

УДК 523.6

АНАЛИЗ ВЕРХНЕГО ПРЕДЕЛА D -КРИТЕРИЯ САУТВОРТА–ХОКИНСА ДЛЯ МЕТЕОРОИДНЫХ ПОТОКОВ ПОНС–ВИННЕКИД И ПЕРСЕИД

© 2009 г. М. Г. Ишмухаметова*, **, Е. Д. Кондратьева*, В. С. Усанин*

*Казанский государственный университет, Казань

**Астрономическая обсерватория им. В.П. Энгельгардта, Казань

Поступила в редакцию 12.12.2008 г.

Анализ величины верхнего предела D -критерия Саутворта–Хокинса для метеорных потоков Понс–Виннекид (июньских Боотид) и Персеид выполнен на основе сравнения орбиты родительской кометы с модельными орбитами метеороидов, выброшенных в разных точках орбиты кометы с наиболее вероятными скоростями. Исследовано изменение значений величины D в зависимости от динамической эволюции потоков путем интегрирования элементов орбит модельных частиц вперед методом Коуэлла с учетом возмущений от всех планет. Показано, что для Понс–Виннекид после 10 оборотов величина верхнего предела D -критерия принимает значение выше 0.5, для потока Персеид значение D -критерия не превышает 0.2.

PACS: 96.30.Cw, 96.30.Za

ВВЕДЕНИЕ

Отождествление малых тел Солнечной системы с родительскими телами имеет огромное значение для изучения их эволюции и возможного сближения с Землей. Падение на Землю космического тела размером порядка 10–100 м вызовет локальную катастрофу, подобную той, которая наблюдалась 30 июня 1908 г. при взрыве Тунгусского метеорита. Предполагается, что размер тунгусского объекта составлял порядка 50 м (Козин, Коротков, 2000), а вопросы о его природе (осколок кометы, астероида или метеороид) до сих пор привлекают внимание исследователей. Космические тела подобных размеров имеют массу порядка 10^2 – 10^6 г, а их пространственная плотность в околоземном пространстве составляет 10^{-16} – 10^{-14} м⁻² с⁻¹ (Багров и др., 2003). Малые тела данного диапазона масс трудно обнаружить оптическими методами наблюдений, так как они имеют малую яркость, большую видимую скорость движения, а также неопределенность направления их прихода. Вероятность столкновения Земли с такими крупными метеороидами достаточно высока, а трудность обнаружения и слежения за ними увеличивают их опасность. Некоторые наблюдатели предлагают даже выделить данный класс объектов в отдельную группу – группу “инасанов” – промежуточную между астероидами и болидами (Багров и др., 2003).

Все обнаруженные на сегодня “инасаны”, называем их так, принадлежат к метеорным потокам. Генетическое отождествление наблюдаемого метеороида с метеорным потоком можно выполнить разными способами. Способ сравнения радиантов является наиболее надежным в том случае, если координаты радианта метеорного потока хорошо из-

вестны, а площадь радиации небольшая, то есть для хорошо изученных и сравнительно молодых метеороидных роев. Более универсальным способом генетического отождествления космических объектов с той или иной группой малых тел астероидно-кометного и метеорного комплексов являются D -критерии. В качестве меры генетической общности принимается близость расстояния между орбитами тел в пятимерном фазовом пространстве (Southworth, Hawkins, 1963). Для двух исследуемых тел D -критерий выражается формулой:

$$D^2 = (e_2 - e_1)^2 + (q_2 - q_1)^2 + (2 \sin(I/2))^2 + ((e_2 + e_1)/2)^2 (2 \sin(W/2))^2, \quad (1)$$

где $(2 \sin(I/2))^2 = (2 \sin((i_2 - i_1)/2))^2 + \sin i_1 \sin i_2 \times (2 \sin((\Omega_2 - \Omega_1)/2))^2$, $W = \omega_2 - \omega_1 \pm 2 \arcsin(\cos((i_2 + i_1)/2) \sin((\Omega_2 - \Omega_1)/2) \sec(I/2))$, I – взаимный угол наклона орбит, W – угол между направлениями на перигелии, e , q , i , ω , Ω – орбитальные элементы. Знак минус ставится, когда $|\Omega_2 - \Omega_1| > 180^\circ$. Принимается, что два тела имеют общее происхождение, если расстояние между их орбитами в заданном пятимерном фазовом пространстве дает значение D -критерия меньше, чем некоторая определенная заданная величина.

