

УДК 523.683

ИСЧЕЗНУВШИЙ МЕТЕОРНЫЙ РОЙ СОЗВЕЗДИЯ ВОРОНА

*Г.В. Жуков, М.Г. Ишмухаметова,
Е.Д. Кондратьева, В.С. Усанин*

Аннотация

Метеорный рой с радиантом в созвездии Ворона наблюдался всего один раз – в 1937 г. Попытки найти его родительское тело не прекращаются до сих пор. К. Хоффмайстер указал на близость элементов роя и кометы Темпеля–Свифта. Однако из-за разницы в аргументах перигелия орбит эта гипотеза была отвергнута. Другие предложенные варианты тоже не выдержали критики. Нам представляется необходимым более детально, учитывая новые вычислительные возможности, исследовать первую гипотезу К. Хоффмайстера, а также поставить вопрос о точности исходных данных (радианта и большой полуоси орбиты роя) и обозначить проблемы уточнения физики и динамики движения комет гантелевидной формы как вблизи Юпитера, так и в окрестностях перигелия их орбит.

Ключевые слова: метеорные потоки, комета 11P/Темпеля–Свифта – LINEAR, астероид, К. Хоффмайстер, радиант, эволюция орбит малых тел Солнечной системы.

Конец 2001 г. ознаменовался значительным событием в мире кометной астрономии. После почти 100-летнего забвения 7 декабря была переоткрыта комета Темпеля–Свифта, которая теперь обозначается в каталогах как 11P/Tempel–Swift – LINEAR. История кометы не представляет собой что-то необычное. Открытая в октябре 1869 г., она выглядела как туманность со слабым сгущением в центре. Однако в феврале 1870 г. Штрассер [1] и Вайс [2] отмечали, что комета выглядит необычно, с множественным строением центральной части. На затруднительность наблюдений в связи с размытостью ядра указывали почти все наблюдатели.

Одним из первых элементы орбиты кометы определил Опольцер [3]. Они получены на основе на 4 наблюдений, выполненных в октябре 1869 г., и позднее неоднократно уточнялись, так что принадлежность кометы к группе Юпитера не вызывала сомнений. Открывший ее (так же как комету 1869 Темпель-2) В. Темпель был удостоен медали Академии наук Вены. Комета наблюдалась также в 1880, 1891 и 1908 гг. Она всегда была трудна для определения координат, а в 1891 г. еще наблюдались и два слабых туманных объекта вблизи ядра кометы.

Первые три появления кометы в 1869, 1880 и 1891 гг. были объединены М. Маубантом [4]. Позднее к ним было присоединено появление 1908 г., и комета вошла в каталог Б. Марсдена с орбитой, определенной по четырем появлениям, но всего по 39 наиболее надежным наблюдениям. Определенные Б. Марсденом совместно с Э. Секаниной параметры негравитационных эффектов в движении кометы приведены в работе [5], в этой же работе впервые указано и наличие резонанса 2:1 с Юпитером. Необходимо отметить, что в формулах, описывающих негравитационные эффекты [5], параметр A_2 , отвечающий за выбросы вдоль скорости движения кометы, определен наиболее надежно. После 1908 г. комета была потеряна, и только

Табл. 1

Сближения кометы Темпеля–Свифта с Юпитером и эволюция аргумента перигелия ω и долготы узла Ω

| Год | Расстояние до Юпитера, а.е. | ω , градусы | Ω , градусы |
|------|-----------------------------|--------------------|--------------------|
| 1600 | | 352 | 39 |
| 1614 | 0.34 | | |
| 1626 | | 4 | 34 |
| 1638 | 0.47 | 8 | 32 |
| 1721 | 0.44 | | |
| 1730 | | 20 | 23 |
| 1733 | 0.60 | | |
| 1745 | | 29 | 14 |
| 1805 | | 35 | 10 |
| 1816 | 0.53 | 48 | 356 |
| 1819 | | 62 | 341 |
| 1828 | 0.59 | 67 | 336 |
| 1831 | | 100 | 303 |
| 1869 | | 106 | 299 |
| 1904 | | 114 | 291 |
| 1911 | 0.61 | 133 | 272 |
| 1923 | 0.50 | 151 | 254 |
| 1926 | | 154 | 250 |
| 1935 | 0.60 | 161 | 242 |

объект P/2001 X3 (LINEAR), открытый в 2001 г., удалось отождествить с кометой Темпеля–Свифта.

