

Структура радианта метеорного комплекса Августовских Драконид по данным современных сетей мониторинга метеорной активности

© М. Ю. Ховричев^{1,2}, С. Р. Павлов¹, А. Л. Толстой¹, Д. А. Биколова²

¹ИПА РАН, г. Санкт-Петербург, Россия

²ГАО РАН, г. Санкт-Петербург, Россия

Реферат

Современные сети мониторинга метеорных явлений, работающие в оптическом диапазоне, являются перспективным инструментом для изучения динамики метеороидных роев. Сравнение структуры радиантов, ассоциируемых с метеороидами сравнительно больших масс (от 100 мг и массивнее), с распределением радиантов, обусловленных частицами маломассивной фракции метеорного роя, может пролить свет на генезис изучаемого метеороидного комплекса.

В представленной работе мы использовали данные метеорных сетей Global Meteor Network (GMN) и iz Meteors для изучения роя, порождающего поток Августовских Драконид. Первая из этих двух сетей представляет данные только для метеоров, которые зафиксированы камерами двух или более станций. Поэтому для таких событий можно построить гелиоцентрическую орбиту метеороида. Проблема в том, что этого удается достичь только для сравнительно ярких метеоров (обычно ярче второй звездной величины), то есть имеющих массу более 100 мг. База данных второй сети не ограничивает выборку по блеску, и соответственно, по массе, позволяя фиксировать метеоры, вызванные вторжением в атмосферу частиц с массами до долей миллиграмма. Орбитальные параметры для метеороидов из GMN использовались, чтобы определить, какие астероиды и кометы могут претендовать на статус прогенитора метеорного потока. Ранее в научной периодике было высказано предположение, что родоначальниками роя можно считать астероиды 2002 GJ8 и 2016 NO16. В предлагаемой статье на основе комбинации критериев согласия орбитальных элементов показано, что в этой роли могут выступить 4 астероида (2016 NO16, 2002 GJ8, 2017 NW5, 2020 HU6) и две кометы (206P/Barnard-Boattini и 21P/Giacobini-Zinner). Дрейф и структура «массивной» части метеорного потока прослеживалась по данным GMN для индивидуальных метеоров. Для данных iz Meteors проводился подсчет продолжений треков метеоров через площадки в окрестностях номинального радианта. Совместный анализ структуры радиантов для «массивной» и «маломассивной» фракций не выявил никаких значимых различий. Проведенное изучение распределения радиантов приводит к выводу о том, что мы имеем дело со смесью множества отдельных подрадиантов, вероятно, ассоциируемых с несколькими родительскими телами. Это подтверждается наличием нескольких астероидов и комет в списке потенциальных прогениторов и результатами анализа данных Европейской болидной сети за 8 лет наблюдений.

Ключевые слова: метеоры, радиант метеорного потока, маломассивная фракция метеороидного роя, Августовские Дракониды, оптический мониторинг метеорных явлений, астероиды.

Контакты для связи: Ховричев Максим Юрьевич (gmymax@gmail.com).

Для цитирования: Ховричев М. Ю., Павлов С. Р., Толстой А. Л. Структура радианта метеорного комплекса августовских Драконид по данным современных сетей мониторинга метеорной активности // Труды ИПА РАН. 2025. Вып. 75. С. 45–51.

<https://doi.org/10.32876/AplAstron.75.45-51>

Radiant Structure of the August Draconid Meteor Complex Based on Data from Modern Meteor Monitoring Networks

M. Yu. Khovrichev^{1,2}, S. R. Pavlov¹, A. L. Tolstoy¹, D. A. Bikulova²

¹Institute of Applied Astronomy of the Russian Academy of Sciences, Saint Petersburg, Russia

²Pulkovo Observatory, Saint Petersburg, Russia

Abstract

Modern optical meteor monitoring networks are a promising tool for studying meteoroid stream dynamics. Comparing the radiant structure of high-mass meteoroids (≥ 100 mg) with that of low-mass fraction can lead us to certain conclusions about the genesis of a meteoroid complex.

In this study, we used data from the Global Meteor Network (GMN) and iz Meteors to analyze the meteoroid stream that is the source of the August Draconids. GMN only provides multi-station data, enabling precise orbit determination, but this limits the sample to relatively bright meteors (typically brighter than 2nd magnitude), corresponding to masses over approximately 100 mg. In contrast, the iz Meteors database has no such brightness restriction, enabling the detection of meteors from particles as small as fractions of a milligram. Using GMN orbital data, we identified potential parent

bodies of the shower by applying a combination of orbital similarity criteria. The asteroids 2002 GJ8 and 2016 NO16 have previously been identified as candidate progenitors of the meteoroid stream. This paper expands that list by applying orbital element agreement criteria, showing that four asteroids (2016 NO16, 2002 GJ8, 2017 NW5, and 2020 HU6) and two comets (206P/Barnard-Boattini and 21P/Giacobini-Zinner) could be considered as progenitors of August Draconids. We traced the drift and structure of the “massive” meteoroid fraction using individual GMN meteors. For the low-mass meteors from izMeteors data, we analyzed meteor track continuations near the nominal radiant. A combined analysis revealed no significant structural differences between the high- and low-mass radiants. However, the overall radiant distribution suggests a mixture of multiple subradiants, which are likely linked to multiple parent bodies. This conclusion is supported by the list of potential progenitors and an independent analysis of eight-year data from the European Fireball Network.

