

УДК 521.1

## МЕТЕОРНЫЙ ПОТОК $\kappa$ -ЦИГНИДЫ И ЕГО СВЯЗЬ С ОКОЛОЗЕМНЫМИ АСТЕРОИДАМИ

© 2020 г. М. В. Сергиенко<sup>1,\*</sup>, М. Г. Соколова<sup>1</sup>, Ю. А. Нефедьев<sup>1</sup>, А. О. Андреев<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия

\*e-mail.ru: star1955@mail.ru

Поступила в редакцию 19.12.2019 г.

После доработки 28.06.2020 г.

Принята к публикации 30.07.2020 г.

Целью исследования является изучение связей метеорного потока  $\kappa$ -Цигнид с различными группами астероидов, пересекающих орбиту Земли (Near-Earth objects, NEO), на основе наблюдаемой структуры метеорного потока и комплексного подхода оценки близости расстояний между орбитами двух тел. Метеорный поток  $\kappa$ -Цигниды (код KCG) ежегодно наблюдается с 3 по 25 августа и относится к потокам с невысокой активностью, размер его средней орбиты составляет около 3.2 а.е., геоцентрическая скорость 20.9 км/с. Родительское тело (РТ) потока среди комет не найдено. Активно изучаются связи потока с астероидами как вероятными РТ потока, некоторые из них как гипотезы приведены на сайте Центра метеорных данных IAU MDC. Статья основана на докладе, сделанном на конференции “Астрометрия вчера, сегодня, завтра” (ГАИШ МГУ, 14–16 октября 2019 г.).

DOI: 10.31857/S0004629920120129

### 1. ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в околоземном пространстве наблюдается около 20 метеорных потоков с часовым числом от 20 до 140 метеоров/час (Геминиды, Дракониды, Квадрантиды, Ориониды, Персеиды и др.). Эти потоки называют главными, их структура хорошо изучена, для большинства установлена генетическая связь с кометой.

Помимо главных потоков, наблюдаются порядка сотни малых метеорных потоков, численность которых в среднем составляет около 10 метеоров/час, для большей части которых не найдена наблюдаемая в прошлом или настоящем родительская комета (условно назовем их потоки-сироты). Низкая пространственная плотность малых потоков может быть обусловлена рассеиванием их орбит под действием гравитационных и негравитационных сил из-за их большого возраста. В этом случае можно предположить, что родительская комета перешла в разряд угасших, т.е. неактивных, комет или распалась на отдельные фрагменты. Наиболее значительные гравитационные возмущения орбит испытывают малые тела, относящиеся к группе Юпитера. Поэтому для малых метеорных потоков, средние орбиты которых соразмерны с орбитами астероидов главного пояса, исследование их связей с астероидами как возможными ядрами угасших комет или продуктами их распада является актуальной задачей.

Опубликовано большое количество работ по данной тематике, в том числе и по изучению связей с астероидами малого метеорного потока  $\kappa$ -Цигниды, родительская комета которого не определена [1–6]. Для поиска астероидов с орбитами, близкими орбитам метеороидов, используются различные критерии и методики, поэтому для  $\kappa$ -Цигнид как вероятные РТ приводятся разные астероиды, некоторые из них как гипотезы приведены на сайте Центра метеорных данных Международного астрономического союза IAU MDC<sup>1</sup>.

Необходимо отметить, что многие метеороиды имеют структурные особенности, которые можно объяснить совместным действием возмущений планет и негравитационных эффектов [7, 8]. В работе [9] исследуется роль эффекта Пойнтинга–Робертсона в эволюции метеороидных потоков. Данный эффект представляет собой процесс, в результате которого солнечный ветер заставляет метеорную пыль, вращающуюся вокруг Солнца, терять угловой момент относительно своей орбиты и таким образом оказывает влияние на разделение частиц по размерам и плотностям: меньшие частицы смещаются к Солнцу быстрее, чем более крупные. Для метеорных потоков Леонид, Драконид и Персеид было определено, что по прошествии промежутка времени более  $10^4$  лет в

<sup>1</sup> <http://www.IAUC22DB/MDC2007>

старых потоках должны оставаться только крупные и плотные частицы, а в молодых потоках такого разделения не наблюдается. Таким образом, время существования названных метеорных потоков, вероятно, не превышает  $5 \times 10^7$  лет. Также в работе [10] показано на основе моделирования орбит НЕО, что вклад тел пояса Койпера в наблюдаемую популяцию НЕО является достаточно небольшим, а общее количество таких объектов в десятки раз меньше, чем кентавров. Причем негравитационные эффекты практически не оказывают влияния на переход метеорных частиц из пояса Койпера во внутренние области солнечной системы.

