

УДК 523.44-52

И. С. Шестака, А. К. Маркина, В. И. Мусий, Л. Я. Скобликова

## Критерий родственности малых тел Солнечной системы

*Разработан  $\mu$ ,  $\nu$ ,  $T_i$ -критерий родственности малых тел Солнечной системы, включающий три первых интеграла уравнений движения двукратно осредненной задачи трех тел. Применения этого критерия к различным выборкам малых тел показали обоснованность его использования для поиска объектов, обладающих генетическими связями и, возможно, общим происхождением.*

*КРИТЕРІЙ СПОРІДНЕНОСТІ МАЛИХ ТІЛ СОНЯЧНОЇ СИСТЕМИ, Шестака І. С., Маркіна А. К., Мусій В. І, Скоблікова Л. Я. — Розроблено  $\mu$ ,  $\nu$ ,  $T_i$ -критерій спорідненості малих тіл Сонячної системи, який включає три перших інтеграли рівнянь руху двократно осередненої задачі трьох тіл. Застосування цього критерію до різних вибірок малих тіл показали обґрунтованість його використання для пошуку об'єктів, що мають генетичні зв'язки і, можливо, спільне походження.*

*THE SOLAR SYSTEM SMALL BODIES' RELATIONSHIP CRITERION, by Shestaka I. S., Markina A. K., Musij V. I., Skoblikova L. Ya. — The  $\mu$ ,  $\nu$ ,  $T_i$ -criterion of the relationship of the solar system small bodies has been derived. It includes three first integrals of the motion equations of the twofold averaging three-body problem. The criterion has been applied to various samples of small bodies for searching objects which have genetic relations and possible common origin.*

В состав Солнечной системы наряду с большими планетами и их спутниками входят астероиды, кометы, метеорные тела и космическая пыль. Обладая рядом общих характеристик, эти тела значительно различаются между собой. Объединяет их то, что они подвержены в разной степени воздействию возмущающих сил больших планет, т. е. находятся в состоянии активной эволюции. Еще одна характерная черта, присущая малым телам, — способность дробиться на части и распадаться. Орбиты этих малых тел частично проходят в одной и той же области межпланетного пространства, занимая совершенно различные области в пространстве скоростей.

Трудно найти такие критерии, которые позволили бы с полной уверенностью отнести то или иное малое тело к определенному классу. Для этой цели используют различия внешнего (телескопического) вида объектов и ряд орбитальных характеристик.

Однако классические определения кометы как межпланетного объекта с диффузной комой, движущегося по очень вытянутой орбите, и астероида как межпланетного звездообразного объекта — каменной глыбы, обращающейся вокруг Солнца между орбитами Марса и Юпитера, утвердившиеся в XIX веке, сегодня уже не согласуются с новыми наблюдательными фактами.

Известны случаи ошибочных отождествлений малых тел при их открытиях [10, 11, 16, 18, 23]. До сих пор нет единого мнения [4, 12—14] об открытом в 1983 г. объекте 3200 Фаэтон: астероид это или кометное ядро?

Следуя Гартману и др. [15], примем следующую терминологию:

*кометы* (или *кометные ядра*) — межпланетные тела, содержащие летучие вещества и способные производить кому на нынешних своих орбитах;

*астероиды* — межпланетные тела, которые сформировались без заметного содержания льдов, в силу чего никогда не проявляли или не могли проявлять кометной активности.

Поскольку два эти класса не охватывают все множество комето- и астероидоподобных малых тел, следует ввести дополнительные их подклассы:

1) первичные кометы, представляющие собой кометные ядра с изначальным содержанием летучих веществ; к ним относятся кометы, еще не приближавшиеся к Солнцу;

2) активные кометы — кометные ядра, теряющие летучие вещества с образованием активной комы; к этому подклассу относятся все наблюдавшиеся когда-либо и каталогизированные кометы;

3) недействующие кометы — ядра, которые активны на некоторых участках своих орбит, но в момент наблюдения находятся в тех их частях, где потеря летучих веществ пренебрежимо мала, вследствие чего эти ядра не обладают комой;

4) «спящие» кометы включают ядра, некогда проявлявшие признаки активности, однако на нынешних орбитах по разным причинам не в состоянии существенно терять летучие вещества, и поэтому не обладающие заметной комой ни в какой части своей орбиты;

5) угасшие кометы — ядра, потерявшие в процессе эволюции все свои льды и не способные образовать кому.

