

УДК 523.64

К ПЛАНИРОВАНИЮ НАБЛЮДЕНИЙ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ СТАРЕЮЩЕЙ ДОЛГОПЕРИОДИЧЕСКОЙ КОМЕТЫ A/2018 V3 В 2019 ГОДУ

^{1,2}Новичонок А.О., ¹Аглетдинов В.В., ²Романов В.В.

¹Институт прикладной математики РАН им. М.В. Келдыша, Москва;

²ФГБОУ ВПО «Петрозаводский государственный университет», Петрозаводск,
e-mail: artnovich@inbox.ru

Открытый в ноябре 2018 г. дамоклоид A/2018 V3 может быть примером стареющей долгопериодической кометы или материала астероидного происхождения из облака Оорта (кометой-Мэнксом); оба типа объектов изучены лишь в незначительной степени. Абсолютный блеск A/2018 V3 оценён как $H_v = 15,69 \pm 0,10$ и диаметр $D = 4,8^{+0,3}_{-0,2}$ км (сравнимо с диаметрами ядер множества наблюдаемых долгопериодических комет). Здесь мы даём рекомендации к планированию наблюдений A/2018 V3 в 2019 г., в котором сложатся благоприятные условия видимости объекта в обоих полушариях Земли (в том числе произойдёт сближение с нашей планетой до $\Delta = 0,38$). В частности, приводится вероятная кривая блеска A/2018 V3 вблизи его сближения с Землёй и перигелия (июль – октябрь 2019 г.), когда потенциальная комета должна стать достаточно яркой для ПЗС-фотометрии с небольшими телескопами и визуальных наблюдений (m1~13 в максимуме). При построении кривой мы опирались на характеристики стареющей долгопериодической кометы C/2013 UQ₄ (Catalina). В первые месяцы 2019 г. рекомендуются наблюдения с крупными телескопами для поисков возможных признаков появляющейся кометной активности, вблизи сближения – мультиволновые фотометрические наблюдения.

Ключевые слова: облако Оорта, дамоклоид, стареющая долгопериодическая комета, комета-Мэнкс

PLANNING OF OBSERVATION POSSIBLE AGING LONG-PERIOD COMET A/2018 V3 IN 2019 YEAR

^{1,2}Novichonok A.O., ¹Agletdinov V.V., ²Romanov V.V.

¹Keldysh Institute of Applied Mathematics, Moscow;

²Petrozavodsk State University, Petrozavodsk, e-mail: artnovich@inbox.ru

The Damocloid A/2018 V3 (discovered in November, 2018) may be an example of an aging long period comet or a Manx comet (material originated from a main-belt asteroid in Oort cloud); both types of objects are little studied. We estimate the absolute brightness of A/2018 V3 as $H_v = 15,69 \pm 0,10$ mag and the diameter as $D = 4,8^{+0,3}_{-0,2}$ km (comparable with the nucleus diameter of many observable long period comets). In this paper we give recommendations for planning of A/2018 V3 observations in 2019, when favorable observation conditions in both Earth hemispheres will be given. In particular, we publish a possible light curve for the object near its closest approach to the Earth and perihelion (2019, July – October), based on behavior similar object C/2013 UQ₄ (Catalina). During this period A/2018 V3 should be easily available for CCD-photometry with small amateur-class telescopes and visual observations (m1 ~ 13 mag at maximum brightness). Multiwavelength photometric observations are strongly encouraged during this period.

Keywords: Oort cloud, damocloid, aging long-period comet, Manx comet

С развитием автоматизированных обзоров неба укореняется тенденция обнаружения внешне астероидоподобных объектов на орбитах, характерных для долгопериодических комет с эксцентриситетом $e \approx 1$. Несмотря на то, что формально они относятся к группе дамоклоидов, с 2018 г. Центр малых планет стал давать таким объектам обозначения с префиксом A/ [1]. На данный момент присвоено несколько подобных обозначений.

