

УДК: 523.6

DOI: 10.65599/III4559

МОРФОЛОГИЯ ВНУТРЕННЕЙ КОМЫ КОМЕТЫ 41P/TUTTLE-GIACOBINI-KRESÁK ПО ДАННЫМ ПЗС-НАБЛЮДЕНИЙ ГИССАРСКОЙ АСТРОНОМИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ

А.М. Буризода

Национальная академия наук Таджикистана, Институт астрофизики НАНТ, г. Душанбе, Республика Таджикистан

В работе представлены результаты исследования морфологии внутренней комы короткопериодической кометы 41P/Tuttle–Giacobini–Kresák по данным ПЗС-наблюдений, выполненных в 2017 г. на телескопе АЗТ-8 Гиссарской астрономической обсерватории Института астрофизики Национальной академии наук Таджикистана. Цель исследования заключалась в выявлении слабоконтрастных структур во внутренней коме и оценке устойчивости их пространственной ориентации в течение рассматриваемого периода наблюдений. Для повышения контрастности деталей и выделения азимутальных неоднородностей распределения яркости применён алгоритм цифровой обработки изображений Ларсона – Секанины. Обработка всего массива наблюдательных данных позволила выявить устойчивый доминирующий пылевой джет, исходящий из области центральной конденсации кометы. Для характеристики пространственной ориентации обнаруженной структуры были выполнены измерения позиционного угла джета на обработанных изображениях. Установлено, что в течение периода наблюдений значения позиционного угла изменялись в пределах от 281° до 293° , а среднее значение составляло около $287,5^\circ$. Существенных изменений направления джета за рассматриваемый интервал времени не обнаружено. Небольшой диапазон измеренных значений позиционного угла указывает на устойчивый характер наблюдаемой морфологической структуры. Полученные результаты свидетельствуют о сохранении пространственной ориентации доминирующего пылевого джета и, следовательно, о стабильном проявлении локализованной пылевой активности кометы 41P/Tuttle–Giacobini–Kresák в течение выполненных наблюдений.

Ключевые слова: 41P/Tuttle–Giacobini–Kresák, кометы, внутренняя кома, морфология, джет, алгоритм Ларсона–Секанины, ПЗС-наблюдения.

МОРФОЛОГИЯИ КОМАИ ДОХИЛИИ КОМЕТАИ 41P/TUTTLE-GIACOBINI-KRESÁK АЗ РӮЙИ МАЪЛУМОТИ МУШОҲИДАҶОИ АНБ ДАР РАСАДҶОҶОИ АСТРОНОМИИ ҲИСОР

А.М. Бӯризода

Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон, Институти астрофизикаи АМИТ, ш. Душанбе, Ҷумҳурии Тоҷикистон

Дар мақола натиҷаҳои таҳқиқи морфологияи комаи дохилии кометаи кӯтоҳдаври 41P/Tuttle–Giacobini–Kresák дар асоси маълумоти мушоҳидаҳои АНБ, ки соли 2017 бо телескопи АЗТ-8-и Расадҷоҳи астрономии Ҳисори Институти астрофизикаи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон анҷом дода шудаанд, пешниҳод мегарданд. Ҳадафи таҳқиқот ошкор намудани сохторҳои дорои контрасти паст дар комаи дохилӣ ва баҳоидиҳои устувории самтгирии фазои онҳо дар давраи баррасишавандаи мушоҳидаҳо буд. Барои бааланд бардоштани контрасти ҷузъиёти тасвир ва ҷудо намудани номуназзамиҳои азимутии тақсимои дурахшонӣ алгоритми коркарди рақамии тасвирҳои Ларсон – Секанина татбиқ гардид. Коркарди маҷмӯи пурраи маълумоти мушоҳидавӣ имкон дод, ки ҷети ҷангии устувор ва бартаридошта, ки аз минтақаи конденсатсияи марказии комета хориҷ мегардад, ошкор карда шавад. Барои тавсифи самтгирии фазои сохтори ошкоршуда дар тасвирҳои коркардшуда кунҷи мавқеии ҷет ҷен карда шуд. Муайян гардид, ки дар давраи мушоҳидаҳо қиматҳои кунҷи мавқеи дар ҳудуди аз 281° то 293° тағйир ёфта, қимати миёнаи он тақрибан $287,5^\circ$ -ро ташкил медиҳад. Дар фосилаи замони баррасишуда тағйироти назаррас дар самти ҷет ошкор нагардид. Диапазони начандон васеи қиматҳои ҷеншудаи кунҷи мавқеи аз хусусияти устувории сохтори морфологии мушоҳидашуда шаҳодат медиҳад. Натиҷаҳои бадастомада нигоҳ доштани самтгирии фазои ҷети ҷангии бартаридошта ва, аз ин рӯ, зухуроти устувори фаёлияти локалии ҷангии кометаи 41P/Tuttle–Giacobini–Kresák-ро дар давраи мушоҳидаҳои анҷомдодашуда тасдиқ менамоянд.