Используется также термин малые планеты, подразумевающий любое межпланетное тело достаточно большой массы, для которого неизвестны ни содержание льдов, ни проявление кометной активности. Это означает, что малые планеты могут включать в себя как астероиды, так и тела кометного типа. В связи с этим особый интерес в плане взаимосвязи комет и астероидов представляют третий, четвертый и пятый подклассы комет.

Входящие в Солнечную систему большие планеты с их спутниками, астероиды и кометы можно считать изначально генетически связанными как объекты, ведущие свою родословную от планетезималей первичного газопылевого облака.

Основываясь на статистических исследованиях орбит астероидов и комет, Уиппл [25] вывел эмпирический  $K$ -критерий для разделения этих двух классов малых тел:

$$K = \lg[a(1 + e)/(1 - e)] - 1, \quad (1)$$

согласно которому орбиты с  $K > 0$  относятся к кометному типу, а с  $K < 0$  — к астероидному. В пятидесятые годы этот критерий выполнялся для 96 % всех известных комет (за исключением 13 из них) и почти для всех нумерованных астероидов (исключение составляли 944 Гидальго, 1566 Икар, 2101 Адонис).

$K$ -критерий Уиппла был использован также для классификации тел, породивших наблюдаемые метеоры, и для поиска ответа на вопрос об их происхождении. Поскольку соотношение (1) имеет чисто формальный характер, можно подобрать и другие функции элементов  $a$  и  $e$  для той же цели. Кресак [19] решил эту задачу, руководствуясь идеей минимизации числа исключений из критерия, и получил новый критерий:

$$Pe = a^{3/2} \cdot e \leq 2.5, \quad (2)$$

согласно которому  $Pe > 2.5$  — для комет,  $Pe < 2.5$  — для астероидов.

Оба критерия — эмпирические, не имеющие каких-либо физических оснований, в силу чего они не могут служить надежными индикаторами генетических связей малых тел. Они, как и другие эмпирические критерии (близости радиантов, Клаузена, Шульгофа и др.), не учитывают ни возмущений, которым подвергаются орбиты малых тел в процессе эволюции, ни эффектов наблюдательной селекции, что особенно важно для комет. Не удивительно поэтому, что увеличившийся за последние десятилетия объем наблюдений комет и астероидов выявил значительно большее количество отклонений от обоих критериев (Уиппла и Кресака) как среди кометной популяции, так и среди астероидов. В табл. 1 и 2 приведены эти отклонения. Как видно,  $K$ -критерий Уиппла не выполняется для 41 кометы и 32 астероидов;  $Pe$ -критерий — для 11 кометных орбит и 10 астероидов.

В ограниченной задаче трех тел (тело бесконечно малой массы движется под действием сил притяжения массивного и малого тел, обращающихся

Таблица 1. Кометы, имеющие согласно  $K$ -,  $Pe$ -,  $Ti$ -критериям динамические характеристики, свойственные астероидам

