: [dmitry-kor@mail.ru](mailto:dmitry-kor@mail.ru)

*Представлены основные характеристики метеорного радара КФУ после модернизации аппаратной и программной частей радиометеорного комплекса. Использование данного комплекса позволяет регистрировать в том числе незеркальные метеорные следы, а также отражения типа «головное радиоэхо». С применением данного комплекса удалось зарегистрировать яркий болид, замеченный очевидцами в Республике Татарстан и Республике Марий Эл 17 ноября 2021 года. Также определены его скорость, траектория и радиант. Ключевые слова: метеорный радар, болид*

**Radio monitoring of the near space using the meteor radar of Kazan Federal University, based on the example of a large fireball observed on November 17th, 2021.**

O.N. Sherstyukov<sup>1</sup>, D.V. Korotyshkin<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Kazan Federal University

*The main characteristics of the KFU meteor radar after the modernization of the hardware and software parts were presented. The use of this device makes it possible to register, among other things, non-specular meteor trails, as well as “head echo”. Using a meteor radar, it was possible to register a bright fireball, seen by eyewitnesses in the Republic of Tatarstan and the Republic of Mari El on November 17, 2021. Its speed, trajectory and radiant are also determined. Keywords: meteor radar, fireball*

**Введение**

В настоящее время активно разрабатываются современные радиолокационные комплексы для дистанционного мониторинга атмосферы и гидросферы. Широкое распространение в области мониторинга верхней мезосферы – нижней термосферы (80-110 км) получили как единичные метеорные радары, так и целые сети радаров, позволяющие осуществлять целый комплекс исследований как в области динамики атмосферы (скорость ветра и температура), так и решать ряд астрономических задач.

**Метеорный радар КФУ**

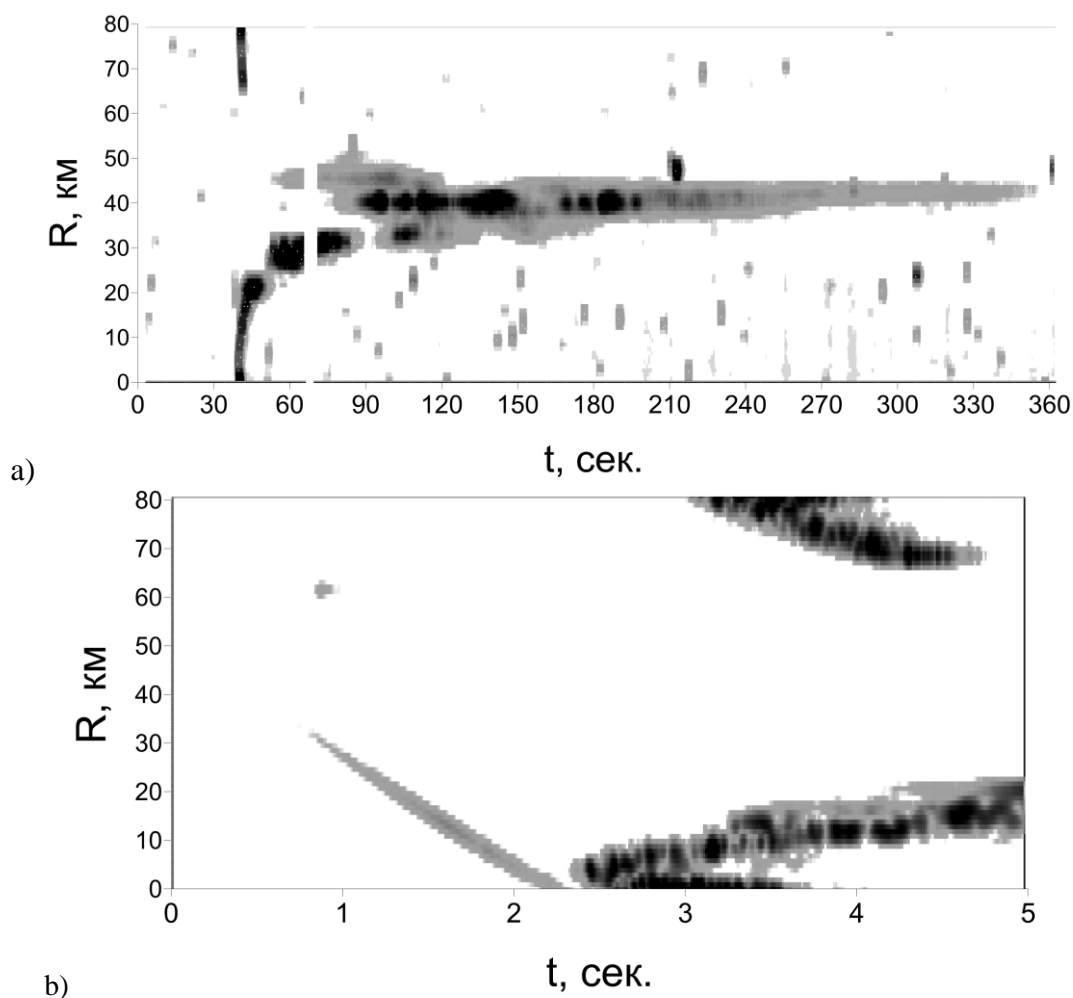
В КФУ метеорные исследования проводятся более 50 лет. В разное время функционировали метеорные комплексы различных модификаций. В 2015 году в пос. Ореховка (56°N, 49°E) в 20 км от г. Казани был установлен метеорный комплекс типа Skiymet [1, 2]. Технические характеристики данного комплекса до и после модернизации аппаратного и программного обеспечения представлены в таблице 1.

