

УДК 523.683

МЕТЕОРНЫЙ КОМПЛЕКС δ -КАНКРИДЫ¹

© 2022 г. М. Г. Соколова^a, *, В. С. Усанин^a

^aКазанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия

*e-mail: smarina.63@mail.ru

Поступила в редакцию 23.07.2021 г.

После доработки 26.08.2021 г.

Принята к публикации 25.09.2021 г.

В рамках исследования связей метеорного потока δ -Канкриды (DCA), состоящего из северной (NCC) и южной (SCC) ветвей, с кометно-астероидным комплексом изучена структура потока с привлечением визуальных и телевизионных наблюдений. По визуальным наблюдениям получено, что для метеоров с минимальной регистрируемой звездной величиной $+3^m$ и ярче максимум активности $ZHR = 8.6 \pm 1.8$ наблюдается на долготе Солнца $298.5^\circ \pm 1.2^\circ$, при этом параметр r функции светимости за период действия потока изменяется в интервале значений 1.5–2.0. Для метеоров слабее $+3^m$ момент максимума наступает на 1.4° позднее, чем для более ярких метеоров. Для орбит метеоров ветвей NCC и SCC, полученных по телевизионным наблюдениям, также выявлена зависимость значений больших полуосей и эксцентриситетов от массы метеороидов. Время разделения орбит метеоров δ -Канкрид в интервале звездных величин метеоров от 0^m до $+3^m$ вследствие действия негравитационного эффекта Пойнтинга–Робертсона составляет для южной SCC ветви 22–26 тыс. лет, для северной NCC ветви 24–29 тыс. лет.

Ключевые слова: метеороид, метеор, метеорный поток, комета

DOI: 10.31857/S0320930X22010066

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в окрестностях Земли наблюдается порядка сотни малых метеорных потоков, большая часть из которых не отождествлена ни с одной из открытых комет. Малые потоки определяются Международной метеорной организацией (ММО) как потоки со схожими орбитами метеороидов, выделенным радиантом и ZHR (зенитным часовым числом) меньше, чем 10 метеоров в час (<https://www.imo.net/observations/methods/visual-observation/minor/>). Таким образом, активность малых потоков сравнима со спорадическим фоном, что затрудняет их наблюдение, изучение структуры, эволюции и поиск родительского тела.

Целью работы является изучение малого метеорного потока δ -Канкриды (код DCA, номер 95), который входит в список наблюдаемых потоков, подтвержденных Центром метеорных данных Международного астрономического союза (<https://www.ta3.sk/IAUC22DB/MDC2007/>). δ -Канкриды наблюдаются в период с 1 по 30 января и имеют две ветви – северную (код NCC, номер 96) и южную (код SCC, номер 97) (<https://www.ta3.sk/IAUC22DB/MDC2007/>). В базе данных визуальных наблюдений метеоров Международ-

ной метеорной организации (https://www.imo.net/members/imo_vmdb) δ -Канкриды обозначены как единый комплекс DCA без деления на ветви потока. Радиант δ -Канкрид находится в созвездии Рака. Геоцентрические координаты радиантов ветвей δ -Канкрид имеют различие только по склонению δ , прямые восхождения α и суточные смещения радиантов совпадают в пределах ошибки: $\alpha = 130.2^\circ \pm 3.2^\circ$, $\delta = 20.8^\circ \pm 2.1^\circ$ (ветвь NCC); $\alpha = 128.3^\circ \pm 4.1^\circ$, $\delta = 13.6^\circ \pm 1.9^\circ$ (ветвь SCC) (Соколова, Сергиенко, 2020).

Для комплекса δ -Канкрид не установлено генетических связей ни с одной открытой кометой (<https://www.ta3.sk/IAUC22DB/MDC2007/>), поэтому исследуются возможные связи потока с астероидами как возможными потухшими ядрами комет или продуктами их распада. NCC, предположительно, связывают с астероидом 1991 AQ, а SCC с астероидом 2001 YB5 (Jenninskens, 2006). В работе (Babadzhanov, 1999) приводится астероид 2212 Гефест как имеющий схожую орбиту с DCA. В исследованиях (Dumitru и др., 2017; Сергиенко и др., 2020) помимо указанных выше астероидов для NCC также выделен астероид 2015 PU228, SCC – астероид 2010 XC11.

¹ По материалам VII Бредихинских чтений (май 2021 г.)

ПРОФИЛЬ АКТИВНОСТИ И
ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ПЛОТНОСТЬ
δ-КАНКРИД ПО ВИЗУАЛЬНЫМ
НАБЛЮДЕНИЯМ

Методика обработки визуальных наблюдений

Под структурой метеорного потока понимают плотность потока метеороидов $Q(M)$ выше некоторой минимальной регистрируемой массы M как функцию долготы Солнца L и распределение метеороидов по массам в потоке вдоль орбиты Земли. Наблюдаемое часовое число метеоров HR связано с плотностью потока Q

$$HR = Q\Sigma, \quad (1)$$

где Σ – величина собирающей площадки, расположенной по нормали к вектору скорости метеороида, в пределах которой он регистрируется. Часовое число метеоров редуцируют к условию нахождения радианта потока в зените, что обеспечивает постоянство значения минимальной регистрируемой массы метеороида. В этом случае зенитное часовое число ZHR вычисляют как

$$ZHR = Q(M_0)\Sigma_0, \quad (2)$$

где значения M_0 и Σ_0 определяют минимальную регистрируемую массу метеороидов и величину их собирающей площадки.

