

УДК 523.53

РЕЗУЛЬТАТЫ ФОТОМЕТРИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ КОМЕТЫ P/2019 LD2 в ОБСЕРВАТОРИИ САНГЛОХ

© 2021 г. Г. И. Кохирова^{a,*}, Ф. Дж. Рахматуллаева^a, С. А. Борисенко^b

^aИнститут астрофизики Национальной академии наук Таджикистана, Душанбе, Таджикистан

^bГлавная астрономическая обсерватория НАН Украины, Киев, Украина

*e-mail: kokhirova2004@mail.ru

Поступила в редакцию 29.03.2021 г.

После доработки 03.06.2021 г.

Принята к публикации 19.06.2021 г.

Короткопериодическая комета P/2019 LD2 (Атлас) открыта в июне 2019 г. Первоначально объект был классифицирован как троянский астероид, но позже был включен в группу комет семейства Юпитера. Ввиду доподлинно неизвестной природы происхождения объекта исследование кометы представляет особый научный интерес. В этой связи в Международной астрономической обсерватории Санглох (МАОС) Института астрофизики НАНТ в августе 2020 г. проведены оптические наблюдения кометы. Величина абсолютного блеска кометы в фильтре R по нашим измерениям составляет 11.41^m, оценены параметр пылепроизводительности и верхний предел радиуса ядра 7.4 км. Выявлено распределение яркости вдоль хвоста и структура пылевого хвоста. Показано, что вблизи поверхности ядра кометы находятся самые крупные пылевые частицы размером более 100 мкм и по мере удаления от ядра размеры частиц хвоста уменьшаются. Фотометрические данные указывают, что в период мониторинга комета находилась в состоянии нормальной кометной активности, связанной главным образом, с недавним прохождением перигелия. Анализ орбиты кометы показал, что она действительно находится в стадии перехода из группы кентавров в кометы семейства Юпитера.

Ключевые слова: комета, фотометрия, блеск, пылепроизводительность, радиус, изофота, диаграмма Финсона–Пробстейна

DOI: 10.31857/S0320930X21050030

ВВЕДЕНИЕ

Новая короткопериодическая комета P/2019 LD2 (Атлас) была открыта 10 июня 2019 г. в рамках роботизированного астрономического обзора ATLAS, выполняемого на Гавайях в США. После обработки первых снимков новый слабый астероидоподобный объект был классифицирован как троянский астероид Юпитера (<http://www.ifa.hawaii.edu/info/press-releases/2019LD2/>, 2021). Троянскими астероидами называют две крупные группы астероидов, которые движутся в окрестностях двух особых точек Лагранжа L_4 и L_5 орбиты Юпитера в орбитальном резонансе 1 : 1. Считается, что миллиарды лет назад троянские астероиды сгруппировались в этих областях под действием гравитации Юпитера. Однако последующие наблюдения показали, что у объекта имеются признаки кометной активности — слабые кома и хвост. Вследствие этого он был объявлен первым троянским астероидом Юпитера, проявившим кометную активность (<http://www.ifa.hawaii.edu/info/press-releases/2019LD2/>,

2021). Позже более детальные наблюдения, охватывающие большую дугу орбиты объекта, и тщательная обработка качественных изображений показали, что 2019 LD2 не находится в орбитальном резонансе 1 : 1 с Юпитером, как положено троянскому астероиду (MPEC 2020-K134: Comet P/2019 LD2 (ATLAS), 2020). Более того, эти наблюдения подтвердили, что кометная активность стала заметнее и не прекратилась со временем. На основе этого сделано заключение, что на самом деле этот объект является кометой семейства Юпитера с хаотической орбитой, временно “захваченной” Юпитером из популяции кентавров и периодически сближающейся с газовым гигантом, а в работе Licandro и др. (2020) сделано предположение, что P/2019 LD2 является “захваченной” межзвездной кометой. Итак, первоначально 2019 LD2 ошибочно был принят за “тройца”, но в последующем отождествлен как комета семейства Юпитера. В этой связи Центр малых планет МАС присвоил объекту новое обозначение P/2019 LD2 (ATLAS) в соответствии с правилами

Таблица 1. Элементы орбиты кометы P/2019 LD2 (Атлас) (J2000.0)

Эпоха	a , а. е.	e	q , а. е.	Q , а. е.	i , град	ω , град	Ω , град
31.05.2020	5.295	0.135	4.578	6.013	11.552	123.448	179.746

“кометной” номенклатуры (MPEC 2020-K134: Comet P/2019 LD2 (ATLAS), 2020).

