

УДК 523.682

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ МЕЛКИХ МЕТЕОРНЫХ ТЕЛ: ВЛИЯНИЕ ТЕПЛОТЫ АБЛЯЦИИ

© 2024 г. А. И. Бушманова<sup>1,\*</sup>, В. В. Ефремов<sup>1</sup>, О. П. Попова<sup>1</sup>, Д. О. Глазачев<sup>1</sup>,  
А. П. Карташова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт динамики геосфер имени академика М. А. Садовского РАН, Москва, Россия

<sup>2</sup>Институт астрономии РАН, Москва, Россия

\*E-mail: bushmanova.ai@phystech.edu

Модель абляции используется для оценки физических параметров метеороидов миллиметрового размера. В используемой модели абляции энергия набегающего потока расходуется только на потерю массы метеороида. Подбор параметров (размер и плотность) метеороидов для воспроизведения кривых блеска осуществляется с помощью автоматизированного подхода. Исследовано влияние теплоты абляции на массу, плотность и размер метеороидов. Оценки параметров метеороидов, полученные в рамках данной модели, сравниваются с оценками по эмпирическим соотношениям и с оценками по другой модели абляции.

**Ключевые слова:** метеоры, метеороиды, модель абляции, метеорный поток Персеид.

**Для цитирования:** Бушманова А.И., Ефремов В.В., Попова О.П., Глазачев Д.О., Карташова А.П. Определение параметров мелких метеорных тел: влияние теплоты абляции // Динамические процессы в геосферах. Т. 16. №. 4. С. 75–82. [https://doi.org/10.26006/29490995\\_2024\\_16\\_4\\_75](https://doi.org/10.26006/29490995_2024_16_4_75)

### Введение

Метеорные тела, наряду с астероидами и кометами, являются важным источником информации о Солнечной системе, так как их состав указывает на химический состав материи на ранних этапах развития системы. Большинство метеорных тел не попадает на поверхность Земли и не становятся метеоритами. Атмосфера выступает в роли детектора, позволяя изучать метеоры. Так как астероиды и кометы являются родительскими телами метеорных тел, изучение последних дает возможность косвенно исследовать первые.

Несмотря на продолжительную историю исследований метеорных явлений, проблема точного определения массы, плотности и свойств материи метеороидов на основе наблюдений остается нерешенной. Из-за недостаточных знаний о взаимодействии метеорных частиц с атмосферой все характеристики этих объектов определяются с большими погрешностями. Процесс потери массы метеороида принято называть абляцией [Лебединец, 1980]. Абляция зависит от различных параметров метеороида, таких как масса, размер, угол и скорость входа в атмосферу и другие.

В данной работе одна из моделей абляции применяется для определения параметров метеороидов потока Персеид, наблюдавшихся в 2016 г. Данные наблюдения были проведены на SPOSH камерах (Smart Panoramic Optical Sensor Head) [Margonis et al., 2018], которые предоставляют высокоточные фотометрические данные. Наблюдения проводились базисно (с двух пунктов), что позволило определить абсолютную звездную величину и скорость метеороидов в зависимости от высоты полета и другие параметры. Были выбраны 29 метеороидов, зарегистрированных во время пика активности потока. Ранее 11 из них исследовались при помощи другой модели абляции [Efremov et al., 2021; Efremov et al., 2023].

### Модель абляции

Модели абляции используют для оценки параметров метеороидов (массы, плотности и др.) по наблюдательным данным. Существует два основных варианта модели абляции, которые так или иначе

модифицируются разными авторами [Popova et al., 2019]. В одной модели абляции (будем называть ее модель А) набегающий поток расходуется на нагрев метеороида, переизлучение и на испарение. Испарение описывается уравнением Клапейрона–Клаузиуса [Лебединец, 1980; Бронштэн, 1981]. В другой модели (будем называть ее модель Б) набегающий поток расходуется только на потерю массы метеороида (за счет испарения) [Бронштэн, 1981; Стулов и др., 1995] и предполагается, что основная часть траектории метеороида расположена ниже высоты интенсивного испарения [Ceplecha et al., 1998].

