













izMeteors: сеть мониторинга и база данных метеорных явлений

М.Ю. Ховричев¹, И.С. Измайлов², С.Р. Павлов³, Д.С. Дроздов²,
А.Л. Толстой³, Д.А. Бикулова², С.В. Назаров⁴, Ю.О. Четвериков⁵,
С.В. Ушаков⁶, С.А. Короткий^{7,8}, Г.А. Хохлов⁹

¹СПбГУ, ²ГАО РАН, ³ИПА РАН, ⁴КрАО РАН,

⁵НИЦ КИ ПИЯФ, ⁶АНИИ

⁷Обсерватория Астроверты, ⁸Обсерватория Ка-Дар, ⁹МООАГО

Поступила в редакцию 10 апреля 2026 / Принята к публикации 15 апреля 2026

Аннотация

izMeteors – сеть небольших камер ($F/D \approx 1.0$, $D < 1$ см), предназначенная для мониторинга метеорных явлений. В сети задействовано 12 наблюдательных площадок, расположенных в России и за ее пределами. Среди них заметную роль играют камеры, установленные в ГАО РАН (Пулкове), обсерваториях “Астроверты” (близ САО РАН), ГАС ГАО РАН, КрАО РАН, Ассы-Тургень (АФИФ, Казахстан), станция Восток (Антарктида). В отличие от других подобных сетей, **izMeteors** предоставляет доступ не только к результатам измерений параметров метеорных треков, но и к исходным видео-данным. К текущему моменту доступны данные о почти 300 тысячах явлений, зарегистрированных с июня 2025 года. Данные могут быть получены как путем “ручного” ввода запросов на сайте проекта, так и из кода на `python`. Такая политика предоставления данных открывает возможности для самых разнообразных исследований в области метеорной астрономии и физики атмосферы.

ключевые слова: метеоры, детектирование и мониторинг метеорных явлений, астрономические базы данных

Введение

Массовая доступность небольших цифровых камер с диаметрами объективов менее сантиметра и рабочими полями в тысячи квадратных градусов наряду с обилием вычислительных средств сделали возможными появление и развитие сетей мониторинга метеорных явлений в глобальном масштабе. Наиболее цитируемый пример — Global Meteor Network (GMN) (Vida *et al.* 2021), основанный на использовании миникомпьютеров Raspberry Pi.

Большой поток исходных данных (терабайты в сутки) обуславливает трудности извлечения всей возможной информации о метеорных явлениях в рамках рассматриваемых сетей для мониторинга. Исследователям приходится выбирать, какие именно данные являются приоритетными. В случае GMN в центре внимания оказались базисные метеоры. То есть метеорные явления, которые зарегистрированы одновременно из нескольких пунктов, пространственно разнесенных на десятки километров. Это дало очевидную возможность определять параметры траекторий метеороидов в земной атмосфере и, следовательно, строить орбиты метеороидов в пространстве Солнечной системы. Статистика таких орбит дает массу новых данных о структуре метеороидных роев и их динамике. Ограничение такого выбора - сложность одновременной регистрации слабых метеоров на двух или нескольких станциях. Поэтому в поле внимания исследователей попадает, возможно, “не самая интересная” часть метеороидов с массами от 0.1 грамма и более.

*e-mail:deimos@gaoran.ru

Стоит подчеркнуть, что наиболее значимую информацию о динамике метеороидных роев дает измерение параметров метеорных явлений, обусловленных вторжением в земную атмосферу частиц малых масс (10 мг и легче).

Поэтому актуальны сети метеорного мониторинга, предоставляющие доступ к данным измерений всех регистрируемых событий и прежде всего для слабых метеоров (маломассивных метеороидов). Такой информации добывается до сих пор довольно мало. Чаще всего это побочный результат работы систем небольших широкоугольных телескопов, отслеживающих астрофизические транзиенты. Примеры таких систем это Mini-MegaTORTORA (Karpov *et al.* 2019) или GWAC (Chen *et al.* 2023, Ground-based Wide-Angle Cameras, обсерватория Синглонг, КНР). Но полностью “закрывать” все потребности в метеорных данных эти проекты не могут.

Это и стало одной из наиболее важных причин, побудивших команду специалистов из разных научных учреждений создать собственную сеть мониторинга метеорных событий. Она именуется izMeteors. Краткие сведения о ней представлены в этой статье.