Элементы орбиты P/2019 LD2 приведены в табл. 1 (MPEC2020-K134: Comet P/2019 LD2 (ATLAS), 2020), где a – большая полуось, e – эксцентриситет, q , Q – перигелийное и афелийное расстояния соответственно, i – наклонение, ω – аргумент перигелия, Ω – долгота восходящего узла. Комета обращается вокруг Солнца на среднем расстоянии 5.28 а. е. каждые 12.12 лет. Орбита имеет эксцентриситет 0.132 и наклонение 11.6° по отношению к эклиптике, параметр Тиссерана 2.94, что типично для орбит других комет семейства Юпитера. Номинальная орбита кометы предполагает, что она не находится в стабильном резонансе 1 : 1 с Юпитером, поскольку 17 февраля 2017 г. она близко подошла к планете на расстояние 0.092 а. е. (13.8 млн км) и совершит такое же близкое сближение в 2028 г. (JPL Small-Body Database Browser: P/2019 LD2, 2020). Очередной перигелий своей орбиты комета прошла 10 апреля 2020 г. (P/2019 LD2, MPC IAU, 2020).

Абсолютный блеск кометы $H = 12.1–12.2^m$ (P/2019 LD2, MPC IAU, 2020; JPL Small-Body Database Browser: P/2019 LD2, 2020), диаметр оценен примерно в 14 км при предполагаемом альбедо для такого класса объектов 0.12 (Fernandez и др., 2009). Период вращения и геометрическая фигура ядра нуждаются в уточнении.

Орбита новой кометы частично находится внутри орбиты Юпитера, ее активность напоминает активность кометы 29P/Швасмана–Вахмана 1, принадлежащей к группе кентавров. Отметим, что Sarid и др. (2019) считают объект 29P прототипными “воротами” между кентаврами и кометами семейства Юпитера. В этом контексте изучение P/2019 LD2 способствует лучшему пониманию особенностей перехода от кентавров к кометам семейства Юпитера. Если окажется, что P/2019 LD2 является межзвездной кометой, то появляется возможность изучения этого класса объектов. Этим объясняется актуальность наблюдений и исследования новой кометы.

НАБЛЮДЕНИЯ И ОБРАБОТКА

С целью исследования новой кометы нами проведены фотометрические наблюдения объекта в Международной астрономической обсерватории Санглох (МАОС) Института астрофизики

НАНТ с помощью телескопа Цейсс-1000. Регистрация объекта выполнялась с помощью ПЗС-камеры FLI Proline PL16803 (4096 × 4096 пикселей, размер пикселя 9 микрон). Шум считывания камеры – $10 e^-$ (электронов), рассчитанный коэффициент преобразования (усиление) – около 0.497 e^-/ADU (аналого-цифровые единицы). Камера была установлена в касегреновском фокусе телескопа (13300 мм) и оснащена стандартными широкополосными фотометрическими фильтрами системы Джонсона–Козинса, **позволяющими** выделить соответствующий диапазон спектра при наблюдениях. Для увеличения показателя сигнал/шум (S/N) изображений использовалось бинирование 4×4 . В результате был получен масштаб снимков 0.579"/пиксель при поле порядка $10' \times 10'$. Для уменьшения уровня шумов ПЗС-камеры ПЗС-матрицу охлаждают до температуры -20°C .

Первичная обработка (учет темновых токов, байеса и плоских полей) и сложение снимков проведено с использованием программного обеспечения Astroart 4.0 (<http://www.msb-astroart.com/>, 2021). Для апертурной фотометрии кометы и опорных звезд использовалась утилита ATV под IDL для Windows (Barth, 2001).

Для отождествления опорных звезд использовался каталог APASS (DR9) (Henden и др., 2016). Каталог включает в себя звезды примерно до 17 звездной величины в фильтрах B , V , а также в специальных кометных фильтрах системы Слоан g' , r' , i' . Блеск каталожных звезд определен с точностью 0.07^m для полосы B , 0.05^m для полосы V и менее 0.03^m для полосы r' (Henden и др., 2016). Для перехода от звездных величин в полосе r' к величинам в полосе Rc использовалась формула из (Munagi и др., 2014). Фотометрические стандарты 13–17 зв. величины в количестве 5–7 звезд отбирались для каждой ночи наблюдений при помощи онлайн сервиса Aladin (<http://www.aladin.u-strasbg.fr>, 2021).