В рамках модели А предполагается, что метеороид нагревается как целое, поэтому для этой модели были выбраны метеоры с абсолютной звездной величиной от  $+2^m$  до  $-2^m$ , так как более яркие метеоры (более крупные метеороиды) полностью не прогреваются. Для более крупных тел необходимо рассматривать теплопроводность до начала процесса интенсивного испарения [Бронштэн, 1981; Ceplecha et al., 1998]. Для метеоров, слабее  $+2^m$ , кривая блеска зашумлена. Модель А рассматривалась в статьях ранее для выборки из тех же 11 метеоров [Efremov et al., 2021; Efremov et al., 2023].

В данной работе модель абляции Б [Бронштэн, 1981; Ceplecha et al., 1998] применяется к 29 метеорам. Оценка параметров (масса, плотность и радиус) метеороидов проводится автоматизированным методом поиска решения с помощью минимизации функции невязки [Efremov et al., 2021] (используется специально разработанная программа для поиска параметров метеороида).

Размер и плотность метеороида, определяемые по данным наблюдений, зависят не только от подобранных кривых блеска и торможения, но и от предположений об эффективности высвета ( $\tau$ ), коэффициенте теплопередачи, теплоте абляции и т.д., используемых в модели абляции. Назовем эти величины параметрами модели, хотя они зависят и от свойств метеороида, и от режима его полета [Бронштэн, 1981; Popova et al., 2019]. В текущем применении модели абляции эффективность высвета ( $\tau$ ) предполагается постоянной на протяжении всего полета метеороида и составляет 5% [Weryk, Brown, 2013; Subasinghe et al., 2017].

В рамках данной работы метеороид считается сферическим телом. Коэффициент теплопередачи считается постоянным вдоль траектории и равным значению для сферы в свободномолекулярном режиме ( $c_h = 1$ ) [Бронштэн, 1981]. Для 11 метеоров в модели принимались два разных значения теплоты абляции  $H^*$ , часто используемые при оценке параметров метеороидов:  $6 \times 10^6$  Дж/кг [Vondrak et al., 2008] и  $3.2 \times 10^6$  Дж/кг [Costa et al., 2017]. Для остальных 18 метеороидов теплота абляции не варьируется и составляет  $6 \times 10^6$  Дж/кг. Для каждого метеора проведена минимизация функции невязки между наблюдаемыми и модельными данными, что дает возможность определить параметры метеорного тела (размер, плотность и т.д.). В работе используются четыре функции невязки, две из которых опираются на интенсивность излучения ( $\Delta_{AI}$ ,  $\Delta_{RI}$ ), а две на звездную величину метеора ( $\Delta_{AM}$ ,  $\Delta_{RM}$ ) [Efremov et al., 2021]. Численный код реализован в WolframMath.

## Анализ данных

Параметры метеорных тел определяются только по кривой блеска, так как используемая аппаратура не позволяет зарегистрировать незначительное торможение мелких метеороидов. При поиске решения контролируется вручную отсутствие значительного торможения (потеря не более 10% начальной скорости). Важно отметить, что в нашей модели не учитывается фрагментация метеороида, хотя ее влияние может быть значительным.

Полученные массы 11 метеороидов приведены в Таблице 1. Различие в оценках массы по двум моделям абляции (для  $\tau = 5\%$ ) составляет до 1.5 раз. Оценка плотности может меняться до пяти раз.

Масса небольших метеороидов (миллиметровых размеров) зачастую определяется с помощью эмпирических соотношений, которые используют максимальную яркость метеора, скорость и угол входа [Jacchia et al., 1967; Verniani, 1965; Jenniskens, 2006; Vida et al., 2018]. Для эмпирической оценки по соотношению из работы Vida et al. (2018) было использовано скорректированное выражение Vida (2023, персональное сообщение), поскольку в оригинальной работе приведена формула с опечатками.

