

Результаты UBVR-I-фотометрии в КГО МГУ и сравнительный анализ физических и динамических параметров астероидов с вероятными признаками сублимационной активности

Щербина М.П.^{1,2}, Бусарев В.В.^{2,1}, Бурлак М.А.², Иконникова Н.П.²

¹Институт астрономии РАН, Москва, Россия

²Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга МГУ, Москва, Россия

С декабря 2021 по март 2022 г. на полуавтоматическом телескопе RC-600 КГО ГАИШ (Кавказской горной обсерватории ГАИШ МГУ) были проведены UBVR-I-наблюдения 56 астероидов (45 астероидов Главного Пояса и 11 астероидов, сближающихся с Землей, троянских астероидов и марс-кроссеров) преимущественно примитивных типов, движущихся вблизи перигелия. Целью наблюдательной программы был охват максимального числа астероидов для уточнения их спектрального класса, а также выявления признаков вероятной сублимационной активности. Приблизительно пятая часть астероидов не имела определенного спектрального класса, который удалось оценить благодаря нашим спектральным наблюдениям. Некоторые астероиды, а именно 145 Адеона, 779 Нина, 521 Бриксия и 322 Фео, имели явные признаки сублимационной активности, а у астероидов 751 Фаина, 762 Пулкова и 778 Теобальда можно предполагать наличие активности. Для всех включенных в данную наблюдательную программу астероидов проведен сравнительный анализ физических и динамических параметров, таких как диаметр, период вращения вокруг собственной оси, большая полуось орбиты, эксцентриситет и наклонение орбиты.

Поступила в редакцию 11.05.2022 г. Принята в печать 31.05.2022 г.

Ключевые слова: астероиды Главного пояса, фотометрия, сублимационная активность, спектральный тип

The results of UBVR-I-photometry at KGO SAI MSU and comparative analysis of physical and dynamic parameters of asteroids with probable signs of sublimation activity

Shcherbina M.P.^{1,2}, Busarev V.V.^{2,1}, Burlak M.A.², Ikonnikova N.P.²

¹Institute of Astronomy of the RAS, Moscow, Russia

²Sternberg Astronomical Institute of Moscow State University, Moscow, Russia

From December 2021 to March 2022, observations of 56 asteroids (45 Main Belt asteroids and 11 near-Earth asteroids, Trojan asteroids and Mars crossers) of mainly primitive types moving near perihelion were carried out on the semi-automatic RC-600 telescope of the CMO SAI MSU (Caucasian Mountain Observatory of the SAI MSU). The purpose of the observation program was to cover the maximum number of asteroids to clarify their spectral class, as well as to identify signs of probable sublimation activity. About a fifth of the asteroids did not have a certain spectral class, which was estimated thanks to our spectral observations. Some asteroids, namely 145 Adeona, 779 Nina, 521 Brixia and 322 Phaeo, had obvious signs of sublimation activity, and asteroids 751 Faina, 762 Pulkova and 778 Theobalda can be assumed to have activity. For all asteroids of the Main Belt included in this observation program, a comparative analysis of physical and dynamic parameters, such as diameter, rotation period around its own axis, the major semi-axis of the orbit, eccentricity and inclination of the orbit, was carried out.

Received 11.05.2022. Accepted 31.05.2022.

Keywords: Main Belt asteroids, photometry, sublimation activity, spectral type

DOI: 10.51194/INASAN.2022.7.1.015

1. Введение

В течение двух последних десятилетий растет количество наблюдательных фактов, свидетельствующих о возникновении у астероидов примитивных типов не только временной экзосферы, но и более интенсивной кометной активности под влиянием различных факторов [1]. Для возникновения регулярной сублимационно-пылевой активности у астероидов необходимо выполнение следующих основных условий: повышенное содержание замерзших летучих соединений, сохранившихся в недрах до настоящего времени (вероятное у астероидов примитивных типов), а также значительный эксцентриситет орбиты [2, 3]. О появлении эффекта активности можно судить по изменению формы спектров отражения астероидов, нехарактерному для примитивных типов астероидов, который невозможно объяснить различиями в составе вещества этих тел, наблюдаемых при их вращении.

Нами ранее были опубликованы результаты обнаружения астероидов с сублимационной активностью [2, 4, 5, 3], а также описание некоторых эффектов, которые могут влиять на активность. Согласно данным работам было обнаружено 16 астероидов, имеющих признаки сублимационной активности, для трех из которых удалось подтвердить это явление.

С декабря 2021 по март 2022 г. в Кавказской горной обсерватории ГАИШ МГУ им. М.В. Ломоносова (на высоте 2112 м над уровнем моря) была выполнена программа наблюдений астероидов Главного пояса и астероидов, сближающихся с Землей. Наблюдения проводились с помощью телескопа RC-600 (0.6 м),

работающего в полуавтоматическом режиме и оснащенного фотоприемником Andor [6]. Целью этой наблюдательной программы являлась не только классическая задача определения и уточнения спектральных классов астероидов, но и поиск новых кандидатов в астероиды с сублимационной активностью. Из 56 объектов 45 — астероиды Главного пояса, преимущественно примитивных спектральных классов (обладающих низкотемпературной минералогией поверхностного вещества), находящиеся в момент наблюдений на перигелийных расстояниях. Для каждого астероида было снято минимум по три серии в фильтрах U, B, V, R и I. Стабильность атмосферы отслеживалась как на этапе наблюдений (наблюдения в хорошую фотометрическую погоду и при малых воздушных массах объектов), так и на этапе обработки наблюдений (на одном снимке с астероидом выбиралась контрольная звезда, отсутствие колебаний спектра данной звезды является признаком стабильности атмосферы).

Фотометрические данные обрабатывались с помощью стандартных процедур программного пакета MaxIM DL, а затем, используя в качестве стандартных звезд звезды-аналоги Солнца, мы рассчитывали значение отражательной способности астероида в каждом фильтре. Отражательная способность астероидов, состоящая из 4–5 значений на эффективных длинах волн соответствующих фильтров, соединена отрезками и нормирована на значение в полосе V. Итоги наблюдений представлены в следующих разделах.