Комета	$K$ -критерий ( $K < 0$ )	$Pe$ -критерий ( $Pe < 2.5$ )	$Ti$ -критерий ( $Ti > 0.5766$ )
Encke	—	—	0.5807
Taylor	-0.001	—	—
1984n Kowal—Mrkos	-0.002	—	—
1985 VII Hartley 1	-0.003	—	—
van Houten	-0.004	—	—
Kowal	-0.004	—	—
Tempel	-0.005	—	—
Schorr	-0.010	—	—
Wolf	-0.019	—	—
Spitaler	-0.020	—	—
Reinmuth 2	-0.021	—	—
Gehrels 2	-0.023	—	—
Clark	-0.028	—	—
Kojima	-0.042	—	—
Gehrels 3	-0.046	—	0.5825
Russel 2	-0.047	—	—
Reinmuth 1	-0.049	—	—
Ashbrook—Jackson	-0.051	—	—
Shajn—Schaldach	-0.051	—	—
1987z Shoemaker—Halt	-0.052	1.73	—
1987z Terasaco	-0.052	—	—
Holmes	-0.053	—	—
1987a <sub>1</sub> Muller	-0.069	—	—
Johnson	-0.093	—	—
1990a Wild 4	-0.094	—	—
Zinger—Bruster	-0.096	—	0.5768
Whipple	-0.100	—	—
Schwassmann—Wachmann 2	-0.103	—	—
Wild 3	-0.106	—	—
1983 IX Russel 3	-0.113	1.77	—
Bus	-0.114	2.45	0.5781
1984d Russel	-0.116	2.43	0.5784
1981b	-0.118	2.42	0.5787
Schwassmann—Wachmann 1	-0.124	—	—
Longmore	-0.127	2.39	—
Gunn	-0.160	2.16	0.5766
1988d	-0.160	—	—
Helin—Roman—Eilu 1	-0.178	0.86	—
Смирновой—Черных	-0.253	1.24	0.5782
Gehrels 3	-0.260	1.23	0.5825
Oterma	-0.277	1.14	0.5838

вокруг общего центра тяжести) имеет место интеграл Якоби. Во вращающейся системе координат он имеет вид:

$$(dx/dt)^2 + (dy/dt)^2 + (dz/dt)^2 = v^2 = 2(U + h),$$

где  $x, y, z$  — прямоугольные координаты возмущаемого тела в системе координат с началом в общем центре инерции,  $U$  — функция сил, действующих на тело, и  $h$  — постоянная Якоби:

$$h = - \{ k^2 [(2a^{-1} + (1 + m_j)^{1/2} a_j^{-3/2} a^{1/2} (1 - e^2)^{1/2} \cos i] + \{ + k^2 [m_j/r_j + m_j^2/(2a_j)(1 + m_j)^{-1/2} + m_j/a_j^2] \},$$

$m_j$  — масса планеты в долях массы Солнца,  $r_j$  — расстояние от исследуемого тела до планеты,  $a, e$  — большая полуось и эксцентриситет орбиты малого тела,  $i$  — наклон плоскости его орбиты к плоскости орбиты планеты,  $k^2 = 0.000295912$  — постоянная тяготения.

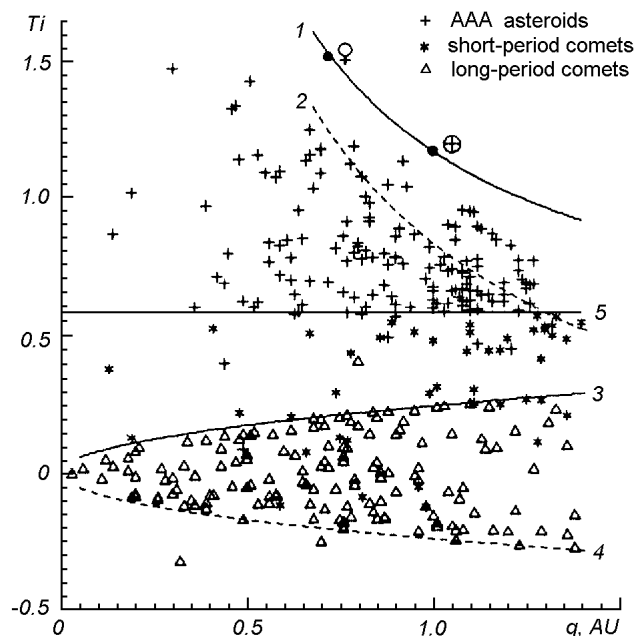
В конце прошлого века Тиссеран [24] использовал интеграл Якоби для решения вопроса о тождественности орбит вновь открытой кометы и кометы, ранее наблюдавшейся. Им был получен критерий, уточненный впоследствии Калландро:

$$Ti = 1/a + 2(1 + m_j)^{1/2} a_j^{-3/2} [a(1 - e^2)]^{1/2} \cos i, \quad (3)$$

и получивший название инварианта кометы или постоянной Тиссерана. Достаточная близость инвариантов двух комет является необходимым (но, очевидно, недостаточным) условием тождественности этих комет.

