Возможности колориметрии в классификации метеоров

© Д.С. Дроздов

Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН,
196140 Санкт-Петербург, Россия
e-mail: paganelle7@mail.ru

Поступило в редакцию 5 мая 2026 г.
В окончательной редакции 5 октября 2026 г.
Принята к публикации 23 октября 2026 г.

Целью настоящей работы является проверка по данным колориметрии гипотезы о существовании обособленной по цвету группы железных метеороидов. Использованы видео 1200 метеоров из базы IzMeteors. Проверка непараметрическим тестом Хартигана показала, что распределение по цвету унимодально, обособленная голубая группа, ожидаемая для железных метеороидов, в выборке не выделяется. Полученный результат не рассматривается как окончательное опровержение связи цвета с химическим составом из-за технических ограничений — малого числа цветных камер в сети, использования сжатых видеокодеков без RAW-данных и неизвестных характеристик аппаратных фильтров.

Ключевые слова: метеоры, кривая блеска метеоров, колориметрия.

DOI: 10.61011/JTF.2026.12.64054.352-26

Цвет как численная характеристика распределения энергии в спектре электромагнитного излучения является важным параметром излучения небесных тел в астрономии. Однако в метеорной астрономии цвет практически не используется. Это объясняется природой свечения метеоров, которое формируется преимущественно эмиссионными линиями атомов и молекул испарившегося вещества. Такой характер излучения делает спектральный анализ удобным инструментом для определения состава метеороидов. Вместе с тем спектроскопическая аппаратура не может быть массовой и требует относительно высокого блеска метеора для регистрации спектра. Вследствие этого из поля зрения выпадают слабые, но наиболее многочисленные и интересные для изучения объекты, а также теряется статистическая представительность выборок.

В настоящее время наблюдается бурный рост метеорных сетей, обычно оснащаемых компактными камерами. Примером служит Хорватская метеорная сеть, построенная на обычных охранных камерах. Высказывалось предположение, что оценка химического состава возможна и по данным стандартных камер с цветовой системой RGB.

Морхед [1] сворачивает полученные в [2] спектры в фотометрические полосы B, V, R, I и получает цвет метеора, что позволяет сопоставить физический состав с цветовыми характеристиками. К сожалению, указанные полосы чрезвычайно широки, и большинство спектральных линий попадают сразу в несколько полос. Поэтому независимо от химического состава большинство метеоров демонстрируют сходный цвет. Однако существует определенная группа объектов, заметно выделяющаяся на общем фоне, — это железные метеоры, которые оказываются примерно на 0.5 звездной величины голубее остальных. При этом цвет метеора не обнаруживает выраженной зависимости от звездной величины; на диаграмме цвет–светимость железные метеоры образуют отдельный кластер, обособленный от основной части объектов (рис. 1). Эта гипотеза высказывалась и позднее [3], однако обе работы базируются на одних и тех же данных и содержат лишь 84 метеора. В указанных исследованиях цвет проверялся для аппаратных фильтров камер; получен сдвиг в голубую область порядка 0.2 звездной величины. В настоящей работе мы также опираемся на это значение, поскольку рассматриваются стандартные фильтры RGB.

Задача настоящей работы — проверить наличие соответствующей области на диаграмме цвет–звездная величина.

В настоящее время существует база данных IzMeteors [4], единственная, содержащая видеозаписи метеоров с 38 камер; ее материалы были использованы в настоящем исследовании. Работа выявила критические проблемы колориметрии на видеокамерах. Во-первых, работа камеры в цветовом режиме снижает проникающую способность и уменьшает число регистрируемых событий. Из 38 камер сети IzMeteors только 6 предоставляют цветное изображение; три из них были установлены в 2026 г. и еще не накопили достаточного объема данных для обработки. Во-вторых, существенную проблему представляют аппаратные кодеки камер. В современных метеорных сетях приоритет отдается массовости, подключается большое количество разнообразных камер, большинство из которых искажают регистрируемое изображение и не предоставляют RAW-данные. Более того, для многих камер неизвестен даже используемый аппаратный кодек. Обычно применяется формат YUV для передачи цвета, что приводит к значительному ухудшению из-за свертки интенсивности (Y-компоненты) при фурье-преобразовании в стандартном видеокодеке H.264 с низким битрейтом. Для двух камер „Astroverty“ 3 и 8 наблюдалось смещение цвета