Цель izMeteors – мониторинг метеорных явлений во всем доступном диапазоне блеска, определение всех возможных параметров метеорных треков (астрометрические данные, кривая блеска) и предоставление доступа как к результатам измерений, так и к исходным данным (видеофрагментам). Разумеется это не отменяет собственных исследований в области метеорной астрономии специалистами, участвующими в развитии сети. В качестве примера такого исследования с использованием данных izMeteors можно сослаться на работу по изучению генезиса комплекса радиантов, известного как Августовские Дракониды (Ховричев *et al.* 2025).

1 Сеть станций метеорного мониторинга izMeteors

В настоящий момент (апрель 2026 года) в сети работают 12 станций, оснащенных в общей сложности 38 камерами. Данные рис. 1 позволяют судить о расположении пунктов наблюдений. Большинство из них связаны с астрономическими обсерваториями и научными учреждениями (ГАО РАН, КрАО РАН, АФИФ (Казахстан), НИЦ КИ ПИЯФ). Есть станции, эффективно поддерживаемые сообществами астрономов-любителей.

В сети используются разные типы камер с диаметрами объективов менее 1 см и относительным отверстием, близким к 1:1. На рис. 2 представлен пример установки камер на металлическом кронштейне. На этом же рисунке показано, как выглядит “стандартный” объектив и плата сенсора IMX291 с объективом.

Для управления системой камер разработано специальное программное обеспечение, разработанное на основе известного программного пакета *izmccd*. Файлы для установки для ОС Windows можно загрузить со специальной [страницы](#) сайта Лаборатории Астрометрии и Звездной Астрономии ГАО РАН (Пулковской обсерватории). Данное программное обеспечение успешно функционирует и постоянно модернизируется. Все обновления программы в ходе эксплуатации системы автоматически подгружаются на рабочие компьютеры станций.

При разработке кода учитывалось, что рабочими компьютерами для сети станут весьма скромные компьютеры типа мини-ПК Beelink или старые компьютеры, которые неэффективны для решения современных задач. Практика показала, что оптимальная работа системы регистрации метеорных явлений достигается, если процесс, ведущий вычисления для одного видеопотока, использует ресурсы одного ядра процессора при частоте 2-3 ГГц. То есть ПК с 4-х ядерным процессором поддерживает работу четырех камер. Все вычисления (определение параметров метеорных явлений) ведутся на компьютере станции без необходимости передачи больших объемов данных по сети Интернет. На центральный сервер izMeteors передаются только результаты измерений – короткие (сотни байт) текстовые файлы и серии кадров с явлением (файл формата mp4 продолжительностью трека несколько секунд и объемом обычно менее двух мегабайт).

Внутриконтинентальная российская антарктическая станция Восток расположена на равнинной снежной поверхности ледникового плато, на высоте 3488 метров, в 1350 км от береговой станции Прогресс. Камера для метеорного мониторинга установлена снаружи модуля СЗК (Старого