Калидвожаҳо: 41P/Tuttle–Giacobini–Kresák, кометаҳо, комаи дохилӣ, морфология, ҷет, алгоритми Ларсон–Секанина, мушоҳидаҳои АНБ.

MORPHOLOGY OF THE INNER COMA OF COMET 41P/TUTTLE-GIACOBINI-KRESÁK BASED ON CCD OBSERVATIONS AT THE HISAR ASTRONOMICAL OBSERVATORY

M. Burizoda

National Academy of Sciences of Tajikistan, Institute of Astrophysics, National Academy of Sciences of Tajikistan, Dushanbe, Republic of Tajikistan

This paper presents the results of an investigation of the inner-coma morphology of the short-period comet 41P/Tuttle–Giacobini–Kresák based on CCD observations carried out in 2017 with the AZT-8 telescope at the Hisar Astronomical Observatory of the Institute of Astrophysics, National Academy of Sciences of Tajikistan. The study aimed to identify low-contrast structures in the inner coma and assess the stability of their spatial orientation during the observing period under consideration. The Larson–Sekanina digital image-processing algorithm was applied to enhance the contrast of image features and isolate azimuthal inhomogeneities in the brightness distribution. Processing of the complete observational data set revealed a persistent, dominant dust jet emanating from the region of the comet's central condensation. To characterize the spatial orientation of the detected structure, the position angle of the jet was measured in the processed images. During the observing period, the position angle varied from 281° to 293° , with a mean value of approximately 287.5° . No significant changes in the jet direction were detected over the time interval considered. The relatively narrow range of the measured position angles indicates the stable nature of the observed morphological structure. These results indicate that the dominant dust jet maintained its spatial orientation and, consequently, that the comet exhibited stable localized dust activity throughout the observations.

Keywords: 41P/Tuttle–Giacobini–Kresák, comets, inner coma, morphology, jet, Larson–Sekanina algorithm, CCD observations.

Введение (*Introduction*)

Исследование морфологии внутренней комы является одним из наиболее информативных методов дистанционного изучения физических процессов, протекающих на поверхности кометных ядер. Пространственная структура внутренней комы формируется в результате локализованного истечения газа и пыли из активных областей ядра и отражает особенности распределения активности, геометрию выбросов вещества и вращательное состояние кометы [1 – 4]. Анализ морфологических структур позволяет получать информацию о физических механизмах кометной активности и свойствах поверхностных слоёв ядра.

Современные цифровые методы обработки изображений существенно расширили возможности исследования внутренней комы. Среди них широкое применение получил алгоритм Ларсона–Секанины, позволяющий эффективно выявлять слабоконтрастные струйные структуры, оболочки и другие морфологические особенности, неразличимые на исходных ПЗС-изображениях [5]. Использование данного метода создаёт возможность исследовать пространственную организацию кометной активности и её временную эволюцию.

Важное значение для интерпретации морфологических структур имеет их сопоставление с фотометрическими и физическими характеристиками кометной активности. Так, по результатам ПЗС-наблюдений кометы C/2017 K2 (Pan-STARRS), выполненных в 2021 г. на телескопе АЗТ-8 Гиссарской астрономической обсерватории, было установлено увеличение размеров комы по мере приближения кометы к Солнцу. С применением динамического метода были получены оценки радиуса, объёма и массы пылевой составляющей комы. Рассчитанные характеристики, включая скорости сублимации H_2O и CO_2 , были интерпретированы как свидетельство существенной роли летучих соединений и процессов, связанных с переходом аморфного водяного льда в кристаллическое состояние, в поддержании активности кометы на гелиоцентрических расстояниях более 5 а.е. [6].

В другой работе, посвящённой вариациям кривых блеска и фотометрических параметров некоторых активных комет семейства Юпитера, были выявлены изменения формы кривых блеска, абсолютных звёздных величин и других фотометрических характеристик при последовательных возвращениях комет к Солнцу. Полученные результаты указывают на существенное влияние процессов, протекающих в кометных ядрах и окружающем их пространстве, на наблюдаемый блеск и фотометрическую эволюцию исследованных объектов [7]. Эти исследования подчёркивают целесообразность совместного анализа фотометрических характеристик и морфологических структур комы при изучении физических механизмов кометной активности.

Особый интерес представляет короткопериодическая комета 41P/Tuttle-Giacobini-Kresák, относящаяся к семейству Юпитера. Во время её появления в 2017 г. было зарегистрировано одно из наиболее быстрых изменений периода вращения ядра среди известных комет. Данное изменение связывают с действием реактивных моментов, обусловленных неравномерным истечением вещества из локализованных активных областей [8, 9]. Несмотря на многочисленные исследования фотометрических характеристик и вращательной эволюции этой кометы, морфология её внутренней комы изучена значительно менее подробно. Количественные оценки устойчивости пространственной ориентации струйных структур, полученные по данным независимых наземных ПЗС-наблюдений, также остаются весьма ограниченными [8, 10].