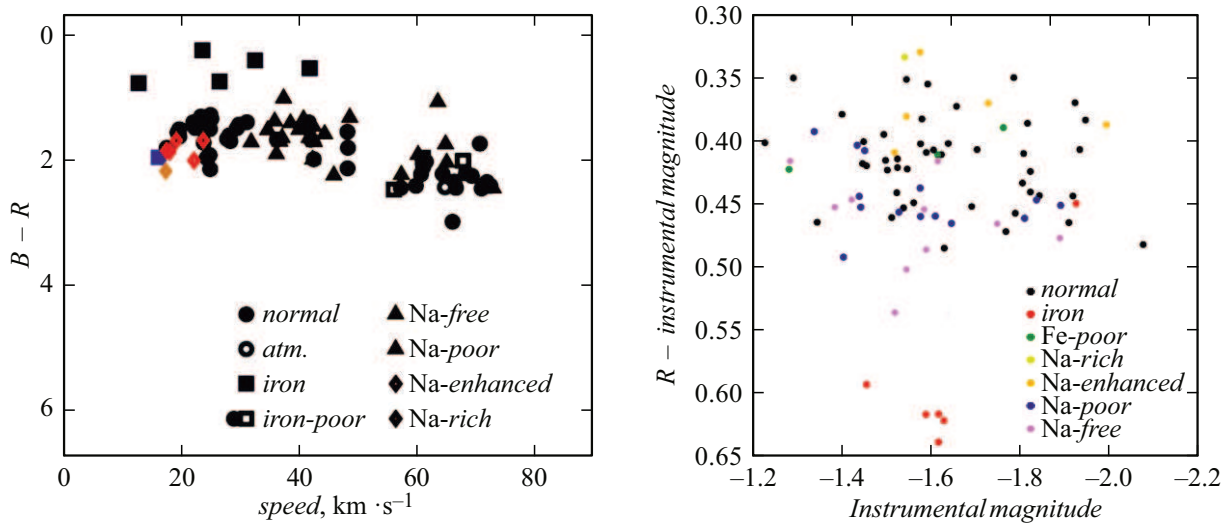


Рис. 1. Диаграммы цвет-звездная величина, полученные сверткой спектра метеоров [1,2].

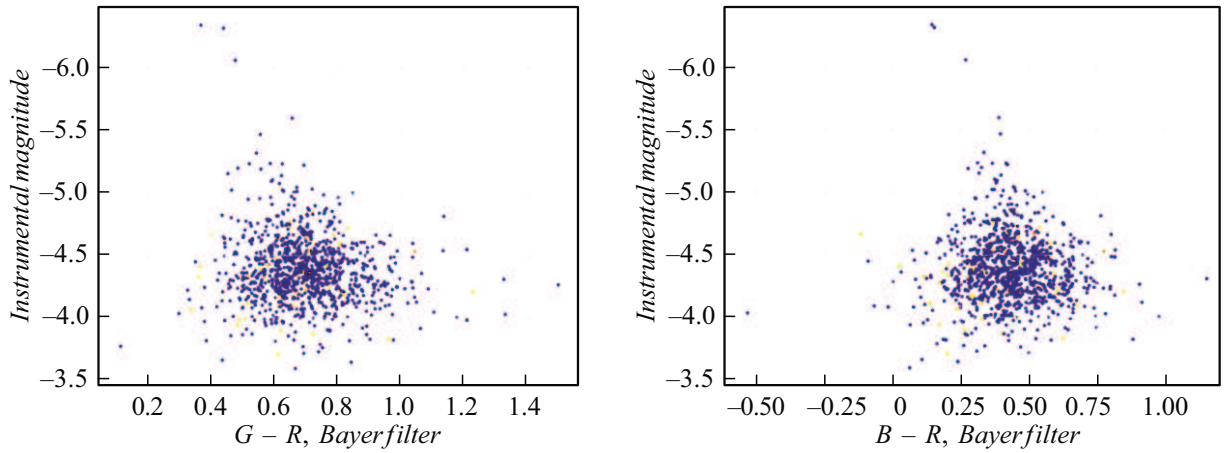


Рис. 2. Диаграммы, полученные на камере Sintez_CRAO_107 сети IzMeeors.

к области нулевых значений из-за некорректной работы кодека, поэтому данные этих камер были исключены из работы. В августе была установлена камера ZWO, предоставляющая необработанные данные, однако число зарегистрированных ею метеоров пока мало. Поэтому для анализа были взяты данные с камеры обсерватории КрАО (Крымской астрофизической обсерватории).

Сеть IzMeteors уже предоставляет положение обнаруженных метеоров в кадре, что упрощает обработку. Для анализа отбирались все доступные метеоры. Вдоль трека метеора для каждого кадра выбиралось максимальное значение, соответствующее метеору; таким образом строилась кривая блеска для „головы“ метеора. Как показано в [5], показатель цвета может изменяться на десятые доли звездной величины вдоль траектории полета, поэтому в качестве интегрального показателя цвета использовалось среднее значение за все время регистрации. Использовались метеоры с SNR больше 15, что дает ошибку в 0.07 звездной величины (рис. 2).