Как правило, по мере приближения таких объектов к Земле и Солнцу у них обнаруживается кометная активность (как было с A/2018 C2 и A/2018 U7), и обозначение изменяется на кометное. С одной стороны, кома может просто становиться различной из-за уменьшения геоцентрического расстояния, с другой – действительно отсутствовать в момент первоначальных наблюдений

объекта и появляться позднее. Второй случай наиболее интересен и будет обсуждаться в данной работе.

Известно, что стареющие, многократно проходившие довольно близкий перигелий короткопериодические кометы на далёких расстояниях от Солнца часто выглядят астероидоподобно, не проявляя никаких признаков кометной активности. Например, старая комета 2P/Encke внешне не активна на гелиоцентрических расстояниях r более 1,8–1,9 а.е. [авторские данные], а комета 67P/Churyumov-Gerasimenko – более 4,3 а.е. [2]. Таким образом, некоторые неактивные A/-объекты потенциально могут являться в большей или меньшей степени истощёнными на околоповерхностные летучие вещества ядрами долгопериодических комет.

Малые тела Солнечной системы (в том числе кометы) нередко рассматриваются как реликты тех времён, когда происходило формирование Солнечной системы. Соответственно, их свойства важно исследовать в том числе и с точки зрения эволюционных процессов, которые происходят с кометными ядрами по мере их многократных сближений с Солнцем, чтобы восстановить первоначальные характеристики. Моделирование показывает, что A/-объекты (очевидно генетически связанные с дамоклоидами и долгопериодическими кометами) произошли в облаке Оорта [3], в то время как короткопериодические кометы – преимущественно в поясе Койпера. Важно разграничить эволюционные изменения комет из разных источников, т.е. короткопериодических и долгопериодических, проанализировать сходства и отличия наблюдающихся процессов. С этой точки зрения существует множество практических (т.е. опирающихся непосредственно на наблюдения) исследований стареющих короткопериодических комет, но для долгопериодических комет аналогичные работы единичны. Также малочисленны и исследования собственно дамоклоидов, но это уже другая, более поздняя стадия эволюции кометных ядер соответствующего типа.

При всём этом важно помнить, что, несмотря на доминирование в облаке Оорта объектов, сформировавшихся в области планет-гигантов, там существует некоторый небольшой процент малых тел из пояса Койпера [3] и даже из главного астероидного пояса (такие тела при приближении к Солнцу могут проявлять себя как кометы-Мэнксы) [4]. Процессы старения и истощения первых могут быть очень похожи на старение короткопериодических комет, в то время как вторые могут не демонстрировать видимой кометной активности даже на довольно небольших гелиоцентрических расстояниях, несмотря на $e \approx 1$, так как были бедны льдами уже во времена своего формирования.

В данной работе речь пойдёт об объекте A/2018 V3, обнаруженном обзором неба PANSTARRS в первой половине ноября 2018 г. В момент обнаружения он находился на расстоянии $r = 4,1$ а.е. от Солнца, имел блеск чуть слабее 21^m (G) и выглядел полностью звездобразным. Никаких признаков комы не удалось обнаружить даже с использованием 3,6-м телескопа Канада-Франция – Гавайи (обсерватория Мауна-Кеа, Гавайские острова, США), наблюдения на котором проводились 13 и 15 ноября ($r = 3,98$ и $3,96$ а.е. соответственно) в ус-

ловиях хорошего качества изображений. Обычно долгопериодические кометы становятся активными намного дальше от Солнца, например есть свидетельства, согласно которым активность кометы C/2012 S1 (ISON) впервые появилась около гелиоцентрических расстояний $r \approx 100$ а.е. [5].