Основной проблемой использования D -критерия является именно определение верхнего предела величины D как меры общего происхождения двух тел. При изучении принадлежности метеороидов к тому или иному потоку или при определении средней орбиты потока величину D , как правило, принимают равной 0.2. Однако величина D зависит от начальной дисперсии скоростей выбросов фраг-

ментов при дезинтеграции родительского тела и особенностей их дальнейшей динамической эволюции. Поэтому авторы вполне согласны с выводами, сделанными в работе по исследованию значений величины D для метеорного комплекса кометы Галлея (Куликова и др., 2003), что применять одно и то же предельное значение D для каждого метеорного потока можно только как первое приближение. Для более надежного отождествления необходимо исследовать значение верхнего предела D -критерия для каждого метеорного роя, так как эта величина является эволюционной характеристикой данного роя.

Для определения значения верхнего предела критерия нами было отобрано и исследовано два метеорных потока с известными родительскими кометами, которые относятся к различным планетным группам. Комета Понса–Виннеке относится к группе Юпитера, ее афелийное расстояние составляет 5.615 а. е. С кометой Понса–Виннеке связывают метеорный поток с тем же названием Понс–Виннекиды или по имени созвездия, в котором находится радиант потока, поток июньских Боотид. Метеороидные потоки данной планетной группы подвергаются сильным возмущениям от Юпитера вследствие малых наклонов их орбит, кратных размеру орбиты Юпитера значений больших полуосей и небольших перигелийных расстояний, близких к 1 а. е. Другой объект – комета Свифта–Туттля – относится к кометам галеевского типа и имеет афелийное расстояние 55.7 а. е., т.е. афелий лежит за пределами орбиты Нептуна. Орбита этой кометы в меньшей степени подвержена гравитационным возмущениям от планет. Она является родительской кометой метеорного потока Персеид, который относится к главным и хорошо наблюдаемым ежегодным потокам. Стоит отметить, что обе кометы являются активными и их возвращение к Солнцу сопровождается выбросом пылевой составляющей.

При дезинтеграции кометного ядра орбиты выброшенных фрагментов еще тесно связаны с родительским телом, а значение величины D (1) зависит прежде всего от начальных условий выброса (скорости выброса и точки выброса на орбите). Для каждого метеороидного потока было выполнено моделирование выбросов метеорного вещества из родительской кометы в разных точках орбиты с наиболее вероятными скоростями. Элементы орбит модельных частиц согласно формуле (1) сравнивались с элементами орбиты родительской кометы. Кроме того, чтобы проследить динамику значений D в зависимости от динамической эволюции роя, было также выполнено сравнение элементов орбиты кометы на эпоху выброса с элементами возмущенных орбит модельных частиц, проинтегрированных вперед методом Коуэлла с учетом возмущений от всех планет.

АНАЛИЗ D -КРИТЕРИЯ ДЛЯ ПОТОКА ПОНС–ВИННЕКИД

Метеорный поток Понс–Виннекид относится к периодическим потокам, ежегодная активность которого невысока и едва превышает активность спорадического фона. Однако в последнее время поток привлек к себе внимание наблюдателей, показав необычно высокую активность в 2004 г., когда 23 июня в 14 : 30 UT зенитное часовое число метеоров (ZHR) было зарегистрировано равным 30 ± 10 (Vaubaillon и др., 2005). Подобное повышение активности потока отмечалось и ранее, например, в 1916, 1927, 1998 г. Исследование динамики потока показывает, что частицы роя, выброшенные из кометы в разные годы, со временем вследствие тесных сближений с Юпитером занимают положение за орбитой Земли и становятся недоступными для наблюдений (Кондратьева, Резников, 1976; Asher, Emel'yanenko, 2002; Vaubaillon и др., 2005).