Значение ZHR , пропорциональное плотности потока метеорных тел с массами больше, чем минимальная регистрируемая масса метеороида, соответствующая метеору $+3^m$ и ярче, определяется по формуле (Белькович и др., 2001; Белькович, Ишмухаметова, 2006)

$$ZHR = \frac{N}{T} k \cos^{-S} Z \exp(0.4F), \quad (3)$$

где N – зарегистрированное число метеоров в интервале времени T , k – поправка приведения наблюдаемого числа метеоров к $+3^m$, учитывающая снижение замечаемости более слабых метеоров и влияние условий наблюдений, Z – зенитное расстояние радианта, F – фаза Луны, S – параметр распределения метеороидов потока по массам (интегральный масс-индекс).

С учетом экспериментальной зависимости изменения числа метеоров dN от изменения звездной величины dm – функции светимости (Левин, 1956)

$$dN = r^m dm \quad (4)$$

имеем соотношение, связывающее параметр функции светимости r (англ. population index) распределения метеоров по звездным величинам и параметр S распределения метеороидов по массам:

$$r = 10^{\frac{0.4(S-1)}{b}}, \quad S = 1 + 2.5blgr. \quad (5)$$

Коэффициент b в (5) был введен Б.Ю. Левиным для визуальных наблюдений (Левин, 1956, с. 122, 200) и варьируется в пределах от 0.7 до 1 (нами принят равным 1).

По интегральному распределению звездных величин метеоров, полученному наблюдателем за ночь наблюдений, определяются значения параметров r , S и поправка k приведения наблюдаемой численности N метеоров к $+3^m$ и ярче. По наблюдаемой численности метеоров, индивидуальным значениям S и k для всех интервалов наблюдений по формуле (3) вычисляются значения ZHR и их средние квадратические ошибки как $\sigma_{ZHR} = ZHR/\sqrt{N}$. В зависимости от статистики наблюдений метеоров потока по индивидуальным или усредненным значениям r , S , ZHR с учетом весов в интервалах 0.5° – 1° эклиптической долготы Солнца L , фиксирующей момент наблюдения (дату и время UT), строятся профили как функции долготы Солнца. Максимум активности потока ZHR_{\max} и соответствующее значение долготы Солнца L_{\max} определяются пересечением восходящей и нисходящей ветвей профиля (в логарифмическом масштабе прямыми линиями, проведенными методом наименьших квадратов) (Белькович и др., 2001).

*Определение интегрального
масс-индекса δ-Канкрид*

Для изучения структуры комплекса δ-Канкрид по описанной выше методике использована база данных визуальных наблюдений метеоров ММО (https://www.imo.net/members/imo_vmdb) за 1987–2006 гг. В исходных файлах значения наблюдаемой численности и звездной величины представлены для комплекса DCA (код 95) без деления метеоров по их принадлежности к ветвям NCC и SCC. Было обработано порядка 5000 распределений метеоров по видимым звездным величинам и численности по наблюдениям в период с 1 по 31 января за 1987–2006 гг. По годам статистика наблюдений не одинакова, что не позволило для отдельных лет построить профили r , S и ZHR за весь период действия потока. Были использованы только те наблюдения по звездным величинам, по которым относительная ошибка определения параметра r функции светимости не превышала 20%. На рис. 1 показаны изменения индивидуальных и усредненных по интервалам 1° долготы Солнца L (эпоха 2000.0) значений параметров r (шкала слева) и S (шкала справа) за все годы наблюдений.

За период действия потока на интервале долгот Солнца 276° – 305° индивидуальные значения r варьируются в интервале от 1.3 до 2.2, усредненные значения r изменяются в интервале от 1.5 до 2.0. Наблюдаются несколько минимумов, реги-