Keywords: meteors, meteor shower radiant, low-mass fraction of meteoroid stream, August Draconids (AUD), optical monitoring of meteor phenomena, asteroids.

Contacts: Maxim Yu. Khovrichev (gymax@gmail.com).

For citation: Khovrichev M. Yu., Pavlov S. R., Tolstoy A. L. Radiant structure of the August Draconid meteor complex based on data from modern meteor monitoring networks // Transactions of IAA RAS. 2025. Vol. 75. P. 45–51. <https://doi.org/10.32876/AplAstron.75.45-51>

Введение

Механизм формирования пылевых комплексов, обусловленных распадом кометных ядер, на сегодняшний момент представляется в целом понятным ([Shustov, Zolotarev, 2022](#)). Весьма упрощенное описание процесса сводится к тому, что имеют место сублимация кометных льдов в период прохождения перигелия и высвобождение тугоплавких частиц, включенных в кометные льды. В случае с астероидами «кометный» сценарий тоже актуален, так как исследования последних десятилетий показали, что многие астероиды можно рассматривать как угасшие кометы ([Gabryszewski et al., 2024](#)). Еще одно возможное объяснение опирается на то, что значительная фракция астероидов хорошо описывается моделью «куча щебня» ([Fodde, Ferrari, 2025](#)). То есть астероиды размером от десятков метров до километров состоят из отдельных блоков и небольших фрагментов породы (камней сантиметровых размеров и мелкой пыли). Эти блоки и более мелкие фрагменты связаны общей гравитацией и силами взаимного сцепления в точках контакта. Вследствие YORP-раскрутки скорости вращения таких астероидов могут достигать критических значений (это соответствует периоду вращения порядка нескольких часов и меньше). В результате центробежные силы на поверхности близки или превосходят гравитационные, и мелкие фрагменты и пылевые частицы покидают поверхностные слои, образуя пылевую экзосферу астероида. В дальнейшем такие пылевые частицы переходят на гелиоцентрические орбиты, формируя пылевой комплекс, распределенный вдоль орбиты астероида. Минимальные расстояния пересечения орбиты (MOID — Minimum orbit intersection distance) для астероидов, сближающихся с Землей (АСЗ), обычно составляют сотые доли астрономической единицы. Поэтому из-за негравитационных сил эволюция таких пылевых роев может приводить к тому, что Земля начинает их пересекать. В результате метеороиды, принад-

лежащие рассматриваемым роям, вторгаются в земную атмосферу, порождая метеорные явления. Это отмечается наблюдателями как регулярно действующие метеорные потоки. Считается, что интенсивность таких потоков чаще всего весьма мала. Зенитные часовые числа метеоров (ZHR) редко превышают несколько метеоров в час при регистрации в рамках стандартных методик наблюдения метеорных явлений. Большая часть метеороидов в таких потоках, скорее всего, обладает малой массой (менее 1 мг). Поэтому многие метеоры просто не фиксируются из-за малого блеска и особенностей методики обработки снимков. А именно такие слабые метеоры несут значимую информацию о структуре метеорного роя, его динамике и особенностях распада АСЗ.

На сегодняшний день в базе данных центра метеорных данных Международного Астрономического Союза ([IAU. Meteor Data Center](#)) указаны 1211 отдельных метеорных потоков. При этом только 110 считаются надежно определенными (для них известна детальная информация: параметры орбиты и активности). По меньшей мере два десятка из них ассоциированы с АСЗ. Пожалуй, за исключением метеорных потоков Геминиды и Квадрантиды, которые надежно ассоциированы с астероидами 3200 Phaethon и 2003 EH1, остальные «астероидные» потоки не отличаются высокой активностью. Это делает актуальным оптический мониторинг метеорных явлений, направленный на накопление данных прежде всего о слабых метеорах (слабее 4–6-ой звездной величины), который дает возможность уточнить данные о положении и дрейфе радианта и в дальнейшем установить, какое именно тело Солнечной системы является родоначальником соответствующего метеорного потока ([Ye, 2018](#)).