На основе радиомониторинга формируются ряды скоростей ветра для высот 80-110 км с шагом 1 час и менее. С помощью данных рядов решаются задачи исследования динамики средней атмосферы: выявление осцилляций в полях скоростей ветра с характерными временными масштабами, исследование изменчивости параметров этих колебаний с высотой и временем.

**Таблица 1. Технические характеристики метеорного радара КФУ**

Характеристика	2015-2018 гг.	2018-2023+ гг.
Несущая частота	29.75 МГц	29.75 МГц
Мощность передатчика (пик./средн.)	15кВт/560Вт	15кВт/560Вт
Длительность импульса	60 или 24мкс	24мкс
Частота повторения импульсов	900-1594 Гц	1594 Гц
Количество приемных антенн	5 шт	12 шт
Размеры антенного поля	45x45 метров	220x170 метров
Точность угловых координат	$\sim 0.7^\circ$	$\sim 0.2^\circ$
Среднее число регистраций в сутки	10000	40000

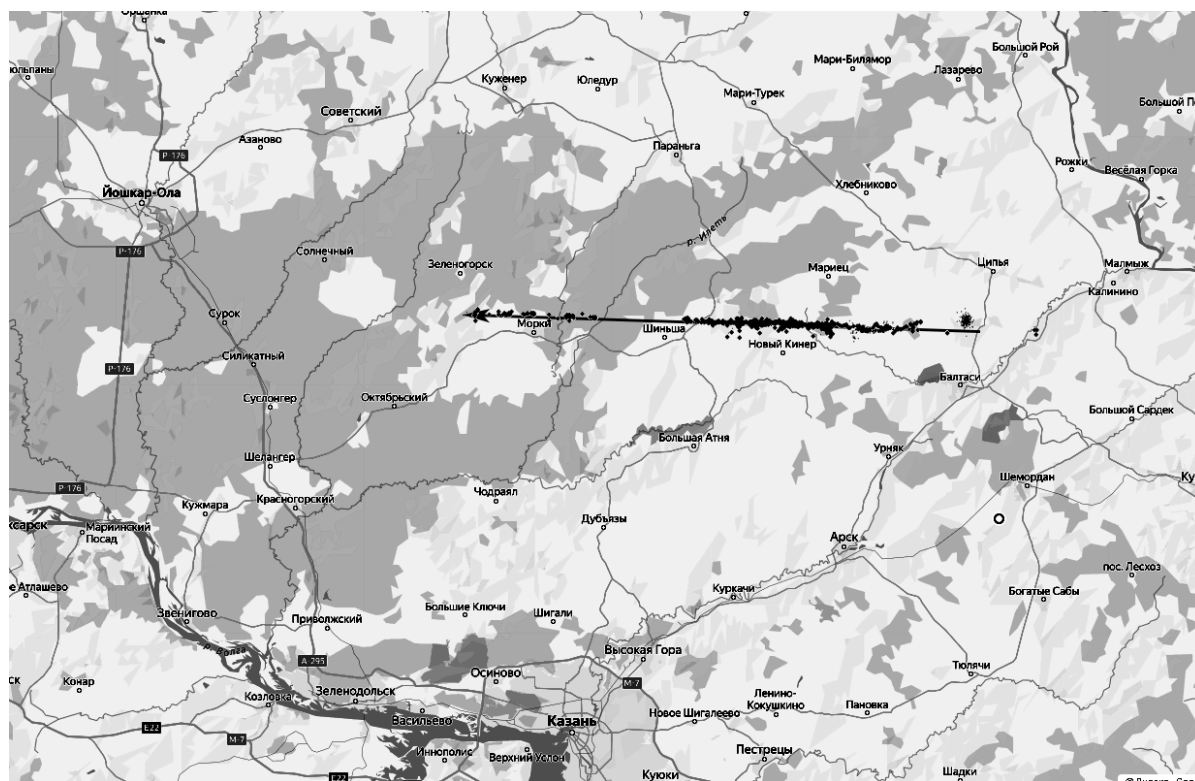