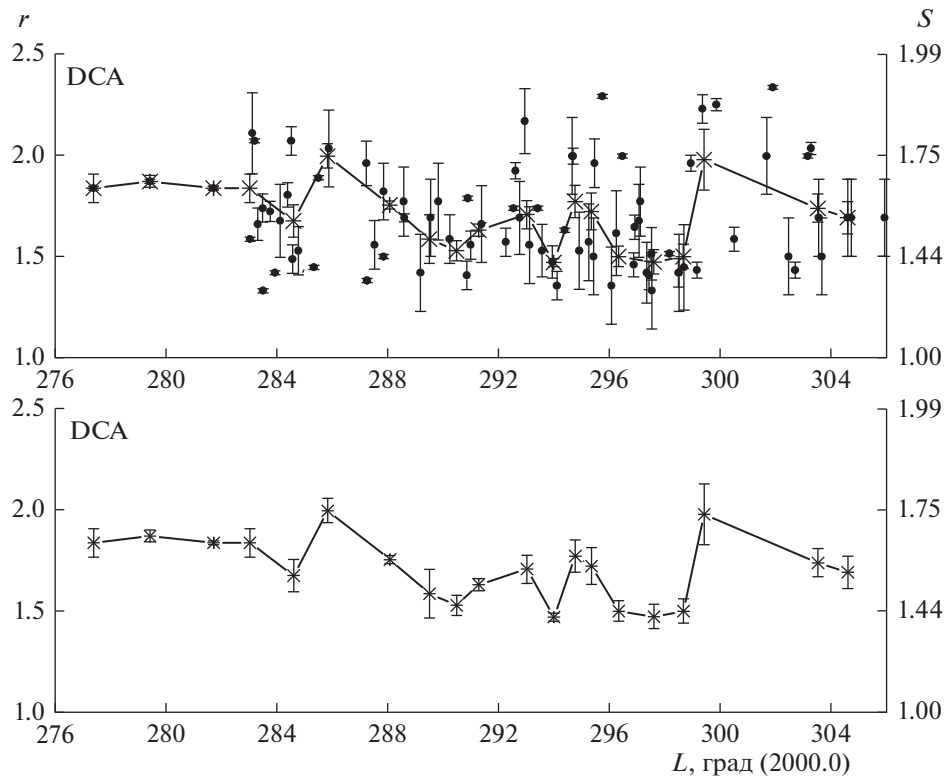


Рис. 1. Параметры r и S δ -Канкрид (DCA) по визуальным наблюдениям 1987–2006 гг. (темные кружки – значения r и S ; крестики и сплошная линия – усредненные r и S по интервалам L).

стрируемых на долготах Солнца 284.6° , 290.5° , 294.0° , и более широкий в интервале 296.3° – 298.7° . Минимумы параметров r и S выделяют участки потока, где соотношение более крупных по массе метеороидов к более мелким выше. Данные других авторов о вариациях параметров r и S DCA в зависимости от даты наблюдения не найдены. По данным (Jenniskens, 2006, табл. 7, с. 693) среднее за весь период действия DCA значение r равно 3. Для малых метеорных потоков усредненный за весь период действия потока параметр r принимают, как правило, в интервале от 2 до 3 (Jenniskens, 1994, табл. 3b, с. 1008).

Профиль активности δ -Канкрид

Профиль активности как функция долготы Солнца характеризует изменение ZHR метеоров $+3^m$ и ярче в поперечном сечении потока вдоль орбиты Земли. Профиль активности δ -Канкрид (DCA), полученный по визуальным наблюдениям, в логарифмическом масштабе представлен на рис. 2. Значения ZHR (3), полученные по наблюдениям в разные годы, усреднялись по интервалам долготы Солнца 0.5° – 1° , прямые восходящей и нисходящей ветвей проведены методом наименьших квадратов. Также на рис. 2 нанесена кривая интегрального масс-индекса S , представ-

ленная на рис. 1 и сглаженная в пределах средних квадратических ошибок параметра S .

Максимальная средняя активность потока за 1987–2006 гг. составляет $ZHR_{\max} = 8.6 \pm 1.8$ и фиксируется на $L_{\max} = 298.5^\circ \pm 1.2^\circ$. При этом максимум активности в пределах 1° совпадает по долготе Солнца с основным широким минимумом параметра S . Ширина потока на уровне половины ZHR_{\max} составляет 4° (296° – 300°). По другим немногочисленным данным моменты наступления максимальной активности δ -Канкрид отличаются от полученных нами в пределах 2° : L_{\max} равна 296.3° по визуальным наблюдениям 1989 г.; 299° – по телевизионным наблюдениям 1999–2009 гг. (Jenniskens, 2006, табл. 7, с. 693). Для главных кометных потоков момент повышения активности наблюдается вблизи узла родительской кометы (Соколова, Сергиенко, 2016). Поэтому можно предположить, что гипотетическое родительское тело в период образования роя могло иметь орбиту с долготой узла в окрестностях значений 298° – 299° .

Расчет профилей активности δ -Канкрид для различных масс метеороидов

Принимается, что распределение масс метеороидов в потоке подчинено степенному закону (распределению Парето), который в дифферен-

