

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ АТМОСФЕРНОЙ ТРАЕКТОРИИ СТУПЕНИ РАКЕТЫ-НОСИТЕЛЯ «CZ-4В R/B» В УСЛОВИЯХ ДЕФИЦИТА ЭМПИРИЧЕСКИХ ДАННЫХ

Иванов К.И., Комарова Е.С., Язев С.А.

Иркутский государственный университет, Иркутск, Россия, ivorypalace@gmail.com

16 февраля 2023 г около 19:30 UT в небе над Иркутской областью был зафиксирован яркий болид. Специфический характер явления, включающий низкую угловую скорость, значительную степень фрагментации, нехарактерное направление движения и длительное время полёта прямо свидетельствовал в пользу антропогенного происхождения родительского тела, однако известные официальные источники не предоставили никакой информации на момент регистрации события. Траектория болида пролегла вблизи густонаселённых районов области, включая такие города, как Иркутск, Ангарск, Усолье-Сибирское, Байкальск и Улан-Удэ: данное обстоятельство обусловило значительное число свидетелей, вызвало определённый резонанс в информационном пространстве и привлекло внимание научного сообщества.

В число заинтересованных лиц вошли сотрудники Астрономической обсерватории и НИИ прикладной физики Иркутского государственного университета, реализующие проект базисных видеонаблюдений метеоров «SkyLine» в Тункинской долине (Республика Бурятия) [Иванов, Комарова, 2016; Комарова, Иванов, 2021]. Из четырёх детекторов комплекса, расположенных на территории Саянской солнечной обсерватории и предварительно удачно ориентиро-

ванных относительно предполагаемой траектории болида, лишь один перешёл в режим записи ввиду малой угловой скорости тела. При этом детекторы корреспондирующего пункта, удалённого на расстояние около 150 км, не были задействованы вовсе по причине их обратной ориентации. В условиях возникшего дефицита наблюдательных данных было принято решение о привлечении свидетельских показаний, а также организована кампания по сбору видеозаписей очевидцев, большинство из которых имели низкую информативность и не могли быть использованы в качестве источника значимой информации. Наиболее полезным оказался видеофрагмент, снятый на окраине г. Усолье-Сибирское, содержащий элементы окружающей обстановки и запечатлевший явление практически в зените на участке траектории, соответствующем направлению детектора «SkyLine», что позволило сформировать стереопару, необходимую для дальнейшего анализа (рис. 1).

Несмотря на то, что полученная информация не является достаточной для однозначного определения параметров траектории, локализация последней в кадре (рис. 1 В) при известной ориентации детектора позволяет определить семейство прямых, параллельных искомой траектории и лежащих на различной высоте. По результатам моделирования