Значение, обратное оригинальной большой полуоси орбиты объекта $1/a_{orig} = 0,0081 \pm 0,0002$ [данные Центра малых планет, запрос от 04.12.2018], свидетельствует о том, что он не является динамически новым и уже приближался к Солнцу ранее. Эксцентриситет орбиты A/2018 V3 в настоящее время равен $0,990$, а период обращения вокруг Солнца – 1478 лет. Он пройдёт точку перигелия 8 сентября 2019 г. на расстоянии $q = 1,34$ а.е. от Солнца, а 18 августа подойдёт к нашей планете на расстояние $\Delta = 0,38$ а.е., находясь около противостояния, что позволит провести эффективные наблюдения даже с использованием небольших телескопов. Близкое расстояние перигелия свидетельствует о значительной вероятности того, что в ближайшем будущем A/2018 V3 проявит кометную активность.

Цель данной работы – построить предполагаемую кривую блеска A/2018 V3, охарактеризовать условия видимости объекта в период его сближения с Землёй и Солнцем, а также дать рекомендации к планированию наукоёмких любительских наблюдений.

Диаметр ядра

Используя первоначальные наблюдения A/2018 V3, опубликованные в базе данных Центра малых планет, мы определяем диаметр ядра объекта, предполагая полное отсутствие у него кометной активности. Не исключено наличие неразрешённой комы, и, как следствие, завышение оцененного диаметра, однако вклад такой потенциальной комы в интегральную яркость объекта должен быть небольшим. Наблюдения на 3,6-м телескопе Канада – Франция – Гавайи при гелиоцентрическом расстоянии $r = 3,96$ а.е., чётко показали бы кому с диаметром от $3''$ (10 тыс. км и более, что на порядок меньше типичного размера комы кометы на таком гелиоцентрическом расстоянии). В то же время даже в небольшой степени незвёздный профиль объекта указал бы на наличие ещё меньшей неразличимой комы.

Для расчёта абсолютного блеска объекта мы взяли 8 усреднённых фотометрических измерений (за период 13–29 ноября 2018 г.), авторы которых использовали звёзды сравнения каталога Gaia DR2 в полосе G. Расчёты проводились в рамках

H_G формализма, значение G было принято равным 0,15 [6]. Далее мы рассчитали среднюю разницу в блеске звёзд с солнцеподобным спектром в полосах G и V, получив значение $V-G = 0,25$ и применили эту поправку для коррекции имеющихся наблюдений. В итоге абсолютная звёздная величина объекта в полосе V оказалась равна $H_V = 15,69 \pm 0,10$. Предположив, что объект должен иметь низкое значение геометрического альbedo, характерное для ядер короткопериодических комет, и приняв это значение $p_v = 0,04$ [7], мы рассчитали эффективный диаметр D для A/2018 V3, воспользовавшись формулой

$$D = 10^{3,1236 - 0,5 \lg(p_v) - 0,2 H_V}, \quad (1)$$

получив значение $D = 4,8_{-0,2}^{+0,3}$ км. Неопределённости фазовой кривой объекта вносят в эту оценку лишь небольшую погрешность, поскольку A/2018 V3 наблюдался на небольших фазовых углах α , в диапазоне $4,7^\circ - 6,7^\circ$. Заметно большую погрешность вносит неопределённость альbedo p_v : если предположить, что его значение находится в вероятном диапазоне от 0,02 до 0,06 [7], то разброс оценки возможного диаметра объекта составит 3,8–7,2 км. Таким образом, размер A/2018 V3 больше среднего размера ядер наблюдаемых короткопериодических комет, но сравним со средним размером ядер наблюдаемых долгопериодических комет [8].

Параметры фотометрической модели и кривая блеска

Если построить для A/2018 V3 кривую блеска по астероидному типу (H_G модель), то максимальная яркость в момент сближения с Землёй должна составить $m_2 = 15,0V$ (рисунк). То есть даже в этом случае объект будет достаточно ярким для фотометрических исследований с телескопами любительского класса [9].