Таблица 1.

Оценки масс 11 рассматриваемых метеороидов, полученные в рамках двух моделей абляции

Метеор	Масса, $10^{-5}$ кг		
	Моделирование (Модель А), $\tau = 5\%$	Моделирование (Модель А), $\tau = 1\%$	Моделирование (Модель Б), $\tau = 5\%$
20160811_184336	$1.73 \pm 0.17$	$8.76 \pm 0.95$	$2.43 \pm 0.34$
20160811_221139	$1.14 \pm 0.13$	$5.40 \pm 0.62$	$1.14 \pm 0.45$
20160811_200532	$0.97 \pm 0.12$	$4.82 \pm 0.67$	$1.28 \pm 0.16$
20160811_202351	$0.99 \pm 0.08$	$4.93 \pm 0.51$	$1.39 \pm 0.08$
20160811_190504	$0.93 \pm 0.10$	$4.72 \pm 0.57$	$1.41 \pm 0.11$
20160811_205252	$0.51 \pm 0.03$	$2.56 \pm 0.17$	$0.71 \pm 0.07$
20160811_190233	$0.19 \pm 0.03$	$0.97 \pm 0.16$	$0.35 \pm 0.09$
20160811_205351	$0.46 \pm 0.04$	$2.31 \pm 0.25$	$0.75 \pm 0.03$
20160811_202522	$0.42 \pm 0.03$	$2.10 \pm 0.15$	$0.66 \pm 0.05$
20160811_205505	$0.39 \pm 0.02$	$1.78 \pm 0.39$	$0.45 \pm 0.12$
20160811_205716	$0.15 \pm 0.05$	$0.80 \pm 0.09$	$0.23 \pm 0.01$

Примечание: оценки по модели А получены в [Efremov et al., 2021].

Оценки массы, полученные на основе эмпирических соотношений, представлены в Таблице 2, а результаты моделирования рассматриваемых метеоров – в Таблице 1. Эти оценки демонстрируют значительную неопределенность в определении массы – более чем на порядок величины, что является давней проблемой в метеорных исследованиях. Наши оценки массы по модели Б (Табл. 1) наиболее близки к значениям, полученным по формуле из Vida et al. (2018) (Табл. 2) (отличаются до 6 раз при эффективности высвета 5%).

Таблица 2.

Скорость, угол входа, абсолютная звездная величина для 11 рассматриваемых метеороидов

Метеор	$V$ , км/с	$\gamma$ , °	$M_v$	Масса, $10^{-5}$ кг			
				Jacchia et al. (1967)	Verniani (1965)	Jenniskens (2006)	Vida et al. (2018), $\tau = 5\%$
20160811_184336	60.7	12.8	-1.14	14.28	39.35	110.90	0.44
20160811_221139	58.3	32.1	-1.30	10.91	37.26	105.02	0.63
20160811_200532	61.3	17.0	-0.91	9.01	27.29	76.92	0.37
20160811_202351	60.7	21.4	-0.73	6.74	21.97	61.92	0.33
20160811_190504	66.2	14.8	-0.78	6.42	18.94	53.39	0.27
20160811_205252	59.4	21.5	-0.18	4.18	14.37	40.49	0.24
20160811_190233	66.8	13.3	0.55	1.73	5.61	15.82	0.10
20160811_205351	59.4	22	-0.18	4.18	14.37	40.49	0.24
20160811_202522	60.4	19	-0.05	3.67	12.43	35.04	0.21
20160811_205505	60.5	22	0.12	2.81	10.02	28.23	0.18
20160811_205716	63.5	24	0.64	1.30	4.97	14.00	0.11

Примечание: оценки массы по эмпирическим соотношениям из работ [Jacchia et al., 1967; Verniani, 1965; Jenniskens, 2006; Vida et al., 2018].