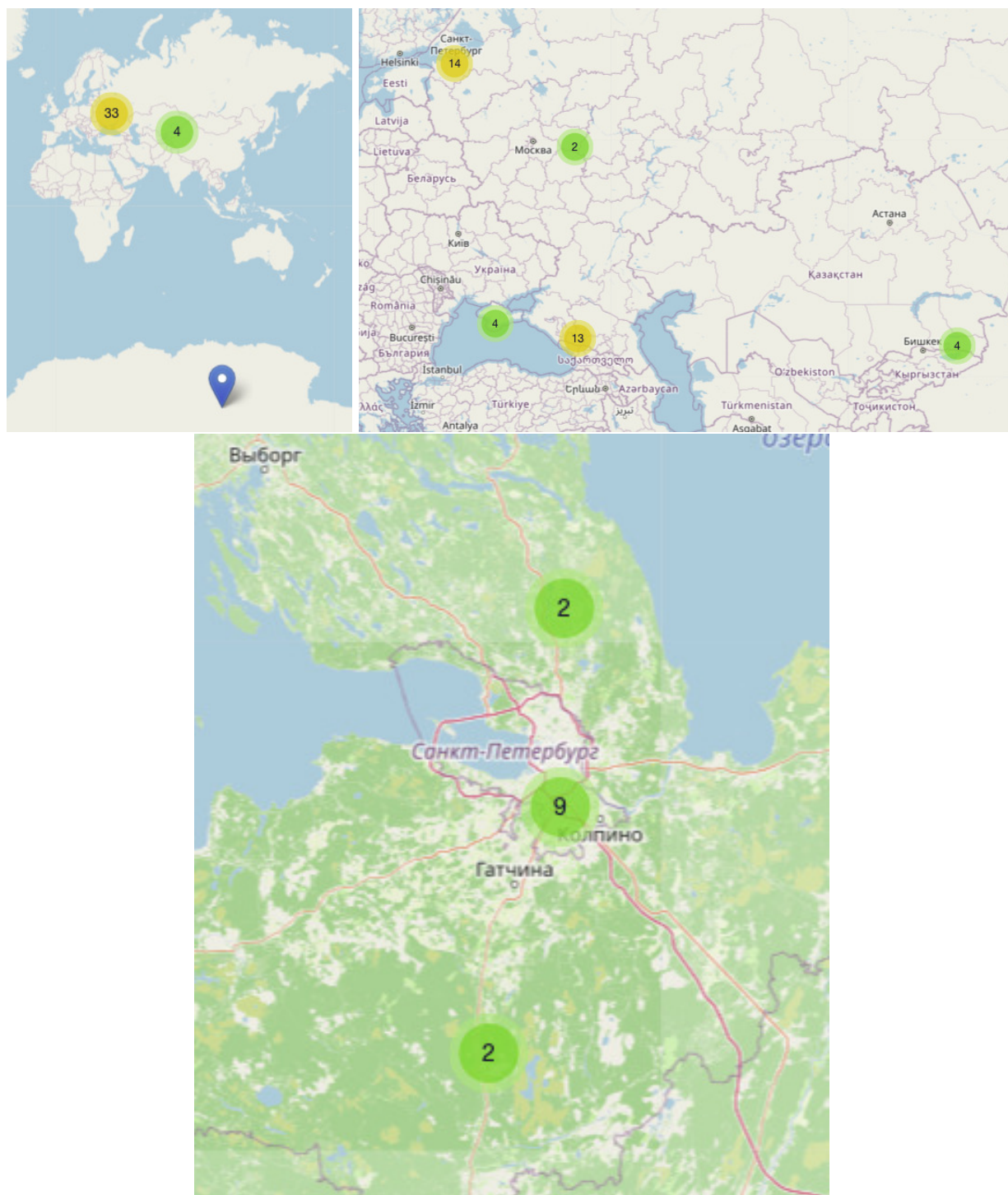


Рис. 1: География сети izMeteors. Цифрами показано число камер, используемых в каждом регионе. Более подробно показано расположение станций в северо-западном регионе России. Индикатор привязки показывает положение станции Восток в Антарктиде.



Рис. 2: Типичное оборудование, используемое в сети izMeteors. Слева: кронштейн с камерами сети izMeteors на павильоне пулковского 40-см телескопа в обсерватории Ассы-Тургень. В центре: плата сенсора IMX291. Справа: объектив F0.95 Starlight ($D=6$ мм).

Зимовочного Комплекса) и защищена греющим кабелем. Включена в структуру СПД (Системы Передачи Данных) ЛВС (Локальной Вычислительной Сети) станции Восток. Тесты показали, что камера не потеряла работоспособность при рекордном, для осеннего периода, мартовском значении температуры воздуха -76.4 градусов Цельсия.

2 Краткий обзор методов анализа данных в сети izMeteors

2.1 Детектирование метеорных явлений

Пожалуй главная часть программного кода для станций мониторинга метеорных явлений – это процедуры детектирования событий. Этому вопросу было уделено особое внимание. Стандартный подход сводится к бинаризации изображения на кадрах с целью разделить пиксели на две группы. Одна из которых соответствует астрономическим источникам (звездам поля, другим астрономическим объектам и, разумеется, фрагментам метеорных треков), вторая – это пиксели фона неба.

У обсуждаемой реализации процедуры бинаризации есть очевидные трудности с вычислительными затратами, если ставить задачу глобальной или локальной оценки уровня фона изображения. Учитывая скромные вычислительные ресурсы компьютеров сети, нам пришлось искать иное решение. Ключевой момент нашего решения состоит в отказе от попытки оценивать уровень фона. Оказалось разумным выбрать все локальные максимумы на ядре размером 3 на 3 пикселя, провести фильтрацию максимумов (сопоставление координат максимума и фотоцентра изображения, вычисленного по соседними пикселям в небольшой апертуре), а потом выполнить модифицированное преобразование Хафа.