Целью данной работы является поиск астероидов с орбитами, близкими метеороидам малого метеорного потока к-Цигниды, на основе комплексного подхода с использованием структуры метеорного потока и критериев для оценки близости орбит малых тел.

## 2. ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ И НАБЛЮДАТЕЛЬНАЯ БАЗА

Метеорный поток к-Цигниды (код KCG) ежегодно наблюдается с 3 по 25 августа. По данным [11] средняя геоцентрическая скорость метеороидов равна 20.9 км/с, максимальная активность потока наблюдается на эклиптической долготе Солнца  $141.0^\circ$ , прямое восхождение и склонение радианта составляют соответственно  $277.5^\circ$  и  $52.8^\circ$  (все угловые величины даны на эпоху J2000.0). Повышение активности потока также отмечается на долготах Солнца  $145.7^\circ$  и  $147.6^\circ$  [12].

Изучение активности к-Цигнид было выполнено нами по многолетним визуальным наблюдениям метеоров за 1996–2011 гг. Международной метеорной организации<sup>2</sup> и телевизионным наблюдениям метеоров потока за 2013–2016 гг. системы Мини-Мега ТОРТОРА (ММТ) Казанского федерального университета (Россия) на основе методики, опубликованной в [13]. Для метеоров ярче  $+3^m$  установлено, что повышение активности потока регистрируется с 13 по 19 августа (на интервале эклиптических долгот Солнца  $140^\circ$ – $146^\circ$ ) и остается на уровне 11–14 метеоров/час. Наибольшее соотношение по массе крупной составляющей метеороидов к мелкой составляющей регистрируется на долготе Солнца  $142.8^\circ$ . Это позволяет предположить, что потенциальное родительское тело к-Цигнид в период образования роя могло иметь орбиту с долготой узла, близкой к  $142.8^\circ$ . Для наблюдаемого диапазона звездных величин метеоров от  $-5^m$  до  $+3^m$  имеет место уменьшение больших полуосей и эксцентрисите-

тов орбит к-Цигнид в зависимости от яркости метеоров, что указывает на влияние негравитационного эффекта Пойнтинга–Робертсона на структуру потока вследствие значительного возраста потока.

Для исследования связи к-Цигнид с астероидами были использованы телевизионные каталоги метеорных орбит: Японской метеорной сети SonatoCo за 2007–2015 гг. (Японское метеорное общество<sup>3</sup>, далее SonatoCo); Хорватской метеорной сети CMN<sup>4</sup> за 2016–2017 гг.; CAMS Meteoroid Orbit Database v2.0 за 2010–2012 гг.<sup>5</sup>, далее CAMS; объединенной Европейской метеорной сети EDMOND за 2001–2016 гг.<sup>6</sup>, далее EDMOND. В работе не использовались каталоги орбит, в которых наблюдаемые метеоры не отнесены к какому-либо метеорному потоку.

Поиск астероидов с близкими к к-Цигнидам орбитами выполнялся среди астероидов группы Аполлона, пересекающих орбиту Земли в перигелии своей орбиты и имеющих значение перигелийного расстояния  $q < 1.017$  а.е. Открыто свыше 11000 Аполлонов, из которых порядка 1700 являются потенциально опасными для Земли объектами ярче  $+22^m$  (размером около 150 м), которые могут приблизиться на расстояние, меньшее чем 0.05 а.е. Актуальная база данных физико-динамических параметров астероидов представлена на сайте NASA<sup>7</sup>.