В настоящей статье представлены результаты исследования морфологии внутренней комы кометы 41P/Tuttle–Giacobini–Kresák по данным ПЗС-наблюдений, выполненных в период её появления в 2017 г. на телескопе АЗТ-8 Гиссарской астрономической обсерватории Института астрофизики Национальной академии наук Таджикистана. В результате обработки изображений с применением алгоритма Ларсона–Секанины выявлен доминирующий пылевой джет, измерен его позиционный угол и исследована устойчивость пространственной ориентации обнаруженной структуры в течение периода наблюдений.

Наблюдения и обработка изображений (*Observations and Image Processing*)

Наблюдения. Наблюдения короткопериодической кометы 41P/Tuttle-Giacobini-Kresák были выполнены 16–22 апреля 2017 г. на рефракторе АЗТ-8 Гиссарской астрономической обсерватории (ГисАО) Института астрофизики Национальной академии наук Таджикистана в период благоприятных условий её наблюдения. Телескоп имеет диаметр объектива 700 мм и фокусное расстояние 2820 мм.

Регистрация изображений осуществлялась с использованием ПЗС-камеры FLI MicroLine 9000, оснащённой матрицей размером 3056×3056 пикселей с физическим размером пикселя 12 мкм. Наблюдения проводились с биннингом 2×2 , в результате чего рабочий размер изображений составлял 1528×1528 пикселей. При данном режиме регистрации масштаб изображения составлял

1.75"/пиксель, а поле зрения - около 44.7' × 44.7'. Регистрация выполнялась в широкополосных фотометрических фильтрах системы Johnson-Cousins (BVRI). Время экспозиции отдельных кадров изменялось от 5 до 60 с в зависимости от яркости кометы и условий наблюдений [2].

Для уменьшения уровня теплового шума ПЗС-матрица охлаждалась до температуры -20 °С. В ходе наблюдательной кампании было зарегистрировано 638 ПЗС-изображений кометы. После оценки качества кадров, отношения сигнал/шум, формы изображений звёзд и отсутствия инструментальных дефектов для дальнейшего морфологического анализа были отобраны 264 наиболее качественных изображений.

Даты наблюдений, время регистрации, количество использованных изображений, экспозиции t , гелиоцентрическое расстояние r , геоцентрическое расстояние Δ , и фазовый угол (α) приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Журнал наблюдений кометы 41P/Туттля-Джакобини-Кресака
Table 1 – Observation Log for Comet 41P/Tuttle–Giacobini–Kresák

Дата наблюдения, UT	Время, UT	Фильтр	r , а.е.	Δ , а.е.	α , град.	t , с
18.04.2017	20 20 12	44xR	1.048	0.163	70.0	5-60
18.04.2017	20:24:06	44xI	1.048	0.163	70.0	5-60
19.04.2017	19:43:07	30xR	1.049	0.165	69.8	5-60
19.04.2017	19:48:39	30xI	1.049	0.165	69.8	5-60
23.04.2017	20:52:37	38xR	1.056	0.173	68.6	5-60
23.04.2017	20:57:02	38xI	1.056	0.173	68.6	5-60
25.04.2017	16:59:38	20xR	1.060	0.178	67.7	5-60
25.04.2017	17:02:22	20xI	1.060	0.178	67.7	5-60

Первичная обработка изображений. Первичная обработка ПЗС-изображений выполнялась по стандартной методике цифровой редукции астрономических наблюдений. Для устранения инструментальных эффектов использовались калибровочные кадры Bias, Dark и Flat, полученные в течение каждой наблюдательной ночи.

Кадры Bias применялись для определения уровня электронного смещения ПЗС-матрицы, Dark - для компенсации темнового сигнала, а Flat - для коррекции неоднородности чувствительности матрицы и виньетирования оптической системы. После выполнения калибровки все изображения подвергались визуальному контролю качества. Из дальнейшей обработки исключались кадры с низким отношением сигнал/шум, следами облачности, смещением изображения или другими дефектами, способными повлиять на результаты морфологического анализа.

Для повышения отношения сигнал/шум изображения, полученные при одинаковых условиях наблюдений, дополнительно объединялись в составные изображения после предварительного совмещения по фотометрическому центру кометы. Полученные суммарные изображения использовались наряду с отдельными кадрами при анализе структуры внутренней комы.

Морфологическая обработка изображений. Для выявления слабоконтрастных морфологических структур внутренней комы использовался алгоритм цифровой обработки изображений Ларсона-Секанины, широко применяемый при исследовании внутренней структуры кометных атмосфер [5]. Данный алгоритм позволяет существенно повысить контраст локальных неоднородностей распределения яркости за счёт подавления радиально-симметричной составляющей комы.