РЕЗУЛЬТАТЫ. ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Сводка наблюдений в течение 5 ночей в августе 2020 г. и результаты их фотометрической обработки приведены в табл. 2. Здесь указаны положение орбиты кометы во время мониторинга: r и Δ расстояния кометы от Солнца и Земли, ph – фазовый угол, данные взяты из базы данных MPC (<https://www.minorplanetcenter.net>, 2020), детали

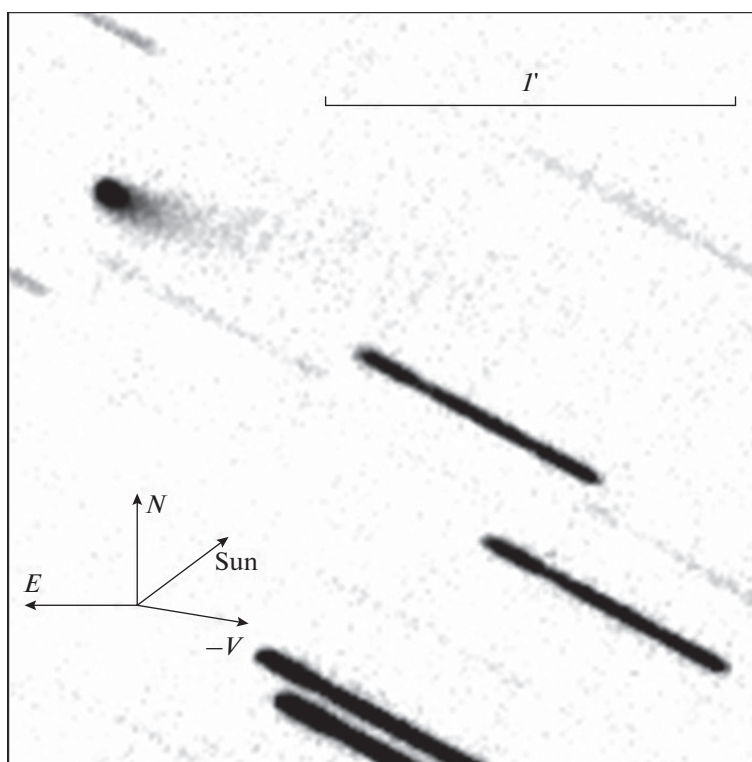
Таблица 2. Эфемеридные данные кометы P/2019 LD2 (Атлас) во время наблюдений в 2020 г. и результаты фотометрических измерений

Дата, UT	r , а. е.	Δ , а. е.	ph , град	$N_R \times t$, с	m_R , зв. вел	$Af\rho$, см	ρ , угл. с	$m_R(1,1,0)$, зв. вел	r_N , км
06 августа 17:03:33	4.591	3.590	2.3	28×120	17.53 ± 0.03	272 ± 7.5			
07 августа 17:31:26	4.591	3.590	2.3	41×120	17.54 ± 0.04	269 ± 9.9			
08 августа 16:59:45	4.592	3.590	2.2	23×120	17.71 ± 0.04	230 ± 8.5	4.05	11.41 ± 0.03	7.4 ± 0.14
14 августа 21:43:15	4.593	3.597	2.6	24×120	17.58 ± 0.02	260 ± 4.8			
15 августа 20:36:11	4.593	3.599	2.7	53×120	17.62 ± 0.01	251 ± 2.3			

выполненных экспозиций: N_R и t – количество и время экспозиций в фильтре R , усредненные значения видимых звездных величин m_R на момент экспозиции и абсолютная звездная величина $m_R(1,1,0)$ объекта, полученные в фильтре R , а также оценки параметра пылепроизводительности $Af\rho$ и радиуса r_N ядра кометы по нашим измерениям. Измерения изображений выполнены с апертурой радиусом $\rho = 4.05''$, проекция которого на картинную плоскость объекта соответствует

10588 км, последняя величина рассчитана по соотношению $\rho = \Delta \text{tg}(\rho)$. Радиус апертуры для измерения яркости кометы был определен при помощи кривых роста с помощью Astroart и соответствует максимуму отношения сигнала к шуму (SNR). Изображение кометы во время наблюдений приведено на рис. 1.

Как видно из табл. 2, в период мониторинга видимый блеск кометы не подвергался значительным изменениям. Видимый блеск m_R конвер-