2. Оценка принадлежности астероидов к спектральным классам на основании UBVRI-фотометрических наблюдений

Во время UBVRI-фотометрических наблюдений в КГО МГУ с декабря 2021 по март 2022 г. были получены данные для 13 астероидов, для которых ранее не был определен их спектральный тип. Оценка спектрального класса каждого такого астероида проводилась методом сравнения его аппроксимированного по UBVRI-данным спектра отражения со средними спектрами отражения астероидов разных таксономических классов. Для получения среднего спектра отражения использовалась информация о спектральных классах из статей [7] и [8] и спектры отражения из базы SMASS II [9]. Для выборки астероидов каждого класса на длине волны, равной эффективной длине волны фильтра, определялось минимальное, максимальное и среднее значения. В каждой выборке было от 4 до более 120 представителей каждого класса.

Приведем подробно результаты определения спектрального класса для астероидов 573 Реха и 916 Америка. Для остальных 11 объектов итог представим кратко в виде таблицы.

2.1. 573 Реха

Астероид 573 Реха является астероидом Главного пояса. Его период вращения составляет 7.16633 часов, а альbedo определено равным 0.1 [10, 11].

Для расчета спектра отражения в качестве стандартной непременной звезды использовался аналог Солнца Wolf 1059. В качестве контрольной звезды для проверки стабильности атмосферы была взята непременная звезда TYC 2926-1681-1.

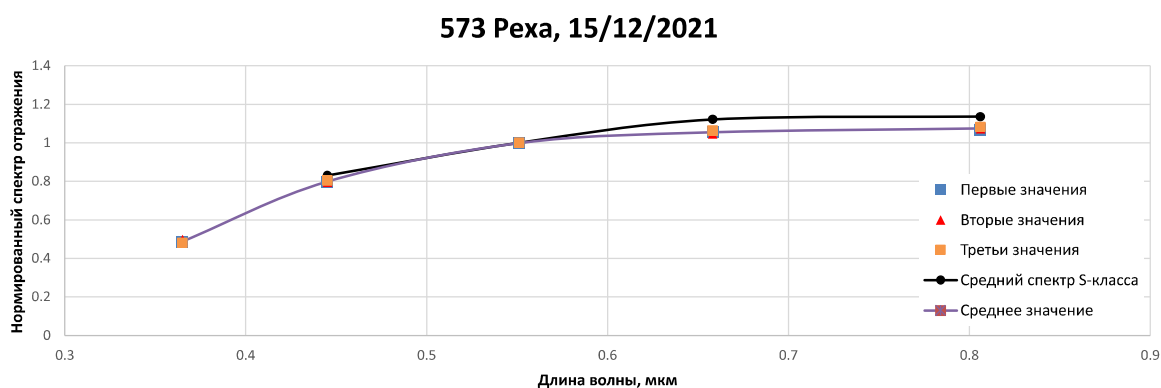


Рис. 1: Нормированный (на 0.55 мкм) спектр отражения астероида 573 Реха, полученный по результатам UBVRI-фотометрических наблюдений 15/12/2021, в сравнении со средним спектром отражения астероидов-представителей S-класса.

Полученный спектр отражения имеет выраженный положительный градиент, характерный для высокотемпературной минералогии. Сравнение с «шаблонами» спектров отражения разных классов показало наилучшее сходство со спектрами астероидов-представителей S-класса. Спектр отражения астероида 573

и его сравнение со средним спектром отражения S-класса, показаны на рис. 1. Как видно, есть некоторое расхождение в фильтрах R и I, которое, однако, не выходит за рамки допустимого для представителей S-класса.

2.2. 916 Америка

Астероид Главного пояса 916 Америка имеет низкое альbedo, равное 0.053, а также период вращения 37.294 ч [10, 11].

В качестве звезды-аналога Солнца также была выбрана звезда Wolf 1059, а для проверки стабильности атмосферы — контрольная непременная звезда ГYC 2957-674-1.

Спектр отражения астероида 916 Америка представлен на рис. 2. Как показано, он имеет наибольшую близость со спектрами отражения низкотемпературных классов, а именно C и G-классов. Расхождение в фильтре I не выходит за рамки допустимого для представителей этих классов.

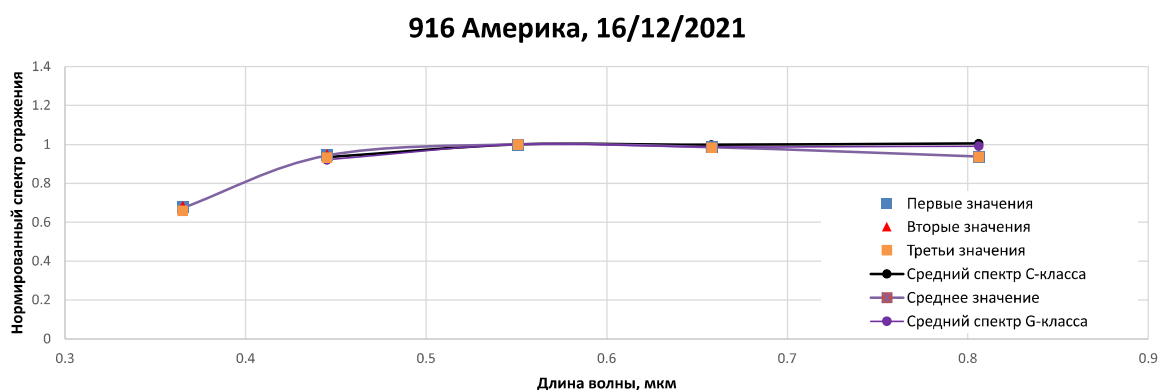


Рис. 2: Нормированный (на 0.55 мкм) спектр отражения астероида 916 Америка, полученный по результатам UVBRI-фотометрических наблюдений 16/12/2021, в сравнении со средним спектром отражения астероидов-представителей C- и G-классов.