## 3. ПОИСК АСТЕРОИДОВ СО СХОЖИМИ ОРБИТАМИ МЕТЕОРОИДОВ к-ЦИГНИД

В работах [1–6, 11] для оценки близости расстояния между орбитами астероидов и метеороидов к-Цигнид используются критерии схожести орбит Саутворта–Хокинса [14], Йопека [15], Ашера [16]. В данных критериях ( $D$  критериях) степень близости двух орбит оценивается формальным безразмерным параметром  $D$  в 5-мерном пространстве орбит или в одном из его фактор-пространстве меньшей размерности. Гипотеза о близости орбит двух малых тел  $x$  и  $y$  принимается, если имеет место неравенство:

$$D^2(x, y) \leq D_c^2, \quad (1)$$

где  $D_c$  – верхнее пороговое значение, которое может быть принято равным 0.2 для всех метеорных потоков [14] или определено для конкретного по-

<sup>3</sup> <http://sonotaco.jp/doc/SNM/index.html>

<sup>4</sup> <http://cmn.rgn.hr/downloads/downloads.html#orbitcat>

<sup>5</sup> <http://cams.seti.org/>

<sup>6</sup> <https://www.meteornews.net/edmond/edmond/edmond-database/>

<sup>7</sup> [http://ssd.jpl.nasa.gov/sbdb\\_query.cgi](http://ssd.jpl.nasa.gov/sbdb_query.cgi), дата обращения 28.04.2019

<sup>2</sup> <http://www.imo.net/data/visual>

Таблица 1. Средние орбиты к-Цигнид

Каталог	Число орбит	$q \pm \sigma$ а.е.	$e \pm \sigma$	$i^\circ \pm \sigma^\circ$	$\Omega^\circ \pm \sigma^\circ$	$\omega^\circ \pm \sigma^\circ$	$\pi^\circ \pm \sigma^\circ$	$D_{DR} \pm \sigma$	$T \pm \sigma$	$\mu \pm \sigma$	$\nu \pm \sigma$
SonatoCO	544	0.978	0.673	33.265	141.229	203.123	344.353	0.071	2.660	1.067	0.192
		$\pm 0.014$	$\pm 0.050$	$\pm 3.529$	$\pm 6.388$	$\pm 5.077$	$\pm 6.439$	$\pm 0.095$	$\pm 0.338$	$\pm 0.050$	$\pm 0.036$
CAMS	14	0.995	0.665	31.976	139.957	197.008	336.965	0.045	3.014	1.184	0.210
		$\pm 0.005$	$\pm 0.020$	$\pm 1.175$	$\pm 1.562$	$\pm 2.693$	$\pm 1.688$	$\pm 0.044$	$\pm 0.244$	$\pm 0.034$	$\pm 0.024$
EDMOND	228	0.984	0.723	34.944	137.850	200.297	338.146	0.118	2.346	1.065	0.162
		$\pm 0.016$	$\pm 0.129$	$\pm 3.603$	$\pm 8.869$	$\pm 6.161$	$\pm 8.671$	$\pm 0.118$	$\pm 0.765$	$\pm 0.043$	$\pm 0.083$
CMN	140	0.982	0.678	33.508	141.492	200.885	342.376	0.084	2.677	1.066	0.198
		$\pm 0.019$	$\pm 0.084$	$\pm 4.561$	$\pm 5.990$	$\pm 6.904$	$\pm 7.126$	$\pm 0.089$	$\pm 0.502$	$\pm 0.064$	$\pm 0.053$

Примечание. Эпоха J2000.0,  $q$  – перигелийное расстояние (а.е.),  $e$  – эксцентриситет,  $i$  – наклонение орбиты,  $\Omega$  – долгота узла,  $\omega$  – аргумент перигелия,  $\pi$  – долгота перигелия.

тока по некоторой оригинальной методике авторов научных публикаций.