Но на самом деле ситуация может быть много интереснее. Почти наверняка по мере уменьшения гелиоцентрического расстояния у A/2018 V3 появится кометная активность, обладающая чертами, характерными для стареющих, истощающихся кометных ядер, или для объектов облака Оорта астероидного происхождения [4]. Пытаясь спрогнозировать характер этой активности с точки зрения первой модели (оставляя в стороне вторую), мы используем для сравнительного анализа объект, потенциально достаточно похожий на A/2018 V3, а именно – комету C/2013 UQ₄ (Catalina). Она была открыта как внешне астероидоподобный объект

на гелиоцентрическом расстоянии $r = 3,6$ а.е. 23 октября 2013 г. Это также была динамически старая долгопериодическая комета, обладающая оригинальным периодом обращения вокруг Солнца 443 года, но намного большим диаметром ядра – 23,5 км [10]. Точное время появления активности у C/2013 UQ₄ неизвестно из-за соединения с Солнцем (из которого комета вышла уже с развитой комой). Это произошло в диапазоне гелиоцентрических расстояний r между 2,6 а.е. и 1,4 а.е. Впоследствии комета прошла перигелий на расстоянии $r = 1,08$ а.е. от Солнца, сблившись с Землёй до $\Delta = 0,32$ а.е. В это время C/2013 UQ₄ выглядела достаточно крупным и диффузным объектом с максимальной яркостью $m_1 = 9,5^m$ [11].

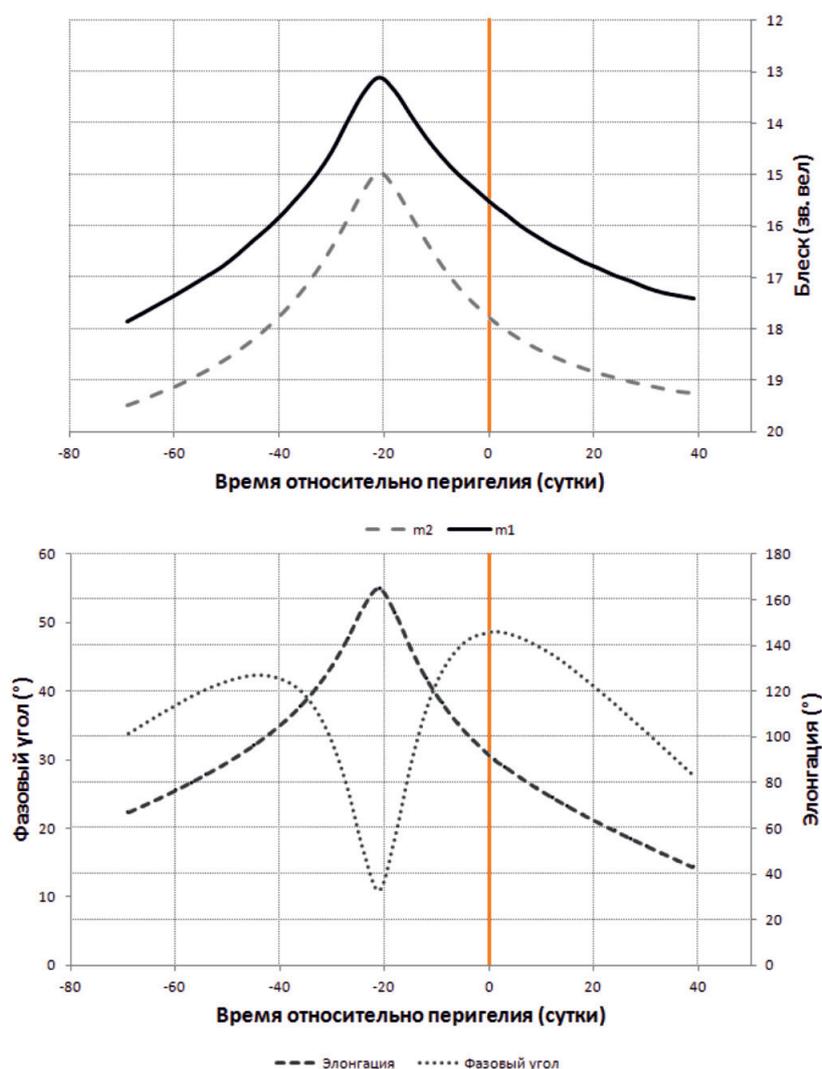
Для моделирования кривой блеска A/2018 V3 мы будем использовать величину амплитуды фотометрической кривой кометы C/2013 UQ₄ $A_{SEC}(1,34; 1; 0)$ [12], рассчитываемой по формуле