2.3. Общий результат оценки спектрального класса астероидов

Для остальных астероидов, для которых ранее не был определен спектральный класс, а именно для 291 Алиса, 424 Грация, 467 Лаура, 859 Бузареа, 915 Козетта, 1 115 Сабауда, 1 398 Доннера, 1 448 Линдбладия, 1 450 Раймонда, 3 912 Лидаксум и 25 916, было проведено аналогичное сравнение со средними спектрами астероидов разных спектральных классов, а также в качестве косвенных признаков использовалась дополнительная информация (период вращения и альbedo). Для астероида 467 Лаура не удалось однозначно определить класс, для двух (291, 1450) из перечисленных есть предварительная оценка класса, для еще пяти (424, 859, 916, 1115, 1398) удалось установить преобладающий тип минералогии (соответствие с несколькими схожими классами) [12, 13], а для оставшихся (573, 915, 1448, 3812, 25916) получилось установить хорошее соответствие с представителями одного какого-либо класса. Результаты представлены в табл. 1.

Таблица 1: Результаты определения таксономического класса астероидов по итогам UVBRI-фотометрии (КГО МГУ, 12/2021–03/2022).

Астероид	Оценка спектрального класса	Астероид	Оценка спектрального класса
291 Алиса	E (?)	1 115 Сабауда	CFP
424 Грация	CD	1 398 Доннера	AS
467 Лаура	Требуется уточнение	1 448 Линдбладия	C
573 Реха	S	1 450 Раймонда	M (?)
859 Бузареа	CP	3 812 Лидаксум	D
915 Козетта	B	25 916	S
916 Америка	CG		

Для 11 АСЗ, марс-кроссеров и троянских астероидов нами сделана только оценка спектрального типа, но последующий анализ их физических и динамических параметров не проводился.

3. Астероиды с сублимационной активностью

3.1. Повторные наблюдения эффекта сублимационной активности у 145 Адеоны и 779 Нины

В настоящее время известно, что существуют так называемые активные астероиды, представляющие собой небесные тела, движущиеся по орбитам, характерным для астероидов, но, в то же время, демонстрирующие временную активность, подобную активности кометы [14]. Основным механизмом по числу обнаружений является сублимационная активность астероида [1].

В наших предшествующих работах были установлены и получены наблюдательные подтверждения повторной сублимационной активности астероидов 779 Нина и 145 Адеона [2, 4]. Астероиды наблюдались вблизи перигелия, на их спектрах отражения имелись нехарактерные для их спектральных типов пики вблизи $\sim 0.4 - 0.5$ мкм, а также изменения наклона спектра отражения. Результаты численного моделирования, проведенного с целью определения природы возникновения указанных максимумов, показывают хорошее соответствие их положения в спектре с максимумами рассеяния света на ледяных, силикатных и смешанных частицах [5].

Во время наблюдений в КГО МГУ были получены новые UBVRI-фотометрические данные для этих астероидов. Астероид 145 Адеона наблюдался 10 декабря 2021 г., спектр отражения представлен на рис. 3 вместе со спектром отражения из базы SMASS II [9], полученным на далеком от перигелия расстоянии. Заметим, что пик отражательной способности находится на тех же длинах волн, что и при наблюдении данного эффекта ранее. Для исключения возможности влияния нестабильности земной атмосферы производился дополнительный контроль отсутствия колебаний спектра непременной звезды, выбранной в качестве контрольной, во время трех серий измерений в каждом фильтре.

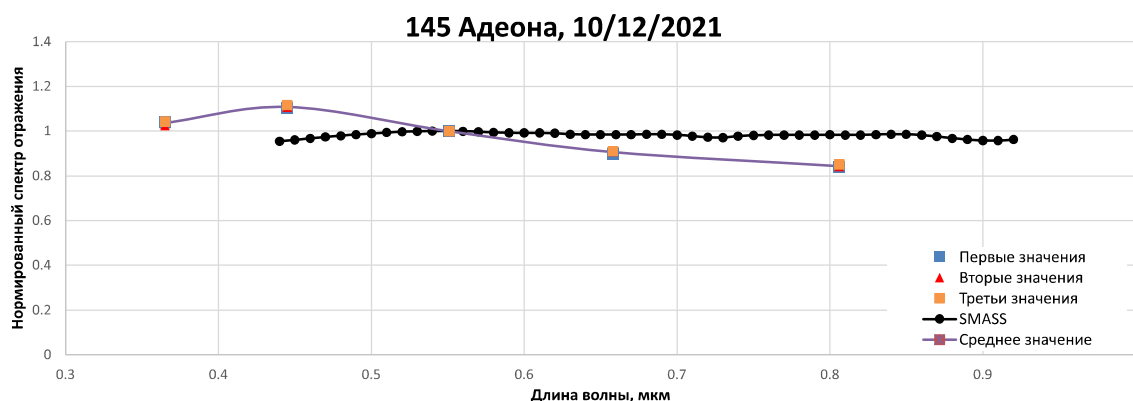


Рис. 3: Нормированный (на 0.55 мкм) спектр отражения астероида 145 Адеона, полученный по результатам UBVRI-фотометрических наблюдений 10/12/2021, в сравнении со спектром отражения из базы SMASS II [9].

Астероид 779 Нина классифицирован как астероид класса X, что означает смешанный состав поверхностного вещества [12, 13]. Также были получены 3 наблюдательные серии в фильтрах U, B, V, R и I. Спектр отражения данного астероида проявляет нехарактерное отличие наклона континуума спектра, хорошо видимое при сравнении со спектром отражения этого астероида из базы SMASS II [9], как показано на рис. 4. Подобное поведение было обнаружено во время наблюдений в 2016 г. при очередном прохождении астероидом перигелия [4].

Таким образом, нами было получено третье наблюдательное подтверждение сублимационной активности астероидов 145 Адеона и 779 Нина вблизи перигелия, что указывает на периодическую сублимационно-пылевую активность.