С целью сравнения результатов отождествления орбит к-Цигнид с орбитами астероидов, полученных с применением различных методик, нами, в отличие от других исследований, был использован  $D$  критерий Драммонда в виде [17]

$$D_{DR}^2 = \left(\frac{e_2 - e_1}{e_2 + e_1}\right)^2 + \left(\frac{q_2 - q_1}{q_2 + q_1}\right)^2 + \left(\frac{I_{21}}{180^\circ}\right)^2 + \left(\frac{e_2 + e_1}{2}\right)^2 \left(\frac{\theta_{21}}{180^\circ}\right)^2, \quad (2)$$

где  $\theta = \arccos(\sin \beta_2 \sin \beta_1 + \cos \beta_2 \cos \beta_1 \cos(\lambda_2 - \lambda_1))$ ;  $\beta = \arcsin(\sin i \sin \omega)$ ;  $\lambda = \Omega + \arctan(\cos i \omega)$ , прибавляется  $180^\circ$ , если  $\cos \omega < 0$ ;  $I, e_1, e_2, q_1, q_2$  – взаимный наклон, эксцентриситеты и перигелийные расстояния орбит двух тел. Исследования показали, что критерий Драммонда является более устойчивым к геометрии орбит метеоров и менее чувствительным к инструментальным ошибкам их определения разными методами наблюдений [18].

Для повышения достоверности результатов наряду с  $D$  критерием Драммонда также были использованы параметры, значения которых в процессе орбитальной эволюции малых тел мало изменяются: постоянная Тиссерана относительно Юпитера [19]

$$T = a^{-1} + 0.16860a\sqrt{1 - e^2} \cos i, \quad (3)$$

два квазистационарных параметра [20, 21]

$$\mu = \sqrt{a(1 - e^2)} \cos i, \quad (4)$$

$$\nu = (1 - e^2)(0.4 - \sin^2 \omega \sin^2 i) = \text{const}, \quad (5)$$

где  $a, e, i, \omega, \Omega$  – большая полуось, эксцентриситет, наклон, аргумент перигелия и долгота узла орбиты малого тела соответственно.

Пороговые значения критерия Драммонда и интервальные оценки изменений постоянной Тиссерана, квазистационарных параметров первоначально определялись для потока к-Цигнид отдельно по каждому каталогу путем сравнения средней орбиты потока с орбитами метеороидов в каталоге и вычисления их средних значений и СКО. В табл. 1 приведены данные о статистике индивидуальных орбит метеороидов в каталогах, параметры средней орбиты ( $q, e, i, \omega, \Omega$ ) потока к-Цигнид, средние значения критерия Драммонда  $D_{DR}$ , постоянной Тиссерана  $T$  и квазистационарных параметров  $\mu, \nu$  и их средние квадратические ошибки  $\sigma$  (СКО) по каждому каталогу орбит. Далее эти значения использовались для проверки выполнения критериев (2)–(5) для пары орбит: “орбита астероида – средняя орбита к-Цигнид”. В результате были отобраны те астероиды, для которых параметры критериев не превышают значения  $2\sigma$  аналогичных средних значений критериев потока к-Цигнид. Выделенные нами астероиды с близкими для к-Цигнид орбитами и некоторые их характеристики приведены в табл. 2, где также представлены результаты сравнения с другими источниками.

Угасшая или “спящая” комета внешне выглядит как обычный астероид, и различить их по наземным наблюдениям невозможно [22]. Но на основе динамических характеристик их можно различить, например, с помощью параметра Тиссерана. NEO, являющийся ядром угасшей кометы, должен иметь кометоподобную орбиту, и для него параметр Тиссерана должен иметь величину  $T_j < 3.12$  [23–26]. Согласно [26, 27], объекты со значением постоянной Тиссерана относительно Юпитера  $T_j < 3.1$  движутся по кометоподобным