Таблица 2. Астероиды, имеющие кометные характеристики согласно К-, Pe- и Ti-критериям

Астероид	K-критерий ( $K > 0$ )	Pe-критерий ( $Pe > 2.5$ )	Ti-критерий ( $Ti < 0.5766$ )
3200 Phaeton	0.339	—	—
1566 Icarus	0.056	—	—
2212 Hephaistos	0.376	2.659	—
5143 Heracles	0.518	3.113	0.5580
1991 VL	0.154	—	—
1974 MA	0.124	—	—
2101 Adonis	0.123	—	—
2824 P—L	0.814	7.361	0.3043
4197 1982 TA	0.254	2.696	—
2201 Oljato	0.110	—	—
3360 1981 VA	0.224	2.859	0.5715
1991 GO	0.042	—	—
4486 Mithra	0.033	—	—
1987 SB	0.007	—	—
1983 LC	0.189	3.022	0.5731
1988 UP <sub>4</sub>	0.033	—	—
1983 VA	0.158	2.937	0.5707
2329 Orthos	0.067	—	—
1973 NA	0.041	—	0.4876
4179 Toutatis	0.056	2.539	—
6344 P—L	0.062	2.624	—
4015 1979 VA	0.054	2.668	—
1991 JX	0.004	—	—
1991 OA	0.076	2.854	—
1953 NC	0.031	2.678	—
1982 YA	0.317	4.967	0.4616
5374 1987 SL	0.089	3.130	0.5536
1993 MP	0.029	2.660	—
3552 Don Quixote	0.485	6.237	0.446
1987 PA	0.002	2.640	—
1991 XB	0.119	3.500	0.5413



AAA-астероиды и периодические кометы на  $(Ti-q)$ -диаграмме: 1, 2 — граничные эквилинии для круговых орбит с прямым и обратным движением; 3, 4 — для параболических орбит с прямым и обратным движением; 5 — граница между орбитами астероидного и кометного типа

Если возмущающим телом является Юпитер, для которого

$$m_j = 9.5479 \cdot 10^{-4}, \quad a_j = 5.2028 \text{ а. е. },$$

постоянная Тиссерана (3) принимает вид

$$Ti = 1/a + 0.16860p^{1/2}\cos i, \quad (4)$$

так как наклоном плоскости орбиты Юпитера к плоскости эклиптики можно пренебречь ( $i_j = 1.3^\circ$ ). В этом случае значение  $Ti = 0.5766$  представляет собой, как это видно из рисунка, некоторую предельную величину, определяющую границу между стабильными нелибрирующими орбитами астероидов и нестабильными кометными орбитами. При  $Ti \gg 0.5766$  малое тело не в состоянии пересечь орбиту Юпитера и испытывает более сильные возмущения этой планеты. При  $Ti < 0.5766$  малое тело способно пересечь орбиту Юпитера, причем невозмущенная относительная скорость тела в точке пересечения орбит пропорциональна

$$(0.5766 - Ti)^{1/2}.$$

Кресак [19] считает критерий Тиссерана наиболее подходящим средством установления источника происхождения орбит, измененных гравитационным воздействием Юпитера.

Применение критерия Тиссерана к кометам и астероидам, которые, согласно  $K$ - и  $Pe$ -критериям, движутся соответственно по астероидным и кометным орбитам, приводит к исключению из этого списка еще нескольких объектов. В конечном итоге остается 11 комет и 9 астероидов, имеющих динамические характеристики орбит, не свойственные для классов, к которым отнесены эти объекты.

Мы предприняли попытку вывести более строгий количественный критерий родственности малых тел Солнечной системы, который сводил бы к минимуму число ошибочных или случайных совпадений.