Распределение цвет–звездная величина представлено на графиках в инструментальных звездных величинах. Получены цвета для 1200 метеоров (рис. 3). Согласно рассматриваемой гипотезе, на диаграмме должна выделяться область, примерно на 0.2 звездной величины более голубая, чем основная группа. Для проверки гипотезы о наличии нескольких пиков был применен непараметрический тест Хартигана. Согласно гипотезе [1], проверялось одномерное распределение по цвету. Использовалась библиотека python diptest 0.11.0. Применение теста показало, что величина наибольшей среди трех цветов статистики провала (dip) составляет 0.067, что соответствует значению $p = 0.994$, а значит, нет статистических оснований отвергнуть гипотезу об унимодальности.

В результате обработки данных 1200 метеоров из базы IzMeteors проведена проверка гипотезы о существовании отдельного кластера железных метеоров на диаграмме цветзвездная величина, ожидаемого на основе ранее опубликованных работ [1,2]. С использо-

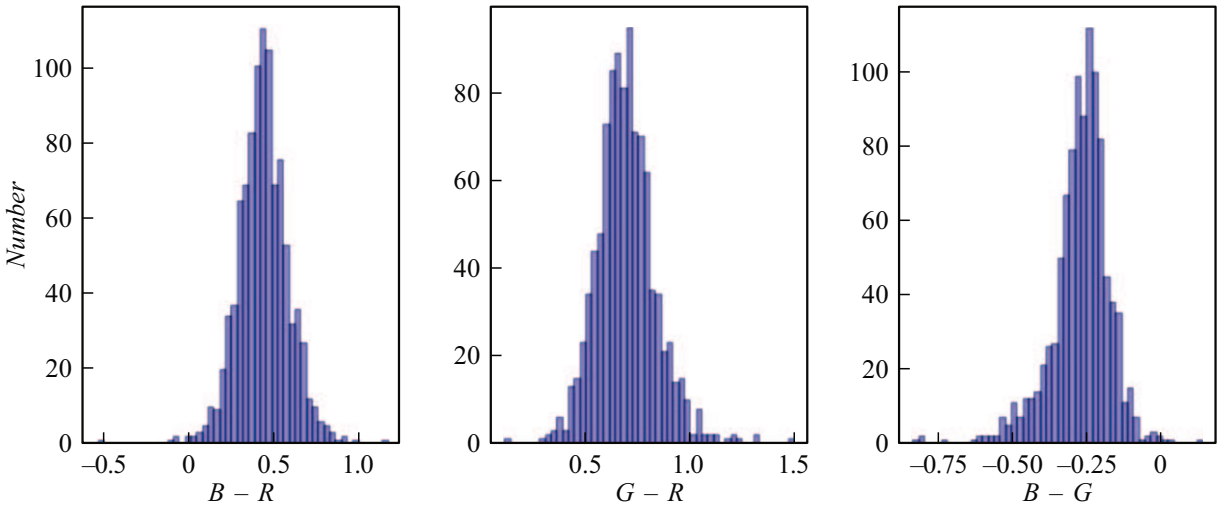


Рис. 3. Распределение метеоров по цвету.

ванием непараметрического теста Хартигана установлено, что распределение метеоров по цвету является унимодальным ($p = 0.997$), что не дает оснований для выделения обособленной голубой группы. Таким образом, наша выборка не подтверждает наличие отдельной моды в распределении, предсказываемой для железных метеоров при использовании стандартных видеокамер с аппаратными фильтрами.

Полученный результат, однако, не следует рассматривать как окончательное опровержение связи химического состава с цветом. Выявленные в работе методологические ограничения — малое число цветных камер в сети, использование сжатых видеокодеков без RAW-данных, неизвестные характеристики аппаратных фильтров — могут маскировать реальные цветовые различия. Дальнейшие исследования требуют накопления репрезентативной статистики по метеорам разных типов.

Конфликт интересов

Автор заявляет, что у него нет конфликта интересов.

Список литературы

[1] A.V. Moorhead, A. Kingery. WGN J. Int. Meteor Organ., **48**, 193 (2020).
[2] V. Vojáček, J. Borovička, P. Koten, P. Spurný, R. Štork. A&A, **580**, Art. Num. A67 (2015). DOI: 10.1051/0004-6361/201425047
[3] T. Mills, P.G. Brown, M.J. Mazur, D. Vida, P.S. Gural, A.V. Moorhead. MNRAS, **508** (3), 3684 (2021). DOI: 10.1093/mnras/stab2743
[4] М.Ю. Ховричев, И.С. Измайлов, С.Р. Павлов, Д.С. Дроздов, А.Л. Толстой, Д.А. Бикулова, С.В. Назаров, Ю.О. Четвериков, С.В. Ушаков, С.А. Короткий, Г.А. Хохлов. Известия Главной Астрономической Обсерватории в Пулкове, **240**, 46 (2026). DOI: 10.31725/0367-7966-2026-240-46-56
[5] В.С. Усанин, Ю.А. Нефедьев, М.Г. Соколова. Астроном. журн., **96** (8), 653 (2019). DOI: 10.1134/S000462991908005X