

РАЗВИТИЕ МЕТОДОЛОГИИ И АППАРАТНЫХ СРЕДСТВ РАДИОМЕТЕОРНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ В КАЗАНСКОМ ФЕДЕРАЛЬНОМ УНИВЕРСИТЕТЕ

Д.В. Коротышкин, О.Н. Шерстюков, Ф.С. Валиуллин

Казанский федеральный университет, 420008, г. Казань, ул. Кремлёвская, 18

E-mail: Dmitry.Korotyshkin@kpfu.ru

Аннотация. В данной работе представлено описание современного состояния и перспектив развития метеорного радара Казанского федерального университета (КФУ). Приведены основные технические параметры радара, а также анализ текущих возможностей и ограничений системы. Предложены пути модернизации радиолокационного комплекса, включая увеличение измерительных баз, установку дополнительных пассивных радаров и создание региональной сети радиолокационных станций в Татарстане и прилегающих регионах. Представленная методология позволит повысить точность определения параметров метеоров и расширить возможности исследования динамики средней атмосферы.

Ключевые слова: метеор; мониторинг; радар

DEVELOPMENT OF METHODOLOGY AND EQUIPMENT FOR RADIO METEOR OBSERVATIONS AT KAZAN FEDERAL UNIVERSITY

D.V. Korotyshkin, O.N. Sherstyukov, F.S. Valiullin

Abstract. This paper presents an overview of the current state and future development prospects of the meteor radar at Kazan Federal University (KFU). The main technical parameters of the radar are provided, along with an analysis of the system's current capabilities and limitations. Proposed upgrades to the radar complex include increasing measurement baselines, installing additional passive radars, and establishing a regional network of radar stations in Tatarstan and adjacent regions. The proposed methodology will enhance the accuracy of meteor parameter determination and expand the possibilities for studying the dynamics of the middle atmosphere.

Keywords: meteor; monitoring; radar

Введение

Радиолокационные наблюдения метеоров играют важную роль в исследовании динамики верхней атмосферы и астрономических задачах, связанных с изучением потоков метеороидов. Современные технологии позволили перейти к непрерывному мониторингу метеорной активности [1]. Метеорный радар Казанского федерального университета (КФУ) обеспечивает высокую точность измерений параметров метеоров, включая время регистрации, геоцентрическую скорость, высоту и направление прихода сигнала [2].

Однако конфигурации антенного поля существующих в мире метеорных радаров имеют ограничения, такие как относительно малые измерительные базы и ограниченное число антенн. Эти факторы снижают угловую точность и ограничивают возможности анализа слабых метеорных потоков.

В данной работе рассматриваются перспективы развития метеорного радара КФУ и создания региональной сети радиолокационных станций в Татарстане и соседних регионах.

Метеорный радар Казанского федерального университета

Первые радиолокационные наблюдения метеоров в Казани, Россия, начались в 1955 году на Прикладной радиоастрономической лаборатории (ПРАЛ) Казанского университета [3]. Регулярные наблюдения начались в 1979 году [4], а к 1986 году радар был оснащен фазовым интерферометром и передатчиком мощностью 100 кВт [5]. Современный метеорный радар КФУ расположен около п. Ореховка Республики Татарстан (56° N, 49° E) [2]. Работает на частоте 29.75 МГц с пиковой мощностью 15 кВт. Использует одну передающую и 12 приемных антенн, установленных в разнесенных точках.

Основные технические параметры радара приведены в таблице 1.

Таблица 1. Технические характеристики метеорного радара КФУ

Частота	29.75 МГц
Частота повторения импульсов	1594 МГц
Длительность импульса	24 μ s
Пиковая мощность	15 кВт
Число приёмных антенн	12
База измерений (горизонтальная)	до 220×150 м
Обнаруживает метеоров в час	до 10000
Среднее количество регистраций в сутки	45000

Метеорный радар КФУ обладает высокоточным фазовым интерферометром. Данный результат обеспечивается как длинными измерительными базами [6], так и точной калибровкой фазовых измерений [7]. Радар позволяет регистрировать радиоэхо от ионизированных метеорных следов с высокой точностью. Угловые координаты прихода сигналов измеряются с ошибкой менее 0.3° [6]. Это делает систему подходящей для решения широкого круга задач, включая определение скоростей [8] и радиантов метеоров [9] и реконструкцию ветров в области мезосферы и нижней термосферы.