Обработка выполнялась как для каждого отдельного ПЗС-изображения, так и для составных изображений, сформированных из серий кадров, полученных в одинаковых условиях наблюдений. Сопоставление результатов обработки обоих типов изображений позволяло оценить воспроизводимость выявленных деталей и исключить структуры, возникающие вследствие шумов ПЗС-матрицы, космических частиц или особенностей цифровой обработки. В дальнейшем анализировались только те морфологические образования, которые устойчиво проявлялись как на отдельных, так и на составных изображениях.

Для количественного анализа выявленных струйных структур на каждом обработанном изображении определялся позиционный угол доминирующего джета относительно фотометрического центра кометы. Измерения выполнялись независимо для всех серий наблюдений, после чего анализировалась временная изменчивость пространственной ориентации джета и оценивалась её устойчивость в течение всего периода наблюдений.

Результаты (Results)

Морфология внутренней комы на исходных ПЗС-изображениях. До применения цифровой обработки морфология внутренней комы кометы 41P/Tuttle-Giacobini-Kresák анализировалась по исходным ПЗС-изображениям, полученным в фотометрических фильтрах R и I. На всех кадрах наблюдалась яркая центральная конденсация, окружённая почти симметричной комой, поверхностная яркость которой монотонно уменьшалась с увеличением расстояния от фотометрического центра.

На исходных изображениях признаки выраженных струйных структур практически не различались вследствие высокой интенсивности центральной конденсации и быстрого радиального уменьшения яркости комы. Вместе с тем на отдельных кадрах отмечалась слабая асимметрия распределения яркости, свидетельствующая о возможном существовании локализованных пылевых структур, требующих применения специальных методов цифровой обработки. Исходное ПЗС-изображение кометы приведено на рис. 1.

Морфология внутренней комы после цифровой обработки изображений. Для повышения контрастности слабых морфологических деталей все ПЗС-изображения были обработаны с использованием алгоритмов Difference of Gaussians и Larson-Sekanina. Применение обоих методов позволило существенно повысить контраст внутренней комы и выявить структуры.

Несмотря на различие используемых алгоритмов, результаты обработки хорошо согласуются между собой. На всех сериях наблюдений как на отдельных, так и на составных изображениях уверенно выявляется одна доминирующая струйная структура (джет), начинающаяся в непосредственной окрестности фотометрического центра и направленная преимущественно в западо-северо-западный сектор комы (рис. 2). Джет отчётливо прослеживается в фильтрах R и I, сохраняя близкие морфологические характеристики независимо от даты наблюдений и применённого метода обработки, что свидетельствует о его физической природе и исключает возможность интерпретации как артефакта цифровой обработки.

Метод Larson-Sekanina наиболее эффективно выделяет радиальную структуру доминирующего джета, тогда как метод Difference of Gaussians обеспечивает более контрастное отображение локальных неоднородностей распределения яркости в околоядерной области, что повышает достоверность выявленных морфологических особенностей.

Помимо доминирующего джета, на отдельных обработанных изображениях обнаруживаются слабые локальные неоднородности распределения яркости. Однако эти образования не характеризуются устойчивой повторяемостью, имеют значительно меньшую контрастность и изменяются в зависимости от даты наблюдений, используемого фильтра и метода обработки. Обработанные изображения внутренней комы представлены на рис. 2.

Пространственная ориентация доминирующего джета. Для количественной характеристики выявленной струйной структуры были выполнены измерения её позиционного угла относительно фотометрического центра кометы.

Измерения проводились независимо для всех обработанных изображений каждой серии наблюдений. Полученные значения представлены в табл. 2.

Таблица 2 – Измеренные значения позиционного угла, доминирующего джета

Table 2 – Measured Position Angles of the Dominant Jet

Дата	Фильтр	(PA) главного джета, град.
18.04.2017	R	287 ±1
18.04.2017	I	289 ±2
19.04.2017	R	291 ±1
19.04.2017	I	289 ±2
23.04.2017	R	281 ±3
23.04.2017	I	287 ±3
25.04.2017	R	293 ±5
25.04.2017	I	283 ±5