Рассмотрим для этой цели двукратно осредненную ограниченную круговую задачу трех тел. Дифференциальные уравнения движения тела в кеплеровом фазовом пространстве имеют вид

$$\begin{aligned}
 \frac{da}{dt} &= 0, & \frac{dp}{dt} &= \frac{2\sqrt{p}}{k\sqrt{m_s}} \frac{\partial [W_j]}{\partial \omega}, \\
 \frac{di}{dt} &= \frac{\text{ctgi}}{k\sqrt{m_s}\sqrt{p}} \frac{\partial [W_j]}{\partial \omega}, \\
 \frac{dM}{dt} &= \frac{k\sqrt{m_s}}{a^{3/2}} - \frac{2\sqrt{a}}{k\sqrt{m_s}} \frac{\partial [W_j]}{\partial a}, \\
 \frac{d\omega}{dt} &= \frac{2\sqrt{p}}{k\sqrt{m_s}} \frac{\partial [W_j]}{\partial p} - \frac{\text{ctgi}}{k\sqrt{m_s}\sqrt{p}} \frac{\partial [W_j]}{\partial i}, \\
 \frac{d\Omega}{dt} &= \frac{1}{k\sqrt{m_s}\sqrt{p}\sin i} \frac{\partial [W_j]}{\partial i},
 \end{aligned} \tag{5}$$

где  $a$ ,  $i$ ,  $\omega$ ,  $\Omega$ ,  $M$  — элементы орбиты и средняя аномалия возмущаемого тела,  $p$  — параметр его орбиты,  $[W_j]$  — двукратно осредненная пертурбационная функция,  $m_s$  — масса Солнца,  $k$  — постоянная Гаусса.

Эта система допускает существование трех интегралов [7]. Первый из них очевиден:

$$a = \text{const.} \tag{6}$$

Второй определяется условием сохранения проекции кинетического момента на нормаль к плоскости движения планеты. Его можно получить, разделив второе уравнение системы (5) на третье:

$$\frac{dp}{di} = 2p \text{ctgi}$$

и интегрируя полученное выражение с разделяющимися переменными:

$$\sqrt{p} \cos i = \mu = \text{const.} \tag{7}$$

Наконец, третьим интегралом будет

$$[W_j] = \text{const}, \tag{8}$$

так как рассматриваемая осредненная задача консервативна. Для получения интеграла (8) нужно составить сумму уравнений системы (5), умноженных на соответствующие частные производные от  $[W_j]$ , что приводит к выражению

$$\frac{d[W_j]}{dt} = 0.$$

Ограничиваясь первым приближением при разложении осредненной возмущающей функции  $[W_j]$  в ряд по полиномам Лежандра, можно представить ее в виде [6]:

$$[W_j] = \frac{k^2 m_j a^2}{8a_j^3 (1 - e^2)^{3/2}} [6e^2 - 1 - 15e^2 \sin^2 \omega + 3\cos^2 i (15e^2 \sin^2 \omega + 1 - e^2)].$$

Таким образом, согласно (8) выражение

$$\frac{k^2 m_j a^2}{8a_j^3 (1 - e^2)^{3/2}} [6e^2 - 1 - 15e^2 \sin^2 \omega + 3\cos^2 i (15e^2 \sin^2 \omega + 1 - e^2)] = \text{const},$$

откуда

$$e^2(0.4 - \sin^2 i \sin^2 \omega) + \frac{(1 - e^2)\cos^2 i}{5} = \text{const}.$$

Второе слагаемое вышеприведенного равенства представляет собой интеграл (7), деленный на  $5a$ , с учетом чего интеграл (8) приводится к виду

$$e^2(0.4 - \sin^2 i \sin^2 \omega) = \nu = \text{const.} \quad (9)$$

Последнее соотношение получено М. Л. Лидовым [5] при исследовании эволюции орбит ИСЗ, не испытывающих тесных сближений с возмущающей планетой, и применимо для тех случаев, когда орбита возмущаемого малого тела располагается глубоко внутри орбиты возмущающей планеты.

Как показали специально предпринятые нами исследования [3], вековые возмущения от всех девяти больших планет с учетом эффекта Пойнтинга-Робертсона на интервале 10 тысяч лет приводят к относительным изменениям квазистационарных параметров  $\mu$  и  $\nu$  порядка 5—10 %, в то время как элементы орбит на том же временном интервале изменяются в значительно больших пределах (особенно это касается долготы восходящего узла и аргумента перигелия).