**Рис. 1.** Суммарное изображение кометы P/2019 LD2 в фильтре R , 15 августа 2020 г., телескоп Цейсс-1000 МАОС.

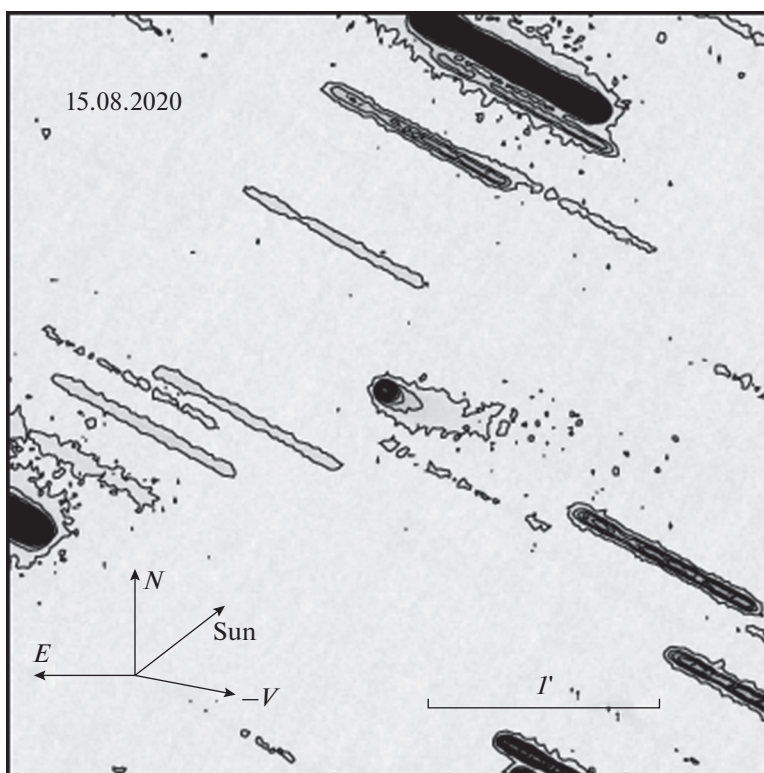


Рис. 2. Изображение хвоста кометы, полученное 15 августа 2020 г. Изофоты использовались для улучшения видимости хвоста.

тировался в абсолютную яркость ядра кометы $m_R(1,1,0)$ с использованием следующего эмпирического уравнения (Snodgrass и др., 2014):

$$m_R(1,1,0) = m_R - 5 \lg(r\Delta) - \beta\alpha, \quad (1)$$

здесь $m_R(1,1,0)$ – блеск гипотетической точки на единичном гелиоцентрическом и геоцентрическом расстояниях с фазовым углом $ph = 0$ град, m_R – измеренный блеск, r и Δ – гелио- и геоцентрические расстояния кометы в а. е., α – фазовый угол (ph) в градусах, β – фазовый коэффициент в звездных величинах на градус. Для фазового коэффициента использовано общепринятое значение $\beta = 0.04$ зв. вел./град (Lamy и др., 2004). Абсолютный блеск кометы по нашим измерениям составил 11.41^m (табл. 2), его отличие от эфемеридной величины на единичном гелиоцентрическом расстоянии 12.1 – 12.2^m указывает на нормальную кометную активность объекта в этот период.

Изофоты кометы, построенные при помощи SAO Image DS9 (<https://sites.google.com/cfa.harvard.edu/saoimageds9>, 2021), представлены на рис. 2 и наглядно демонстрируют распределение яркости вдоль хвоста кометы.

Верхний предел радиуса кометного ядра на момент минимальной активности за период наблюдений, который, судя по величине параметра пы-

лепроизводительности, пришелся на 8 августа 2020 г., оценивался с использованием следующего эмпирического соотношения между измеренным в фильтре R абсолютным блеском $m_R(1,1,0)$ кометы и эффективным радиусом ядра кометы r_N в метрах (см., например, Solonoi и др., 2012)

$$A_R r_N^2 = 2.238 \times 10^{22} \times 10^{0.4(m_\odot - m_R(1,1,0))}, \quad (2)$$

где A_R – геометрическое альbedo и $m_\odot = -27.29$ зв. вел – видимый блеск Солнца (Cox, 2000), причем обе величины в фильтре R . Оценка верхнего предела радиуса ядра, полученная с использованием величины альbedo для кометной пыли $A_R = 0.12$ (Fernandez и др., 2009), составляет 7.4 км (табл. 2) и согласуется с величиной диаметра ядра 14 км, приведенного в различных базах данных.

ПЫЛЕПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ КОМЕТЫ

Уровень активности кометы можно оценить количественно, используя параметр $A\beta\rho$, который теоретически независим от времени и места наблюдений (A’Hearn и др., 1984). Параметр $A\beta\rho$ может быть определен с помощью звездной величины по следующему выражению (A’Hearn и др., 1984):