3.2. Новые кандидаты в астероиды с сублимационной активностью

Важнейшей целью проведения наблюдений в обсерватории КГО МГУ в течение периода декабрь 2021 – март 2022 являлся поиск новых кандидатов в астероиды с сублимационной активностью. Для этого были

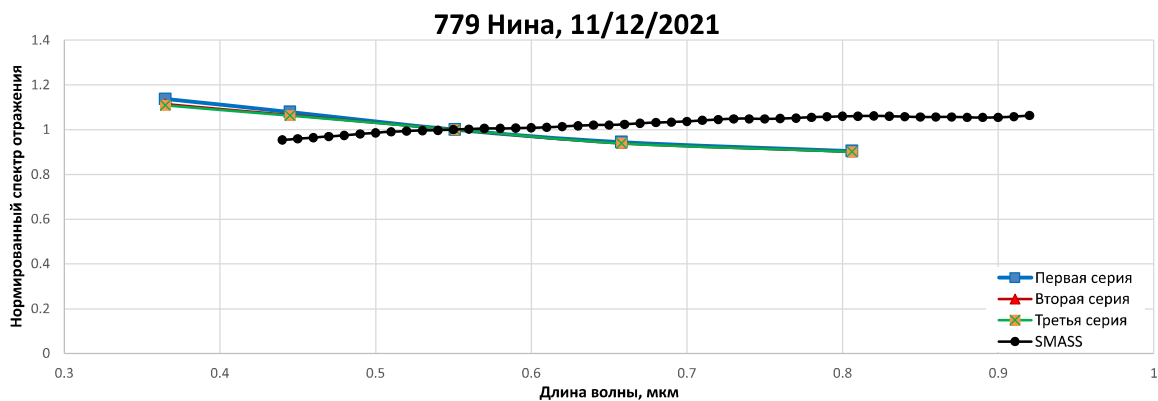


Рис. 4: Нормированный (на 0.55 мкм) спектр отражения астероида 779 Нина, полученный по результатам UVVRI-фотометрических наблюдений 11/12/2021, в сравнении со спектром отражения из базы SMASS II [9].

отобраны объекты для наблюдений преимущественно примитивных типов, находящиеся в момент проведения наблюдений вблизи перигелия.

Астероид 521 Бриксия принадлежит к примитивному таксономическому типу С и имеет низкое альbedo, равное 0.0703 [10, 11]. В рамках рассматриваемой наблюдательной программы астероид наблюдался дважды: 11/12/2021 и 16/12/2021. Аппроксимированные спектры отражения, полученные нами в декабре, а также спектр отражения данного астероида из базы SMASS II [9], представлены на рис. 5. Если смотреть относительно близости нахождения астероида около своего перигелия, то во время первых наблюдений (11/12/2021) астероид находился на меньшем гелиоцентрическом расстоянии по сравнению со вторыми наблюдениями (16/12/2021). Спектр отражения, полученный во время первых наблюдений, имеет нехарактерный для С-класса пик на длинах волн $\sim 0.4 - 0.5$ мкм, подобный тому, что наблюдалось для астероида 145 Адеона (рис. 3). Отсутствие изменений в спектрах контрольных звезд указывают на стабильность земной атмосферы во время наблюдений 521 Бриксии.

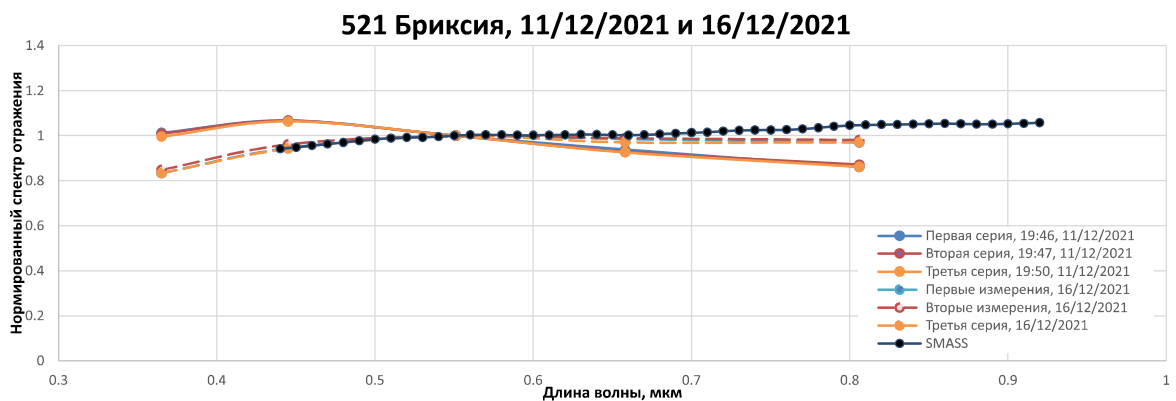


Рис. 5: Нормированные (на 0.55 мкм) спектры отражения астероида 521 Бриксия, полученные по результатам UVVRI-фотометрических наблюдений 11/12/2021 и 16/12/2021, в сравнении со спектром отражения из базы SMASS II [9].

Астероид 322 Фео имеет установленный класс X, означающий смешанный состав поверхностного вещества, а также альbedo 0.089 [10, 11]. Наблюдательные данные были получены 11/12/2021, спектр отражения, рассчитанный по этим данным, показывает нехарактерный для спектрального класса резкий рост отражательной способности и отрицательный градиент спектра (рис. 6). Особенно это заметно по сравнению со спектром отражения астероида из базы SMASS II [9]. Обратим внимание, что имело место такое же изменение спектра отражения, которое было у астероида 779 Нина (см. рис. 4). На стабильность земной атмосферы во время наблюдений 322 Фео указывает отсутствие изменений в спектрах контрольных звезд.

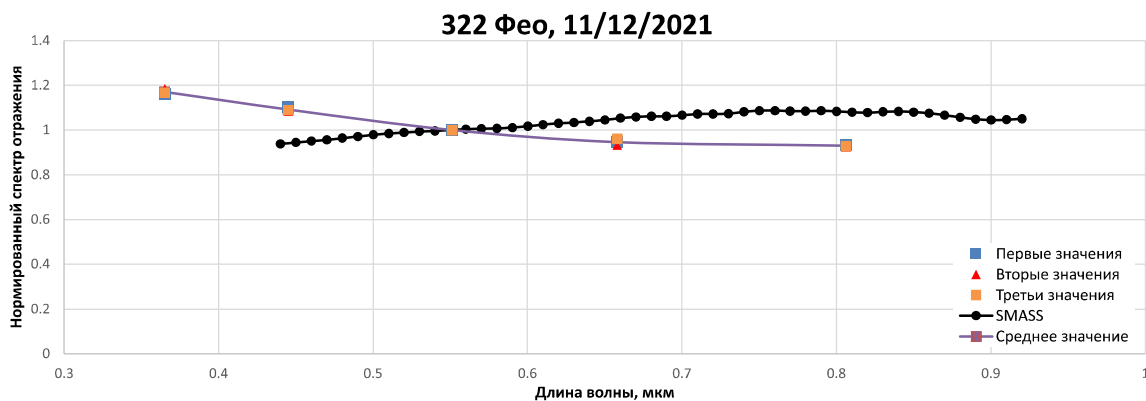


Рис. 6: Нормированный (на 0.55 мкм) спектр отражения астероида 322 Фео, полученный по результатам UVVRI-фотометрических наблюдений 11/12/2021, в сравнении со спектром отражения из базы SMASS II [9].