$$A_{SEC}(1,34; 1; 0) = H_V(1; 1; 0) - m_1(1,34; 1; 0). \quad (2)$$

Здесь $A_{SEC}(1,34; 1; 0)$ – это амплитуда фотометрической кривой на гелиоцентрическом расстоянии $r = 1,34$ а.е. (мы используем в качестве стандартного расстояние перигелия A/2018 V3) и геоцентрическом расстоянии $\Delta = 1$ а.е., $H_V(1; 1; 0)$ – абсолютная яркость ядра кометы, $m_1(1,34; 1; 0)$ – интегральная яркость кометы при $r = 1,34$ а.е., $\Delta = 1$ а.е.

При расчёте амплитуды мы отдельно рассчитываем яркость ядра кометы, отдельно – яркость её комы; суммирование этих двух величин приводит к интегральной яркости (m_1). Фазовый угол для ядра скорректирован в рамках H_G-формализма, а для фазовой коррекции яркости комы мы используем уравнение Шлейхера для кометной пыли [13], считая, что вклад пыли в видимое излучение комы на активной стадии существенный [13]. Это допущение обладает некоторой степенью условности (допустимой с учётом целей данной работы) и справедливо преимущественно для окооядерной области кометы, так как на снимках C/2013 UQ₄, сделанных вблизи перигелия, выражена крупная зелёная внешняя газовая кома.

После всех необходимых преобразований мы получили значение $A_{SEC}(1,34; 1; 0) = 1,8 \pm 0,3$. Это значение невелико по сравнению со значениями даже для многих короткопериодических комет [12] и является ещё одним свидетельством низкой активности кометного ядра, используемого нами в качестве объекта сравнения.



Возможная кривая блеска объекта A/2018 V3 вблизи перигелия и перигея

Далее мы исходили из предположения, что A/2018 V3 будет демонстрировать то же значение амплитуды фотометрической кривой близ своего перигелия при том же доминировании пыли в наблюдаемой коме. Абсолютный блеск комы, рассчитанный на базе амплитуды кривой блеска и абсолютного блеска ядра, $m_c(1,34; 1; 0) = 14,9$. Это значение использовалось в дальнейших расчётах, предполагая, что яркость комы m_c будет меняться как $m_c \propto 10 \lg r$. На рисунке представлена приближительная кривая блеска объекта вместе с кривой блеска неактивного ядра на фоне изменения условий видимости – элонгации и фазового угла. Интерпретация этой кривой с точки зрения будущих наблюдений приводится в следующем разделе статьи.

Планирование наблюдений в 2019 г.

С момента открытия и на протяжении всего 2019 г. A/2018 V3 будет удачно расположен для наблюдений как из северного, так и из южного полушарий Земли; минимального склонения (-31°) он достигнет вблизи максимального сближения с Землёй, во второй половине августа. В период с начала марта до начала июня 2019 г. элонгация A/2018 V3 будет меньше 45° , в результате какое-то время проводить наблюдения будет невозможно. В следующий раз элонгация достигнет 45° в середине октября 2019 г., и станет больше этого значения только в начале 2020 г., когда объект уже должен быть очень слабым ($V \sim 20 - 21$).

Ближайшей наблюдательной задачей для A/2018 V3 должен стать поиск воз-

можных проявлений активности. Для этого могут понадобиться довольно крупные телескопы или длинные экспозиции, так как в течение первых месяцев 2019 г. объект должен быть не ярче 21^m при условии астероидоподобного поведения. Следует отслеживать A/2018 V3 хотя бы раз в две недели: даже если кома не будет различаться явно, блеск может стать ярче прогнозных значений из-за внешне скрытой сублимации льдов [15]. Если скрытая кома уже есть, то по мере приближения к Солнцу объект должен увеличивать свою яркость не в согласии с моделью $m_{2\infty}51gr$, характерной для неактивных астероидоподобных объектов, но быстрее (как было с C/2018 C2 (Lemmon) в первые недели после открытия).