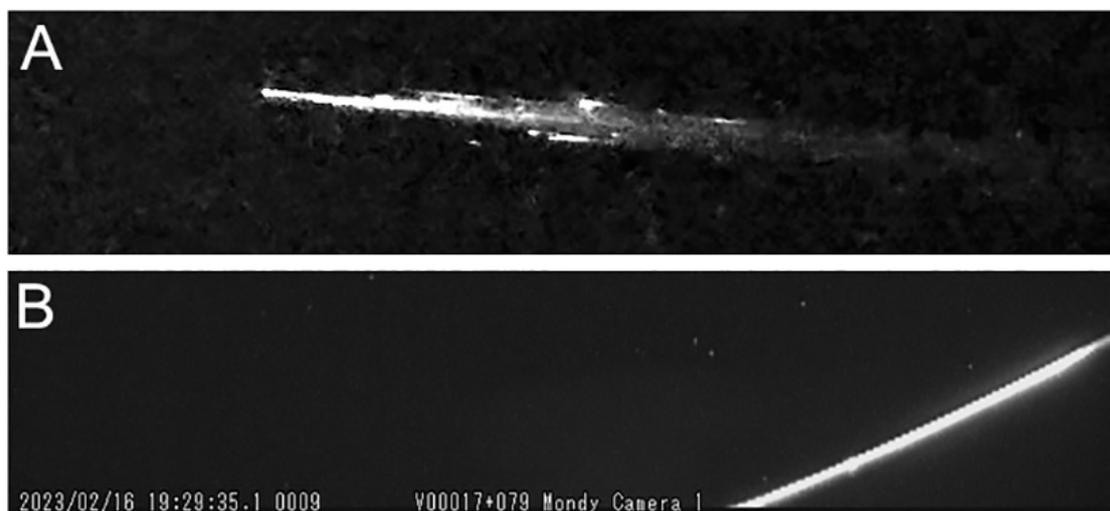


Рис. 1. Общий вид болида по данным видеорегистрации очевидца (А) и композитное изображение, полученное с помощью комплекса «SkyLine» (В)

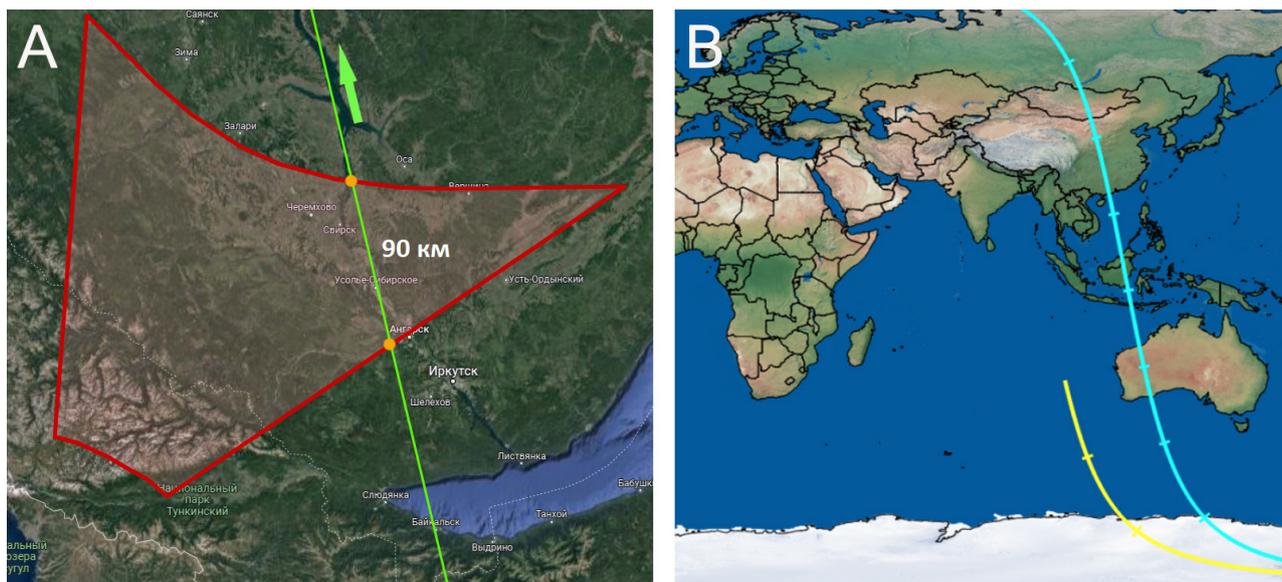


Рис. 2. Расчётная траектория болида на высоте 60 км (А) и траектория ступени РН «CZ-4В R/B», полученная по данным сервиса <https://aerospace.org/> (В). Поле зрения детектора на высоте 60 км обозначено красным. Направление движения указано стрелкой

было показано, что прямая, проходящая над г. Усолье-Сибирское, должна лежать на высоте около 60 км. Поскольку свидетельские кадры, снятые из данного города, демонстрируют болид вблизи зенита, было принято решение установить вышеназванную высоту в качестве опорной для дальнейших вычислений. Общая длина участка траектории, зафиксированного средствами «SkyLine», примерно равна 90 км. Расчётный азимут траектории составил $\sim 347^\circ$ (рис. 2 А).