Для каждого из 29 метеороидов поиск параметров осуществлялся по четырем функциям невязки. Для 11 метеороидов такая процедура была проведена для каждого из двух выбранных значений теплоты абляции.

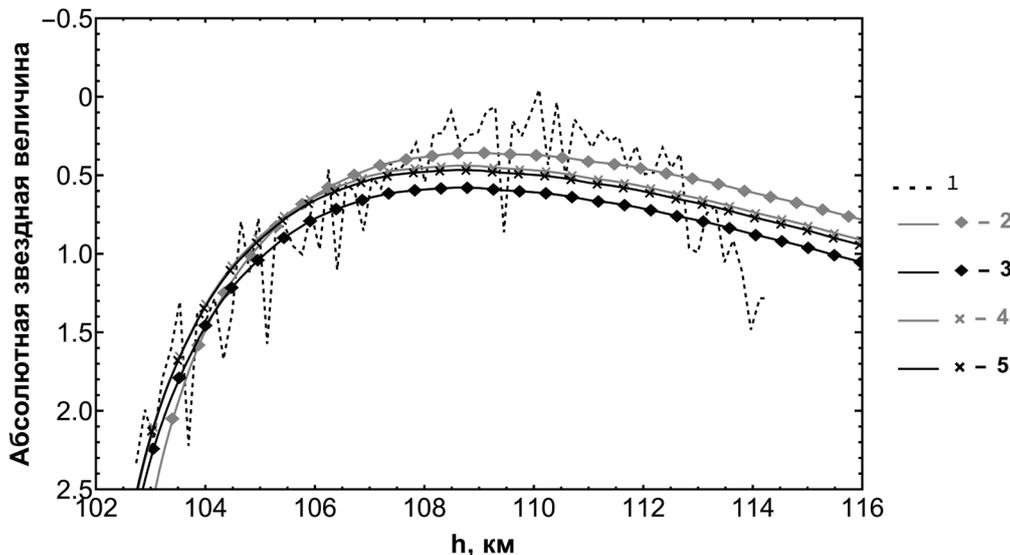


Рис. 1. Кривая блеска метеора 20160811\_202522 (пунктир, кривая 1) и модельные кривые, полученные по невязке:  $\Delta_{AI}$  (2),  $\Delta_{RI}$  (3),  $\Delta_{AM}$  (4),  $\Delta_{RM}$  (5). Параметры решения приведены в Табл. 2

Наблюдаемая кривая блеска и модельные кривые, полученные при помощи различных функций невязки, приведены на рис. 1 для одного из 29 метеороидов, метеора 20160811\_202522. Модельные кривые, полученные при разных функциях невязки, лучше описывают различные части кривой блеска. Например, решение, полученное с использованием функции невязки  $\Delta_{AI}$ , основанной на минимизации стандартного отклонения, лучше описывает середину и конец кривой блеска. В Таблице 3 показаны параметры решения для этого метеора при использовании различных функций невязки. Оценка массы метеороида слабо зависит от выбора функции невязки (отклонение от среднего на 11% или менее), радиус и плотность также слабо зависят от функции невязки.

Таблица 3.

**Оценки параметров метеора 20160811-202522 в зависимости от типа невязки**

Тип невязки	Масса, $10^{-5}$ кг	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Радиус, см	Значение невязки
$\Delta_{AI}$	0.73	717	0.13	$1.38 \times 10^{-8}$
$\Delta_{RI}$	0.59	867	0.12	0.29
$\Delta_{AM}$	0.67	812	0.13	0.30
$\Delta_{RM}$	0.65	829	0.12	0.03
Среднее значение	$0.66 \pm 0.05$	$806 \pm 55$	$0.13 \pm 0.00$	

Примечание: теплота абляции  $3.2 \times 10^6$  Дж/кг.