Уравнения (7) и (9) как раз и определяют область изменения в процессе эволюции оскулирующих элементов орбит тел, не сближающихся тесно с большими планетами:

$$\begin{aligned} e_{\min} &= (2.5\nu)^{1/2}, \\ e_{\max} &= \left(\frac{5}{6}\right)^{1/2} \left\{ 0.6 - \nu - \frac{\mu^2}{a} \pm \left[ \left(0.6 - \nu - \frac{\mu^2}{a}\right)^2 + 2.4\nu \right]^{1/2} \right\}^{1/2}, \\ i_{\min} &= \arcsin \left( 0.4 - \frac{\nu}{e_{\max}^2} \right)^{1/2}, \\ i_{\max} &= \arccos \left\{ \frac{\mu}{[a(1 - 2.5\nu)]^{1/2}} \right\}, \\ q_{\min} &= a \left( 1 - \left(\frac{5}{6}\right)^{1/2} \left\{ 0.6 - \nu - \frac{\mu^2}{a} \pm \left[ \left(0.6 - \nu - \frac{\mu^2}{a}\right)^2 + 2.4\nu \right]^{1/2} \right\}^{1/2} \right). \end{aligned}$$

А. К. Терентьева [8], исследуя значения постоянной Тиссерана 94 короткопериодических комет в различных появлениях, показала, что этот инвариант сохраняет постоянство для каждой кометы на длительных интервалах времени. Каруси и др. [21], анализируя долговременную эволюцию короткопериодических комет ( $P < 22$  лет), получили, что для большинства из них изменения постоянной Тиссерана не превосходят 0.05.

Постоянство параметров  $\mu$ ,  $\nu$  и  $Ti$  служит основанием для предположения о том, что связанные общим происхождением объекты должны в процессе своей эволюции сохранить близкие их значения, благодаря чему генетически связанные малые тела и их комплексы могут быть идентифицированы по признаку близости всех трех квазистационарных параметров —  $\mu$ ,  $\nu$  и  $Ti$ . Диапазон близости этих параметров исследован нами на выборке комет, испытавших тесные сближения с Юпитером [9]. В результате выяснилось, что даже в таких экстремальных условиях  $\mu$ ,  $\nu$  остаются достаточно близкими, а инвариант Тиссерана  $Ti$  практически не изменяется.

Приведенный обзор критериев убеждает нас в том, что, к сожалению, не существует ни одного, который бы обеспечил однозначность классификации орбит малых тел и, как следствие, позволил бы высказать убедительные суждения об их происхождении. По всей вероятности, такого критерия не существует вообще, и самое большее, на что мы можем рассчитывать при решении вопросов о связях малых тел, — лишь констатировать, что некоторые из них движутся по тождественным орбитам и поэтому должны (могут?) иметь с ними общее происхождение.

По нашему мнению, наиболее подходящим для этой цели является  $\mu, \nu, Ti$ -критерий, который включает три интеграла уравнений движения, учитывающие, в отличие от других критериев, гравитационные и негравитационные возмущения.