В работе ([Dumitru et al., 2017](#)) предпринята попытка уточнить ассоциации известных метеорных потоков с астероидами и кометами на основе анализа «сходства» номинальных орбит метеороидных роев и соответствующих тел Солнечной си-

стемы. Выводы цитируемой выше статьи описываются авторами как «самые надежные», «менее уверенные» и «предварительные». В списке ассоциаций «родительское тело — метеорный поток» в работе (Dumitru, 2017) отмечается, что для потока Августовских Драконид (AUD) актуальны два астероида — 2002 GJ8 и 2016 NO16. Целью данной работы является проверка этого предположения путем анализа наблюдений, доступных в базах данных метеорных сетей и мониторинга метеорных явлений. Кроме того, в работе (Dumitru, 2017) в качестве орбит метеоров используются номинальные орбиты роя из базы данных IAU. Сейчас, когда благодаря базисным наблюдениям метеоров доступны орбитальные параметры отдельных метеороидов, разумно повторить анализ ассоциаций «родительское тело — метеорный поток» для Августовских Драконид. Поэтому в настоящей статье будет предпринята попытка более основательно изучить структуру и дрейф радианта данного метеорного потока, чтобы более обоснованно делать выводы относительно родительского тела.

Дискуссия о родительском теле Августовских Драконид

Лучший способ установить связь между астероидом и метеороидами метеорного потока — это сравнить их орбиты, используя подходящий критерий подобия. Для сравнительно массивных (от сотен миллиграммов) метеорных частиц орбитальные данные доступны в базе данных Global Meteor Network (GMN) (Vida et al., 2021). Эта сеть (Global Meteor Network) обеспечивает мониторинг метеорных событий, которые удается зафиксировать из одного или нескольких пунктов. Такие базисные измерения позволяют получить параметры трека метеора в земной атмосфере и следовательно, вычислить параметры гелиоцентрических орбит.

Для сравнения орбит тел Солнечной системы и получения выводов об их сходстве можно использовать различные критерии. Использование комбинации этих параметров является хорошим подходом для анализа ассоциаций «родительское тело — метеорная частица». Проведенные вычисления позволили нам найти орбиты метеороидов, удовлетворяющие критериям, предложенным Саутвортом и Хокинсом (DSH), Драммондом (DH) и Холшевниковым (DKH). Пороговые значения: DSH = 0.21, DH = 0.21 и DKH = 0.28. Эти величины были подобраны на основе численных экспериментов авторами работы (Dumitru, 2017). Использование данных пороговых значений выглядит логичным с точки зрения сравнения наших результатов с выводами цитированной выше работы. Кроме того, мы рассматривали только орбиты метеороидов с относительно точными оценками параметров ($\sigma_a < 0.1$ а.е., $\sigma_e < 0.2$, $\sigma_i < 5$ град, $\sigma_\Omega < 5$

град, $\sigma_\omega < 5$ град), чтобы оставалось 80 % от исходной выборки орбит метеороидов.

Мы проанализировали данные GMN. В поле нашего внимания попало около 1.4 млн записей о метеорных явлениях, охватывающих примерно

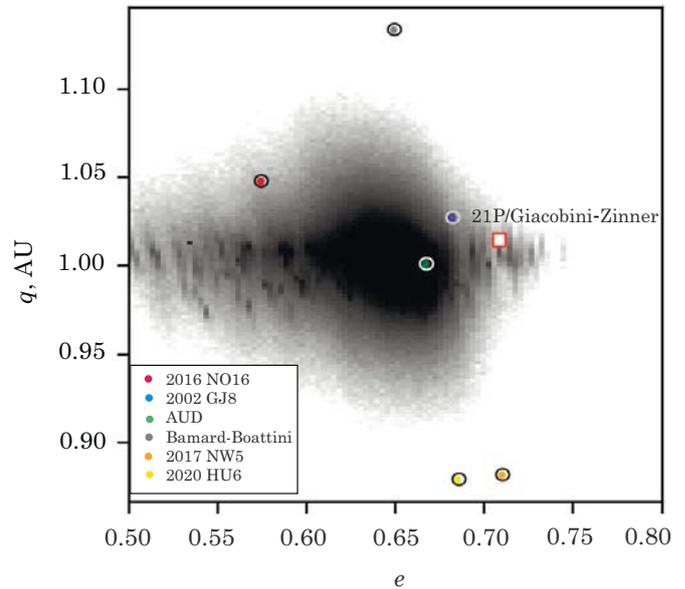


Рис. 1. Распределение метеороидов, ассоциированных с потоком Августовских Драконид на диаграмме q-e (перигелийное расстояние — эксцентриситет). Точками соответствующих цветов отмечены четыре АСЗ, комета Барнарда — Боаттини (206P/Barnard — Boattini) и номинальная орбита роя Августовских Драконид (AUD)

6 лет наблюдений. В этом анализе мы идентифицировали 1107 метеоров AUD, ассоциированных с 2016 NO16, и 679 метеоров AUD — с 2002 GJ8. Августовские Дракониды (AUD) — слабый метеорный поток с ZHR около 3 в максимуме. Поэтому количество ассоциированных метеоров ожидается невелико. Однако важно отметить, что этот результат нельзя считать окончательным подтверждением того, что оба астероида являются родительскими телами этого метеорного потока.