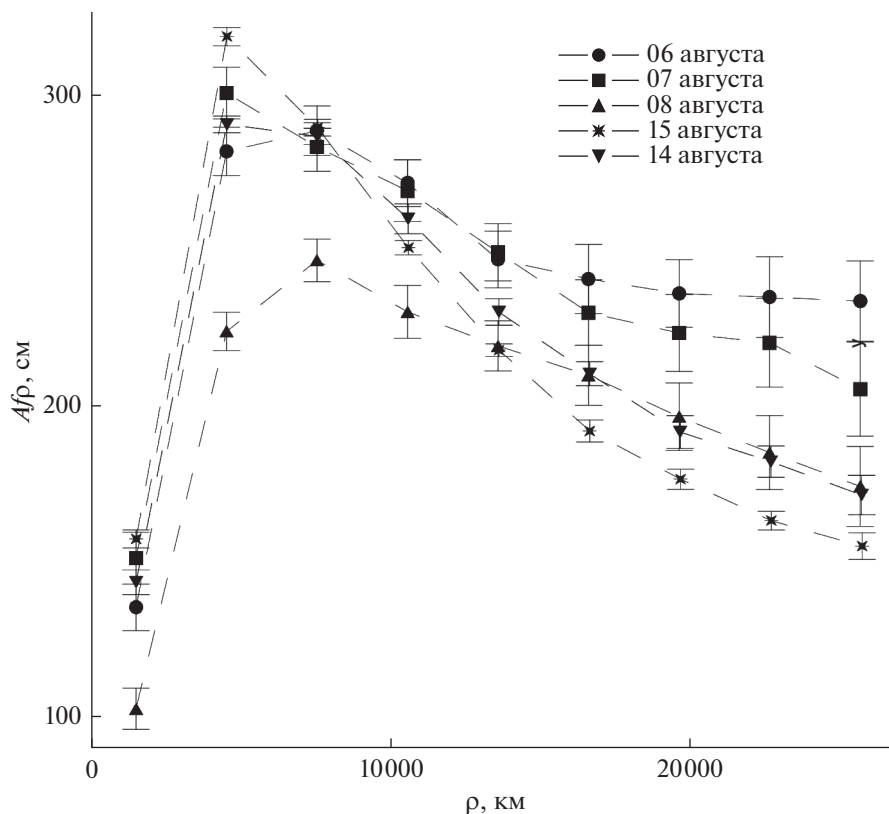


Рис. 3. Распределение параметра $Af\rho$ в зависимости от радиуса фотометрической апертуры.

$$Af\rho = \frac{4r^2\Delta^2 10^{0.4(m_\odot - m_a)}}{\rho}, \quad (3)$$

где A — альbedo, f — коэффициент заполнения апертуры поля зрения, соответствующий кометной пыли, ρ — проекция радиуса фотометрической апертуры на картинную плоскость в см, m_\odot и m_a — видимые звездные величины Солнца и кометы, соответственно, в определенном фильтре, r — гелиоцентрическое расстояние объекта в а. е. и Δ — геоцентрическое расстояние в см. Для наблюдений, проведенных на телескопе Цейсс-1000, параметр $Af\rho$ вычислен с использованием изображений, полученных в фильтре R , и тем же радиусом проекции апертуры $\rho = 10588$ км (4.05"). Полученные значения вместе с ошибками приведены в табл. 2. Величины параметра пылепродуктивности свыше 100 см наряду с величиной абсолютного блеска также подтверждают повышенную активность кометы (Nicks и др., 2007). Кроме того, в период наблюдений гелиоцентрическое расстояние постепенно увеличивалось, в этой связи наблюдается тенденция уменьшения параметра.

На рис. 3 показано распределение параметра $Af\rho$ в зависимости от радиуса апертуры измерений, найденное по нашим наблюдениям.

СТРУКТУРА ПЫЛЕВОГО ХВОСТА

Движение пылевых частиц в кометном хвосте — сложный процесс, точное описание траекторий частиц в кометной атмосфере требует усовершенствованных гидродинамических моделей, учитывающих взаимодействие между газом и пылью, высвобождаемой с поверхности. В кометном хвосте пыль и газ — разделены, и единственными значимыми силами, влияющими на траекторию частиц, является солнечная гравитация и давление излучения. Обе силы зависят от квадрата гелиоцентрического расстояния, но действуют в противоположных направлениях. Уравнение движение в таком случае можно представить в виде:

$$m \times a = (1 - \beta) g_{\text{Sun}}, \quad (4)$$

где m и a — масса и ускорение пылевой частицы соответственно, β — это соотношение радиационного давления и солнечного ускорения свободного падения ($\beta = P_{\text{radiation}}/g_{\text{Sun}}$), которое обратно пропорционально размеру для частиц размером более 1 мкм (Finson, Probstein, 1968). Исходя из этого соотношения, Финсон и Пробштейн (1968) предложили модель, которая описывает полную геометрию хвоста с сеткой синхрон и синдинам — линий, представляющих соответственно местоположения частиц, выброшенных с поверхности