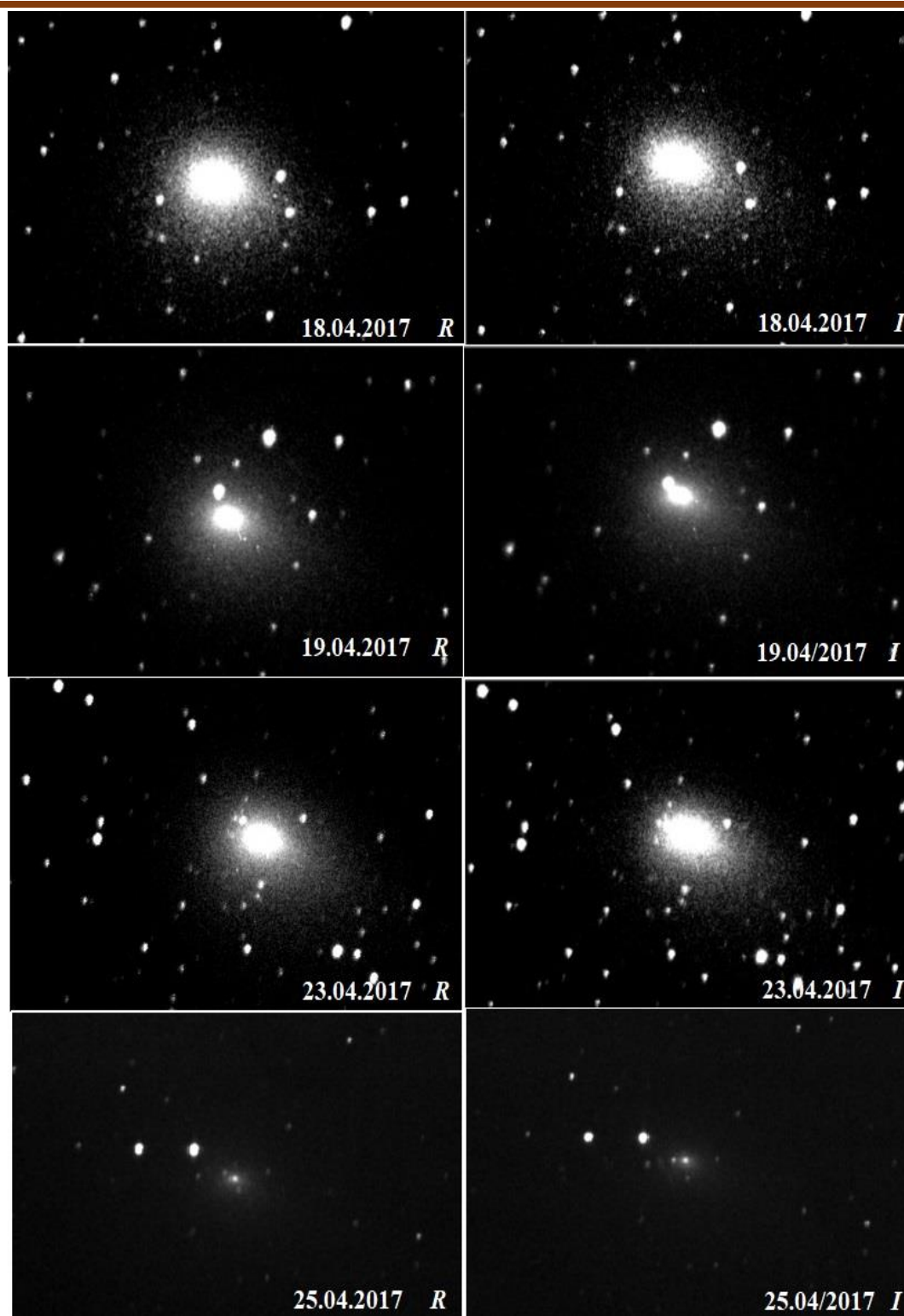


Рисунок 1 – Исходное ПЗС-изображение кометы 41P/Tuttle-Giacobini-Kresák, полученное на телескопе AZT-8
Гиссарской астрономической обсерватории

Figure 1 – Original CCD image of comet 41P/Tuttle-Giacobini-Kresák obtained with the AZT-8 telescope at the Hisar
Astronomical Observatory