Чтобы подробно проследить прошлое кометы, нами выполнено интегрирование уравнений ее движения от 1869 г. назад и вперед с учетом возмущений от 7 планет (Венера–Нептун). Интервал интегрирования составляет 340 лет от 1600 до 1940 года. В основу положены элементы орбиты кометы, приведенные в каталоге Б. Марсдена:

$T = 1689$, ноябрь, 19.30531 (момент прохождения перигелия орбиты);

$e = 0.658121$ (эксцентриситет орбиты);

$a = 3.109586$ а.е. (величина большой полуоси орбиты);

$\omega = 106.0657^\circ$ (аргумент перигелия);

$\Omega = 298.7380^\circ$ (долгота узла орбиты);

$i = 5.4085^\circ$ (наклон орбиты кометы к эклиптике).

На всем исследуемом интервале времени комета не испытывала никаких катастрофических сближений с большими планетами. Однако периодические, хотя и не тесные, сближения с Землей, Марсом и Юпитером постепенно меняли ее орбиту. В табл. 1 для наиболее значимых сближений приведены изменения аргумента перигелия ω и долготы узла Ω орбиты кометы, необходимые для дальнейшего обсуждения.

Комета Темпеля–Свифта так и осталась бы незамеченной, если бы немецкий ученый Куно Хоффмайстер не принял участие в большой экспедиции в Южную Африку. Наблюдая южное небо, он обнаружил слабый метеорный поток с радиантом в созвездии Ворона. На латинском языке название этого созвездия обозначается Corvus, отсюда и используемое в настоящее время название метеороидного потока Корвиды. Поток был непродолжительным с 25 июня по 3 июля, с максимальным зенитным часовым числом 13 на момент, соответствующий долготе Солнца 94.9° . Координаты радианта были определены чрезвычайно ненадежно, так как он был весьма размытым с диаметром около 15° . Прямое восхождение

Табл. 2

Элементы орбиты К. Хофмайстера

| | ω , градусы | Ω , градусы | i , градусы | E | a , а.е. |
|----------------|--------------------|--------------------|---------------|-------|------------|
| I | 38.9 | 274.9 | 3.1 | 0.628 | 2.5 |
| II | 7.7 | 274.9 | 3.1 | 0.622 | 3.0 |
| P/Tempel–Swift | 139.6 | 264.4 | 7.1 | 0.619 | 3.240 |

и склонение радианта соответственно были равны 191.6° и -19.2° . Несмотря на все ожидания, после 1937 г. поток больше не наблюдался.

При наблюдениях скорость метеорных частиц не могла быть определена с точностью, необходимой для уверенного определения элементов орбиты роя. Поэтому К. Хофмайстер вычислил их в предположении, что большая полуось равняется либо 3.0 а.е., либо 2.5 а.е. Полученные им элементы для этих двух вариантов оказались близкими к элементам орбиты кометы Темпеля–Свифта с одним, но существенным исключением. Аргумент перигелия у кометы равен 140° (по К. Хофмайстеру), тогда как модели дают 39° и 8° (табл. 2). Поэтому проследим прежде всего эволюцию этих элементов орбит на рассматриваемом отрезке времени. Из табл. 1 видно, что орбита буквально поворачивается и возмущения от больших планет играют здесь основную роль, но, вероятно, не единственную. Возможен ли выброс пылевой материи из ядра кометы около 1640 и 1810 гг.? Да, возможен, хотя ссылок на наблюдения нет. Какова будет эволюция орбит выброшенных частиц, какой должна быть скорость выброса, чтобы продукты распада не повторили движение кометы-родоначальницы? И только ли возмущениями от планет обусловлено смещение точки перигелия орбиты?