По данным фотометрических наблюдений на Европейской южной обсерватории (Snodgrass и др., 2005) получено, что радиус ядра кометы Понса–Виннеке составляет 2.24 км, а его минимальная плотность – 0.23 г/см^3 , причем отмечается изменение яркости кометы, что может предполагать пылевой выброс из ядра. Выброс частиц из ядра моделировался на дуге орбиты от точки с истинной аномалией $V = -100^\circ$ до точки с истинной аномалией $V = +100^\circ$ в направлении против движения кометы, так как в этом случае орбита выброшенной частицы в наибольшей степени отличается от орбиты самой кометы. Как было отмечено выше, ядро кометы достаточно рыхлое, поэтому можно предположить, что скорости выброса частиц из ядра невысокие, и в принятой модели они не превышают по модулю значения 250 м/с. Анализировались орбиты гипотетических частиц, выброшенных из ядра кометы в 1869 г. Элементы кометы Понса–Виннеке на момент моделируемого выброса, взятые из каталога (Belyaev и др., 1986), имеют следующие значения: $a = 3.150432 \text{ а. е.}$, $e = 0.751932$, $\Omega = 115.6280^\circ$, $i = 10.655^\circ$, $\omega = 162.5639^\circ$, $T = 1869 \text{ г.}$, июнь 30.4417 UT (угловые элементы приведены на эпоху 1950.0).

Изменение величины D , вычисленной по формуле (1), в зависимости от скорости выброса гипотетических частиц и положения точки выброса на орбите кометы на момент выброса их из ядра показано на рис. 1. Как видим, значение D в этом случае не превышает величины 0.035. Обнаруживается четкая зависимость дисперсии элементов орбит выброшенных частиц от точки выброса на орбите кометы. Если выброс происходит на дуге орбиты после перигелия, то образуется более компактный рой.

Для изучения вариаций D -критерия, связанных с динамической эволюцией потока, элементы орбит модельных частиц, выброшенных из кометы в 1869 г., были проинтегрированы вперед до 1920 г. с учетом возмущений от всех планет. Изменения ве-

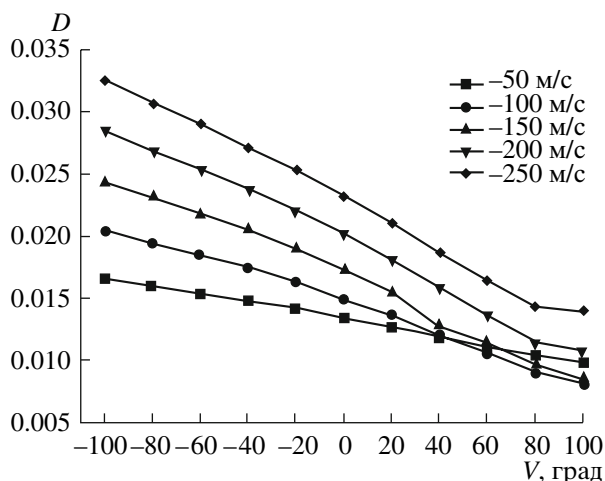


Рис. 1. Значение D -критерия для Понс–Виннекид в зависимости от скорости выброса и положения точки выброса на орбите (выброс 1869 г.).

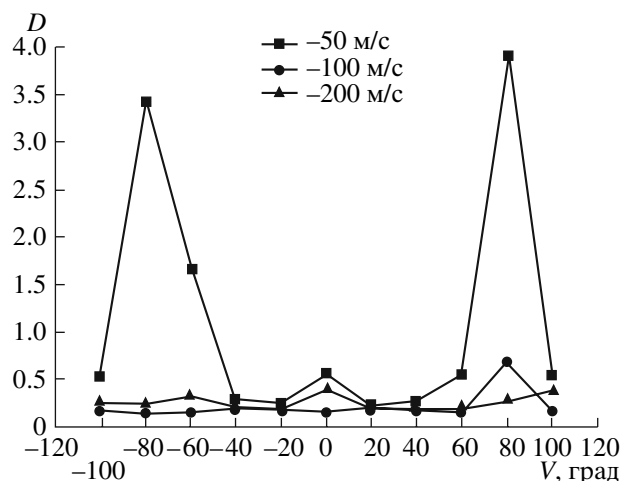


Рис. 2. Значение D -критерия для Понс–Виннекид в зависимости от скорости выброса и положения точки выброса на орбите через 50 лет после выброса.

личины D для орбиты кометы и возмущенных орбит моделируемых частиц представлены на рис. 2. Как видно, значение D -критерия изменяется в широких пределах. Тесные сближения с Юпитером приводят к значительным изменениям орбит частиц потока на интервале в 50 лет (10 оборотов). В результате величина D для Понс–Виннекид превосходит принятый для метеороидных потоков верхний предел 0.2. Очень важно отметить, что наиболее сильные гравитационные возмущения (рис. 2) испытывают именно те частицы, которые выброшены из ядра с наиболее вероятными скоростями до 50 м/с, в том числе и в перигелии орбиты, где возможность пылевого выброса также наиболее вероятна.