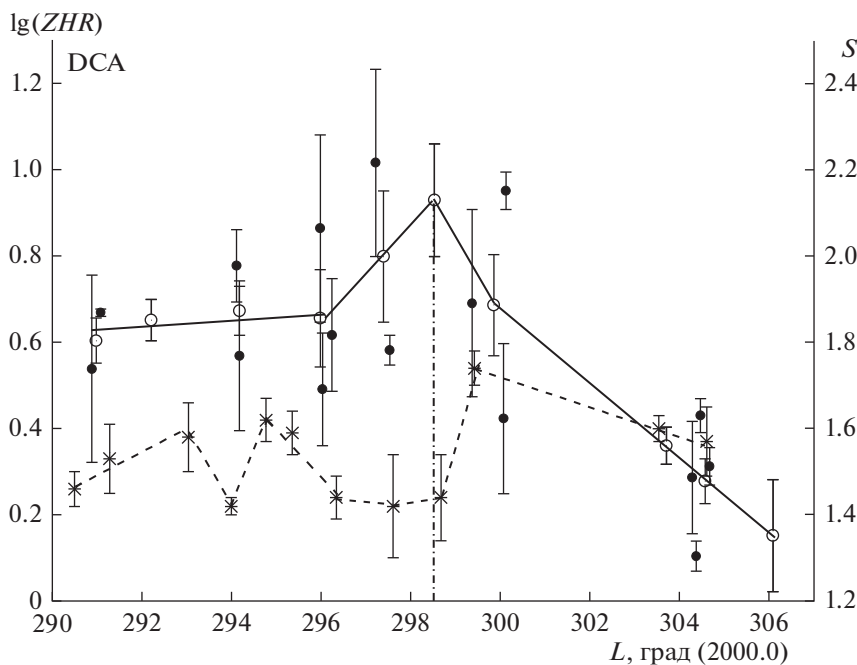


Рис. 2. Профиль ZHR δ -Канкрид (DCA) по визуальным наблюдениям 1987–2006 гг. (темные кружки – индивидуальные значения $\lg ZHR$, открытые кружки – усредненные по интервалам L ; сплошная линия – усредненный профиль активности; крестики и пунктирная линия – значения масс-индекса S ; штрих-пунктирная линия фиксирует положение ZHR_{\max} по долготе Солнца L_{\max}).

циальном виде записывается (Левин, 1956; Белькович, 1986)

$$p(M) = (S - 1)M_0^{S-1}M^{-S}$$

или в интегральном виде

$$\begin{aligned} F(M) &= \int_M^{+\infty} p(M)dM = \\ &= (S - 1)M_0^{S-1} \int_M^{+\infty} M^{-S}dM = \left(\frac{M}{M_0}\right)^{1-S}, \end{aligned} \quad (6)$$

где M_0 – минимальная регистрируемая масса метеороида. Зенитное часовое число $ZHR(M)$ и плотность потока $Q(M)$ метеороидов с массой выше некоторой M_0 связаны соотношениями:

$$\frac{ZHR(M)}{ZHR(M_0)} = \left(\frac{M}{M_0}\right)^{1-S}, \quad (7)$$

$$Q(M) = \frac{HR}{\Sigma} \left(\frac{M}{M_0}\right)^{1-S}, \quad \frac{Q(M)}{Q(M_0)} = \left(\frac{M}{M_0}\right)^{1-S}. \quad (8)$$

Пространственную плотность D частиц и среднее расстояние Δ между ними в потоке определяют по формулам:

$$D(M) = \frac{Q(M)}{v_\infty}, \quad (9)$$

$$\Delta(M) = \sqrt[3]{D(M)^{-1}}, \quad (10)$$

где v_∞ – внеатмосферная скорость. Следовательно, при известных S , M_0 , $ZHR(M_0)$ и Σ_0 можно получить интегральные плотности потока метеороидов различной минимальной регистрируемой массы M .

Переход от звездных величин метеоров к соответствующим массам метеороидов выполнен по фотометрической шкале масс, согласно которой метеороид, влетающий вертикально в атмосферу Земли с геоцентрической скоростью $v_g = 40$ км/с и образующий метеор 0^m , имеет массу $M = 0.24$ г (Тохтасьев, 1977). Таким образом, масса M метеороида определялась на основании следующих соотношений:

$$\begin{aligned} \tau_{(40 \text{ км/с})} \times 40^3 \times 0.24 &= \tau(v_g)v_g^3 M(0^m), \\ \lg I &= 9.72 - 0.4m, \quad \frac{M(+3^m)}{M(0^m)} = \frac{I(+3^m)}{I(0^m)}, \end{aligned} \quad (11)$$

где τ – коэффициент светимости (Тохтасьев, 1977; Бронштэн, 1981), I – сила света, излучаемая метеороидом (Левин, 1956). Для δ -Канкрид среднюю геоцентрическую скорость v_g можно принять равной 27 км/с (<https://www.ta3.sk/IAUC22DB/MDC2007/>). Таким образом, метеор $+3^m$ потока δ -Канкрид соответствует метеороиду массой $M = 0.04$ г. Массы метеороидов δ -Канкрид, вычисленные по формулам (11) для наблюдаемого визуальным методом диапазона звездных величин, приведены в табл. 1.

Таблица 1. Структурные характеристики δ -Канкрид (DCA) для различных масс метеороидов в период максимальной активности по визуальным наблюдениям

m	-1^m	0^m	$+1^m$	$+3^m$	$+5^m$	$+6^m$
M , г	1.5	0.6	0.24	0.04	0.006	0.002
L , град (J2000.0)	298.53	298.53	298.53	298.53	299.10	299.85
$ZHR_{\max}(M)$	1.7	2.6	3.9	8.6	19.6	42.6
$Q(M) \times 10^{-7}$, км $^{-2}$ с $^{-1}$	0.11	0.17	0.25	0.55	1.25	2.70
$D(M) \times 10^{-7}$, км $^{-3}$	0.0038	0.0058	0.0086	0.0188	0.0428	0.0925
Δ , км	1381	1199	1052	810	616	476

По визуальным наблюдениям δ -Канкрид (DCA) на основе усредненных профилей активности $ZHR(+3^m)$ (рис. 2, сплошная линия) и параметра S (рис. 2, пунктирная линия) как функций долготы Солнца L для различных минимальных регистрируемых масс M метеороидов (табл. 1) по формуле (7) были рассчитаны профили активности $ZHR(M)$. Все профили активности $ZHR(M)$ (рис. 3) нормированы относительно максимального значения $ZHR_{\max}(M)$. Средние квадратические ошибки значений $ZHR(M)$ и положения максимума активности указаны только для наблюдаемого профиля метеоров с минимальной регистрируемой звездной величиной $+3^m$ и ярче. Точность модельных профилей обусловлена ошибками экспериментального профиля $ZHR(+3^m)$.