Последние пролеты космических аппаратов вблизи известных комет дали новые результаты. Картина выброса вещества из ядра кометы Темпель 1 была неожиданной. Впервые для характеристики истечения пыли и газа был применен термин «выброс из сопла» по аналогии с ракетной техникой. Сам вид ядра также был необычен. Его поверхность представлялась твердой, что мало похоже на классическое определение кометы как «грязного снежка» (рис. 1). В феврале 2011 г. один из космических аппаратов NASA вновь был направлен к комете Темпель 1. Изображение неровной, зернистой поверхности ядра впервые было получено с расстояния 180 км.

Другой космический эксперимент дал похожую картину. 8 ноября 2010 г. летательный аппарат прошел мимо ядра кометы Хартли 2 (рис. 2). В этот день его расстояние до ядра было 700 км. Полученное изображение названо «захватывающим» и вызвало новые вопросы. Если ядро – это глыба льда, то почему не видны кратеры, почему узкий перешеек в этой гантелевидной структуре такой гладкий? Данные изображения комет подтверждают направленное истечение пыли и газа и в то же время требуют анализа условий выброса пылевой составляющей с точки зрения физики и динамики ядра. Форма гантели подтвердилась уже у двух комет семейства Юпитера, что позволяет нам моделировать движение частиц, выброшенных из ядра кометы Темпеля–Свифта, в достаточно широких пределах.

Попытки найти источник потерянного роя Корвид предпринимались неоднократно. Среди них есть несколько экзотическое предположение о его генетической связи с веществом, выброшенным при образовании кратера Джордано Бруно на Луне. По этой гипотезе И. Хартунг предсказал возвращение потока в 2003 и 2006 гг. [6]. Однако еще в 1993 г. эта гипотеза была подвергнута резкой критике А. Харрисом [7]. Высказанное Ж. Кронком предположение о связи роя с кометой 107P/Wilson–Harrington также маловероятно, так как наблюдается слишком большое расхождение значений долгот перигелиев.

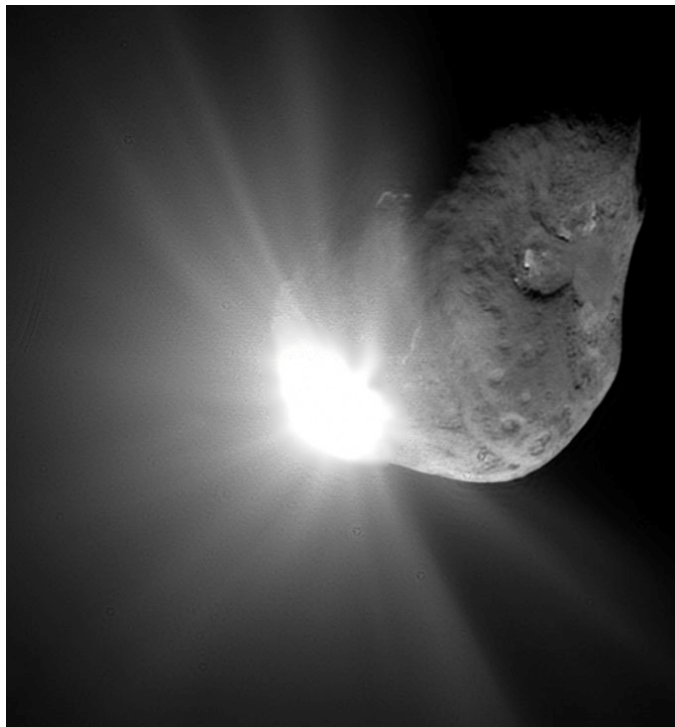


Рис. 1. Выброс вещества из ядра кометы Темпель 1



Рис. 2. Гантелевидная форма ядра кометы Хартли 2

Заслуживает особого внимания вопрос, поднятый П. Дженниксом, о связи роя и малой планеты 2004 HW [8]. Этот астероид был открыт группой Кембриджских астрономов как объект с периодом 4.41 года и афелийным расстоянием 4.40 а.е.