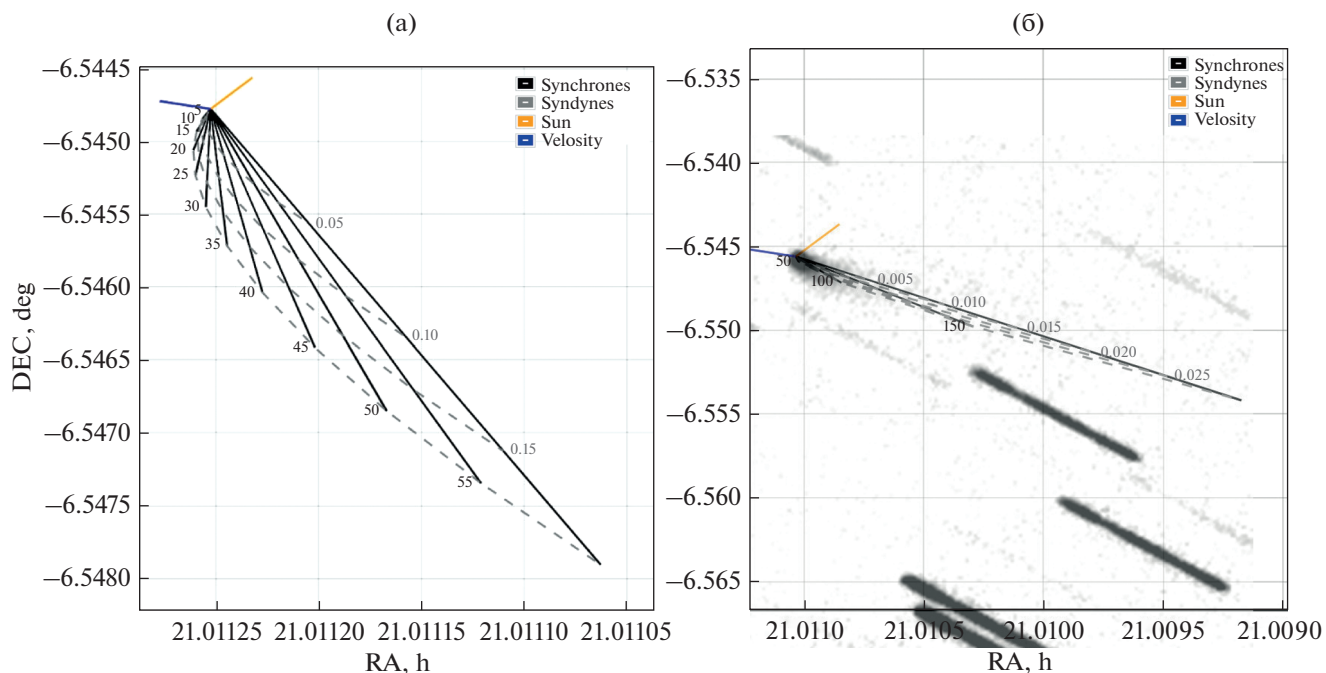


Рис. 4. а. Диаграмма Финсона–Пробстейна для хвоста кометы P/2019 LD2 (ATLAS) (внутренний сектор), 15 августа 2020 г. Синдинами (пунктирные линии) показывают распределение значения параметра β для частиц кометной пыли ($\beta = 0.05; 0.1; 0.15$), который обратно пропорционален их размеру; синхроны (сплошные линии) показывают время назад ($d = 5–60$ дней) от момента наблюдения. Направления к Солнцу и вектора скорости также указаны на диаграмме. б. Диаграмма Финсона–Пробстейна для изображения хвоста кометы P/2019 LD2, наложенного на координатную сетку в реальном масштабе по состоянию на 15 августа 2020 г., здесь показано распределение синдинам и синхрон по всей видимой части хвоста.

ядра в одно и то же время или с одинаковым параметром β .

Модель Финсона–Пробстейна упрощенная, поскольку она рассматривает только частицы, выброшенные в плоскости орбиты кометы, и с нулевой начальной скоростью, но она обеспечивает очень хорошее приближение формы хвоста и успешно использовалась для изучения хвостов, как комет, так и некоторых активных астероидов (Borysenko и др., 2020a).

Нами построена диаграмма Финсона–Пробстейна хвоста кометы с использованием интернет-сервиса (<http://www.comet-toolbox.com/FP.html>, 2021) и элементов орбиты кометы по данным MPC (MPEC 2020-UR0, 2021) (рис. 4а, б). На диаграмме по осям абсцисс и ординат отложены координаты кометы – прямое восхождение α и склонение δ , соответственно. На рис. 4а показано распределение синхрон и синдинам во внутреннем секторе хвоста (размер области примерно $13'' \times 13''$). Их распределение по всей видимой части кометного хвоста показано на рис. 4б (размер области примерно $108'' \times 108''$). Учитывая, что $\beta = 0.57Q_{pr}/\sigma a$, где σ – плотность пылинки, выраженная в г/см^3 , a – радиус пылинки в $\mu\text{м}$, Q_{pr} – эффективность радиационного давления, которая зависит от раз-

мера, формы и оптических характеристик пылинки (для кометной пыли эффективность радиационного давления обычно порядка единицы), то, приняв плотность кометной пыли порядка 0.1 г/см^3 (Greenberg, Li, 1999), можно сказать, что во внутренних областях хвоста кометы доминируют крупные частицы размером $>100 \mu\text{м}$.