Кроме вышеперечисленных астероидов 322 и 521 стоит отметить еще несколько объектов, имеющих, вероятно, слабые признаки проявления сублимационной активности. Подобные колебания спектров отражения были обнаружены нами ранее у других 8 астероидов Главного пояса [3]. Для объяснения появления отклонения в длинноволновой части спектров отражения было предложено наличие пылевой экзосферы, частицы которой имеют комбинированный состав (силикаты-органика), что хорошо согласуется с численным моделированием [5].

Астероиды 751 Фаина, 762 Пулкова и 778 Теобальда принадлежат классам с низкотемпературной минералогией (С, F и F соответственно). Для каждого из них удалось получить наблюдательные данные в течение двух разных ночей. Как и при наблюдениях ранее рассмотренных астероидов, подтверждена стабильность фотометрических условий наблюдений этих астероидов по контрольным неизменяемым звездам. Спектры отражения данных астероидов вместе со спектрами отражения из баз SMASS II [9] и NASA IRTF [15] представлены на рис. 7, А), Б) и В) соответственно.

Надо отметить необходимость дополнительных исследований последних астероидов и получения новых наблюдательных данных для подтверждения или опровержения наличия у них сублимационной активности.

4. Сравнение динамических и физических параметров астероидов с сублимационной активностью

Как указывалось выше, в серии работ [2, 4, 5, 3] были представлены результаты обнаружения астероидов, которые при прохождении перигелия проявляют признаки сублимационной активности. В данной работе впервые представлены кандидаты в такие астероиды 521 Бриксия и 322 Фео, а также астероиды, вероятно, слабо проявляющие признаки сублимационной активности. Все обнаруженные нами объекты с указанием публикаций, в которых можно найти подробное описание спектров отражения астероидов, указаны в табл. 2. Отдельно выделены номера астероидов, для которых были зарегистрированы два и более наблюдательных проявлений данного эффекта.

Таблица 2: Список астероидов, проявляющих сублимационную активность, согласно нашим работам. Выделены номера астероидов, для которых получены два и более наблюдательных подтверждения наличия данного эффекта.

Астероиды, имеющие признаки сублимационной активности	Статья с подробным описанием
145, 704, 779, 1474	[2]
145, 704, 779	[4]
24, 449	[5]
19, 52, 177, 203, 250, 266, 379, 383	[3]
145, 779 , 521, 322, 751, 762, 778	Наблюдения в КГО МГУ, декабрь 2021–март 2022, описанные в данной статье