Для семейства профилей $ZHR(M)$ наблюдается смещение положения основного максимума активности частиц с массами меньше, чем 10^{-2} г, в сторону увеличения долготы Солнца на 1.4° , при этом мелкие частицы достаточно равномерно распределены в поперечном сечении потока. Для более крупных частиц с $M > 10^{-2}$ г максимум активности стабилизируется в интервале долгот $298^\circ - 299^\circ$. Наблюдается уменьшение ширины профиля ZHR на уровне 0.5 максимальной активности с увеличением массы метеороидов и их концентрация в восходящей ветви профиля. Диапазон звездных величин метеоров слабее $+6^m$ не обеспечен визуальными наблюдениями, поэтому достоверность модельных профилей для меньших предельных масс снижается из-за накопления ошибок экстраполяции.

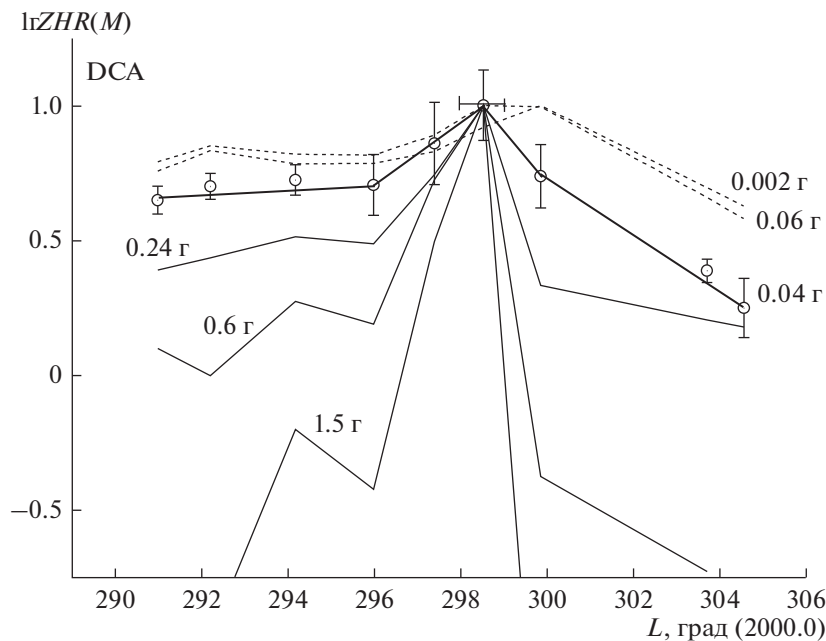


Рис. 3. Зависимость $\lg ZHR(M)$ δ -Канкрид (DCA) от долготы Солнца L для различных минимальных регистрируемых масс метеороидов (открытые кружки, утолщенная сплошная линия — профиль ZHR метеоров $+3^m$ и ярче; тонкие сплошные линии — расчетные профили ZHR метеоров ярче -1^m ; тонкие пунктирные линии — расчетные профили ZHR метеоров ярче $+6^m$).

Для определения значений плотности $Q(M)$, пространственной плотности $D(M)$ и среднего расстояния между частицами $\Delta(M)$ потока по формулам (8), (9) и (10) необходимо задать величину собирающей площадки Σ , в пределах которой наблюдаются метеоры с предельно регистрируемой массой M . Согласно (Jenniskens, 2006, с. 597) для интервала скоростей от 20 до 72 км/с величина собирающей площадки меняется от 3.84×10^{14} до 7.74×10^{14} см², тогда, интерполируя для средней геоцентрической скорости потока 27 км/с, получаем значение собирающей площадки $\Sigma = 4.36 \times 10^{14}$ см². Расчеты, представленные в табл. 1, выполнены для максимальной активности $ZHR_{\max}(M)$ потока, минимального значения $S = 1.44$ (рис. 2) и внеатмосферной скорости $v_{\infty} = \sqrt{v_g^2 + (11.2 \text{ км/с})^2} = 29.2 \text{ км/с}$.

АНАЛИЗ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ЭЛЕМЕНТОВ ОРБИТ δ -КАНКРИД ПО ТЕЛЕВИЗИОННЫМ НАБЛЮДЕНИЯМ

Смещение максимума активности потока δ -Канкрид по долготе Солнца в зависимости от массы частиц (рис. 3) позволяет предположить влияние на структуру потока негравитационного эффекта Пойнтинга–Робертсона (Robertson, 1937). Эффект Пойнтинга–Робертсона представляет собой тормозящую силу, возникающую при поглощении и последующем переизлучении метеороидом солнечной энергии. В результате метеороиды медленно двигаются по спирали по направлению

к Солнцу, приобретая с течением времени более круговые орбиты с меньшими значениями больших полуосей. Таким образом, под влиянием эффекта Пойнтинга–Робертсона со временем происходит разделение орбит метеорных тел в потоке в зависимости от их массы.