Развитие наблюдения за метеорной активности с помощью метеорной сети в Республике Татарстан

Для повышения точности и информативности радиолокационных наблюдений предлагаются следующие мероприятия:

- Увеличение измерительных баз:** Расширение антенного поля до размеров 400×200 метров позволит повысить точность определения угловых координат.
- Установка дополнительных пассивных радаров:** Размещение удалённых пассивных станций с фазовым интерферометром на расстоянии 1–1.5 км от основного радара позволит наблюдать метеоры под разными углами и улучшить реконструкцию траекторий.
- Создание региональной сети радиолокационных станций:** Построение сети радиолокационных станций в Татарстане и соседних регионах позволит организовать непрерывный мониторинг метеорной активности и повысить надёжность данных.
- Установка приемных пунктов, оснащенных полноценным фазовым интерферометром:** Предложено использование принципа прямого рассеяния радиоволн (forward scattering), позволяющего регистрировать метеоры вне зоны действия основного радара. Для этого необходимо установить дополнительные приемные пункты, оснащенные полноценным фазовым интерферометром, на значительном удалении (150–300 км) относительно метеорного радара в Казани. Это позволит получать детальную тонкую структуру динамики атмосферы в области действия метеорного радара, а также проводить наблюдения за слабыми метеорными потоками и спорадическими источниками.

Заключение

Метеорный радар Казанского федерального университета представляет собой эффективную систему для наблюдения за метеорной активностью и исследования верхней атмосферы. Однако его потенциал может быть значительно увеличен за счёт модернизации антенного поля и создания региональной сети радиолокационных станций в Татарстане и прилегающих регионах.

Рассмотренные в работе пути развития системы позволяют:

- Повысить точность измерений;
- Увеличить объём собираемых данных;
- Обеспечить наблюдение за слабыми метеорными потоками;
- Создать инфраструктуру для долгосрочных климатических и астрономических исследований.

Благодарности

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

Список литературы

1. Hocking W.K., Fuller B., Vandepeer B. Real-time determination of meteor-related parameters utilizing modern digital technology // Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics. – 2001. – Vol. 63. – No. 2. – 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 (56°N, 49°E) // Advances in Space Research. – 2019. – Vol. 63. – No. 7. – P. 2132–2143.
3. Kostylev K. Astronomicheskiye osnovy meteornoy radiosvyazi [Astronomical fundamentals of meteor radio communication]. – 1970.
4. Lysenko I.A, Makarov N.A, Portnyagin Yu.I et al. Seasonal and latitudinal variations of the lower thermospheric tidal winds from meteor radar measurements in the U.S.S.R. // Journal of Atmospheric and Terrestrial Physics. – 1992. – Vol. 54. – P. 915–926.
5. Fahrutdinova A.N., Ganin V.A., Berdunov N.V. et al. Long-term variations of circulation in the mid-latitude upper mesosphere-lower thermosphere // Advances in Space Research. – 1997. – Vol. 20. – No. 6. – P. 1161–1164.
6. Korotyshkin D. High-precision estimation of meteor radio echo angle of arrival over long antenna baselines under strong phase ambiguity // Advances in Space Research. – 2025. – Vol. 75. – No. 11. – P. 8374–8390.
7. Korotyshkin D. Calibration of the phase interferometer of a meteor radar using ADS-B air traffic monitoring data: methodology and experimental validation // Advances in Space Research. – 2025. Article in press.
8. Korotyshkin D. Radio meteor velocity estimation based on the Fourier transform // Advances in Space Research. – 2024. – Vol. 74. – No. 8. – P. 4134–4145.
9. Korotyshkin D., Sherstyukov O.. A novel statistical approach for determining the radiant of shower meteor: a trajectory-free analysis // Advances in Space Research. – 2025. Article in press.