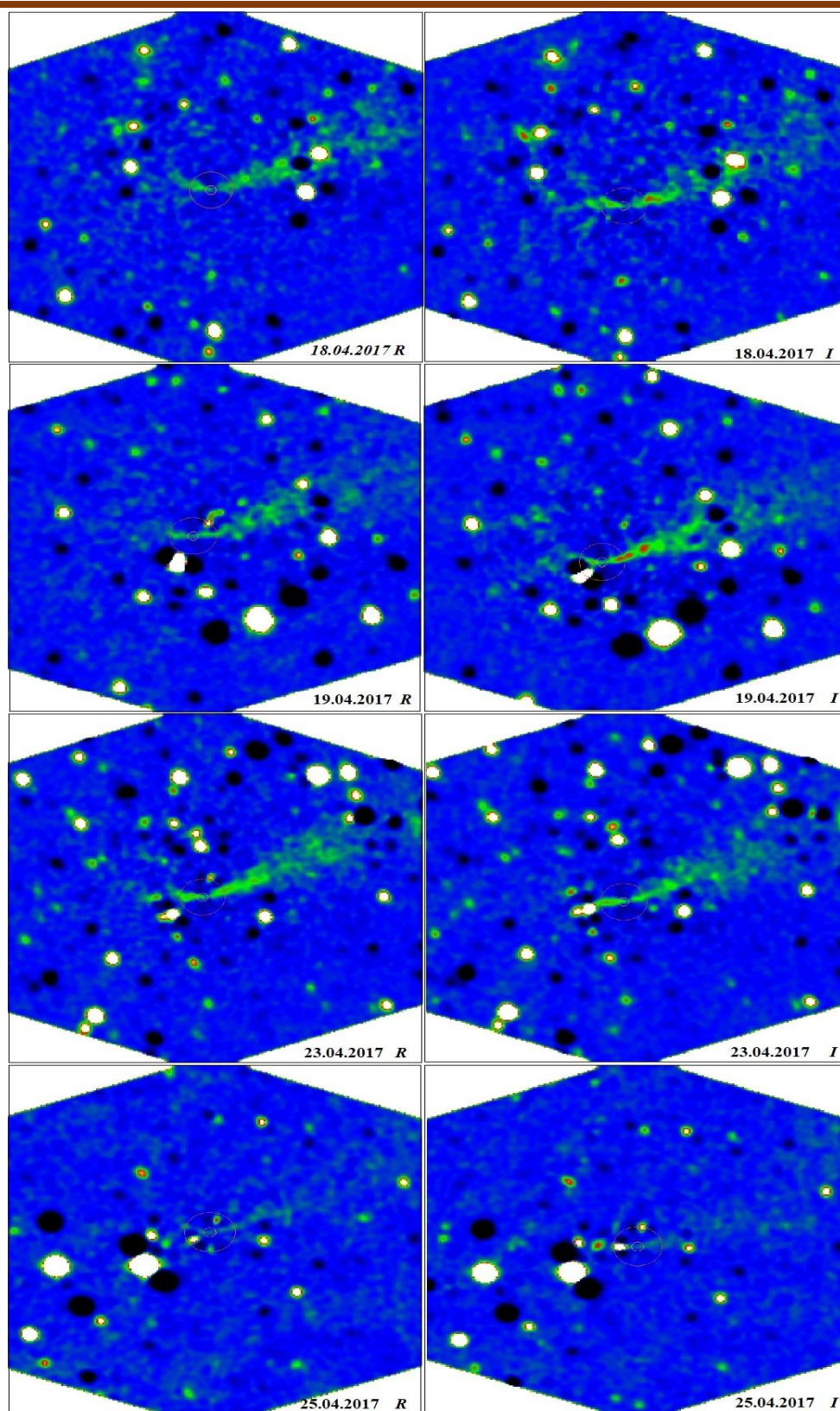


Рисунок 2 – Морфология внутренней комы кометы 41P/Tuttle-Giacobini-Kresák после обработки алгоритмом Ларсона-Секанины

Figure 2 – Morphology of the inner coma of comet 41P/Tuttle-Giacobini-Kresák after processing with the Larson-Sekanina algorithm

Анализ полученных данных показал, что в течение периода наблюдений позиционный угол доминирующего джета изменялся в пределах $281^\circ - 293^\circ$. Среднее значение позиционного угла составило около 287.5° .

Несмотря на небольшие изменения положения джета между отдельными наблюдательными сериями, его пространственная ориентация оставалась практически постоянной. Разброс измеренных значений не превышает нескольких градусов и находится в пределах ожидаемой точности измерений.

Полученные результаты свидетельствуют о высокой устойчивости пространственной ориентации доминирующего джета на протяжении всего интервала наблюдений.

Обсуждение (Discussions)

Морфологический анализ внутренней комы кометы 41P/Tuttle-Giacobini-Kresák показал, что на протяжении всего периода наблюдений доминирующей особенностью её внутренней структуры являлся устойчивый пылевой джет, выявленный после обработки ПЗС-изображений алгоритмом Ларсона-Секанины. Полученные результаты свидетельствуют о том, что наблюдаемая струйная структура сохраняла практически неизменную пространственную ориентацию в течение нескольких суток, несмотря на естественную эволюцию геометрии наблюдений и изменение взаимного расположения кометы, Земли и Солнца.

Стабильность пространственной ориентации джета позволяет предположить, что источником наблюдаемого пылевого выброса являлась локализованная активная область на поверхности ядра. Подобные структуры формируются вследствие неравномерного распределения активных участков, из которых происходит преимущественное истечение газа и пылевых частиц. В этом случае направление джета определяется сочетанием ориентации оси вращения ядра, положением активной области и геометрией наблюдений.

Особый интерес представляет сопоставление полученных результатов с опубликованными исследованиями вращательной эволюции кометы 41P/Tuttle-Giacobini-Kresák во время появления 2017 года [8 – 10]. По данным независимых наблюдений было установлено, что период вращения ядра в этот период изменялся исключительно быстро, что связывается с действием реактивных моментов, возникающих вследствие неравномерного истечения вещества с поверхности ядра [8]. Вместе с тем выполненный нами морфологический анализ не выявил существенных изменений пространственной ориентации доминирующего джета в течение рассматриваемого интервала наблюдений.