Кроме того, при выполнении этих критериев, мы обнаружили еще два астероида и две кометы, которые могут рассматриваться как возможные родительские тела потока Августовских Драконид (Khovrichiev, et al., 2024): 2017 NW5, 2020 HU6, 206P/Barnard-Boattini и 21P/Giacobini-Zinner. Облако точек на рис. 1 отвечает номинальным орбитам отдельных метеороидов. Естественно, что значения соответствующих орбитальных элементов для пылевых частиц могут быть искажены случайными и систематическими ошибками. Как упоминалось выше, слишком жесткие ограничения по величине ошибок значений орбитальных элементов приводило к исключению из выборки более половины метеороидов. Пороговые значения ошибок орбитальных элементов подбирались так,

чтобы оставалось 80 % орбит из исходной выборки. Например, расстояние между значимой долей точек для орбит метеороидов и точками для 2017 NW5, 2020 HU6, 206P/Barnard-Boattini на рис. 1 меньше порогового значения 0.1 а.е. для величины ошибки q и 0.2 для e .

Как видно из изложенного, астероиды 2002 GJ8 и 2016 NO16 могут претендовать на статус родительских тел потока Августовских Драконид. Но, в то же время, нужны дополнительные данные для более обоснованных выводов (Khovrichev, 2024), которые можно получить с помощью сетей оптического мониторинга метеорных явлений и обзоров радиантов посредством телескопов с относительно большими апертурами объективов (до 40 см).

Современные сети мониторинга метеорной активности в оптическом диапазоне

Как уже отмечалось выше, наблюдательной основой для решения многих задач метеорной астрономии являются массовые наземные наблюдения метеоров в оптическом диапазоне посредством широкоугольных (и сверхширокоугольных) оптических систем с высоким временным разрешением. То есть речь идет об астрономических ка-

мерах, оснащенных объективами, позволяющими получить размеры рабочих полей от десятка до нескольких сотен квадратных градусов и вести съемку с временным разрешением порядка десяти кадров в секунду.

Приведем примеры уже существующих и весьма эффективных систем мониторинга метеорных явлений. Относительно яркие метеоры (до 6 звездной величины) активно наблюдаются сетями типа Global Meteor Network (GMN), покрывающими значительные площади в Европе и Северной Америке благодаря использованию очень доступных видеокамер. Более слабые события фиксируются системами широкоугольных камер типа Mini-MegaTORTORA (Karpov et al., 2019) или GWAC (Xu et al., 2021) (Ground-based Wide-Angle Cameras), созданными в обсерватории Синглонг (КНР, Xinglong Observatory of the National Astronomical Observatories of China). Стоит отметить, что Mini-MegaTORTORA и GWAC ориентированы на детектирование астрофизических транзиентов. Метеорные наблюдения в рамках этих проектов являются дополнением к основной задаче.