Порог обнаружения трека динамически строится как среднее значение максимальных отсчетов диаграммы Хафа в скользящем окне из нескольких соседних кадров серии. Метеорный трек даже для слабых явлений дает значимый сигнал. Подробности нашей реализации с примерами кода изложены в статье Izmailov *et al.* 2024. Для проверки эффективности использован метод детектирования сегментов линий, описанный в работе Drozdov, Khovritchev, 2025.

Судить о сравнительной эффективности программного кода можно на основе данных рис. 3. Для анализа одного и того же видео-потока использовалось как программное обеспечение GMN, так и наша разработка для izMeteors. Правда, стоит учитывать, что GMN передает на центральный сервер и заносит в свою базу данных только явления, имеющие базисную пару. Но зато хорошо видно, какой объем полезных данных не анализируется GMN. В существующих условиях подход коллег из GMN можно считать оправданным лишь частично. С одной стороны число

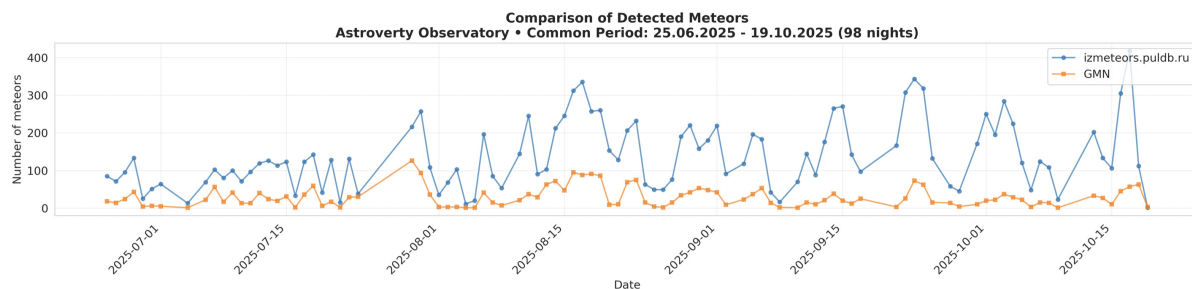


Рис. 3: Сравнение числа обнаруженных метеоров между iz Meteors и GMN для камер станции Astroverty. Для анализа одного и того же видео-поточка использовалось как программное обеспечение GMN, так и приложение iz Meteors.

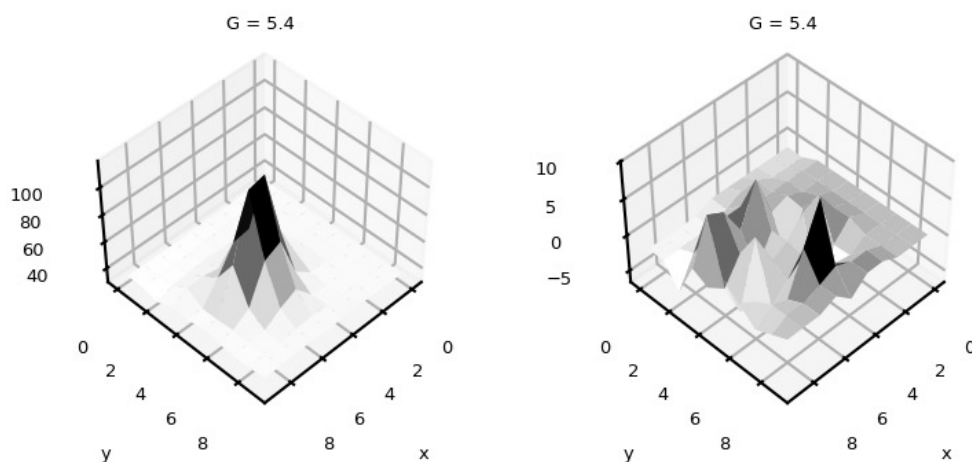


Рис. 4: Структура изображений звезд на типичных кадрах сети iz Meteors. Слева показан пример исходного изображения. Это звезда с блеском 5.4 mag полосы G каталога Gaia. Справа приводится структура остаточного изображения после вычитания модели.