Исследование распределения значений больших полуосей и эксцентриситетов орбит метеоров в зависимости от их абсолютной звездной величины выполнено по данным телевизионного каталога орбит метеоров Global Meteor Network (далее GMN) (Vida и др., 2019; https://globalmeteornetwork.org/data/traj_summary_data/). Наблюдения метеоров за 2019–2021 гг. выполнены более чем 40 видеосистемами из 11 стран. Для всех параметров, представленных в каталоге, указаны средние квадратические ошибки. Каталог пополняется в режиме реального времени.

В каталоге GMN представлены орбиты метеороидов ветвей комплекса δ -Канкрид по наблюдениям 2019–2021 гг.: северной ветви NCC – 313 орбит, южной ветви SCC – 332 орбиты. Зависимости эксцентриситетов и больших полуосей орбит от абсолютной звездной величины метеоров ветвей NCC и SCC показаны на рис. 4 и 5 соответственно. Как видим, для северной NCC и южной SCC ветвей в диапазоне абсолютных звездных величин от -3^m до $+4^m$ имеет место уменьшение значений эксцентриситетов и больших полуосей в зависимости от звездных величин метеоров, т.е. от массы метеороидов.

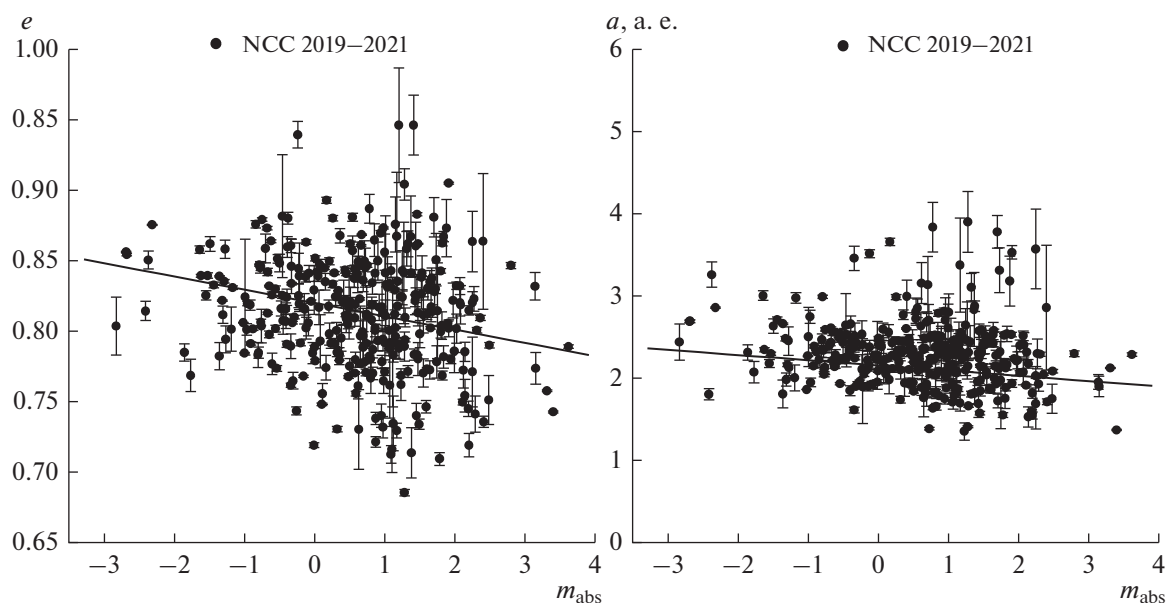


Рис. 4. Эксцентриситеты (e) и большие полуоси (a) орбит NCC северной ветви δ -Канкрид в зависимости от звездной величины метеоров; сплошная прямая линия – линейная аппроксимация (графики построены по данным каталога метеорных орбит GMN (Vida и др., 2019; https://globalmeteornetwork.org/data/traj_summary_data/).