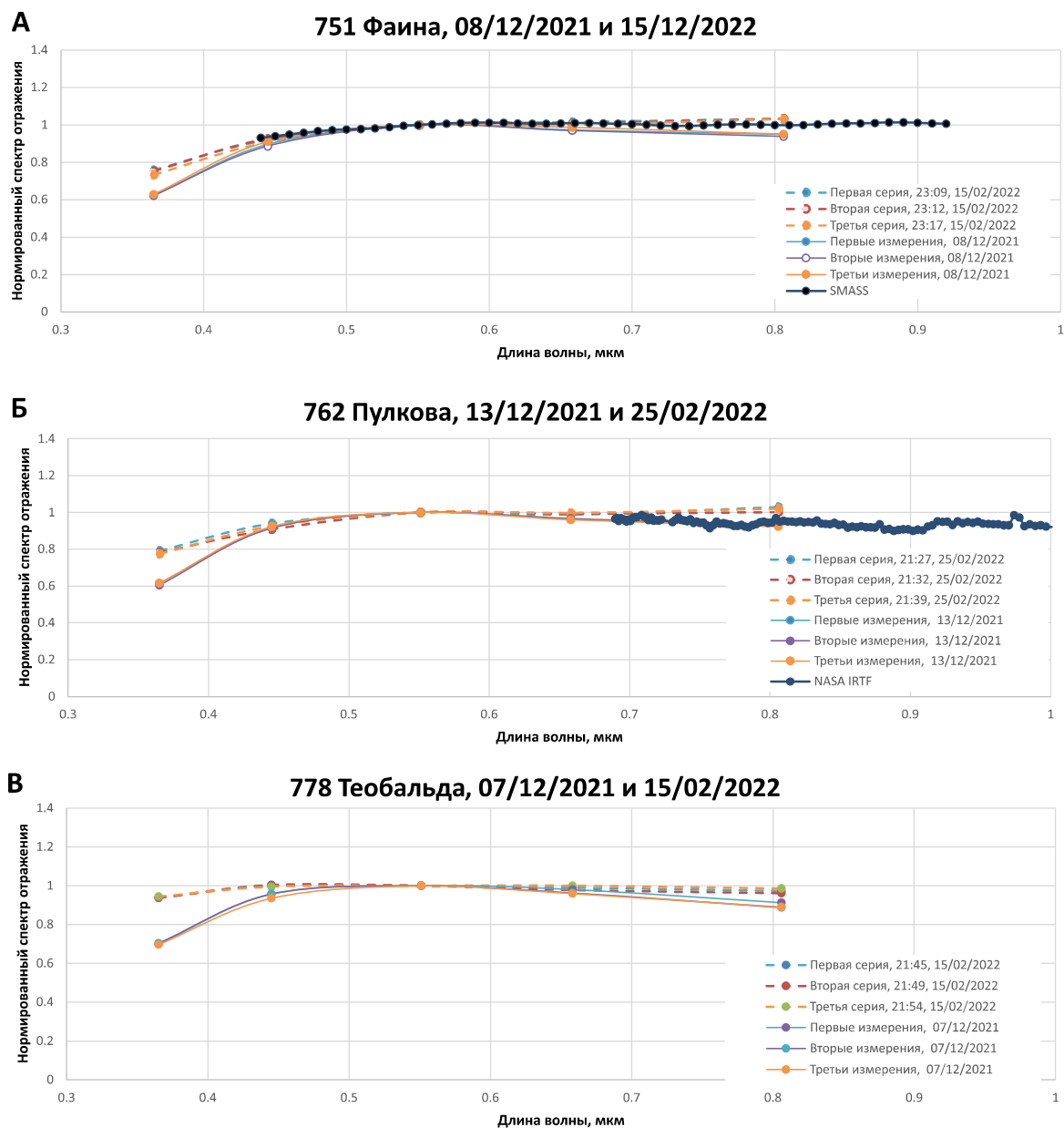


Рис. 7: Нормированные (на 0.55 мкм) спектры отражения, полученные по результатам UBVR-I-фотометрических наблюдений для А) астероида 751 Фаина (15/02/2022 и 08/12/2021); Б) астероида 762 Пулкова (25/02/2022 и 13/12/2021); В) астероида 778 Теобальда (15/02/2022 и 07/12/2021).

Для сравнения физических и динамических параметров астероидов с признаками сублимационной активности и астероидов, не проявляющих данного эффекта, были собраны из баз данных [10, 11] следующие данные: спектральный класс, геометрическое альbedo, диаметр, период вращения, значение большой полуоси, эксцентриситет и наклонение орбиты. В качестве астероидов с признаками сублимационной активности отобраны астероиды, для которых было получено повторное подтверждение сублимационной активности, а именно 145 Адеона, 704 Интерамния и 779 Нина, а также астероиды, проявившие такие признаки во время наблюдений в КГО МГУ (521 Бриксия, 322 Фео, 751 Фаина, 762 Пулкова и 778 Теобальда). Динамические и физические параметры этих астероидов приведены в табл. 3.

Распределения по параметрам представлены в виде гистограмм на рис. 8, 9 и 10, на которых отмечено положение параметров астероидов с признаками сублимационной активности. Обсудим полученные результаты.

В качестве объектов наблюдений отбирались преимущественно астероиды примитивных классов (С-тип), что показано на гистограмме на рис. 8. Как следует из сравнения со спектрами отражения образцов-аналогов

Таблица 3: Физические и динамические параметры астероидов, имеющих признаки сублимационной активности, отобранные для сравнительного анализа по итогам наблюдений в КГО МГУ (декабрь 2021–март 2022), данные получены из баз [10] и [11].

Астероид	Спектральный класс (по классификации Толена)	Геометрическое альbedo	Диаметр, км	Период вращения, ч	a , а.е.	e	i , °
145 Адеона	C	0.061	127.783	15.071	2.671	0.146	12.620
704 Интрамния	F	0.078	306.313	8.727	3.056	0.156	17.310
779 Нина	X	0.157	80.572	11.186	2.664	0.227	14.578
521 Бриксия	C	0.073	107.227	28.479	2.743	0.278	10.583
322 Фео	X	0.089	69.855	17.585	2.782	0.245	8.046
751 Фаина	C	0.027	113.699	23.678	2.551	0.151	15.596
762 Пулкова	F	0.040	147.343	5.839	3.154	0.107	13.100
778 Теобальда	F	0.079	55.317	11.659	3.179	0.256	13.713



Рис. 8: Распределение астероидов с признаками сублимационной активности (указаны номера астероидов) по спектральному типу в сравнении с астероидами, подобного эффекта не проявляющими. Все астероиды, вошедшие в выборку, являлись объектами UBVR_I-фотометрических наблюдений в КГО МГУ (декабрь 2021–март 2022), кроме 704 Интрамнии.

(метеоритов и др.), минералогия поверхностного вещества астероидов C-типов — низкотемпературная, которая не менялась под влиянием высоких температур. Объекты данного типа имеют крайне малое альbedo (0.04–0.09), плоские нейтральные спектры отражения. Предполагаемая минералогия — филлосиликаты, углерод, органика. Наиболее подходящие метеоритные аналоги — углистые хондриты, чей химический состав близок к составу протопланетной туманности Солнечной системы [13]. Именно такие астероиды могут содержать значительное количество водяного льда, что является необходимым условием для сублимационной активности. Астероиды, имеющие признаки сублимационной активности, также принадлежат в основном к C-типу.

Низкое альbedo, которым обладает подавляющее большинство отобранных астероидов (рис. 9, А) хорошо согласуется с низкотемпературным классом. Астероиды, альbedo которых больше 0.1, принадлежат к X-типу, со смешанным составом поверхностного вещества, что не противоречит возможности наличия летучих.

Как показывает распределение по диаметрам (рис. 9, Б), большинство астероидов, проявляющих признаки сублимационной активности, — крупные тела, более 80 км в диаметре. Такие тела являются наиболее сохранившимися в плане содержания в недрах водяного льда.

Распределение по периоду вращения вокруг собственной оси (рис. 9, В) показывает в основном периоды 8–12 часов, что согласуется с распространенными характеристиками астероидов C-типа.

Распределение по значению большой полуоси a , с одной стороны, показывает некоторый разброс параметра, а с другой — есть приоритетный диапазон 2.7–3.1 а.е. Предположительно, именно за этой зоной были сформированы астероиды примитивных типов [16].