Кроме того, метеорные радары позволяют решать ряд астрономических задач: исследование притока метеорного вещества в атмосферу Земли, изучение временной динамики метеорных потоков, а также выявление их радиантов и орбит с целью отождествления с каким либо родительским телом.



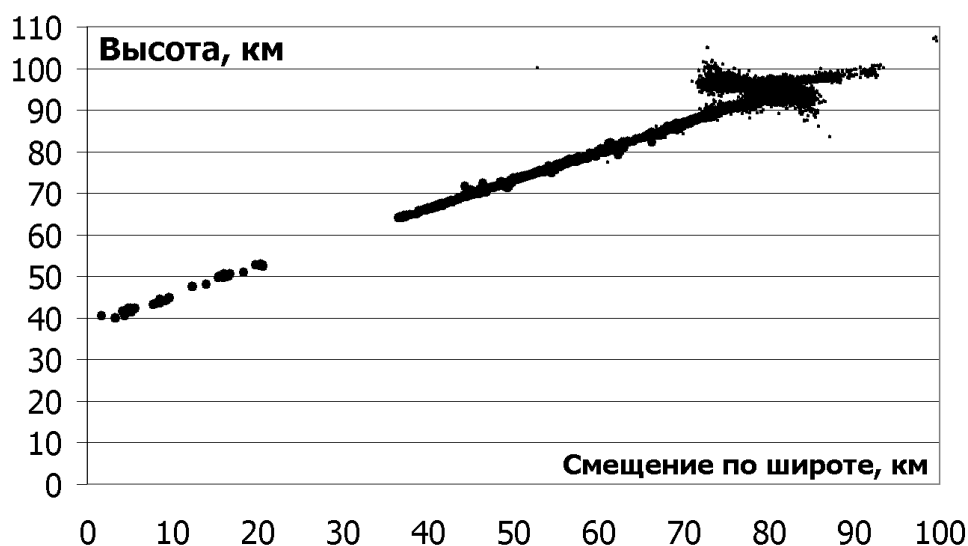
**Рис. 1. Отклик метеорного радара в момент регистрации болида: а) распределение интенсивности отклика в зависимости от времени и задержки (дальности) 17 ноября 2021 года в 19:33 (360 секунда), б) то же, что и на рис. а), но за первые 5 секунд.**

Из таблицы 1 видим, что по результатам модернизации существенно улучшилась точность угловых координат метеорных радиоотражений, а также увеличилась

статистическая обеспеченность (за счет увеличения количества регистраций в результате перехода к низким отношениям сигнал/шум).