1. Горбанев Ю. М., Крамер Е. Н., Скобликова Л. Я., Шестака И. С. Возможные метеорные рои, связанные с малой планетой 3200 Фазтон // Астрон. вестн.—1992.—26, № 4.—С. 113—120.
2. Крамер Е. Н., Шестака И. С. Метеорная материя в атмосфере Земли и околосолнечном космическом пространстве. — М.: Наука, 1983.—184 с.
3. Крамер Е. Н., Шестака И. С. Квазистационарные параметры малых тел Солнечной системы // Астрон. вестн.—1987.—21, № 1.—С. 75—83.
4. Крамер Е. Н., Шестака И. С. Гемениды и объект 3200 Фазтон // Астрон. вестн.—1992.—26, № 3.—С. 85—90.
5. Лидов М. Л. Эволюция орбит искусственных спутников под действием гравитационных возмущений тел // Искусственные спутники Земли.—1961.—№ 8.—С. 8—45.
6. Лидов М. Л., Ярская М. В. Интегрируемые случаи в задаче об эволюции орбиты спутника при совместном влиянии внешнего тела и нецентральности поля планеты // Космич. исслед.—1974.—12, № 2.—С. 155—170.
7. Моисеев Н. Д. О некоторых основных упрощенных схемах небесной механики, получаемых при помощи осреднения ограниченной круговой задачи трех тел // Тр. Гос. астрон. ин-та им. П. К. Штернберга.—1945.—15, № 1.—С. 100—117.
8. Терентьева А. К. Распределение по признаку величины постоянной Тиссерана // Вестн. Киев. ун-та.—1976.—№ 1.—С. 62—71.
9. Шестака И. С. О существовании генетически связанных кометных групп // Астрон. вестн.—1992.—26, № 5.—С. 52—57.
10. Boict D. C., Stern S. A., Huebner W. F. On the atmosphere of 2060 Chiron / Lunar and Planet. Sci. V.22: Abstr. Pap. 22nd Conf., March 18—22, 1991. Pt. I. — Houston, 1991.—P. 121—122.
11. Chiron: Evidence for historic cometary activity / Bus S. J., Bowell E., Stern S. A., A'Hearn M. F.: Abstr. Int. Conf. Asteroids, Comets, Meteors, Flagstaff, Ariz., June 24—28, 1991. — Houston, 1991.—P. 34.
12. Davies J. K. Are the IRAS-detected Apollo asteroids extinct comets? // Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.—1985.—221, N .—P. 19P—23P.
13. Fox K., Williams I., Hughes D. The rate profile of the Geminid meteor shower // Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.—1983.—205, N 3.—P. 1155—1169.
14. Green S. F., Meadows A., Davies J. K. Infrared observation of the extinct cometary candidate minor planet (3200) 1983 TB // Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.—1985.—214.—P. 29P—36P.
15. Hartmann W. K., Tholen D. J., Cruikshank D. P. The relation ship of active comets, "extinct" comets, and dark asteroids // Icarus.—1987.—69.—P. 33—50.
16. Hartmann W., Tholen D. J., Meech K. J., Cruikshank D. P. "Asteroid" 2060 Chiron: Status report on probable cometary activity // Lunar and Planet. Sci. Vol. 20: 20th Conf., March 13—17, 1989; Abstr. Pap., Pt 1. — Houston, 1989.—P. 379—380.
17. Hecht J. Snowballs from space filled Earth's oceans // New. Sci.—1988.—118, N 1612.—P. 38.
18. Jewitt D., Luu J. Submillimeter continuum observations of 2060 Chiron // Astron. J.—1992.—104, N 1.—P. 398—404.
19. Kresak L. The cometary and asteroidal origin of meteors // Evol. and Phys. Properties of meteoroids: IAU Coll. 13, State Univ. N.Y., Alabama, 1971 / Eds C. L. Hemenway, P. M. Millman, A. F. Cook. — Washington: NASA, 1973.—Sp.-319.—P. 331—341.
20. Kresak L. Asteroid versus comet discrimination from orbital data // Comets, Asteroids, Meteorites / Ed. A. Delsemme. — Ohio: Univ. Toledo press, 1977.—P. 313.
21. Longterm evolution of short-period comets / Carusi A., Kresak L., Perozzi E., Valsecchi G. V. — Bristol: Hilger, 1985.—125 p.
22. Rickman H. Interrelations between comets and asteroids // Dynamics of comets: Their origin and evolution / Eds A. Carusi, G. B. Valsecchi. — Dordrecht: Reidel, 1985.—P. 149—172.—(Proc. 83rd Coll., 11—15 June, 1984).
23. Tholen D. J., Meech K. J. "Asteroid" 2060 Chiron: blurring the distinction between asteroid and comets // Abstr. and Progr. 52nd Annu. Meet. Meteorit. Soc., Vienna, July 31—Aug. 4, 1989. — Houston, 1989.—P. 80.
24. Tisserand F. Traite de mecanique celeste. — Paris: Gouthier-Villar, 1896.—V. 4.—200 p.
25. Whipple F. L. Photographic meteor orbits and their distribution in space // Astron. J.—1954.—59, N 6.—P. 201—217.