Наличие короткого хвоста в направлении против движения кометы указывает на наличие крупнозернистой пыли в кометной атмосфере. На кометную пыль солнечный ветер почти не действует, ее выталкивает из комы давление солнечного света. Поэтому формирование хвоста определяется начальной орбитальной скоростью движения и ускорением под действием давления света.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По данным фотометрических наблюдений кометы P/2019 LD2 (ATLAS), проведенных в течение пяти ночей в августе 2020 г. с телескопом Цейсс-1000 в обсерватории Санглох с использованием широкополосного фильтра R, получены физические характеристики кометы:

1) видимые звездные величины m_R по измерениям каждой ночи наблюдений;

- 2) абсолютная звездная величина $m_R(1,1,0) = 11.42^m$;
- 3) параметр пылепроизводительности $A\beta$ порядка 250 см (при $\rho = 4.05$);
- 4) оценка верхнего предела радиуса ядра кометы $r_{\max} = 7.4$ км при альбедо $A = 0.12$;
- 5) построены изофоты кометы, демонстрирующие распределение яркости вдоль хвоста;
- 6) построены Финсона–Пробштейн диаграммы внутренней и всей видимой части пылевого хвоста кометы и выявлена его структура, а именно распределение пылевых частиц по размерам и по времени выброса с поверхности ядра. Показано, что во внутренних областях пылевого хвоста доминируют крупные частицы размером свыше 100 мкм;
- 7) фотометрические данные указывают, что в период мониторинга комета находилась в состоянии несколько повышенной кометной активности, связанной, главным образом, с недавним прохождением перигелия. Во время наблюдений гелиоцентрическое расстояние кометы составляло 4.591–4.593 а. е. На таких расстояниях, меньших т.н. “снеговой линии” (Jewitt и др., 2007), в некоторой степени все еще могут проявляться типичные механизмы, ответственные за нормальную кометную активность, а именно солнечный нагрев поверхности, сублимация поверхностных замороженных летучих компонентов, выброс пыли и образование комы и хвоста. Эти данные подтверждают вывод Sarid и др. (2019), показавших, что область расположения транзитных объектов (от кентавров к кометам семейства Юпитера), к которым наряду с кометой 29P относится и P/2019 LD2 (ATLAS), совпадает с гелиоцентрическим диапазоном расстояний, где активность наблюдаемых кометных тел значительно возрастает;
- 8) настоящая орбита кометы показывает, что комета находится в стадии перехода от кентавров к кометам семейства Юпитера. Несколько повышенное значение $A\beta$ по сравнению с другими кометами семейства Юпитера (Borysenko и др., 2019; 2020b) может указывать на предыдущее длительное пребывание кометы во внешних областях Солнечной системы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- A'Hearn M.F., Schleicher D.G., Millis R.L., Feldman P.D., Thompson D.T.* Comet Bowell 1980b // *Astron. J.* 1984. V. 89. P. 579–591.
- Barth A.* ATV: An image-display tool for IDL // *ASP Conf. Ser., Astron. Data Analysis Software and Systems X / Eds Harnden F.R., Jr, Primini F.A., Payne H.E.* San Francisco: ASP. 2001. V. 238. P. 385.
- Borysenko S., Baransky A., Musiichuk E.* Photometric observations of ecliptic comet 47P/Ashbrook-Jackson and selected quasi-Hilda and main-belt comets at Kyiv Comet Station (MPC code-585) in 2017 // *Icarus.* 2019. V. 317. P. 44–47.
- Borysenko S., Baransky A., Simon A., Vasylenko V.* Broadband photometry of asteroid 6478 Gault: Activity and morphology // *Astron. Nachrichten.* 2020a. V. 341. Iss. 4. P. 395–401.
- Borysenko S., Baransky A., Kuehrt E., Hellmich S., Mottola S., Meech K.* Study of the physical properties of selected active objects in the main belt and surrounding regions by broadband photometry // *Astron. Nachrichten.* 2020b. V. 341. Iss. 9. P. 849–859.
- Cox A.N., Pilachowski C.A.* Allen's Astrophysical Quantities // *Physics today.* 2000. V. 53. P. 77.
- Fernandez Y.R., Jewitt D., Ziffer J.E.* Albedos of small Jovian Trojans // *Astron. J.* 2009. V. 138(1). P. 240–250.
- Finson M.L., Probst R.F.* A theory of dust comets. I. Model and equations // *Astron. J.* 1968. V. 154. P. 353–380.
- Greenberg J.M., Li A.* Morphological Structure and Chemical Composition of Cometary Nuclei and Dust // *Space Sci. Rev.* 1999. V. 90. P. 149–161.
- Henden A.A., Templeton M., Terrell D., Smith T.C., Levine S., Welch D.* VizieR online data catalog: AAVSO photometric all sky survey (APASS) DR9 (Henden+, 2016) // *VizieR Online Data Catalog.* 2016. II-336.
- Hicks M.D., Bamberg R.J., Lawrence K.J., Kollipara P.* Near-nucleus photometry of comets using archived NEAT data // *Icarus.* 2007. V. 188. P. 457–467.
- Jewitt D., Chizmadia L., Grimm R., Prialnik D.* Water in the Small Bodies of the Solar System // *Protostars and Planets. V. / Eds Reipurth B., Jewitt D., Keil K.* Univ. Arizona Press, 2007. P. 863–878.
- Lamy P.L., Toth I., Fernandez Y.R., Weaver H.A.* The sizes, shapes, albedos, and colors of cometary nuclei // *Comets II / Eds Festou M.C., Keller H.U., Weaver H.A.* Tucson: Univ. Arizona Press, 2004. P. 223–264.
- Licandro J., Pinilla-Alonso N., de Leon J., Moreno F. et al.* Observations of Comet P/2019 LD2 (ATLAS) with the 10-m Gran Telescopio Canarias (GTC) // *AAS Division of Planet. Sci. Meeting #52, id. 404.06.* Bull. Am. Astron. Soc. 2020. V. 52. № 6. e-id 2020n6i404p06.
- Munari U., Henden A., Frigo A., Dallaporta S.* APASS discovery and characterization of 180 variable stars in Aquarius // *J. Astron. Data.* 2014. V. 20. P. 4.
- Russell H.N.* On the albedo of the planets and their satellites // *Astrophys. J.* 1916. V. 43. P. 173–196.
- Sarid G., Volk K., Steckloff J.K. et al.* 29P/Schwassmann-Wachmann 1, A Centaur in the Gateway to the Jupiter-family Comets // *Astrophys. J. Lett.* 2019. V. 883. Iss. 1. article id. L25. 7 pp.
- Snodgrass C., Lowry S.C., Fitzsimmons A.* Photometry of cometary nuclei: rotation rates, colours and a comparison with Kuiper Belt Objects // *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.* 2006. V. 373. P. 1590–1602.
- Solontoi M. et al.* Ensemble properties of comets in the Sloan Digital Sky Survey // *Icarus.* 2012. V. 218. P. 571–584.
- Vincent J.-B.* Comet-toolbox: Numerical simulations of cometary dust tails in your browser // *Asteroids, Comets, Meteors 2014. Proc. Conf. held 30 June–4 July, 2014 in Helsinki, Finland / Eds Muinonen K. et al.*