**Рис. 2. Траектория перемещения болида по результатам регистрации на метеорном радаре КФУ. Точки – отклики метеорного радара, прямая линия – аппроксимация траектории.**



**Рис. 3. Проекция траектории болида в плоскости «широта-высота».**

### **Регистрация яркого болида 17 ноября 2021 года**

В 19:33 17 ноября 2021 года в атмосфере Земли сгорел яркий болид, замеченный многими очевидцами в Татарстане, Марий Эл, а также в Чувашии и Удмуртии. Одновременно с визуальными наблюдениями, данный объект был зафиксирован на метеорном радаре КФУ. Распределения откликов радиоимпульсов представлены на

рис. 1 (а, б). Из рис. 1, а также на основе выполненных расчетов траектории перемещения болида, можно восстановить хронологию событий. В 19:33 болид обнаружился в точке с координатами XYZ (99.5км,63.4км,107км) относительно расположения радара (рис. 2, рис. 3). Причем отражения шли не от классического метеорного следа, а от ударной волны, образованной болидом (так называемое головное эхо). Это можно увидеть на рис. 1б, где с 0.8с до 2.3с наблюдается перемещение некоего «тела» на скорости 31 км/с.

Заканчивается перемещение «объекта» в точке с координатами (-1км, 68.7км, 38.4км): в этой точке либо объект полностью сгорел, либо существенно затормозился и стал «невидимым для радара». Таким образом, длина траектории, на протяжении которой метеорный радар фиксировал отклики, составляет 122 км.

Фактически на примере данного события можно было наблюдать три разных явления:

1) головное эхо (так как согласно рис. 2 и рис. 3 траектория объекта на первом этапе была направлена в сторону метеорного радара),

2) отражения от ионизированного следа (рис. 3, отражения на высотах от 40 до 55 км),

3) отражения от следа на высотах 90-100 км (рис. 3), которые обнаружили через несколько секунд после разворота следа (так называемое незеркальное эхо). Причем данный след существовал более 5 минут.

По результатам расчетов на основе анализа траектории, получены значения радианта данного болида в экваториальной системе координат: прямое восхождение  $Ra=4^h:54^m$  ( $73^0$ ), склонение  $D=26.9^0$  при видимой скорости 31 км/с.

Следует отметить, что в данный период действует известный поток Леониды с максимумом численности как раз 17 ноября. Однако скорость составляет 71 км/с и координаты радианта  $R.A. = 152^0$  и  $D=22^0$ . Таким образом, «гость» из космоса никак не может принадлежать данному потоку.

## Выводы

Метеорный радар является мощным инструментом при исследовании динамики атмосферы, а также для решения астрономических задач. Его модернизация принесла существенные улучшения: увеличена численность регистраций, улучшена точность расчета угловых координат. Обновленное программное обеспечение позволяет регистрировать не только сами метеорные следы, но и отслеживать траектории перемещения отдельных метеоров, как это показано на примере болида, сгоревшего над Татарстаном и Марий Эл 17 ноября 2023 год.

*Работа Коротышкина Д.В. финансировалась за счет субсидии Минобрнауки РФ FZSM-2023-0015, выделенной Казанскому федеральному университету для выполнения государственного задания в сфере научной деятельности.*

## Литература

1. Hocking, W.K., Fuller B., Vandepeer B. Real-time Determination of Meteor-related Parameters Utilizing Modern Digital Technology// J. Atmos. Solar-Terr. Physics. 2001. Vol. 63. P.155-169.
2. Korotyshkin, D., Merzlyakov, E., Sherstyukov, O., Valiullin, F. Mesosphere/lower thermosphere wind regime parameters using a newly installed SKiYMET meteor radar at Kazan (56N, 49E) //Advances in Space Research. 2019. Vol. 63. Iss. 7. P. 2132-2143.