Значение D , превышающее единицу, дают возмущенные орбиты, большие полуоси которых после 5 оборотов достигают значения 10.5 а. е. Минимальное значение большой полуоси для модельных частиц после 10 оборотов достигает значения 2.7 а. е. То, что частицы с такими орбитами действительно присутствуют в потоке Понс–Виннекид и могут пересекать орбиту Земли, подтверждают телевизионные наблюдения этого потока, выполненные в Японии (Okamoto и др., 2005). Для трех метеороидов Понс–Виннекид, зарегистрированных в моменты 2004 г., июнь 23.47339, 23.50487, 23.57530 UT, получены следующие геоцентрические скорости и большие полуоси орбит:

- 13.3 км/с 2.81 а. е.
- 17.4 км/с 10.02 а. е.
- 13.7 км/с 2.98 а. е.

Большой разброс значений D (рис. 2) свидетельствует о том, что все элементы моделируемых орбит подвержены сильному возмущению, так как в формулу (1) величины больших полуосей кометы и

метеороидной частицы непосредственно не входят, а входят разности их эксцентриситетов, перигелийных расстояний и угловых элементов. Даже если значение верхнего предела D -критерия определить, используя среднюю орбиту потока, например, моделируемую в данном случае на эпоху 1920 г., то оно получится равным значению 0.5. К тому же необходимо заметить, что метеороидные потоки в большинстве своем формируются из нескольких пылевых выбросов в разные эпохи. Так в работе (Vaubaillon и др., 2005) рассматривается эволюция Понс–Виннекид, выброшенных из кометы при каждом ее прохождении через перигелий, начиная с 1714 г. Поэтому реальная дисперсия орбит в потоке, вероятнее всего, выше полученной нами на основе моделирования потока на интервале 50 лет.

АНАЛИЗ D -КРИТЕРИЯ ДЛЯ ПОТОКА ПЕРСЕИД

Проанализируем значения D -критерия для метеороидного потока Персеид, относящегося к семейству Нептуна. Процесс моделирования образования Персеид выполнен авторами ранее и подробно описан в (Ишмухаметова, Кондратьева, 2005). Используем результаты моделирования выброса вещества из родительской кометы Свифта–Туттля в 1348 г. и рассмотрим только выброс в направлении против движения кометы, аналогично тому, как это было выполнено выше для потока Понс–Виннекид. Для моделирования были использованы следующие элементы кометы Свифта–Туттля (Marsden, 1995): $a = 25.87025$ а. е., $e = 0.9627980$, $\Omega = 139.3714^\circ$, $i = 113.5664^\circ$, $\omega = 152.7737^\circ$, $T = 1862$ г., август 23.4229 UT (угловые элементы приведены на эпоху 2000.0). Выброс частиц моделировался в интервале скоростей 300–2100 м/с в точках кометной орбиты, истинная аномалия V которых имела зна-

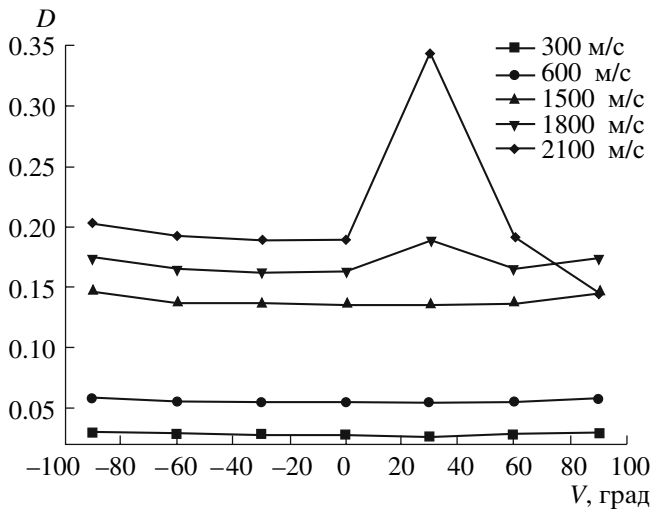


Рис. 3. Значение D -критерия для Персеид в зависимости от скорости выброса и положения точки выброса на орбите (выброс 1348 г.).