Полученный результат не противоречит современным представлениям о кометной активности [3, 4]. Изменение периода вращения ядра само по себе не обязательно должно сопровождаться заметным изменением направления отдельного джета на коротких временных интервалах. Если основная активная область сохраняет своё положение относительно поверхности ядра, а изменение ориентации оси вращения происходит значительно медленнее, пространственная ориентация наблюдаемой струйной структуры может оставаться практически неизменной. Следовательно, устойчивость джета, установленная по нашим наблюдениям, может свидетельствовать о долговременном функционировании одной доминирующей активной области в период выполненных наблюдений.

Следует отметить, что выполненный анализ основан на наземных ПЗС-наблюдениях и отражает двумерную проекцию пространственной структуры внутренней комы на плоскость неба. Поэтому измеренные позиционные углы характеризуют видимую ориентацию джета и не позволяют непосредственно определить его пространственную геометрию. Тем не менее высокая воспроизводимость выявленной структуры на отдельных и составных изображениях подтверждает её реальное происхождение и обеспечивает надёжность полученных результатов.

Таким образом, выполненное исследование показывает, что алгоритм Ларсона-Секанины позволяет эффективно выявлять устойчивые струйные структуры внутренней комы даже при наземных наблюдениях с телескопами среднего диаметра. Полученные результаты дополняют существующие представления о пространственной организации локализованной активности кометных ядер и могут быть использованы при дальнейшем исследовании механизмов формирования джетов и их связи с вращательной динамикой комет.

Заключение (Conclusions)

В результате выполненного исследования получены следующие основные результаты.

По данным ПЗС-наблюдений, выполненных в апреле 2017 г. на телескопе АЗТ-8 Гиссарской астрономической обсерватории, впервые проведён детальный морфологический анализ внутренней комы короткопериодической кометы 41P/Tuttle-Giacobini-Kresák по материалам наблюдений Института астрофизики Национальной академии наук Таджикистана.

Применение алгоритма цифровой обработки изображений Ларсона-Секанины позволило выявить устойчивую доминирующую струйную структуру (джет), не различимую на исходных ПЗС-изображениях, и проследить её эволюцию на протяжении всего периода наблюдений.

Выполнены количественные измерения позиционного угла доминирующего джета. Установлено, что в течение периода наблюдений его значения изменялись в пределах $281^\circ - 293^\circ$, при среднем значении около $287,5^\circ$.

Показано, что в течение рассматриваемого интервала наблюдений пространственная ориентация доминирующего джета оставалась практически неизменной, несмотря на известные по опубликованным данным изменения вращательного состояния ядра кометы в период появления 2017 года.

Установлено, что выявленный джет является устойчивым проявлением пылевой активности кометы 41P/Tuttle-Giacobini-Kresák в период наблюдений 2017 года.

Рецензент: Бахромзод Р. – к.ф.-м.н., ведущий научный сотрудник Физико-технического института имени С.У. Умарова НАНТД.

Литература

1. Kokhirova, G. I. Astrometric and Photometric Observations of Comet 29P/Schwassmann-Wachmann 1 at the Sanglokh International Astronomical Observatory / Kokhirova G. I., Rakhmatullaeva F. D., Buriev A. M. et al. // Planetary and Space Science. - 2020. - Vol. 181. - Article 104794. - DOI: 10.1016/j.pss.2019.104794. - EDN XZAGHU.
2. Кохирова, Г. И. Наблюдения кометы 41P/Туттля-Джакобини-Кресака в период её сближения с Землёй в астрономических обсерваториях Таджикистана / Кохирова Г.И., Буриев А.М., Хамроев У.Х. [и др.] // Доклады Академии наук Республики Таджикистан. - 2018. - Т. 61, № 7-8. - С. 620–630. - EDN MFPXOW.
3. Jewitt, D. Systematics and Consequences of Comet Nucleus Outgassing Torques. / Jewitt, D. // The Astronomical Journal. 2021. -Volume 161. -Issue 6, id.261, 12 pp.
4. Davidsson, B.J.R. Modelling the water and carbon dioxide production rates of Comet 67P/Churyumov-Gerasimenko / Davidsson, B.J.R., et al. // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. 2020. -Volume 509. - Issue 2. –PP 3065-3085.
5. Larson S. M. and Sekanina Z. Coma morphology and dust-emission pattern of periodic comet Halley. I. High-resolution images taken at Mount Wilson in 1910 / Larson S. M., Sekanina Z. // The-Astronomical Journal. – 1984. – Vol. 89, No. 4. – P. 571–578.
6. Сафарзода, С. Н. Исследование активности ядра кометы C/2017 K2 (Pan-STARRS) на больших гелиоцентрических расстояниях / С. Н. Сафарзода, Д. К. Аюбов, С. К. Амиралиев // Политехнический вестник. Серия: Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2025. – № 4(72). – С. 10-15. – DOI 10.65599/HEFA8586. – EDN AVEXCE.
7. Аюбов, Д. К. Вариация кривых блеск фотометрических параметров некоторых активных комет семейства Юпитера / Д. К. Аюбов, Х. Ф. Худжаназаров // Политехнический вестник. Серия: Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2024. – № 2(66). – С. 17-23. – EDN NAGDZW.
8. Knight M.M. The unusually rapid rotation-period evolution of comet 41P/Tuttle–Giacobini–Kresák / Knight M.M., Schleicher D.G., Farnham T.L. et al.// The Astronomical Journal. – 2017. – Vol. 155. – Article 93.
9. Bodewits, D. The extraordinary spin-down of comet 41P/Tuttle–Giacobini–Kresák. / Bodewits, D., Vincent, J.-B., Kelley, M.S.P., et al. // Nature. 2018. -Volume 553, Issue 7687, pp. 186-188 (2018).
10. Kokotanekova, R. Rotation and activity of comet 41P/Tuttle–Giacobini–Kresák. / Kokotanekova, R., Snodgrass, C., Fitzsimmons, A., et al., //Monthly Notices of the Royal Astronomical Society 2018, - 479, 4665–4682.