A/2018 V3 будет демонстрировать острый пик яркости, привязанный к сближению с Землёй, при наличии активности максимальный блеск может достигнуть $\sim 13^m$; за три недели до сближения и через три недели после (в перигелии) объект должен быть интегрально слабее на $2,5^m$ и 2^m соответственно (рисунок). Для ядра контраст ещё больше, и разница в обоих случаях составит порядка трёх звёздных величин. Фазовый угол объекта в представленный на рисунке период времени будет варьировать от 11° до 49° , достигнув минимальных значений около сближения. В этих вариациях причина того, что видимая амплитуда кривой блеска изменяется асимметрично относительно перигелия: изменение фазового угла в указанных рамках сильнее отражается на блеске ядра в сравнении с блеском пылевой комы.

Мультиволновые ПЗС-наблюдения станут особенно полезны, когда A/2018 V3 достигнет своей максимальной яркости, независимо от наличия или отсутствия комы. В этот период важно характеризовать морфологию объекта, определить показатели его цвета с привлечением как можно большего числа фотометрических фильтров, при наличии комы – оценить скорость производства пыли и определить возможные источники активности. Всё это позволит уточнить происхождение A/2018 V3 и эволюционный статус. Спектральные исследования и инфракрасные наблюдения могут значительно помочь в этом деле.

Даже в период максимальной яркости ядро возможной кометы может хорошо выделяться в центре сформировавшейся комы (благодаря малой ожидаемой амплитуде кривой блеска); это может позволить определить период вращения объекта, исследуя переменность яркости псевдоядерного уплотнения.

Таким образом, потенциальная комета должна стать достаточно яркой не только с точки зрения ПЗС-наблюдений, но и с точки зрения визуальных наблюдений (которые также очень рекомендуются). Стоит отметить, что вышеописанные выкладки могут привести к большой погрешности в оценке возможной яркости кометы, которая может быть как ниже, так и значительно выше. Например, относительно богатая околосверхповерхностным водяным льдом стареющая короткопериодическая комета 2P/Encke демонстрирует амплитуду кривой блеска $A_{SEC}(1,34; 1; 0) \approx 4$ [12], при этом выглядит относительно крупным объектом с явным доминированием газа в видимом излучении. Из-за малого количества исследованных стареющих долгопериодических комет нам сложно оценить вероятность подобного пути развития событий, но, в любом случае, приводимые здесь оценки носят лишь ориентировочный характер и нужны, чтобы более корректно подойти к долгосрочному планированию будущих наблюдений.

Заключение

1. A/2018 V3, возможно, является одним из немногих известных стареющих ядер долгопериодических комет или кометой-Мэнксом (т.е. объектом астероидного происхождения, попавшим в облако Оорта). Оба типа объектов являются малоизученными, и A/2018 V3 представляет возможность пополнить наш багаж знаний.

2. Абсолютный блеск ядра потенциальной кометы A/2018 V3 равен $H_V = 15,69 \pm 0,10$, что при условии полного отсутствия комы в момент первоначальных наблюдений приводит к вероятному диаметру $D = 4,8^{+0,3}_{-0,2}$ км.

3. В первые месяцы 2019 г. A/2018 V3 следует наблюдать с глубоким прониканием с целью поиска первых признаков появления кометной активности.

4. A/2018 V3 представляет собой объект, который в относительно короткий (несколько недель) период около сближения с Землёй и перигелия (август – сентябрь 2019 г.) можно будет эффективно наблюдать с телескопами любительского класса (в том числе визуально), $m_{1\max} \sim 13$. Наиболее полезными могут стать результаты, полученные с использованием фотометрических фильтров.

Список литературы

1. Williams G.V. Comet magnitudes and A/ Objects // MPEC 2018-H54. – 2018 [Электронный ресурс]. URL: <https://minorplanetcenter.net/mpec/K18/K18H54.html> (дата обращения: 25.12.2018).