чения: до перигелия -90° , -60° , -30° , в перигелии 0° и после перигелия $+30^\circ$, $+60^\circ$, $+90^\circ$.

Изменение величины D , вычисленной по формуле (1), в зависимости от скорости выброса гипотетических частиц и положения точки выброса на орбите кометы на момент их выброса из ядра показано на рис. 3. Как видим, значение D остается практически одинаковым для частиц, выброшенных в разных точках орбиты с одной и той же скоростью. Величина D , равная 0.2, достигается только для частиц, выброшенных со скоростями выше 2000 м/с. Ранее авторы исследовали наиболее вероятный диапазон скоростей выброса Персеид, который предположительно составляет от 0 до 300 м/с (Ишмухаметова, Кондратьева, 2005). Даже если принять, что скорость выброса достигает 600 м/с (максимальная скорость выброса пыли по современным газодинамическим представлениям дезинтеграции кометного ядра при сближении с Солнцем), то на момент выброса модельных частиц Персеид верхний предел D не превышает величины 0.075 независимо от точки выброса на орбите.

Для исследования изменений D -критерия вследствие эволюции потока элементы орбит модельных частиц, выброшенных из кометы в 1348 г., были проинтегрированы вперед до 1862 г. с учетом возмущений от всех планет. Значения D , вычисленные по элементам орбиты кометы и элементам возмущенных орбит модельных частиц, представлены на рис. 4. Значение D выше, чем величина 0.3, дает возмущенная орбита частицы, которая была выброшена со скоростью 2100 м/с в точке орбиты с истинной аномалией $+30^\circ$. Это обусловлено сближениями частицы с Юпитером: одно тесное (взаимное расстоя-

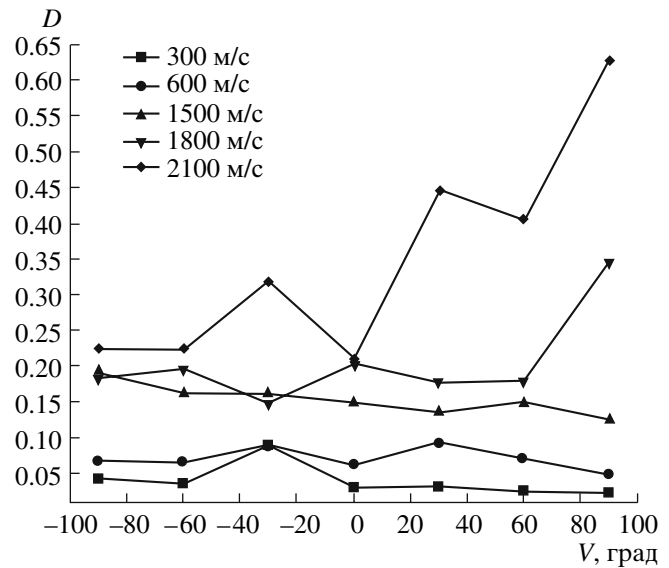


Рис. 4. Значение D -критерия для Персеид в зависимости от скорости выброса и положения точки выброса на орбите через 500 лет после выброса.

ние -0.27 а. е.) и два – на границе сферы его действия. При той же скорости выброса, но в точке орбиты с истинной аномалией -30° основное возмущение на орбиту частицы оказывает Земля. Тесных сближений ее с Землей достаточно много – 1469, 1497, 1525, 1590, 1730, 1758, 1786, 1842 гг., причем при сближениях минимальное взаимное расстояние равно 0.093 а. е., а максимальное составляет 0.16 а. е. Однако, если проанализировать изменения значений D -критерия только для диапазона наиболее вероятных скоростей выбросов до 600 м/с, то, как видно на рис. 4, величина D не превышает значения 0.11.