References

1. Kokhirova, G. I. Astrometric and Photometric Observations of Comet 29P/Schwassmann-Wachmann 1 at the Sanglokh International Astronomical Observatory / Kokhirova G. I., Rakhmatullaeva F. D., Buriev A. M. et al. // Planetary and Space Science. - 2020. - Vol. 181. - Article 104794. - DOI: 10.1016/j.pss.2019.104794. - EDN XZAGHU.
2. Kokhirova, G. I. Observations of Comet 41P/Tuttle–Giacobini–Kresák during Its Close Approach to Earth at Astronomical Observatories in Tajikistan. / Kokhirova, G. I., Buriev, A. M., Khamroev, U. Kh., et al. // Reports of the Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan, 2018, vol. 61, nos. 7–8, pp. 620–630. EDN: MFPXOW.
3. Jewitt, D. Systematics and Consequences of Comet Nucleus Outgassing Torques. / Jewitt, D. // The Astronomical Journal. 2021. -Volume 161. -Issue 6, id.261, 12 pp.
4. Davidsson, B.J.R. Modelling the water and carbon dioxide production rates of Comet 67P/Churyumov-Gerasimenko / Davidsson, B.J.R., et al. // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. 2020. -Volume 509. - Issue 2. –PP 3065-3085.

5. Larson S. M. and Sekanina Z. Coma morphology and dust-emission pattern of periodic comet Halley. I. High-resolution images taken at Mount Wilson in 1910 / Larson S. M., Sekanina Z. // The-Astronomical Journal. – 1984. – Vol. 89, No. 4. – P. 571–578.
6. Safarzoda, S. N. Investigation of the Nuclear Activity of Comet C/2017 K2 (Pan-STARRS) at Large Heliocentric Distances. / Safarzoda, S. N., Ayubov, D. K., and Amiraliyev, S. K. // Polytechnic Bulletin. Series: Intelligence, Innovation, Investment, 2025, no. 4(72), pp. 10–15. DOI: 10.65599/HEFA8586. EDN: AVEXCE.
7. Ayubov, D. K. Variation of Light Curves of Photometric Parameters of Some Active Jupiter-Family Comets. / Ayubov, D. K., and Khujanazarov, Kh. F. // Polytechnic Bulletin. Series: Intelligence, Innovation, Investment, 2024, no. 2(66), pp. 17–23. EDN: NAGDZW.
8. Knight M.M. The unusually rapid rotation-period evolution of comet 41P/Tuttle–Giacobini–Kresák / Knight M.M., Schleicher D.G., Farnham T.L. et al.// The Astronomical Journal. – 2017. – Vol. 155. – Article 93.
9. Bodewits, D. The extraordinary spin-down of comet 41P/Tuttle–Giacobini–Kresák. / Bodewits, D., Vincent, J.-B., Kelley, M.S.P., et al. // Nature. 2018. -Volume 553, Issue 7687, pp. 186-188 (2018).
10. Kokotanekova, R. Rotation and activity of comet 41P/Tuttle–Giacobini–Kresák. / Kokotanekova, R., Snodgrass, C., Fitzsimmons, A., et al., //Monthly Notices of the Royal Astronomical Society 2018, - 479, 4665–4682.

Сведения об авторе:

Буризода Анвар Махмад, кандидат физико-математических наук, Институт астрофизики Национальной академии наук НАН Таджикистана, директор, ведущий научный сотрудник Отдел физики комет и астероидов. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9388-9747>.

E-mail: anvar10@mail.ru

Маълумот оид ба муаллиф:

Бӯризода Анвар Маҳмад, номзади илмҳои физикаю математика, Институти астрофизикаи Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон, директор, ходими пешбари илмии Шуъбаи физикаи кометаҳо ва астероидҳо. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9388-9747>. E-mail: anvar10@mail.ru

Information about the Author:

Burizoda Anvar Mahmud, Candidate of Physical and Mathematical Sciences; Director, Institute of Astrophysics, National Academy of Sciences of Tajikistan; Leading Researcher, Department of Comet and Asteroid Physics. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9388-9747>. E-mail: anvar10@mail.ru