На рис. 2 рассматривается метеор 20160811-202522, показано сравнение параметров, полученных с использованием одной выбранной невязки для разных значений теплоты абляции ( $6 \times 10^6$  и  $3.2 \times 10^6$  Дж/кг). Можно заметить, что решения, найденные по рассмотренной невязке, наложились друг на друга и хорошо совпадают с кривой блеска. Масса этого метеороида, полученная при использовании разных значений теплоты абляции, отклоняется до 10%, а плотность различается (Табл. 4). Различие в плотностях может достигать трех раз для одного и того же метеора при использовании разных невязок

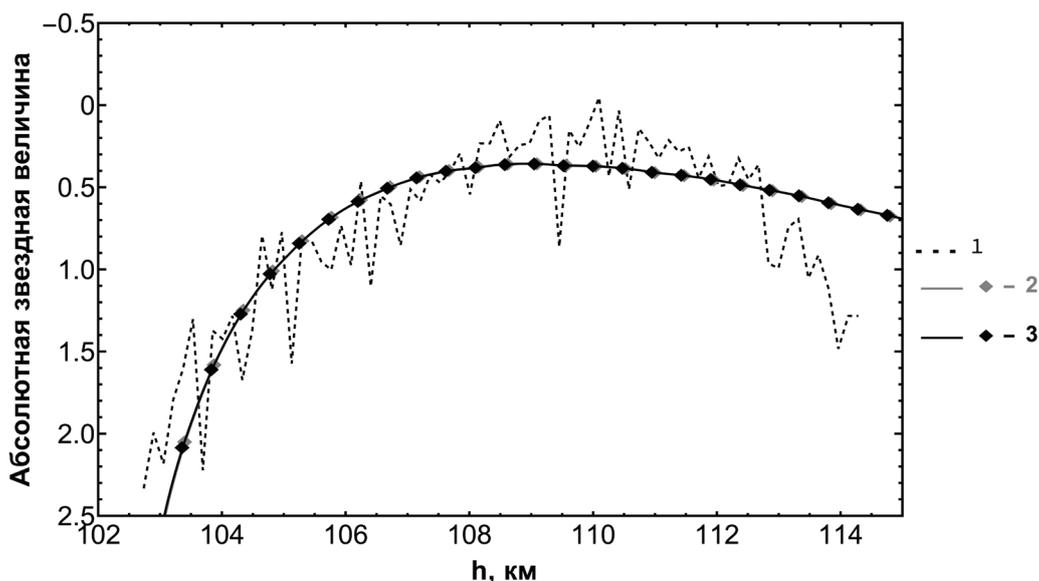


Рис. 2. Кривая блеска метеора 20160811\_202522 (пунктир, кривая 1) и модельные кривые, полученные по невязке  $\Delta_{AI}$  для разных значений теплоты абляции (кривые совпадают)

и разной теплоты абляции. Радиус также определяется со значительной погрешностью. Таким образом, показано, что оценка массы метеороида слабо зависит от выбора конкретной теплоты абляции (рис. 2, Табл. 4). При поиске решения варьируются радиус и плотность метеороида.

Таблица 4.

Параметры метеора 20160811-202522, полученные при использовании одной из невязок ( $\Delta_{AI}$ )

Теплота абляции, $10^6$ Дж/кг	Масса, $10^{-5}$ кг	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Радиус, см	Значение невязки $\Delta_{AI}$
3.2	0.73	717	0.013	$1.38 \times 10^{-8}$
6	0.73	279	0.018	$1.38 \times 10^{-8}$

Выбор модели абляции существенно влияет на форму модельной кривой блеска, качество ее подбора (рис. 3).