Особенностью Персеид является большой наблюдаемый разброс значений больших полуосей орбит относительно большой полуоси орбиты родительской кометы. С учетом вклада ошибок наблюдений значения больших полуосей орбит наблюдаемых метеоров, наиболее вероятно, лежат в пределах 10–35 а. е. (Ишмухаметова, Кондратьева, 2005). Для отождествления метеороидов с тем или иным потоком с целью дальнейшего нахождения элементов его средней орбиты чаще всего используют именно D -критерии. Определим среднюю орбиту потока Персеид по данным чешского телевизионного каталога орбит метеоров (Koten и др., 2003), используя D -критерий Саутворта–Хокинса (1), верхний предел которого примем равным 0.11. Вычисленные таким образом элементы средней орбиты Персеид имеют следующие значения (эпоха 2000.0):

$$1/a = 0.083 \pm 0.053 \text{ а. е.}, \quad e = 0.921 \pm 0.149, \\ q = 0.952 \pm 0.010 \text{ а. е.}$$

$$i = 112.8^\circ \pm 0.6^\circ, \quad \omega = 150.7^\circ \pm 0.8^\circ, \quad \pi = 291.1^\circ \pm 0.8^\circ$$

Для сравнения приведем данные о средней орбите потока Персеид, приведенные в работе (Betlem и др., 1997):

по телевизионным наблюдениям Японского метеорного общества (NMS)

$$\begin{aligned} 1/a &= 0.055 \pm 0.019 \text{ а. е.}, & e &= 0.948 \pm 0.018, \\ q &= 0.947 \pm 0.002 \text{ а. е.}, \\ i &= 113.40^\circ \pm 0.27^\circ, & \omega &= 151.5^\circ \pm 0.5^\circ, \\ \pi &= 290.7^\circ \pm 0.5^\circ, \end{aligned}$$

по фотографическим наблюдениям Голландского метеорного общества (DMS)

$$\begin{aligned} 1/a &= 0.014 \pm 0.011 \text{ а. е.}, & e &= 0.961 \pm 0.007, \\ q &= 0.953 \pm 0.002 \text{ а. е.}, \\ i &= 113.22^\circ \pm 0.19^\circ, & \omega &= 151.3^\circ \pm 0.4^\circ, \\ \pi &= 291.9^\circ \pm 0.5^\circ. \end{aligned}$$

Угловые элементы и перигелийные расстояния всех приведенных выше орбит в пределах ошибок хорошо согласуются друг с другом, однако размеры орбит существенно отличаются – соответственно 12.05 а. е., 18.18 а. е. (NMS) и 74.1 а. е. (DMS). Средняя орбита потока, вычисленная нами по данным каталога (Koten и др., 2003), получилась менее вытянутой. Минимальное значение большой полуоси среди отобранных орбит Персеид равно 7.1 а. е., а максимальное значение – 35.0 а. е. Как и по данным NMS (Betlem и др., 1997), так и в нашем варианте значение большой полуоси средней орбиты потока, соответственно равное 18.18 а. е. и 12.05 а. е., меньше значения большой полуоси родительской кометы 25.87 а. е. В работах (Oppolzer, 1867), (Sekanina, 1981), (Fomenkova и др., 1995) показано, что при прохождении кометы Свифта–Туттля перигелия орбиты и в 1863 г., и в 1992 г. основной выброс пылевого вещества из ядра происходил в направлении, перпендикулярном радиусу-вектору против движения кометы. При таком направлении выброса выброшенные частицы движутся по орбитам с меньшими размерами, чем орбита родительской кометы. Поэтому меньшее значение большой полуоси средней орбиты потока Персеид вполне объяснимо и характеризует, возможно, особенность дезинтеграции кометы Свифта–Туттля.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследования значений верхнего предела D -критерия Саутворта–Хокинса для двух метеороидных потоков, относящихся к различным планетным группам, показали, что равное значение величины D как меры общего происхождения двух тел нельзя искусственно переносить на все метеороидные потоки. Верхний предел D -критерия необходимо исследовать индивидуально для каждого метеорного потока как некоторую его динамическую, эволюционную характеристику.

Для метеороидного потока Понс–Виннекид, относящегося к группе Юпитера, использовать D -критерий для определения общности происхождения метеороидов или метеороидов с родительской кометой вообще вряд ли корректно. В данном случае величина верхнего предела критерия скорее характеризует скорость рассеивания частиц в пространстве. Малые тела кометно-метеорных комплексов группы Юпитера на каждом обороте вокруг Солнца испытывают значительные возмущения. Метеороиды, выброшенные из кометы при разных ее сближениях с Солнцем, уже через несколько периодов обращений могут иметь значительный разброс элементов орбит. Таким образом, для отождествления метеороидов, принадлежащих к потокам, кометам или астероидам группы Юпитера и особо опасных с точки зрения падения на Землю, необходимо использовать другие методы определения генетической общности малых тел.