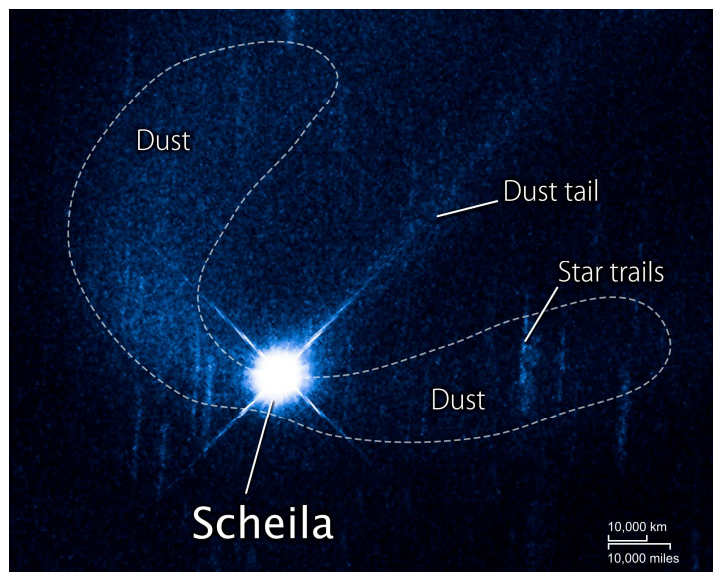


Рис. 3. Астероид (596) Шейла. На фотографии дорисованы границы распространения выброшенных частиц

Однако позднее астероид рассматривался как потухшее кометное ядро, а дальнейшие вычисления показали возможную его близость к потоку Хоффмайстера 2000 лет назад. При этом нельзя не учесть, что при существующей неопределенности элементов орбиты метеорного роя Корвид прогнозирование на столь значительные интервалы ненадежно.

Возможность события астероид – обломок ядра кометы неожиданно нашла еще одно подтверждение. 11 декабря 2010 г. Ларсоном (Каталония) обнаружена кометная активность астероида главного пояса (596) Шейла (Scheila). Он выглядел как комета с ярким ядром 13 звездной величины, окруженной асимметричной комой, переходящей в широкий веерообразный хвост размером около 1 угловой минуты (рис. 3). Элементы орбиты астероида, полученные по наблюдениям с 11 по 16 декабря 2010 г., следующие:

$$T = 2456066.2572 \text{ (юлианская дата);}$$

$$e = 0.1659534;$$

$$a = 2.92817 \text{ а.е.}$$

$$\omega = 175.74390^\circ;$$

$$\Omega = 79.70375^\circ;$$

$$i = 14.66155^\circ.$$

Таким образом, предположение о генетической связи части астероидов с кометами получило неожиданное подтверждение.

Возможно ли создание такой модели образования роя Корвид, которая дала бы достаточное его сближение с орбитой Земли вблизи момента наблюдения потока? На первом этапе работы возьмем за основной момент 1808 год, когда долгота перигелия орбиты кометы Темпеля – Свифта была около 39° . Примем, что скорость выброса вещества из ядра кометы может быть узконаправленной и значительной по величине. Учитывая, что наблюдатели кометы в ее первое появление указывали на множественность фрагментов в ядре, можно предположить, что это был уже остаток, отдельный фрагмент исходного, первоначального тела. Если бы гантель разломилась, то выброс был бы из двух фрагментов во взаимно противоположных направлениях.