станций в GMN – многие сотни. Это дает колоссальный объем трафика и данных, с которым просто не справиться без специальных ресурсов для вычислений и хранения данных. С другой – раз уж измерения выполнены и параметры явлений определены, странно не перенести хотя бы их на центральный сервер проекта, оставив на усмотрение рядовых участников сети заботу об исходных изображениях.

2.2 Астрометрическая и фотометрическая калибровка

После обнаружения метеорного трека для каждого кадра соответствующей серии выполняется процедура астрометрической и фотометрической калибровки. Это позволяет построить пространственное описание трека и построить его кривую блеска.

Выше была описана процедура выделения изображений астрономических источников. Следующий шаг – уточнение пиксельных координат источников и оценка фотометрического потока в инструментальной шкале. Для изображений звезд на данном этапе применяется стандартная модель (профили Гаусса или Моффата). Аппроксимация методом Левенберга-Марквардта дает оценки пиксельных координат и потоков излучения. Представление об этом дает рис. 4. Здесь показана структура исходного изображения, приведено распределение остаточных разностей изображения.

Дальнейший анализ предполагает калибровку кадра с использованием данных Gaia DR3.

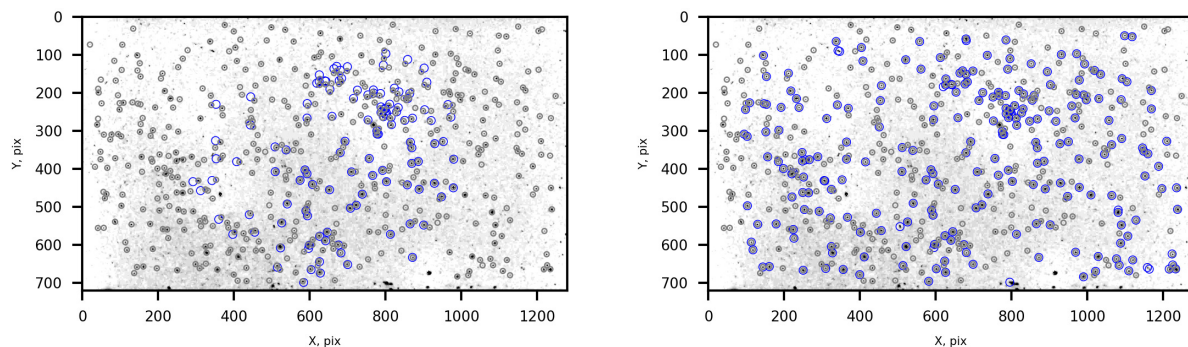


Рис. 5: Астрометрическая калибровка кадра *izMeteors*. Левая диаграмма показывает, какие звезды поля были отождествлены с данными каталога Gaia в первом приближении (центральная часть кадра). Справа результат последовательного улучшения параметров редуциционной модели. Серые маркеры – результат применения алгоритма выделения астрономических источников, синие – маркеры положений звезд Gaia после уточнения параметров редуциционной модели (коэффициентов полиномов третьего порядка). Размер рабочего поля 45.6 x 26.2 градуса, при масштабе 140 arcsec/pix.

Понятно, что в таких широких полях (более 1000 квадратных градусов и при масштабе 120 - 240 arcsec/pix) в формировании изображений участвует целый набор aberrаций оптической системы. Поэтому отождествление звезд на основе подобия фигур, образованных звездами кадра и каталога, оказывается успешным только близко к оптическому центру, где можно использовать линейное приближение.

Для всего кадра в целом нужно пошаговое улучшение параметров модели редукиции. Измерение изображений звезд дает точность порядка 0.1 пикселя (15 - 20 arcsec в масштабе диаграмм, показанных на рис. 5). Итерации продолжаются до того момента, пока ошибка единицы веса не достигнет величины, сопоставимой со средней точностью измерения пиксельных координат звезд. Обычно два-три шага для этого необходимы.

Параметры астрометрической калибровки с учетом горизонтальных координат звезд постоянно обновляются и позволяют проводить измерения даже в случае частичного закрытия кадров облаками.