Если говорить о метеороидных потоках, размеры орбит которых достигают окрестностей Нептуна, например, Персеидах, то в этом случае D -критерий Саутворта–Хокинса вполне может найти свое применение. Однако и в этой планетной группе малые тела в зависимости от ориентации их орбит относительно эклиптики испытывают различные по величине возмущения от планет. Поэтому для установления общности малых тел или определения средних орбит метеороидных потоков для каждого из них использование D -критерия необходимо, для надежности, исследовать и обосновывать значение его верхнего предела.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Багров А.В., Выгон В.Г., Бондарь С.Ф. Задачи оперативных наблюдений тел естественного происхождения, движущихся через околоземное космическое пространство // Тр. конф. “Околоземная астрономия – 2003” РАН, Институт астрономии. Терскол. 2003. Т. 2. С. 29–41.
- Ишмухаметова М.Г., Кондратьева Е.Д. Большие полуоси орбит и скорости выброса метеороидов Персеид // Астрон. вестн. 2005. Т. 35. № 5. С. 440–448.
- Козин В.Н., Коротков П.В. Взрыв Тунгусского метеорита и образование вывала леса // Астрон. вестн. 2000. Т. 34. № 4. Р. 357–364.
- Кондратьева Е.Д., Резников Е.А. О возможном возрасте метеорного потока Понс–Виннекид // Тр. Казанской городской астрон. обсерв. 1976. № 42. Р. 108–115.
- Куликова Н.В., Кривоконь И.И., Чепурнова В.М. Метеороидные комплексы как составляющая космического мусора естественного происхождения // Тр. конф. “Околоземная астрономия – 2003” РАН, Институт астрономии. Терскол. 2003. Т. 2. С. 266–270.
- Asher D.J., Emel' yanenko V.V. The origin of the June Bootid outburst in 1998 and determination of cometary ejection velocities // Mon. Notic. Roy. Astron. Soc. 2002. V. 331. № 1. P. 126–132.

- Belyaev N.A., Kresak L., Pittich E.M., Pushkarev A.N.* Catalogue of short-period comets // *Astron. Inst. Slovak Acad. Sci. Bratislava*. 1986. P. 54–57.
- Betlem H., ter Kuile C., de Lignie M., et al.* Precision meteor orbits obtained by the Dutch Meteor Society – Photographic Meteor Survey (1981–1993) // *Astron. and Astrophys. Suppl. Ser.* 1997. V. 128. P. 179–185.
- Fomenkova M., Jones B., Pina R., et al.* Mid-infrared observations on the nucleus and dust of comet P/Swift-Tuttle // *Astron. J.* 1995. V. 110. P. 1866–1872.
- Koten P., Spurny P., Borovicka J., Stork R.* Catalogue of video meteor orbits. Part 1 // *Publ. Astron. Inst.* 2003. ASCR 91. P. 1–32.
- Marsden B.* Catalogue of Cometary Orbits. Terth Edition // *IAU. Cent. Bur Astron. Telegram. Minor Planet Center*, 1995.
- Okamoto S., Ueda M., Fujiwara Y., Uehara S.* TV observation of the 2004 June Bootid meteors // *J. Int. Meteor Org.* 2005. V. 33. № 4. P. 105–107.
- Oppolzer T.* Ueber die Bahn des Comet er III 1862 // *Astron. Nachrichten*. 1867. № 1638. P. 87–89.
- Sekanina Z.* Distribution and discrete emission areas on the nucleus of the periodic comet Swift-Tuttle // *Astron. J.* 1981. V. 86. P. 1741–1773.
- Snodgrass C., Fitzsimmons A., Lowry S.C.* The nuclei of the comets 7P/Pons-Winnecke, 14P/Wolf and 92P/Sanguin // *Astron. and Astrophys.* 2005. V. 444. № 1. P. 287–295.
- Southworth R.B., Hawkins G.S.* Statistics of meteor streams // *Smithson Contr. Astrophys.* 1963. V. 7. P. 261–285.
- Vaubailion J., Arlt R., Shanov S., et al.* The 2004 June Bootid meteor shower // *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.* 2005. V. 362. P. 1463–1471.