Табл. 3

Изменение элементов орбиты ω , Ω . Модель со скоростью выброса +300 км/с против движения

| Год | Расстояние до Юпитера, а.е. | ω , градусы | Ω , градусы |
|------|-----------------------------|--------------------|--------------------|
| 1808 | | 36.1 | 8.4 |
| 1864 | 0.65 | | |
| 1865 | | 58.1 | 354.6 |
| 1875 | 0.77 | | |
| 1876 | | 67.1 | 337.9 |
| 1923 | 0.68 | | |
| 1925 | | 96.9 | 305.8 |
| 1937 | | 98.1 | 304.8 |

Табл. 4

Изменение элементов орбиты ω , Ω . Модель со скоростью выброса –300 км/с против движения

| Год | Расстояние до Юпитера, а.е. | ω , градусы | Ω , градусы |
|------|-----------------------------|--------------------|--------------------|
| 1808 | | 36.1 | 8.4 |
| 1852 | 0.65 | | |
| 1854 | | 39.1 | 5.8 |
| 1879 | 1.63 | | |
| 1889 | | 41.5 | 3.8 |
| 1911 | 1.99 | | |
| 1924 | | 43.6 | 1.9 |
| 1937 | | 43.6 | 1.8 |

В табл. 3 и 4 приведены изменения элементов ω и Ω для моментов, близких к моментам сближений с Юпитером на интервале времени с 1808 по 1940 г., а также наиболее значимые сближения с ним самим. Моделировался выброс по вектору \mathbf{T} – перпендикуляр к радиусу-вектору кометы. Как видим, влияние Юпитера таково, что орбита снова разворачивается, но, конечно, с другой скоростью. Все модели дают аналогичную картину, вид которой обусловлен прежде всего наличием сближений с планетой. Например, модель выброса в 1808 г. со скоростью +800 м/с от исходных значений $a = 4.02$ а.е., $\omega = 36.10^\circ$, $\Omega = 8.39^\circ$ приводит к значениям $a = 3.92$ а.е., $\omega = 42.42^\circ$, $\Omega = 354.74^\circ$ в 1937 г., что соответствует общей картине изменения модели 1. Однако в этом случае сближение с Юпитером составляет всего 0.9 а.е., а потому и изменение элементов орбит значительно меньше.

Проанализируем также влияние положения точки выброса на эволюцию орбит моделей метеорных частиц. За начальную орбиту взяты элементы на 1869 г., когда наблюдателями отмечалась множественность ядра кометы. Интервал для точек выброса был выбран от -20° до $+20^\circ$ по истинной аномалии. Скорости выброса тут должны быть небольшими, поэтому были использованы модели со скоростью до 200 м/с, направление выброса – по вектору \mathbf{T} , то есть против движения кометы. Изменение элементов орбит ω и Ω для этой модели выброса показано в табл. 5. Как видим, выбор точки выброса на достаточно большой дуге орбиты кометы почти не влияет на эволюцию угловых элементов орбит выброшенных частиц. Задавать скорость выброса частиц из ядра кометы Темпеля – Свифта более 1000 м/с считаем нецелесообразным, так как на данный момент в истории кометной астрономии нет каких-либо упоминаний о взрывных процессах на комете.

Наиболее точно определяемой и стабильной характеристикой метеорного роя является его радиант. Поэтому были вычислены теоретические радианты кометы Темпеля – Свифта на интервале с 1600 по 1940 г. (табл. 6). Стоит ли удивляться

Табл. 5

Изменение элементов ω и Ω на интервале времени с 1860 по 1940 г. при точках выброса -20° и $+20^\circ$ по истинной аномалии и скорости 200 м/с

| t | ω | | Ω | |
|------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | -20° | $+20^\circ$ | -20° | $+20^\circ$ |
| 1869 | 105.8 | 106.4 | 298.7 | 298.7 |
| 1881 | 105.8 | 106.5 | 298.0 | 298.6 |
| 1900 | 125.2 | 125.6 | 279.9 | 280.6 |
| 1923 | 127.7 | 134.8 | 277.9 | 271.8 |
| 1937 | 130.0 | 137.0 | 275.6 | 269.4 |

Табл. 6

Теоретические радианты кометы Темпеля–Свифта с 1600 по 1940 г.