Рис. 6 показывает пример фотометрической привязки. Оценки потока в логарифмической шкале сопоставляются с оценками блеска звезд в каталоге Gaia DR3 (полоса G). Уже применение многочлена второго порядка позволяет учесть все значимые систематические эффекты. Характерная точность привязки составляет 0.1 - 0.3 mag в зависимости от отношения сигнала к шуму. В целом можно сказать, что на данном этапе не исчерпаны все пути повышения точности фотометрической калибровки снимков. По мере развития сети этот процесс будет продолжен.

3 Базы данных *izMeteors*

За 10 месяцев работы сети в режиме накопления данных зафиксировано почти 300 тысяч событий. Полный набор измерений проведен для чуть более чем 100 тысяч явлений. Это значит, что далеко не все события уверенно квалифицированы как метеорные явления или для них не удалось получить полный набор данных (например, не удалось провести надежную фотометрическую калибровку из-за метеоусловий). Но в целом, мы имеем дело с потоком данных примерно 300 - 400 хорошо измеренных метеорных трека в сутки.

Результаты обработки изображений, полученные на компьютере станции, автоматически загружаются на главный сервер проекта. Оказалось логичным поддерживать две mysql-базы данных. Первая содержит все видео-фрагменты для которых система фиксировала наличие возмож-

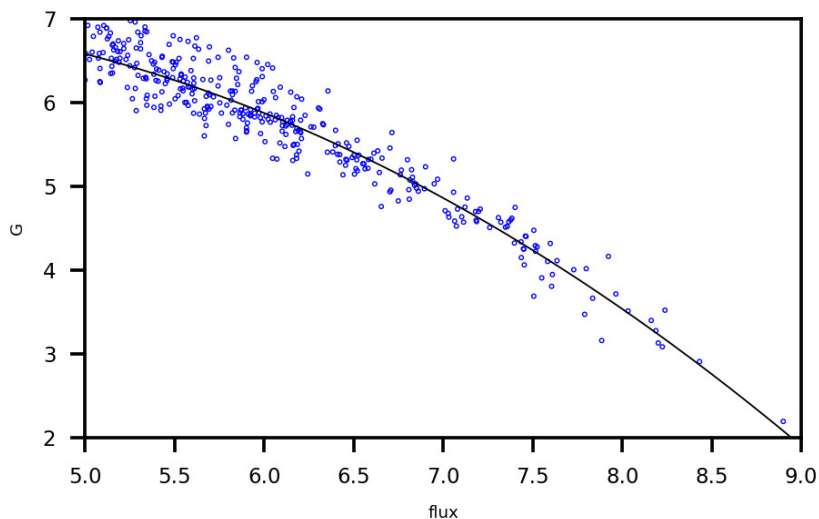


Рис. 6: Фотометрическая калибровка кадра izMeteors. Линия показывает результат аппроксимации для зависимости блеска от величины потока для звездных изображений относительно фона.

ного метеорного явления. Мета-данные приводятся в сопутствующих текстовых файлах. Вторая обеспечивает доступ к результатам измерений метеорных треков: координатам начала и конце трека на каждом кадре видео-фрагмента, оценки блеска, параметры метеора (длина, угловая скорость, вероятная принадлежность к тому или иному метеорному потоку). Важно, что есть кросс-ссылки между записями обеих баз данных. То есть легко получить доступ к исходному видео-фрагменту при выборке данных из второй базы. Подробные описания полей данных описаны в [datasette-реализации](#) базы данных.

Выборки данных возможны двумя способами: через web-интерфейсы ([datasette](#) и стандартный `html-php-mysql`) и из кода (`get-запрос`). На сайте [izMeteors](#) можно вручную вводить параметры (временной интервал, идентификаторы станций, области неба по координатам, диапазоны блеска). Запрошенные данные могут быть автоматически переданы пользователю в виде `csv`-таблиц. Объем выборки может быть достаточно большим для отображения таблиц в браузере. Поэтому выводится только первые 20 записей, чтобы дать возможность пользователю получить представление о данных до загрузки на свой компьютер. При необходимости загрузки видео-фрагментов формируются `bash`-скрипты, позволяющие получить файлы при помощи пакета `curl`.

Пример процедуры запроса данных через код на `python` представлен в [GitHub-проекте](#), ассоциированным с базами данных [izMeteors](#). В этом коде, основанном на использовании функций пакета `requests`, показано, как получить `csv`-таблицу с данными измерений метеорных треков и сформировать ссылки для массовой загрузки соответствующих видео-фрагментов.