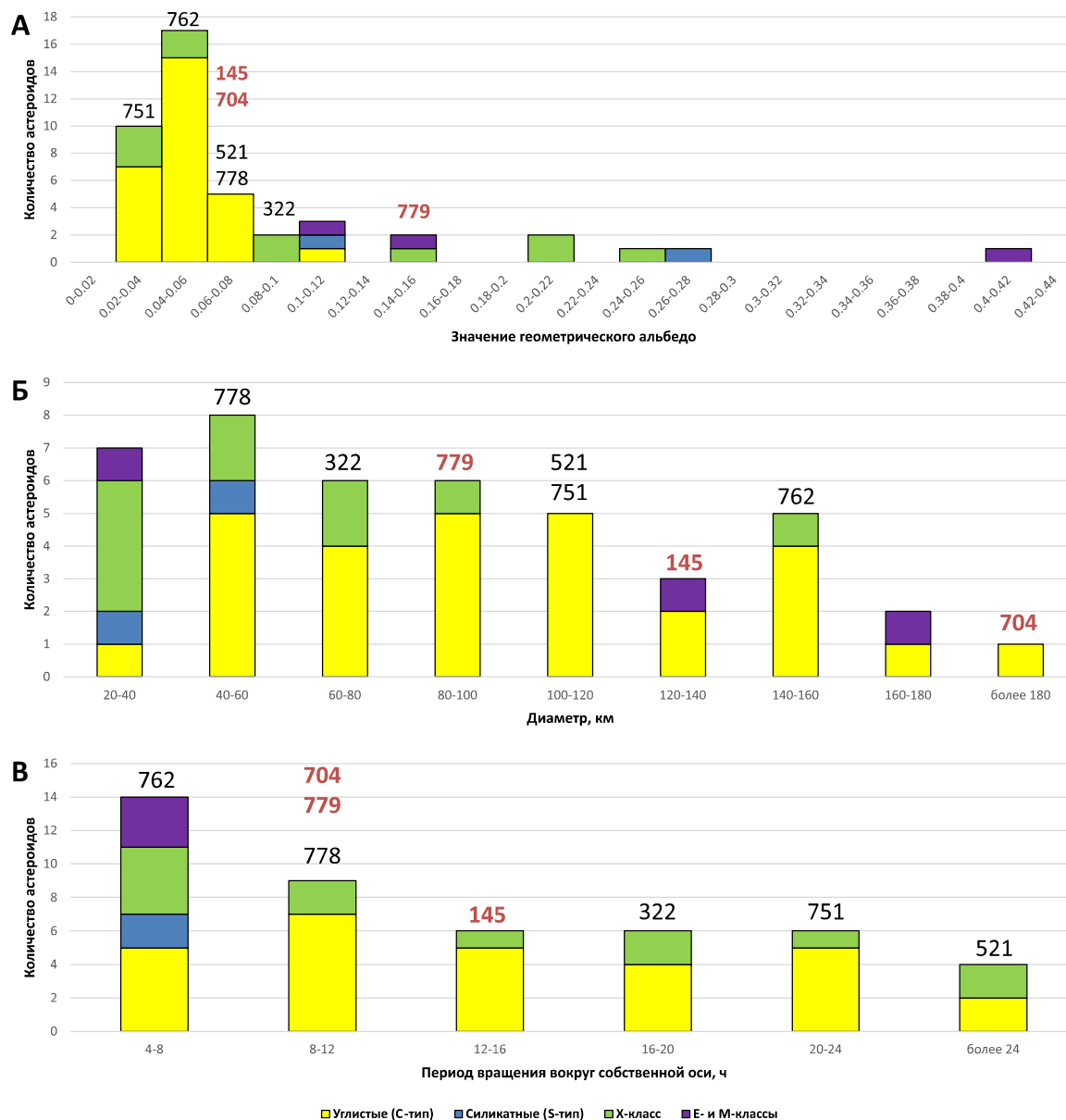


Рис. 9: Распределение астероидов с признаками сублимационной активности (указаны номера астероидов): А) по значению геометрического альbedo; Б) по диаметру (км) и В) по периоду вращения вокруг собственной оси (ч) в сравнении с астероидами, подобного эффекта не проявляющими. Все астероиды, вошедшие в выборку, являлись объектами UBVR-I-фотометрических наблюдений в КГО МГУ (декабрь 2021–март 2022), кроме 704 Интерамнии.

Обратим внимание на значительный разброс значений в распределении по эксцентриситету и наклонению i .

5. Заключение

В работе рассмотрены результаты наблюдательной UBVR-I-фотометрической программы, проведенной в обсерватории КГО МГУ с декабря 2021 по март 2022. Перечислим кратко представленные в соответствующих разделах выводы:

- 1) для 12 астероидов удалось определить спектральные классы, ранее не установленные для данных тел. Оценки спектральных классов представлены в табл. 1. Отметим, что по UBVR-I-фотометрическим данным удалось оценить по спектральному классу тип минералогии поверхностного вещества.
- 2) для астероидов 145 Адеона и 779 Нина получено новое наблюдательное подтверждение имеющейся сублимационной активности. Данный эффект проявился так же, как и было замечено ранее: в необыч-