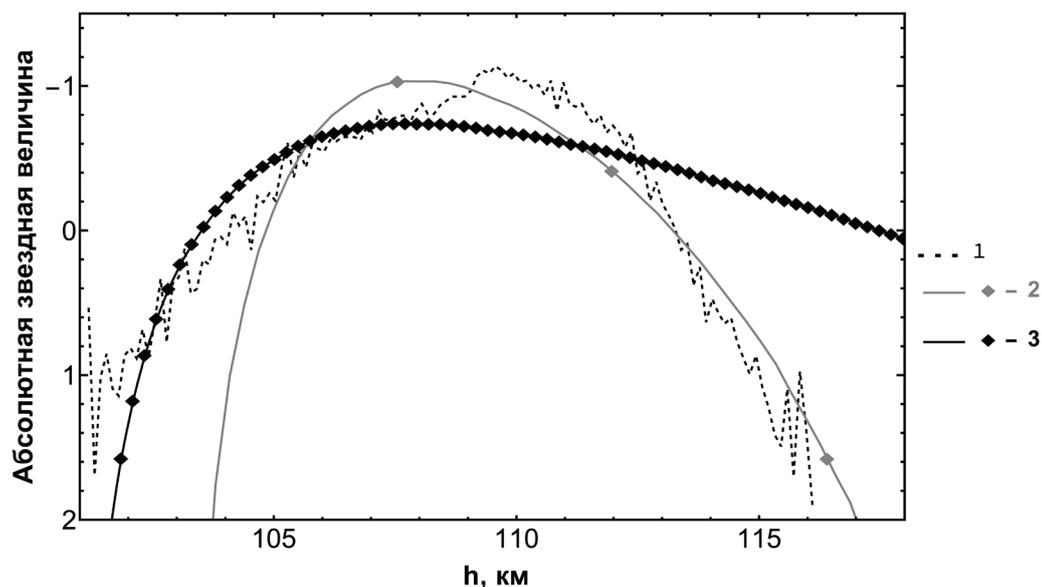


Рис. 3. Кривая блеска метеора 20160811\_202522 (пунктир, кривая 1) и модельные кривые, полученные по невязке  $\Delta_{AI}$ : модель А (2) и модель Б (3). Результаты модели А получены в [Efremov et al., 2021]

Определение плотности метеороидов в рамках нашей модели сопряжено с большой погрешностью. Как было показано раньше [Efremov et al., 2021], средняя плотность (в рамках модели А) составляет  $362 \pm 237$  кг/м<sup>3</sup>, для отдельных метеоров разброс средних плотностей составляет от  $114 \pm 99$  до  $640 \pm 500$  кг/м<sup>3</sup>. В рамках модели Б для этих же 11 метеороидов с использованием теплоты абляции  $3.2 \times 10^6$  Дж/кг средняя плотность метеороидов составляет  $1573 \pm 657$  кг/м<sup>3</sup>, для отдельных метеоров разброс средних плотностей составляет от  $672 \pm 259$  до  $2661 \pm 207$  кг/м<sup>3</sup>. Для большего числа метеороидов (29 метеоров) в рамках модели Б с использованием теплоты абляции  $6 \times 10^6$  Дж/кг средняя плотность метеороидов составляет  $991 \pm 400$  кг/м<sup>3</sup>, для отдельных метеоров разброс средних плотностей составляет от  $201 \pm 14$  до  $2254 \pm 1055$  кг/м<sup>3</sup>. Оценка плотности в случае модели Б оказывается выше, чем для модели А. Оценки плотности метеороидов для модели Б и разных значений теплоты абляции различаются до 2.5 раз.

Наши оценки плотности по модели Б оказываются немного выше известных плотностей комет. Плотность пылевых частиц кометы 67P/Чурюмова–Герасименко, собранных космическим аппаратом COSIMA в миссии Rosetta, составляет от 100 до 400 кг/м<sup>3</sup> [Hornung et al., 2016], средняя плотность самой кометы оценивается в 537 кг/м<sup>3</sup> [Patzold et al., 2019].