4 Заключение

Сеть мониторинга метеорных явлений под названием [izMeteors](#) была создана усилиями специалистов нескольких научных учреждений (ГАО РАН, ИПА РАН, КрАО РАН, НИЦ КИ ПИЯФ, ААНИИ) с привлечением сообществ любителей астрономии. Разработаны и верифицированы методы обнаружения метеорных треков. Приложения, собранные на основе кода, реализующего эти методы, астрометрическую и фотометрическую обработку кадров доступны для загрузки и использования астрономическим сообществом.

Построена база данных [izMeteors](#), обеспечивающая доступ специалистов к результатам измерений и исходному материалу – видео-фрагментам, содержащими картину развития метеорного

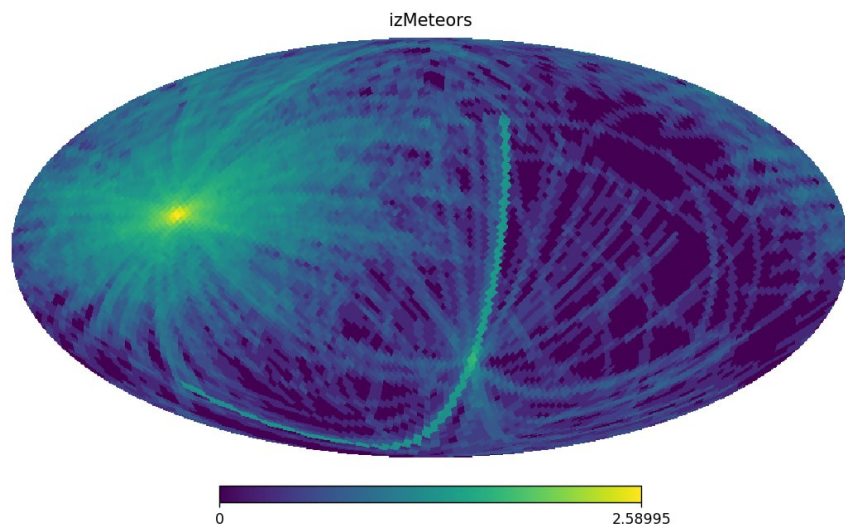


Рис. 7: HEALPix-распределение обратных продолжений метеорных треков iz Meteors за 12-14 декабря 2025 года в эклиптических координатах.

явления. iz Meteors позволяет получать данные разными способами: и путем “ручного” ввода запросов в браузере на странице проекта, и на основе формирования get-запросов непосредственно в коде пользовательских приложений.

За менее чем год работы в режиме накопления данных зафиксированы почти 300 тысяч событий, для 100 тысяч из них представлена параметризованная астрометрическая и фотометрическая информация. В общей сложности пользователям доступно более 5 ТБ данных с главного сервера iz Meteors. Количество станций сети постепенно растет, поток данных будет только увеличиваться.

Данные iz Meteors становятся основой для разнообразных исследований. Например, в важном для метеорной астрономии вопросе генезиса метеорных комплексов. Основными прогениторами метеороидных роев принято считать кометы. Эжекция пылевой материи с их ядер обеспечивает наблюдаемую плотность распределения и кинематику метеороидов. В последние десятилетия твердо установлено, что в ряде случаев родительскими телами метеорных потоков оказываются астероиды, сближающиеся с Землей. Очень похоже, что один из таких метеорных комплексов – Августовские Драконида. Анализ орбит показал, что на роль прогениторов этого потока могут претендовать несколько астероидов: 2016 NO16, 2002 GJ8, 2017 NW5, 2020 HU6. Данные iz Meteors вместе с данными из других источников показали, что в случае Августовских Драконид нет одного выраженного прогенитора. Структура радианта и его дрейф согласуются с предположением о том, что мы имеем дело со смесью из нескольких метеороидных роев, порожденных перечисленными астероидами (Ховричев *et al.* 2025). Ключевой здесь стала возможность вести анализ для маломассивной фракции исследованного метеорного комплекса.