2. Snodgrass C., Tubiana C., Bramich D.M., Meech K., Boehnhardt H., Barrera L. Beginning of activity in 67P/Churyumov-Gerasimenko and predictions for 2014-2015. *Astronomy & Astrophysics*. 2013. Vol. 557, id.A33. 15 p. DOI: 10.1051/0004-6361/201322020.
3. Jewitt D. A First Look at the Damocloids. *Astronomical Journal*. 2006. Vol. 129. P. 530–538.
4. Meech K.J., Yang B., Kleyna J., Hainaut O.R., Berdyugina S., Keane J.V., Micheli M., Morbidelli A., Wainscoat R.J. Inner solar system material discovered in the Oort cloud. *Science Advances*. 2016. Vol. 2. Iss. 4. id. e1600038. DOI: 10.1126/sciadv.1600038.
5. Sekanina Z., Kracht R. Disintegration of Comet C/2012 S1 (ISON) Shortly Before Perihelion: Evidence from Independent Data Sets. arXiv:1404.5968. 2014. 49 p.
6. Bowell E., Hapke B., Lumme K., Harris A.W., Domingue D. Jouni Peltoniemi Application of photometric models to asteroids in Asteroids II. 1989. P. 524–556.
7. Lamy P.L., Toth I., Fernandez Y.R., Weaver, H.A. The Sizes, Shapes, Albedos, and Colors of Cometary Nuclei in Comets II. 2004. P. 223–264.
8. Bauer J.M., Grav T., Y.R. Fernández A.K. Mainzer, Kramer E.A., Masiero J.R., Spahr T., Nugent C.R., Stevenson R.A., Meech K.J., Cutri R.M., Lisse C.M., Walker R., Daley J.W., Rosser J., Krings Ph., Ruecker K., Wright E.L. and the NEOWISE Team. Debiasing the NEOWISE Cryogenic Mission Comet Populations. *Astronomical Journal*. 2017. Vol. 154. Iss. 2. 9 p.
9. Новичонок А.О., Назаров С.В. 20-см телескоп-рефлектор любительского класса как инструмент для широкополосной фотометрии комет // Физика космоса: тезисы докл. 47-й Междунар. конф. (г. Екатеринбург, 29 янв. – 2 февр. 2018 г.). Екатеринбург, 2018. С. 262–263.
10. Benner L.A.M. Goldstone Radar Observations Planning: Comet C/2013 UQ4 (Catalina). 2018 [Электронный ресурс]. URL: https://echo.jpl.nasa.gov/asteroids/2013UQ4/2013UQ4_planning.html (дата обращения: 25.12.2018).
11. Kammerer A. Comet analysis: C/2013 UQ4 (Catalina). 2018 [Электронный ресурс]. URL: http://fg-kometen.vdsastro.de/koj_2014/c2013uq4/13uq4eus.htm (дата обращения: 25.12.2018).
12. Ferrin I. Atlas of secular light curves of comets. *Planetary and Space Science*. 2010. Vol. 58. Iss. 3. P. 365–391.
13. Schleicher D.G., Millis R.L., Birch P.V. Narrowband photometry of comet P/Halley: variation with heliocentric distance, season, and solar phase angle. *Icarus*. 1998. Vol. 132. Iss. 2. P. 397–417.
14. Ivanova O., Zubko E., Videen G., Mommert M., Hora J.L., Krisandova Z.S., Svoren J., Novichonok A., Borysenko S., Shubina O. Colour variations of Comet C/2013 UQ4 (Catalina). *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. 2017. Vol. 469. Iss. 3. P. 2695–2703.
15. Ferrin I., Arcila A., Saldarriaga M. Erratum: Secular Light Curves of NEAs 2201 Oljato, 3200 Phaethon, 99942 Apophis, 162173 Ryugu, 495848 and 6063 Jason. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. 2018. Vol. 479. P. 3726–3745.