Ряд авторов оценили плотность частиц из потока Персеид по модели абляции. В работе [Bellot Rubio et al., 2002] для 5 Персеид с яркостью от  $+2.5^m$  до  $-5^m$  плотность была оценена как  $600 \pm 100$  кг/м<sup>3</sup>. Babadzhanov, Kokhirova (2009) оценили плотность для 44 метеороидов потока Персеид с яркостью от  $-1^m$  до  $-9^m$  как  $1300 \pm 200$  кг/м<sup>3</sup>. Kikwaya et al. (2011) оценили плотность 107 метеороидов потока Персеид с яркостью от  $+6^m$  до  $+2.5^m$  как 420–820 кг/м<sup>3</sup>. Оценки плотности метеороидов Персеид сопоставимы с оценками других исследователей, полученными на основе анализа наблюдательных данных.

## Заключение

Автоматизированный метод оценки параметров метеороидов (массы, размера и плотности) по кривым блеска, основанный на модели абляции Б, был применен к 29 метеороидам потока Персеид.

Для 29 метеороидов оценка массы метеороида в рамках рассматриваемой модели абляции Б мало зависит от выбора функции невязки (отклонение от среднего значения не более 15%), радиус также слабо зависит от функции невязки (отклонение от среднего значения не более 10%), для плотности отклонение от среднего не выше 15%.

Показано, что при изменении теплоты абляции для 11 метеороидов оценка массы слабо зависит, плотность и размер изменяются (компенсируя изменения друг друга, для сохранения массы). Оценка плотности может варьироваться до 3 раз.

Использование разных моделей абляции (А и Б) сильно влияет на форму модельной кривой блеска, качество ее приближения. Заметно изменяются оценки масс: для 11 метеороидов оценки массы по модели Б отличаются от ранее полученных значений по модели А [Efremov et al., 2021] до 1.5 раз. Плотность может меняться до 5 раз.

## Финансирование

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ (ИДГ РАН – тема № 122032900176-3; ИНАСАН – № АААА-А19-119031990073-9).

## Список литературы

- Бронштэн В.А. Физика метеорных явлений. М. : Наука. 1981. – 416 с.  
Лебединец В. Пыль в верхней атмосфере и в космосе. Метеоры. Ленинград : Гидрометеиздат. 1980. – 272 с.  
Стулов В.П., Яров В.П., Ярова В.П. Абляция метеороидов и их движение в атмосфере. М. : Наука. 1995. – 312 с.  
Babadzhanov P.B., Kokhirova G.I. The density of meteoroids in meteoroid streams // Astronomy & Astrophysics. 2009. Vol. 495. P. 353–359. <https://doi.org/10.1051/0004-6361:200810460>