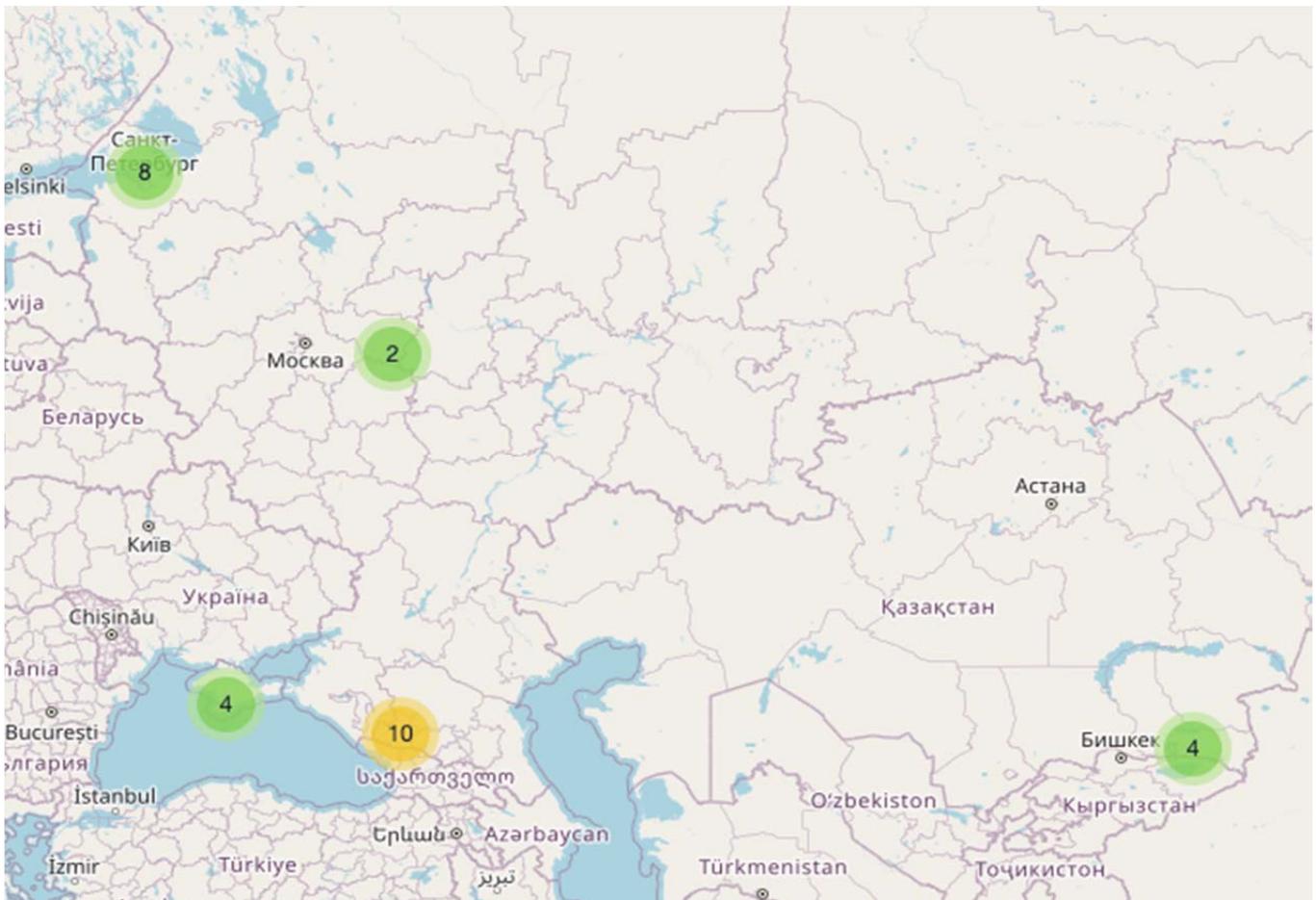


Рис. 2. Расположение станций метеорной сети izMeteors. Метки на карте показывают число камер, используемых для наблюдений

Метеорная сеть izMeteors

Отметим, что стратегия обработки и хранения данных в GMN не предполагает анализ всех метеорных событий. В фокусе внимания оказываются только базисные метеоры, для которых можно определять орбитальные параметры. Как оказалось, это ведет к потере значительного массива полезной информации. В силу низкого углового разрешения камер, используемых в GMN (до 3 угл. мин на пиксель), орбитальные параметры оцениваются с крайне низкой точностью. Это не позволяет однозначно выделить на диаграмме «перигелийное расстояние-эксцентриситет» скопления точек (рис. 1), однозначно соответствующего метеорным роям, и провести непротиворечивую ассоциацию с их родительскими телами. Кроме того, видеотреки с выявленными метеорами не сохраняются. В базе данных доступны только оценки блеска, скорости, координаты и другие производные параметры. Между тем, в изучении метеоров значимый прогресс связан именно с массовым анализом кривых блеска (например, асимметрия кривых блеска дает возможность оценивать массы метеорных частиц). Поэтому необходимо создавать сети, которые обеспечивают доступ к исходным данным и допускают их повторный анализ. Собственно, izMeteors ([Khovrichet al., 2025](https://izmeteors.puldb.ru/)) можно рассматривать как возможный ответ на этот вызов.

На данный момент сеть izMeteors (<https://izmeteors.puldb.ru/>) состоит из пяти станций метеорных наблюдений, расположенных в обсерваториях: ГАО РАН (Пулково), обсерватория «Астроверть» (близ САО РАН), ГАС ГАО РАН, КраО РАН, Ассы-Тургень (АФИФ, Казахстан) (более наглядно расположение станций показано на рис. 2). Для фиксации явлений в основном используются небольшие камеры, снабженные сенсорами типа IMX291 и объективами класса F0.95 Starlight. Посмотреть текущий статус станций сети можно по ссылке (https://pulmeteor.ru/izMeteors/izMeteors_camera_status_tbl).