Полученных данных оказалось достаточно для идентификации родительского тела средствами сервиса <https://aerospace.org/>: им оказалась ступень ракеты-носителя CZ-4B R/B «Чанчжэн» (NORAD id: 54819), запущенная с космодрома Тайюань 27.12.2022 в 07:37 UTC с целью вывода на орбиту спутника «Gaofen 11-04», предназначенного для решения задач дистанционного зондирования Земли. Траектория объекта на заключительном витке орбиты представлена на рис. 2 В.

Поскольку авторы не располагали информацией о фактическом времени и локализации точки входа объекта в атмосферу, недостающие данные были получены с помощью профильного сервиса www.orbitalfocus.uk, согласно которому расчетный момент входа составляет 19:27 UTC с точностью до минуты, при этом координаты проекции точки входа равны: $44^\circ.5\text{ N}$, $106^\circ.6\text{ E}$. Данная точка расположена над пустыней Гоби (Монголия) приблизительно в 950 км от места регистрации свидетельского видео.

Принимая начальную высоту загорания равной 100 км, получаем угол наклона траектории по от-

ношению к горизонту $\sim 2.4^\circ$. Кроме того, учитывая продолжительность движения вдоль участка траектории, зафиксированного детектором комплекса «SkyLine», и зная его фактическую длину, имеем среднюю скорость на зафиксированном участке траектории, равную $\sim 6\text{ км/с}$. Предполагая в дальнейшем начальную скорость входа в атмосферу равной первой космической, получаем значение отрицательного ускорения родительского тела около -14 м/с^2 .

Полученная информация потенциально позволяет оценить вероятное место падения обломков, однако строгий расчёт в баллистическом приближении не представляется возможным ввиду значительного соотношения площади к объёму, предполагаемого на основании особенностей строения космических аппаратов. В качестве альтернативы авторы предпочли решение в квазипараболическом приближении, принимая вертикальную компоненту скорости постоянной и равной $\sim 150\text{ м/с}$ при условии равнозамедленного движения вдоль горизонтальной оси вплоть до высоты 30 км, откуда, согласно некоторым предположениям [Стулов и др., 1995; Moilanen et al., 2021], тела падают свободно. С учётом введённых поправок, модуль торможения увеличивается до значения $\sim 17\text{ м/с}^2$, при этом ориентировочное значение длины проекции траектории от точки входа до предполагаемого места падения составит 1880 км. Таким образом, падение головного фрагмента ожидается на территории Тунгусского государственного природного заповедника (Красноярский край) в точке: $60^\circ.854\text{ N}$ $99^\circ.310\text{ E}$.

Анализ угловых характеристик болида в пересчёте на линейные величины, ставший возможным благодаря наличию в кадре очевидца объектов заданных размеров, а также известная тенденция отставания хвостовых частей болида от головной позволяют предположить эллипс разброса осколков с соотношением длин осей $\sim 40 \times 3$ км. Общая площадь предполагаемого выпадения фрагментов ~ 95 км².

Необходимо подчеркнуть, что авторы не претендуют на истинность выдвинутых предположений, и все расчёты носят приблизительный характер. Тем не менее, предложенная схема анализа может быть полезна для исследования атмосферных траекторий объектов в условиях острой нехватки информации.

Работа выполнена на УНУ «Астрофизический комплекс МГУ-ИГУ», поддержана Минобрнауки России (соглашение ЕВ-075-15-2021-675), гос. заданием FZZE-2020-0024, FZZE-202-0004.

ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов К.И., Комарова Е.С. «SkyLine» – универсальный проект видеонаблюдения метеоров // Известия Иркутского государственного университета. Серия: Науки о Земле. 2016. Т. 16. С. 55–66.
2. Комарова Е.С., Иванов К.И. Проект «SkyLine» – новый этап метеорных наблюдений // Избранные проблемы астрономии. Материалы V Всероссийской астрономической конференции, посвященной 90-летию астрономической обсерватории ИГУ. Иркутск: Иркутский государственный университет, 2021. С. 27–33.
3. Стулов В.П., Мирский В.Н., Вислый А.И. Аэродинамика болидов. М.: Наука, Физматлит, 1995. 240 с.
4. Moilanen J., Gritsevich M., Lyytinen E. Determination of strewn fields for meteorite falls // MNRAS. 2021. V. 503. P. 3337–3350.