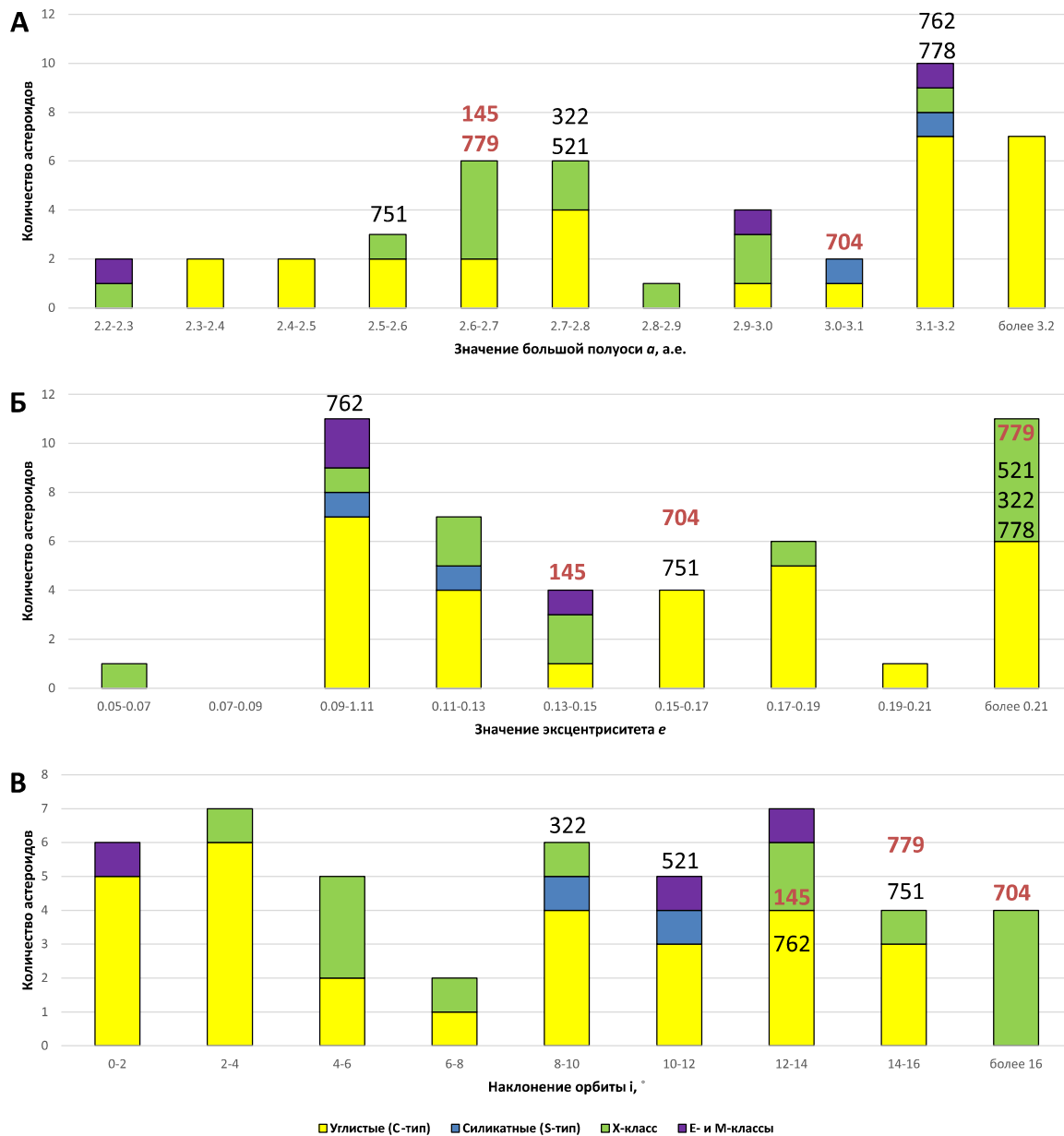


Рис. 10: Распределение астероидов с признаками сублимационной активности (указаны номера астероидов): А) по значению большой полуоси a , а.е.; Б) по эксцентриситету и В) по наклонению орбиты i , ° в сравнении с астероидами, подобного эффекта не проявляющими. Все астероиды, вошедшие в выборку, являлись объектами UBVR_I-фотометрических наблюдений в КГО МГУ (декабрь 2021–март 2022), кроме 704 Интерамнии.

ном изменении формы спектров отражения (возникновение максимума вблизи $\sim 0.4 - 0.5$ мкм) и/или изменение наклона спектра отражения.

- обнаружены новые кандидаты в астероиды с сублимационной активностью, чьи спектры отражения имеют нехарактерные для их спектральных классов изменения, описанные в пункте 2. Астероиды 521 Брексия и 322 Фео проявляют значительные искажения спектров отражения, а астероиды 751 Фаина, 762 Пулкова и 778 Теобальда обладают слабыми признаками активности и требуют дополнительного исследования.
 - для обнаруженных в данной наблюдательной программе астероидов с признаками сублимационной активности и без таковых проведен сравнительный анализ физических и динамических параметров.
- Выделим средние значения параметров астероидов с признаками сублимационной активности:

- С-тип, низкотемпературная минералогия;
- Низкое альbedo, что соответствует С-типу;

- Период вращения, согласующийся со средним значением астероидов С-типа;
- Диаметр 80–120 км и более, то есть крупные тела (что подразумевает лучшую сохранность вещества астероидов);
- Разброс по значениям большой полуоси a , эксцентриситета и наклона орбиты i , что может косвенно указывать на выброс данных тел из зоны формирования Юпитера.

Щербина М.П. и Бусарев В.В. выражают благодарность за финансовую поддержку работы Российским Научным Фондом (грант РФФ 22-12-00115).

Список литературы

1. C. O. Chandler, A. M. Curtis, M. Mommert, S. S. Sheppard, and C. A. Trujillo, *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, **130**, 114502, 2018.
2. V. V. Busarev, A. B. Makalkin, F. Vilas, S. I. Barabanov, and M. P. Scherbina, *Icarus*, **304**, 83, 2018.
3. V. Busarev, A. Savelova, M. Shcherbina, and S. Barabanov, *Solar System Research*, **56**, 84, 2022.
4. V. Busarev, M. Shcherbina, S. Barabanov, T. Irmambetova, et al., *Solar System Research*, **53**, 261, 2019.
5. V. V. Busarev, E. V. Petrova, T. R. Irmambetova, M. P. Shcherbina, and S. I. Barabanov, *Icarus*, **369**, 114634, 2021.
6. L. Berdnikov, A. Belinskii, N. Shatskii, M. Burlak, N. Ikonnikova, E. Mishin, D. Cheryasov, and S. Zhuiko, *Astronomy Reports*, **64**, 310, 2020.
7. D. J. Tholen, *Asteroid taxonomy from cluster analysis of photometry*, Ph.D. thesis, The University of Arizona, 1984.
8. S. J. Bus and R. P. Binzel, *Icarus*, **158**, 146, 2002.
9. Smass: Small main-belt asteroid spectroscopic survey, <http://smass.mit.edu/smass.html>, accessed: 2022-03-30.
10. The international astronomical union minor planet center (iau mpc), <http://www.minorplanetcenter.net/>, accessed: 2022-03-30.
11. Jpl small-body database, <http://ssd.jpl.nasa.gov/ssdb.cgi>, accessed: 2022-03-30.
12. M. J. Gaffey, J. F. Bell, and D. P. Cruikshank, *Journal of Environmental Sciences (China) English Ed*, 98–127, 1989.
13. M. J. Gaffey, *AIP Conference Proceedings*, **1386**, 129, 2011.
14. D. Jewitt, *Astron. J.*, **143**, 66, 2012.
15. Small bodies node - ferret, <http://sbntools.psi.edu/ferret/>, accessed: 2022-03-30.
16. V. Busarev, *arXiv preprint arXiv:1211.3042*, 2012.