- Bellot Rubio L.R., Trigo-Rodriguez J.M., Spurný P.* High-resolution CCD photometry of Perseid meteors: Atmospheric densities and ablation properties // *Earth, Moon, and Planets*. 2002. Vol. 91. P. 1–15. <https://doi.org/10.1017/S0251107X00001437>
- Ceplecha Z., Borovička J., Spurný P., Keay C.S.L.* Meteor phenomena and bodies // *Space Science Reviews*. 1998. Vol. 84. P. 327–471. <https://doi.org/10.1023/A:1005069928850>
- Costa G.C., Jacobson N.S., Fegley Jr. B.* Vaporization and thermodynamics of forsterite-rich olivine and some implications for silicate atmospheres of hot rocky exoplanets // *Icarus*. 2017. Vol. 289. P. 42–55. <https://doi.org/10.1016/j.icarus.2017.02.006>
- Efremov V., Popova O., Glazachev D., Margonis A., Oberst J., Kartashova A.* Perseid Meteor Stream Observations and Modelling // *Contributions of the Astronomical Observatory Skalnaté Pleso*. 2023. Vol. 55. P. 220–234. <https://doi.org/10.31577/caosp.2021.51.3.186>
- Efremov V., Popova O., Glazachev D., Margonis A., Oberst J., Kartashova A.* Small Meteor Ablation Model: Applying to Perseid Observations // *Contributions of the Astronomical Observatory Skalnaté Pleso*. 2021. Vol. 51. P. 186–206. <https://doi.org/10.31577/caosp.2021.51.3.186>
- Hornung K., Merouane S., Ligier N. et al.* Comet 67P/Churyumov-Gerasimenko: dust properties from the COSIMA/Rosetta mass spectrometer // *Astronomy & Astrophysics*. 2016. Vol. 596 (A65). <https://doi.org/10.3847/2041-8205/816/2/L32>
- Jacchia L.G., Verniani F.* An analysis of meteor deceleration // *Smithsonian Contributions to Astrophysics*. 1967. Vol. 10. P. 1–95.
- Jenniskens P.* Meteor Showers and their Parent Comets. Cambridge University Press. 2006. – 790 p.
- Kikwaya J.B., Campbell-Brown M.D., Brown P.G.* Bulk density of small meteoroids from meteor radar observations // *Astronomy & Astrophysics*. 2011. Vol. 530 (A113). <https://doi.org/10.1051/0004-6361/201116431>
- Margonis A., Christou A., Oberst J.* Observations of meteors in the Earth's atmosphere: Reducing data from dedicated double-station wide-angle cameras // *Astronomy and Astrophysics*. 2018. Vol. 618 (A99). P. 1–11. <https://doi.org/10.1051/0004-6361/201832927>
- Patzold M., Andert T.P., Hahn M. et al.* A homogeneous nucleus for comet 67P/Churyumov-Gerasimenko from its gravity field // *Nature*. 2019. Vol. 530. P. 63–65. <https://doi.org/10.1038/nature16535>
- Popova O., Kartashova A.* Ablation models of meteoroids: modern methods and approaches // *Journal of Astronomical Research*. 2019. Vol. 47. P. 205–218.
- Subasinghe D., Campbell-Brown M., Stokan E.* Multistation optical observations of faint meteors with the Canadian Automated Meteor Observatory // *Meteoritics & Planetary Science*. 2017. Vol. 52. P. 1681–1694. <https://doi.org/10.1016/j.pss.2016.12.009>
- Verniani F.* Mass-loss and fragmentation of meteoroids in the atmosphere // *Journal of Atmospheric Sciences*. 1965. Vol. 22. P. 103–109.
- Vida D., Gural P., Brown P.* A comprehensive analysis of decelerations and fragmentations observed in faint meteors // *Planetary and Space Science*. 2018. Vol. 152. P. 39–53. <https://doi.org/10.1093/mnras/sty1841>
- Vondrak T., Borovička J., Stulov V.* Modelling of meteor ablation // *Astronomy & Astrophysics*. 2008. Vol. 486. P. 627–634. <https://doi.org/10.5194/acp-8-7015-2008>
- Weryk R.J., Brown P.G.* Simultaneous radar and video meteors: Radiant, orbital, and meteoroid bulk density distributions // *Icarus*. 2013. Vol. 225. P. 614–622. <https://doi.org/10.1016/j.pss.2013.03.012>

## **DETERMINATION OF PARAMETERS OF SMALL METEOROID BODIES: THE INFLUENCE OF THE HEAT OF ABLATION**

**© 2024 A. I. Bushmanova<sup>1,\*</sup>, V. V. Efremov<sup>1</sup>, O. P. Popova<sup>1</sup>, D. O. Glazachev<sup>1</sup>,  
A. P. Kartashova<sup>2</sup>**

*<sup>1</sup>Sadovsky Institute of Geospheres Dynamics of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

*<sup>2</sup>Institute of Astronomy of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

*\*E-mail: bushmanova.ai@phystech.edu*

The ablation model is used to estimate the physical parameters of millimeter-sized meteoroids. In the ablation model used, the energy of the incident flow is spent only on the loss of mass of the meteoroid. The selection of parameters (size and density) of meteoroids for the reproduction of light curves is carried out using an automated approach. The influence of ablation heat on the mass, density and size of meteoroids was investigated. The estimates of meteoroid parameters obtained within the framework of this model are compared with estimates based on empirical relationships and with estimates based on another ablation model.

**Keywords:** Meteors, meteoroids, ablation model, Perseid meteor shower.