2014. P. 565V. <http://www.ifa.hawaii.edu/info/press-releases/2019LD2/> "UH ATLAS telescope discovers first-of-its-kind asteroid". Institute for Astronomy. University of Hawaii. 20 May 2020. Retrieved 21 May 2020, дата обращения февраль 2021 г.
<https://www.ssd.jpl.nasa.gov/>, JPL Small-Body Database Browser: P/2019 LD2. (2020-05-19 last obs.)//Jet Propulsion Laboratory, Retrieved 21 May 2020, дата обращения февраль 2021 г.
- МPEC 2020-K134: КОМЕТ P/2019 LD2 (ATLAS) // Minor Planet Electronic Circular. Cambridge, Massachusetts: MPC, May 23, 2020, дата обращения февраль 2021 г.
- <https://www.minorplanetcenter.net/>, "P/2019 LD2". Minor Planet Center. International Astronomical Union, Retrieved 21 May 2020, дата обращения февраль 2021 г.
<http://www.msb-astroart.com/>, 2021.
<http://www.aladin.u-strasbg.fr>, Aladin Sky Atlas, 2021.
<https://www.minorplanetcenter.net/iau/MPEph/MPEph.html>, 2020.
<https://sites.google.com/cfa.harvard.edu/saoimageds9>, 2021 г.
<http://www.comet-toolbox.com/FP.html>, 2021 г.
<https://www.minorplanetcenter.net>, МPEC 2020-UR0//Minor Planet Electronic Circular. Cambridge, Massachusetts, дата обращения февраль 2021 г.