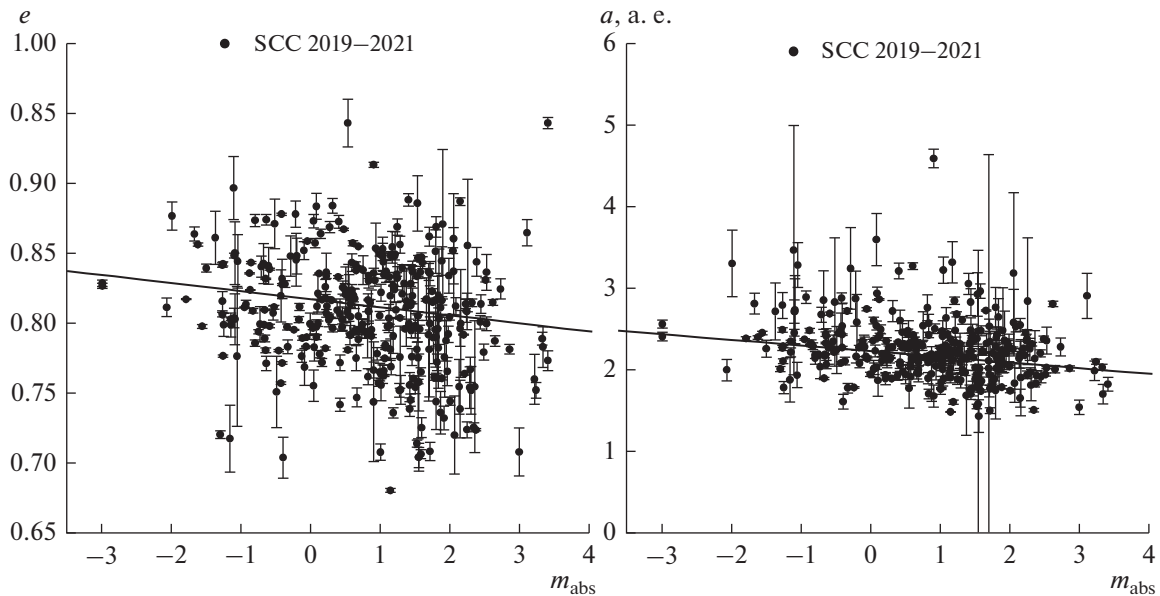


Рис. 5. Эксцентриситеты (e) и большие полуоси (a) орбит SCC южной ветви δ -Канкрид в зависимости от звездной величины метеоров; сплошная прямая линия – линейная аппроксимация (графики построены по данным каталога метеорных орбит GMN (Vida и др., 2019; https://globalmeteornetwork.org/data/traj_summary_data/)).

Наличие корреляции элементов орбит в зависимости от массы метеороидов позволяет выполнить оценку возраста потока на основе влияния эффекта Пойнтинга–Робертсона по следующим формулам (Ловелл, 1958):

$$\Delta a = T_e K (2 + 3e^2) / (a(1 - e^2)^{3/2}), \quad (12)$$

$$\Delta e = T_e K 5e / (2a^2(1 - e^2)^{1/2}), \quad (13)$$

где $K = 2.51 \times 10^{11} R^{-1} \rho^{-1}$, ρ и R – плотность и радиус метеороида, Δa и Δe – изменения большой полуоси и эксцентриситета его орбиты относительно орбиты родительского тела (первоначальной орбиты).

Расчеты выполнены для метеороидов с плотностями 1.8 г/см^3 (углистые объекты С-группы) и 2.4 г/см^3 (кремниевые объекты S-группы) согласно классификации химического состава астероидов (Standish, 1998) и массой $M = 0.04 \text{ г}$, соответствующей метеору $+3^m$ (табл. 1). Так как родительское тело комплекса δ -Канкрид не установлено, то за элементы первоначальной орбиты a_0 и e_0 приняты средние взвешенные значения орбит NCC и SCC, полученные по данным каталога GMN. Для NCC получены значения $a_0 = 2.129 \text{ а. е.}$, $e_0 = 0.820$, соответствующие среднему значению $m_{\text{abs}} = +0.6^m$; для SCC значения $a_0 = 2.218 \text{ а. е.}$, $e_0 = 0.816$, соответствующие среднему значению $m_{\text{abs}} = +0.8^m$. Значения Δa , Δe в формулах (12), (13) определяются как

$$\Delta e = e_0 - e, \quad \Delta a = a_0 - a,$$

где e , a – значения, полученные графически на основе линейной аппроксимации зависимостей элементов орбит от звездной величины метеоров (рис. 4, 5) для метеора $+3^m$. Результаты расчетов представлены в табл. 2.

Таблица 2. Оценка возраста комплекса δ -Канкриды (масса метеороида $M = 0.04 \text{ г}$)

Возраст, лет	$\rho = 1.8 \text{ г/см}^3$	$\rho = 2.4 \text{ г/см}^3$
NCC		
T_e	28.2×10^3	34.8×10^3
T_a	19.8×10^3	23.8×10^3
SCC		
T_e	21.6×10^3	26.2×10^3
T_a	21.7×10^3	26.3×10^3

Таким образом, время разделения орбит метеороидов δ -Канкрид в интервале звездных величин метеоров от 0^m до $+3^m$ составляет для южной ветви SCC около 22 тыс. лет для объектов углеродного и 26 тыс. кремниевого химических составов, причем имеется хорошее согласие между значениями T_e по изменению эксцентриситетов и T_a по изменению больших полуосей. Что касается северной ветви NCC, то значения T_e и T_a отличаются друг от друга, но в среднем дают порядка 24 и 29 тыс. лет для объектов разного химического состава. Стоит упомянуть, что ранее в работе (Соколова, Сергиенко, 2020) оценка возраста ветвей δ -Канкрид на основе влияния эффекта Пойнтинга–Робертсона была выполнена по данным телевизионных каталогов орбит Японской метеорной сети SonotaCo (111 орбит NCC и 59 орбит SCC) и CAMS v.2.0 (75 орбит NCC и 70 орбит SCC). Небольшая статистика орбит потока в данных каталогах позволила оценить возраст порядка 25–30 тыс. лет только ветви NCC, что хорошо согласуется с результатами, представленными в табл. 2.