Еще один пример возможностей сети и базы данных проиллюстрирован на рис. 7. В iz Meteors пока нет базисных метеоров. Такая возможность появится в дальнейшем по мере развития сети. Но уже сейчас можно видеть структуру радиантов метеорных потоков. На рис. 7 показано распределение обратных продолжений треков метеоров, отобранных из базы данных iz Meteors за 12-14 декабря 2025 года. Хорошо видна доминирующая область пересечений, соответствующая радианту мощного потока Гемениды, характеризующегося зенитными часовыми числами более 100 метеоров в час вблизи максимума действия потока.

Финансирование

Настоящее исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда и Санкт-Петербургского научного фонда № 24-22-20044, <https://rscf.ru/project/24-22-20044/>.

Благодарности











Авторы признательны коллегам из КраО РАН, ИПА РАН, астрофермы "Астроверты Астрофизического института им. В.Г. Фесенкова (АФИФ) Национального Центра Космических Исследований и Технологий при Аэрокосмическом Комитете Республики Казахстан за помощь в создании сети [izMeteors](#).

Особую благодарность авторы выражают коллегам и руководству ФГБУ АНИИ, в том числе начальнику Российской антарктической экспедиции П.И. Луневу, начальнику станции Восток 71-ой РАЭ В.И. Заровчатскому, за возможность вести экспериментальные исследования на станции Восток в Антарктиде.

Список литературы

- Vida, Denis *et al.* (2021). The Global Meteor Network - Methodology and first results. *MNRAS*, 506.4, 5046–5074. arXiv: 2107.12335 [astro-ph.EP].
- Карпов, S. *et al.* (2019). Two-station Meteor Observations with Mini-MegaTORTORA and FAVOR Wide-Field Monitoring Systems. В: *Revista Mexicana de Astronomia y Astrofisica Conference Series*. Т. 51. Revista Mexicana de Astronomia y Astrofisica Conference Series, 127–130.
- Chen, Yicong *et al.* (2023). A Meteor Detection Algorithm for GWAC System. *Universe*, 9.11, 468.
- Ховричев, М. Ю., С. Р. Павлов, А. Л. Толстой, Д. А. Бикулова (2025). Структура радианта метеорного комплекса Августовских Драконид по данным современных сетей мониторинга метеорной активности. *Труды ИПА РАН* (75). russian, 45–51.
- Izmailov, I. *et al.* (2024). Detection of meteor event images using the SSA400 telescope at the Assyturgen Observatory. *Publications of the Pulkovo Observatory*, 234, 22–35.
- Drozdov, Dmitry, Maxim Khovritchev (2025). Meteor detection using the line segment detection algorithm. *Publications of the Pulkovo Observatory*, 236, 34–44.

izMeteors: meteor event detection network and database

M.Yu. Khovrichev¹, I.S. Izmailov², S.R. Pavlov³, D.S. Drozdov², A.L. Tolstoy³, D.A. Bikulova², S.V. Nazarov⁴, Yu.O. Chetverikov⁵, S.V. Ushakov⁶, S.A. Korotkiy^{7,8}, G.A. Khokhlov⁹

¹Saint Petersburg State University, ²The Central Astronomical Observatory of the RAS at Pulkovo, ³IAA RAS, ⁴CrAO RAS, ⁵NRC Kurchatov Institute, ⁶Arctic and Antarctic Research Institute (AARI), ⁷Astrovertiy Observatory, ⁸Ka-Dar Observatory, ⁹MOOAGO

Received 10 April 2026 / Accepted 15 April 2026

Abstract

[izMeteors](#) is a network of small cameras ($F/D \approx 1.0$, $D < 1$ cm) designed for monitoring meteor phenomena. The network comprises 12 observation sites located in Russia and beyond. Among these, a notable role is played by cameras installed at the GAO RAS (Pulkovo), the Astrovertiy observatory (near SAO RAS), GAS GAO RAS, CrAO RAS, Assy-Turgen (AFIF, Kazakhstan), and Vostok Station (Antarctica). Unlike other similar networks, izMeteors provides access not only to measurement results of meteor trail parameters but also to the raw video data. To date, data on nearly 300,000 phenomena recorded since July 2025 are available. Data can be obtained either by manually submitting queries on the project's website or via Python code. This data access policy opens up opportunities for a wide variety of research in the fields of meteor astronomy and atmospheric physics.

key words: meteors, detection and monitoring of meteor phenomena, astronomical databases

¹e-mail:deimos@gaoran.ru