**Таблица 2.** Астероиды с орбитами, близкими к-Цигнидам

Астероид	Каталог	$T_{ast}$	$H/D, ^m/\text{км}$	$\alpha$	Другие источники
153311 (2001 MG1)	SonatoCo	3.0	17.2	0.334	[2–5]
385343 (2002 LV)	EDMOND	3.2	17.2/1.359	0.334	—
483468 (2002 JY8)	CMN	3.2	17.7	0.334	—
(2002 MS3)	CMN	3.2	19.1	0.334	—
469722 (2005 LP40)	SonatoCo	3.6	19.5	0.039	—
(2014 UH210)	EDMOND	3.0	21.1/0.404	0.039	—
(2017 NW5)	SonatoCo	2.7	20.9	0.039	—
(2015 RA36)	CMN	2.9	20.0	0.039	—
2329 Orthos (1976 WA)	EDMOND	3.1	14.5	0.316	—
510073 (2010 JF88)	EDMOND	3.3	18.5/0.451	0.316	—
(1994 NE)	EDMOND	3.4	19.8	0.316	—
(2002 JD 109)	EDMOND	3.4	18.3	0.316	—
(2009 OZ4)	CMN	2.8	19.3	0.316	—
(2016 WG10)	CAMS	3.1	20.9	—	—
(2014 AE51)	CAMS	3.2	25.5	—	—
(2017 AP13)	CAMS	3.0	23.2	—	—
(2018 AM2)	CAMS	3.2	25.9	—	—
Астероиды, выделенные другими авторами					
361861 (2008 ED69)		2.6	16.9		[3]
(2004 LA12)		2.8	15.4		[2, 11, 7]
(2016 NO16)		3.1	19.5		[1]

**Примечание.**  $T_{ast}$  — постоянная Тиссерана астероида,  $H/D$  — абсолютная звездная величина/диаметр астероида,  $\alpha$  — геометрическое альbedo, если известны. Прочерк “—” означает отсутствие данных.

орбитам, а с  $T_j > 3.1$  — по астероидным орбитам. Кроме того, предполагается, что астероиды с низким геометрическим альbedo, лежащим в интервале от 0.02 до 0.12, могут быть угасшими кометами [28, 29]. Согласно постоянной Тиссерана  $T$  (табл. 1) метеороиды к-Цигнид движутся по кометным орбитам, в то время как большая часть выделенных астероидов демонстрируют астероидный тип орбит. Значения геометрического альbedo крупных астероидов 385343 (2002 LV) и 2329 Orthos (1976 WA) также подтверждают их астероидное происхождение.

Таким образом, анализируя полученные результаты, можно отметить, что по трем каталогам метеорных орбит (табл. 2) выделяются астероиды 153311 (2001 MG1), 385343 (2002 LV), 483468 (2002 JY8), (2002 MS3), из которых два, 153311 (2001 MG1) и 385343 (2002 LV), отмечены другими авторами, но только для 153311 (2001 MG1) можно предположить кометный тип орбиты. По двум каталогам выделяются астероиды 469722 (2005 LP40), (2014 UH210), (2017 NW5), (2015 RA36), которые в работах других исследователей не упоминаются. Из них астероиды (2017 NW5), (2014 UH210) по значению постоянной Тиссерана дви-

жутся по кометоподобной орбите, кроме того (2014 UH210) имеет низкое геометрическое альbedo, что также не исключает его кометной природы.

По каталогу CAMS (табл. 2) выделяются четыре астероида, которые не совпадают ни с астероидами, выделенными по другим каталогам метеорных орбит, ни с данными других авторов. Значения постоянной Тиссерана указывают на их астероидные орбиты, что дает основание не связывать данные астероиды с к-Цигнидами. Астероиды 361861 (2008 ED69) и (2004 LA12), приведенные в [2, 3, 6], также нами выделены, но со значением  $3\sigma$  квазистационарных параметров (4), (5). Астероид (2016 NO16), отмеченный в работе [1], нами не выделяется.

В дополнение необходимо отметить, что в работе оценивается близость современных орбит двух НЕО. При этом возможно их случайное совпадение. Поэтому для большей достоверности и подтверждения обнаруженных генетических связей необходимо исследовать эволюцию орбиты для НЕО-кандидата в угасшие ядра комет и определить количество пересечений его с орбитой Земли. Согласно [6], метеорный поток к-Цигнид

**Таблица 3.** Взаимные (между NEO) значения критерия Ашера [30]

$D$ [30]	(2001 MG1)	(2014 UH210)	(2017 NW5)	(2008 ED69)	(2004 LA12)
(2001 MG1)	0	0.001	0.06	0.15	0.27
(2014 UH210)	0.001	0	0.06	0.16	0.27
(2017 NW5)	0.06	0.06	0	0.13	0.26
(2008 ED69)	0.15	0.16	0.13	0	0.13
(2004 LA12)	0.27	0.28	0.26	0.13	0