| Год | α , часы | δ , градусы | Созвездие |
|------|-----------------|--------------------|---------------|
| 1598 | 8.26 | -50.0 | Парус |
| 1604 | 7.90 | -56.5 | Корма |
| 1620 | 6.70 | -61.7 | Корма |
| 1721 | 1.30 | -57.5 | Феникс |
| 1752 | 23.90 | -39.8 | Скульптор |
| 1819 | 23.85 | -14.2 | Водолей |
| 1836 | 18.67 | -14.6 | Змея – Щит |
| 1867 | 19.88 | -13.1 | Щит – Стрелец |
| 1903 | 18.49 | -12.0 | Змея – Щит |
| 1914 | 17.90 | +0.7 | Змееносец |
| 1926 | 17.28 | 23.2 | Пегас |
| 1938 | 16.17 | 39.6 | Геркулес |

тому, что при таком наблюдаемом развороте орбиты (табл. 1) координаты теоретического радианта изменяются в столь широких пределах? Хотя это случай чрезвычайно редкий. Создается впечатление, что комета Темпеля–Свифта только на протяжении последних 300 лет могла дать метеорное вещество для целого ряда независимых роев. В табл. 7 и 8 приведены теоретические радианты для моделей выброса в 1808 г. при скоростях $+300$ и -300 м/с по вектору \mathbf{T} , упомянутые выше. Здесь так же, как и в кометном варианте, мы не попадаем в созвездие Ворона, хотя разброс радиантов для модели со скоростью $+300$ м/с достаточно велик.

Отдельно подробно (пошагово) было рассмотрено изменение орбиты модели $+300$ м/с вблизи 1866 г., когда склонение радианта было близко к наблюдаемому $-19 \pm 7^\circ$ в 1937 г. Быстрое изменение элементов орбит обусловлено сближением с Юпитером в 1864 г. до величины 0.65 а.е. Однако прямое восхождение теоретического радианта близко к 24 ч.

Таким образом, на основе выполненных исследований можно с достаточной степенью уверенности сделать вывод, что комета Темпеля–Свифта–LINEAR не является родительским телом метеорного роя, радиант которого находился в созвездии Ворона. Однако это верно только в том случае, если элементы орбиты роя, приведенные в работе К. Хоффмайстера, соответствуют действительности. При разбросе радианта до 15° , при невозможности определить с достаточной точностью скорость метеорных частиц логично предположить, что исходные элементы двух вариантов орбит, полученных первооткрывателем, недостаточно верно отражают динамические характеристики роя.

Табл. 7

Теоретические радианты. Модель с выбросом в 1808 г., скорость выброса +300 км/с по вектору **T**

| Год | α , часы | δ , градусы | Созвездие |
|------|-----------------|--------------------|-----------------|
| 1814 | 0.36 | -30.03 | Скульптор |
| 1863 | 0.17 | -28.46 | Скульптор |
| 1855 | 23.85 | -17.86 | Водолей |
| 1880 | 0.01 | -12.17 | Водолей – Кит |
| 1926 | 18.38 | -16.16 | Змееносец – Щит |
| 1936 | 18.31 | -16.09 | Стрелец |

Табл. 8

Теоретические радианты. Модель с выбросом в 1808 г., скорость выброса -300 км/с по вектору **T**

| Год | α , часы | δ , градусы | Созвездие |
|------|-----------------|--------------------|-----------|
| 1807 | 0.50 | -31.2 | Скульптор |
| 1843 | 0.46 | -29.7 | Скульптор |
| 1879 | 0.34 | -28.2 | Скульптор |
| 1904 | 0.05 | -27.9 | Скульптор |
| 1920 | 0.24 | -26.2 | Скульптор |
| 1936 | 0.02 | -26.3 | Скульптор |

Поиск возможного родительского тела для роя, открытого К. Хофмайстером, должен быть продолжен. Следующим шагом, вероятно, будет исследование возможности нахождения родительского тела в основном поясе астероидов. Разработка новой теории строения кометного ядра, основанная на последних наблюдениях с космических аппаратов, несомненно, внесет свои коррективы в исследование этих интересных объектов.