ВЫВОДЫ

По визуальным наблюдениям δ -Канкрид (DCA) 1987–2006 гг. параметр r функции светимости, полученный путем усреднения индивидуальных значений, за период действия потока на интервале долгот Солнца 276° – 305° изменяется в диапазоне от 1.5 до 2.0, при этом индивидуальные значения r определялись с ошибкой, не превышающей 20%. Наиболее уверенно выделяется широкий минимум r на интервале долгот Солнца 296.3° – 298.7° . Максимальная средняя активность потока, определенная по визуальным наблюдениям для метеоров $+3^m$ и ярче, составляет $ZHR_{\max} = 8.6 \pm 1.8$ и фиксируется на долготе Солнца $298.5^\circ \pm 1.2^\circ$. При этом максимум активности в пределах 1° совпадает по долготе Солнца с широким минимумом параметра r . Ширина потока на уровне половины ZHR_{\max} составляет 4° (296° – 300°). Максимумы активности метеороидов с массами меньше, чем 10^{-2} г, наблюдаются на 1° – 1.4° позднее, чем более крупные частицы. Пространственная плотность DCA такова, что одна частица массой порядка 1 г приходится в пространстве на куб с ребром около 1000 км.

Различная структура потока в зависимости от массы метеороидов подтверждается и наличием корреляций больших полуосей и эксцентриситетов орбит метеороидов ветвей NCC и SCC от их массы. Время разделения орбит метеороидов δ -Канкрид углеродного и кремниевого химических составов в интервале звездных величин метеоров

от 0^m до $+3^m$ составляет для южной ветви SCC около 22–26 тыс. лет, для северной ветви NCC около 24–29 тыс. лет. Возможно, образование южной ветви потока произошло вследствие повторной фрагментации ядра родительского тела.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Белькович О.И. Статистическая теория метеоров // Диссерт. на соиск. уч. ст. д. физ.-мат. наук. Казань. 1986. 301 с.
- Белькович О.И., Ишмухаметова М.Г., Сулейманов Н.И. Современные методы обработки визуальных наблюдений метеорных потоков и их возможности // Астрон. вестн. 2001. Т. 35. № 5. С. 440–448.
- Белькович О.И., Ишмухаметова М.Г. Распределение метеороидов Персеид по массам // Астрон. вестн. 2006. Т. 40. № 3. С. 230–235. (Bel'kovich O.I., Ishmukhametova M.G. Mass distribution of Perseid meteoroids // Sol. Syst. Res. 2006. V. 40. № 3. P. 208–213.)
- Бронштэн В.А. Физика метеорных явлений. М.: Наука, 1981. 416 с.
- Левин Б.Ю. Физическая теория метеоров и метеорное вещество в Солнечной системе. М.: Издательство Академии наук СССР, 1956. 293 с.
- Ловелл Б. Метеорная астрономия. М.: Физматгиз, 1958. 488 с.
- Сергиенко М.В., Соколова М.Г., Холшевников К.В. Многофакторная методика поиска малых тел на близких орбитах // Астрон. журн. 2020. Т. 97. № 5. С. 432–440.
- Соколова М.Г., Сергиенко М.В. Сравнение структур метеорных потоков кометного и предположительно астероидного происхождения // Астрон. вестн. 2016. Т. 50. № 6. С. 401–411.
- Соколова М.Г., Сергиенко М.В. Радианты и элементы орбит метеороидов комплекса δ -Канкриды // Научные труды Института астрономии РАН. 2020. Т. 5. № 3. С. 125–128.
- Тохмасьев В.С. Шкалы масс для радиометеоров, визуальных и фотографических метеоров // Всесоюзный симпозиум “Проблемы радиометеорных исследований атмосферы” 4–6 октября 1977 г. Тез. докл. Харьков: Харьковский институт радиоэлектроники Минвуза УССР, 1977. С. 26.
- Babadzhanov P.B. Near-Earth asteroids associated with meteor showers // Meteoroids. 1998. Proc. Int. Conf. held at Tatranská Lomnica, Slovakia. August 17–21, 1998 / Eds Baggaley W.J., Porubčan V. Bratislava: Astron. Inst. Slovak Acad. Sci., 1999. P. 185–190.
- Dumitru B.A., Birlan M., Popescu M., Nedelcu D.A. Association between meteor showers and asteroids using multivariate criteria // Astron. and Astrophys. 2017. V. 607. Article id. A5. 22 p.
- Jenniskens P. Meteor stream activity. I. The annual streams // Astron. and Astrophys. 1994. V. 287. № 3. P. 990–1013.
- Jenniskens P. Meteor Showers and Their Parent Comets. New York: Cambridge Univ. Press, 2006. 804 p.

- Robertson H.P.* Dynamical effects of radiation in the Solar System // *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.* 1937. V. 97. № 6. P. 423–438.
- Standish E.M.* JPL Planetary and Lunar Ephemerides, DE405/LE405. Jet Propulsion Laboratory Interoffice Memorandum IOM 312.F-98-048. Pasadena: Jet Propulsion Laboratory, 1998. 18 p.
- Vida D., Šegon D., Merlak A.* The overview of the Global Meteor Network project and preliminary results of the 2018 Geminids // *Meteor News.* 2019. V. 4. № 1. P. 22–24.
- <https://www.imo.net/observations/methods/visual-observation/minor/>
- <https://www.ta3.sk/IAUC22DB/MDC2007/>
- https://www.imo.net/members/imo_vmdb
- https://globalmeteornetwork.org/data/traj_summary_data/