С июня 2025 г. izMeteors ведет регулярное накопление данных в режиме сети (сейчас это уже более 4ТБ данных для более чем 215000 явлений). Исходные наборы кадров результатов обработки данных доступны посредством MySQL-запросов. Для более серьезного и массового анализа данных izMeteors лучше использовать доступ из небольших пользовательских python-скриптов, примеры которых представлены в соответствующем GitHub-проекте (<https://github.com/ymax74/izMeteors>). Более развитый с точки зрения визуализации способ доступа к данным izMeteors основан на возможностях Datasette и доступен по ссылке (<https://pulmeteor.ru/izMeteors>).

Вопросы детектирования метеорных явлений в потоке кадров, получаемом с астрономических камер, работающих в сети izMeteors, подробно рассмотрены в публикациях ([Измайлов и др., 2024](#)) и ([Дроздов, Ховричев, 2025](#)).

Распределение радиантов Августовских Драконид по данным GMN и izMeteors

Сеть GMN ведет мониторинг метеорных явлений приблизительно до 6-й звездной величины (имеется в виду пиковый блеск метеорного трека). То есть массы метеороидов, соответствующие самым слабым метеорам, регистрируемым в GMN, близки к значению порядка 1 мг ([Vida et al., 2022](#)). Однако, как отмечалось выше, GMN фокусируется только на публикации данных наблюдений «базисных» метеоров. То есть таких метеоров, изображения которых были зафиксированы несколькими разнесенными пространственно камерами. А это удается осуществить только для сравнительно ярких явлений. Отсюда ограничение по массам «базисных» метеороидов: от десятков и сотен миллиграмм и больше. Конечно, на компьютерах станций сети GMN какое-то время хранится вся информация и о слабых метеорах. Но она остается недоступной для широкого круга исследователей, ибо это чрезвычайно непростая задача в организационном плане.

Понятно, что на первый взгляд выбор для публикации в базе данных только параметров «базисных» метеоров имеет свое преимущество. Дело в том, что именно для этих метеороидов можно более-менее уверенно оценить значения гелиоцентрических орбитальных параметров. Оценки масс данных метеороидов тоже основаны на знании «геометрии» трека метеороида в атмосфере и оценках блеска соответствующего метеора. Но самые интересные динамические эффекты, влияющие на движение метеороида в Солнечной системе (например, эффект Пойнтинга-Робертсона), наиболее значимо проявляются при сравнении параметров движения метеороидов разных размеров. При условии, что метеороиды потока характеризуются близкими значениями плотности материала, из которого они состоят, метеороиды заметно различающихся масс должны систематически иметь несколько разные орбиты. Следовательно, можно ожидать, что это скажется на различии распределений радиантов сравнительно массивных метеороидов (от 100 мг) и метеороидов, условно относимых к маломассивной фракции (менее 100 мг).

izMeteors имеет несколько иную задачу. На протяжении более полувека делаются попытки более полно использовать наблюдаемые кривые блеска метеоров. Например, в работе ([Campbell et al., 1999](#)) рассматривается возможность оценки массы метеороида по форме кривой блеска. Немало надежд связано с возможностью изучать морфоло-

гию метеорных явлений на разных стадиях процесса, благодаря массовости регистраций метеорных явлений. В базе данных izMeteors сохраняется вся исходная информация, включая кадры с изображениями явления на фоне звезд. Методика детектирования метеорных треков в izMeteors нацелена на обнаружение явлений, даже если они характеризуются чрезвычайно низкими отношениями сигнала к шуму (Izmailov et al., 2024). Поэтому izMeteors способна обеспечить доступ к весьма богатому материалу для исследователей метеоров.

На данный момент использование данных izMeteors в серьезных исследованиях еще ограничена, так как регулярные наблюдения начались только в июне 2025 года. Зато в данных доминируют слабые явления 4–6-й звездной величины. Что соответствует метеороидам сравнительно малых масс (обычно менее 10 мг). Логично пытаться комбинировать данные GMN, характеризующие распределение индивидуальных радиантов массивных метеороидов, и данные izMeteors, которые при должном ограничении по значению пикового блеска должны показывать распределение радиантов для маломассивной фракции. На рис. 3 показано распределение радиантов для Августовских Драконид, полученное посредством описанной комбинации данных.

Сложность здесь в том, что izMeteors пока не позволяет наблюдать «базисные» метеоры. Поэтому