Summary

G. V. Zhukov, M. G. Ishmukhametova, E. D. Kondrateva, V. S. Usanin. A Disappeared Corvid Meteor Shower.

A meteor shower with a radiant in Corvus has been observed once in 1937. Cuno Hoffmeister saw meteor orbits during his southern hemisphere campaign. He recorded 109 slow meteors in the period June 25 – July 2, 1937. The outburst was broad; the radiant was a diffuse. He noticed a rather striking resemblance to the orbit of comet 11P/Tempel – Swift – LINEAR.

New computational capabilities allowed us to carry out more detailed and objective analysis of the orbit of this comet.

The evolution of the comet's orbit was determined taking into account the perturbations from seven planets (Venus – Neptune) within the period from 1940 to 1600. Interesting peculiarities were revealed, on the basis of which ejections from the nucleus in various directions were modeled. It was found that maximum closeness between the comet's orbits and the meteor stream is possible near the year 1808. Models of particles with different ejection rates were calculated; the equations of the comet's motion were integrated for the period from 1808 to 1940. The influence of the ejection point position on the evolution of the model orbits was analysed. Radiant coordinates were calculated for the models and the comet. The possible connection between the comet 11P/Tempel – Swift – LINEAR and the meteor shower with the radiant in Corvus was not confirmed.

Key words: meteor showers, comet 11P/Tempel – Swift – LINEAR, asteroid, C. Hoffmeister, radiant, evolution of small bodies in the solar system.

Литература

1. *Всежвятский С.К.* Физические характеристики комет. – М.: Физматгиз, 1958. – 575 с.
2. *Weiss E.* Beobachtungen des *Tempel'schen* Cometen // *Astron. Nachr.* – 1870. – Bd. 75, No 1–2. – S. 31–32.
3. *Oppolzer Th.* Elemente des Cometen II. 1869 // *Astron. Nachr.* – 1870. – Bd. 75, H. 3–4. – S. 63–64.
4. *Maubant M.E.* Recherches sur l'orbite de la comete Tempel-Swift dans les trois apparitions 1869–1870, 1880–1881 et 1891–1892 // *Annales de l'Observatoire de Paris: Memoires.* – Paris : Gauthier-Villars, 1914. – Т. 30. – P. D.1–D.60.
5. *Marsden B., Sekanina Z.* Comets and Non-Gravitational Forces // *Astron. J.* – 1971. – V. 76, No 10. – P. 1135–1151.
6. *Hartung J.* Corvid meteoroids are ejecta from the Giordano Bruno impact // *J. Geophys. Res.* – 1993. – V. 98. – P. 9141–9144.
7. *Harris A.* Corvid meteoroids are not ejecta from the Giordano Bruno impact // *J. Geophys. Res.* – 1993. – V. 98. – P. 9145–9149.
8. *Jenniskens P.* Meteor Showers and Their Parent Comets. – Cambridge: Cambridge Univ. Press, 2006. – 790 p.

Поступила в редакцию
25.04.11

Жуков Георгий Викторович – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры астрономии и космической геодезии Института физики Казанского (Приволжского) федерального университета.

E-mail: *Gera.Zhukov@ksu.ru*

Ишмухаметова Марина Геннадьевна – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры астрономии и космической геодезии Института физики, заведующий отделом Астрономической обсерватории им. В.П. Энгельгардта Казанского (Приволжского) федерального университета.

E-mail: *mig-ksu@mail.ru*

Кондратьева Екатерина Дмитриевна – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры астрономии и космической геодезии Института физики Казанского (Приволжского) федерального университета.

Усанин Владимир Сергеевич – аспирант кафедры астрономии и космической геодезии Института физики, младший научный сотрудник Астрономической обсерватории им. В.П. Энгельгардта Казанского (Приволжского) федерального университета.

E-mail: *Vladimir.Usanin@ksu.ru*