**Таблица 4.** Взаимные (между NEO) значения критерия  $D_{SH}$  [14]

$D_{SH}$ [14]	(2001 MG1)	(2014 UH210)	(2017 NW5)	(2008 ED69)	(2004 LA12)
(2001 MG1)	0	0.54	0.31	0.51	0.38
(2014 UH210)	0.54	0	0.30	0.32	0.68
(2017 NW5)	0.31	0.30	0	0.25	0.44
(2008 ED69)	0.51	0.32	0.25	0	0.50
(2004 LA12)	0.38	0.68	0.44	0.50	0

восьмикратно пересекает орбиту Земли и генетически связанный с ним NEO также должен, как минимум, пересекать орбиту Земли 8 раз. Из пяти NEO, для которых авторами предположена связь с метеорным потоком, (2001 MG1) также пересекает орбиту Земли 8 раз, (2008 ED69) и (2004 LA12) – 4 раза, и для двух оставшихся NEO данных на настоящий момент времени нет. Если перечисленные NEO, согласно значениям  $D$ -критериев для их орбит и параметрам средних орбит выявленных субпотоков, связаны с роем  $\kappa$ -Цигнид, то следует ожидать, что имеется генетическая связь и между этими NEO. Для проверки этого предположения были вычислены взаимные (между NEO) значения критерия Ашера [30], для вычисления которых используются  $q$ ,  $e$ ,  $i$  (табл. 1) и величины более строгого критерия  $D_{SH}$  [14], использующего пять элементов орбит –  $q$ ,  $e$ ,  $i$ ,  $\omega$ ,  $\Omega$  (табл. 2).

Как видно из табл. 3 и 4, согласно  $D_{SH}$  критерию, схожие орбиты не имеет ни одна пара из пяти NEO, однако, как исключение, можно допустить связь между (2008 ED69) и (2017 NW5) с  $D_{SH} = 0.25$ , (2017 NW5) и (2014 UH210) с  $D_{SH} = 0.30$ , (2017 NW5) и (2001 MG1) с  $D_{SH} = 0.31$ , (2008 ED69) и (2014 UH210) с  $D_{SH} = 0.32$ . Менее строгий критерий Ашера [30] допускает близость орбит четырех астероидов, кроме (2004 LA12), орбита которого близка только к орбите NEO (2008 ED69).

#### 4. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Несмотря на достаточно хорошую статистику наблюдений и изученность метеорного потока

$\kappa$ -Цигнид, в отличие от других малых потоков, вопрос о его РТ остается открытым. Поиск астероидов в группе Аполлона со схожими  $\kappa$ -Цигнидам орбитами и имеющими промежуточные или кометоподобные орбиты позволяет отобрать следующие астероиды: 153311 (2001 MG1), (2017 NW5), (2014 UH210), 361861 (2008 ED69), (2004 LA12). Из анализа табл. 3 и 4 можно сделать вывод, что NEO (2004 LA12) должен быть исключен из этого семейства. Для дальнейшего исследования их возможной связи с метеорным потоком необходимо привлечь дополнительные критерии, в том числе изучать структуру потока с привлечением всех возможных наблюдений и ретро эволюцию орбит астероидов в сравнении с орбитальной эволюцией метеорного потока.

#### ФИНАНСИРОВАНИЕ

Настоящая работа частично поддержана Российским научным фондом, гранты 20-12-00105 (согласно РНФ гранту разработан метод анализа данных) и 19-72-00033 (согласно гранту проведены численные расчеты). Работа выполнена в соответствии с Программой Правительства Российской Федерации по конкурентному росту Казанского федерального университета. Работа частично поддержана стипендией Президента Российской Федерации молодым ученым и аспирантам SP-3225.2018.3, грантом Российского фонда фундаментальных исследований № 19-32-90024 Аспиранты и Фондом развития теоретической физики и математики “БАЗИС”.

#### БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают благодарность доктору физико-математических наук Кохириной Гулчехре Исроиловой

не за большую помощь при написании настоящей работы.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *B. Dumitru, M. Birlan, M. Popescu, and D. Nedelcu*, *Astron. and Astrophys.* **607**, id. A5 (2017).
2. *D. Jones, I. Williams, and V. Porubcan*, *Monthly Not. Roy. Astron. Soc.* **371**, 684 (2006).
3. *P. Jenniskens and J. Vaubaillon*, *Astron. J.* **136**, 725 (2008).
4. *A. V. Moorhead, P. G. Brown, P. Spurný, W. J. Cooke, and L. Shrbeny*, *Astron. J.* **150**, id. 122 (2015).
5. *J. M. Trigo-Rodríguez, J. M. Madiedo, I. P. Williams, and A. J. Castro-Tirado*, *Monthly Not. Roy. Astron. Soc.* **392**, 367 (2008).
6. *П. Б. Бабаджанов, Г. И. Кохилова, Метеорные потоки астероидов, пересекающих орбиту Земли* (Душанбе: Дониш, 2009).
7. *P. Babadzhanov, G. Kokhirova, and Y. V. Obruchov*, *Kinematics Phys. Celest. Bodies* **32**, 250 (2016).
8. *V. Usanin, Y. Nefedyev, and A. Andreev*, *Adv. Space Research* **58**, 2400 (2016).
9. *Н. Куликова*, *Астрон. вестник* **5**, 181 (1971).
10. *A. Kazantsev*, *Kinematics Phys. Celest. Bodies* **26**, 249 (2010).
11. *P. M. M. Jenniskens, Meteor Showers and their Parent Comets* (Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2006).
12. *A. F. Cook*, in *Evolutionary and Physical Properties of Meteoroids*, Proc. of IAU Colloq. 13, held in Albany, NY, 14–17 June 1971, edited by C.L. Hemenway, P.M. Millman, and A.F. Cook, National Aeronautics and Space Administration SP **319**, 183 (1973).
13. *M. Sokolova and M. Sergienko*, *Solar System Research* **50**, 379 (2016).
14. *R. Southworth and G. Hawkins, Smith*, *Contr. Astroph.* **7**, 261 (1963).
15. *T. J. Jopek*, *Icarus* **106**, 603 (1993).
16. *D. Asher, S. Clube, W. Napier, and D. Steel*, *Vistas Astron.* **38**, 1 (1994).
17. *J. D. Drummond*, *Icarus* **45**, 545 (1981).
18. *M. Sokolova, E. Kondratyeva, and Y. Nefedyev*, *Adv. Space Research* **52**, 1217 (2013).
19. *F. Tisserand, Traité de mécanique céleste. I. Perturbations des planètes d'après la méthode de la variation des constantes arbitraires* (Gauthier-Villars, 1889).
20. *М. Л. Лудов*, *Искусств. спутники Земли* **8**, 5 (1961).
21. *Е. Н. Крамер, И. С. Шестака*, *Астрон. вестник* **21**, 75 (1987).
22. *P. Babadzhanov, G. Kokhirova, and Y. V. Obruchov*, *Solar System Res.* **49**, 165 (2015).
23. *L. Kresak*, *Bull. Astron. Inst. Czechoslovakia* **33**, 104 (1982).
24. *H. Kosai*, in *Dynamics and Evolution of Minor Bodies with Galactic and Geological Implications*, edited by S. V. M. Clube, S. Yabushita, and J. Henrard (Dordrecht: Springer Netherlands, 1992), p. 237.
25. *K. Kholoshevnikov, G. Kokhirova, P. Babadzhanov, and U. Khamroev*, *Monthly Not. Roy. Astron. Soc.* **462**, 2275 (2016).
26. *D. Jewitt*, *Astron. J.* **143**, id. 66 (2012).
27. *D. Jewitt*, in *Comets in the Post-Halley Era*, edited by R. L. Newburn, M. Neugebauer, and J. Rahe (Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, Netherlands, 1992), p. 19.
28. *Y. R. Fernández, D. C. Jewitt, and S. S. Sheppard*, *Astron. J.* **130**, 308 (2005).
29. *P. B. Babadzhanov and I. P. Williams*, *Proc. IAU Symp.* **2**, 135 (2006).
30. *D. Asher, S. Clube, and D. Steel*, *Monthly Not. Roy. Astron. Soc.* **264**, 93 (1993).