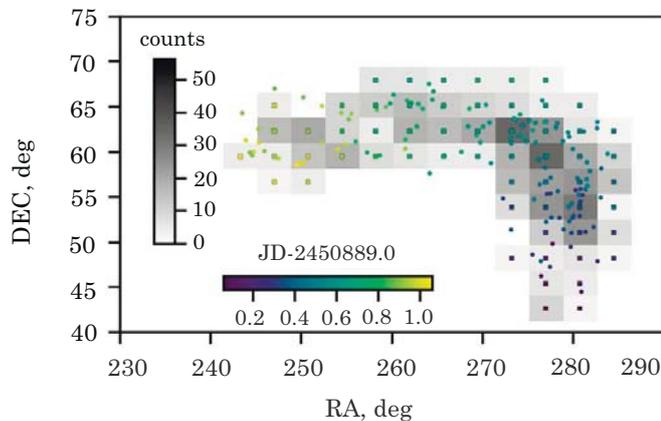


Рис. 3. Структура радианта метеорного комплекса Августовских Драконид по данным наблюдений сетей izMeteors (серые прямоугольники на диаграмме) и GMN (точки разного цвета) в августе–сентябре 2025 г. Градации серого цвета отвечают числу метеоров izMeteors, имеющих соответствующее угловое расстояние от номинального радианта до большого круга небесной сферы, определяемого метеором. Точки из базы данных GMN — индивидуальные радианты метеоров. Цвет точек соответствует юлианской дате, считая от 2460889.0. Цвет квадратных меток в центре каждой площадки соответствует среднему моменту времени фиксации всех метеоров, ассоциированных с данной областью неба

в данной работе окрестность номинального радианта (с учетом данных о его дрейфе) разбивалась на площадки размером 3 град. Далее подсчитывалось количество метеоров, большие круги которых пересекали данную площадку. Такое распределение радиантов показано на рис. 3 прямоугольниками в серой шкале (цвет ближе к темно-серому там, где больше пересечений). На эту диаграмму нанесены точки, отвечающие индивидуальным радиантам массивных метеороидов, взятым из базы данных GMN. Цвет квадратных меток в центре каждой площадки соответствует среднему моменту времени фиксации всех метеоров, ассоциированных с данной областью неба. Это позволяет проследить смещение радианта по данным izMeteors.

Анализ диаграммы показывает дрейф радианта на протяжении августа–сентября. Видно, что одновременно имеют место радианты, разнесенные на 5 и более градусов, что нехарактерно для метеорных роев, имеющих единственное родительское тело (например, радиант Квадрантид).

На доступных данных izMeteors в сравнении с радиантами из GMN пока нельзя говорить о значимом различии структуры распределения радиантов для метеороидов разных масс. Принимая во внимание этот факт, довольно значительную дисперсию радиантов, ранее проведенный анализ ассоциаций орбит метеороидов AUD с астероидами и кометами (смотрите раздел «Дискуссия о родительском теле Августовских Драконид» этой статьи), можно заключить, что с большой вероятностью мы имеем дело со сложным метеорным комплексом — системой метеороидных роев, порождающих соответствующую структуру распределения радиантов на небесной сфере.

Выводы

Как было отмечено ранее, исследование метеороидных роев, ассоциируемых с астероидами, сближающимися с Землей, является актуальной и весьма многообещающей в плане понимания механизма и динамики эжекции вещества с поверхностей этих тел. Метеороидный рой Августовских Драконид в первом приближении ассоциирован с астероидами 2002 GJ8 и 2016 NO16 (Dumitru, 2017). Наши исследования расширили этот список. Теперь в него входят астероиды 2017 NW5, 2020 HU6, которые еще не были открыты на момент публикации статьи (Dumitru, 2017), и кометы 206P/Barnard-Boattini и 21P/Giacobini-Zinner (комета-родоначальница метеорного потока Драконида с максимумом активности около 8 октября).

Построение таких ассоциаций орбит отражает текущее их взаимное расположение в Солнечной системе. Но из-за различных эффектов орбиты быстро эволюционируют, поэтому построения, основанные на использовании критериев согласия орбит, требуют дополнительных наблюдательных

подтверждений. Мы провели также соответствующий анализ структуры радиантов Августовских Драконид, основанный на сравнении данных двух сетей мониторинга метеорной активности: Global Meteor Network и izMeteors. В результате никакого пространственного разделения радиантов в зависимости от массы не прослеживается. Этот результат можно объяснить тем, что в случае Августовских Драконид мы имеем дело с несколькими телами-родоначальниками. Данный вывод хорошо согласуется с итогами представленного выше анализа орбитальных ассоциаций с помощью ряда критериев согласия. Любопытно отметить, что полученные нами результаты и их интерпретация не противоречат резюме работы ([Borovicka et al., 2025](#)), посвященной анализу радиантов 179 болидов, зафиксированных Европейской болидной сетью за 8 лет наблюдений. Авторы этой статьи показали, что систему подрадантов Августовских Драконид невозможно объяснить одним фиксированным набором орбитальных элементов.

Благодарность

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

Литература

- Дроздов Д. С., Ховричев М. Ю. Обнаружение метеоров с использованием алгоритма детектирования сегментов линий // Известия Главной астрономической обсерватории в Пулкове. 2025. № 236. С. 34–44.
- Измайлов И. С., Ховричев М. Ю., Толстой А. Л. и др. Детектирование изображений метеоров с помощью широкоугольного телескопа ШОС400 в обсерватории Ассы-Тургень // Известия Главной Астрономической Обсерватории в Пулкове. 2024. № 234. С. 22–35.
- Borovicka, J., Spurny, P., Kotkova, L., et al. The structure of kappa Cygnid and August Draconid meteoroid streams // *Astronomy and Astrophysics*. 2025. Vol. 695. id. A83. P. 16.
- Campbell, M., Hawkes R., Babcock O. Light curves of shower meteors: implications for physical structure. В: *Meteoroids 1998*. Ed. by W. J. Baggaley. 1999. V. Porubcan. P. 363.
- Dumitru B. A., Birlan M., Popescu M., Nedelcu D. A. Association between meteor showers and asteroids using multivariate criteria // *Astronomy and Astrophysics*. 2017. Vol. 607. id. A5. P. 22.
- Fodde I., Ferrari F. Dynamical modelling of rubble pile asteroids using data-driven techniques // *Astronomy and Astrophysics*. 2025. Vol. 695. A30. P. 13.
- Gabryszewski R., Wajer P., Wodarczyk I. Main-belt comets as contributors to the near-Earth objects population // *Astronomy and Astrophysics*. 2024. Vol. 691. A130. P. 7.
- Global Meteor Network [Электронный ресурс]. URL: <https://globalmeteornetwork.org/> (дата обращения 01.10.2025).
- Izmailov I., Khovrichev M., Tolstoy A., Pavlov S., Bikulova D. Detecting low signal-to-noise meteor images in the astronomical camera video stream // *Modern astronomy: from the Early Universe to exoplanets and black holes*. Special Astrophysical Observatory of the Russian Academy of Sciences. 2024. P. 777–780.
- izMeteors Database. izMeteors_camera_status_tbl [Электронный ресурс]. URL: https://pulmeteor.ru/izMeteors/izMeteors_camera_status_tbl (дата обращения 10.10.2025).
- izMeteors: meteor event detection network and database. M. Yu. Khovrichev, I. S. Izmailov, D. A. Bikulova, S. R. Pavlov. Introduction [Электронный ресурс]. URL: <https://github.com/ymax74/izMeteors> (дата обращения 10.10.2025).
- izMeteors: meteor event detection network and database. The research received funding from the Russian Science Foundation and the Saint Petersburg Science Foundation, project 24-22-20044 [Электронный ресурс]. URL: <https://izmeteors.puldb.ru/> (дата обращения 10.10.2025).
- izMeteors. Custom SQL query [Электронный ресурс]. URL: <https://pulmeteor.ru/izMeteors> (дата обращения 10.10.2025).
- Karpov S., Orekhova N., Beskin G., Biryukov A., et al. Two-station meteor observations with Mini-Mega-TORTORA and FAVOR wide-field monitoring systems // *Revista Mexicana de Astronomia y Astrofisica Conference Series*. 2019. Vol. 51. P. 127–130.
- Khovrichev M. Yu., Izmailov I. S., Bikulova D. A., Pavlov S. R., Tolstoy A. L. izMeteors: meteor event detection network and database // *The Sixteenth Moscow Solar System Symposium, 16M-S³, Space Research Institute of Russian Academy of Sciences, October 20–24, 2025*. P. 224–225.
- Khovrichev M. Yu., Pavlov S. R., Tolstoy A. L., Bikulova D. A. Verification of the association between the 2002 GJ8, 2016 NO16 asteroids and the august draconids (AUD) // *The Fifteenth Moscow Solar System Symposium, 15M-S³, Space Research Institute of Russian Academy of Sciences, October 21–25, 2024*. P. 304–305.
- Shustov B. M., Zolotarev R. V. Mass Indices of Meteoroid Bodies: I. Formation Model of Meteoroid Streams // *Astronomy Reports*. 2022. Vol. 66. P. 179–189.
- Trilling D. E., Mommert M., Hora J., et al. NEOSurvey 1: Initial results from the warm spitzer exploration science survey of near-earth object properties // *The Astronomical Journal*. 2016. Vol. 152. I. 6. ID. 172.
- Vida D., Blaauw Erskine R. C., Brown P. G., et al. Computing optical meteor flux using global meteor network data // *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. 2022. № 515, C. 2322–2339.
- Vida D., Šegon D., Gural P. S., et al. The global meteor network-methodology and first results // *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. 2021. Vol. 506. P. 5046–5074.
- Xu Y., Xin L. P., Han X. H., et al. The GWAC data processing and management system // *Revista Mexicana de Astronomia y Astrofisica Conference Series*. 2021. Vol. 53. P. 174–179.
- Ye Q.-Z. Meteor showers from active asteroids and dormant comets in near-Earth space: A review // *Planetary and Space Science*. 2018. Vol. 164. P. 7–12.