



ISSN 1607–2855

Том 5 · № 1–2 · 2004 С. 115–121

УДК 523.61

## Кривые блеска комет C/2000 WM1 (LINEAR), C/2001 A2 (LINEAR), C/2002 C1 (Ikeya–Zhang), C/2002 F1 (Utsunomiya) и 19P/Borrelly

В.С. Филоненко<sup>1</sup>, К.И. Чурюмов<sup>2</sup><sup>1</sup>Научно-исследовательский институт астрономии Харьковского национального университета<sup>2</sup>Астрономическая обсерватория Киевского национального университета

Построены и исследованы кривые блеска новых комет C/2000 WM1 (LINEAR), C/2001 A2 (LINEAR), C/2002 C1 (Ikeya–Zhang), C/2002 F1 (Utsunomiya) и короткопериодической кометы 19P/Borrelly, которая была объектом исследования с помощью космического аппарата Deep Space-1. Определены фотометрические параметры  $H_y$  и  $n$  этих комет и параметры их вспышечной активности. У комет C/2001 A2, C/2002 C1, C/2002 F1 и 19P обнаружены скачкообразные изменения параметра  $n$  на до- и послеперигелийных участках орбиты. У кометы C/2001 A2 обнаружено влияние фазовой зависимости блеска на доперигелийном участке кометной орбиты и определено значение фазового коэффициента. Проведено сравнение кривой блеска короткопериодической кометы 19P/Borrelly в трех ее появлениях: 1981, 1987 и 2001 гг.

КРИВІ БЛИСКУ КОМЕТ C/2000 WM1 (LINEAR), C/2001 A2 (LINEAR), C/2002 C1 (IKEYA–ZHANG), C/2002 F1 (UTSUNOMIYA) І 19P-BORRELLY, Філоненко В.С., Чурюмов К.І. — Побудовано і досліджено криві блиску нових комет C/2000 WM1 (LINEAR), C/2001 A2 (LINEAR), C/2002 C1 (Ikeya–Zhang), C/2002 F1 (Utsunomiya) і короткоперіодичної комети 19P-Borrelly, яка була об'єктом досліджень за допомогою космічного апарата Deep Space-1. Визначено фотометричні параметри  $H_y$  і  $n$  цих комет і параметри їх спалахової активності. У комет C/2001 A2, C/2002 C1, C/2002 F1 і 19P знайдено скачкоподібні зміни параметра  $n$  на до- і післяперигелійних ділянках орбіти. У комети C/2001 A2 знайдено вплив фазової залежності блиску на доперигелійній ділянці кометної орбіти і визначено значення фазового коефіцієнта. Проведено порівняння кривої блиску короткоперіодичної комети 19P/Borrelly у трьох її появах: 1981, 1987 і 2000 рр.

THE LIGHT CURVES OF COMETS C/2000 WM1 (LINEAR), C/2001 A2 (LINEAR), C/2002 C1 (IKEYA–ZHANG), C/2002 F1 (UTSUNOMIYA) AND 19P-BORRELLY, by Filonenko V.S., Churyumov K.I. — The light curves of four new comets: C/2000 WM1 (LINEAR), C/2001 A2 (LINEAR), C/2002 C1 (Ikeya–Zhang), C/2002 F1 (Utsunomiya), and a short-period comet 19P/Borrelly — the target of space mission “Deep Space-1”, were constructed and investigated. The values of the photometrical parameters  $H_y$  and  $n$  of these comets and the parameters of their brightness outburst activity were obtained. The stick-slip variations of the parameter  $n$  during preperihelion and postperihelion branches of light curves of comets C/2001 A2, C/2002 C1, C/2002 F1, and 19P were found. An influence of the phase dependence on the light curve of comet C/2001 A2 during preperihelion part of its orbit were found. A comparison of light curves of the short-period comet 19P during its three different appearances (1981, 1987 and 2001) were made.

Конец второго тысячелетия ознаменовался появлением целого ряда ярких, уникальных по своему внешнему виду и свойствам комет. Пристальное внимание наблюдателей всего мира привлекли такие кометы, как уникальная комета Shoemaker–Levi 9, которая распалась на 23 фрагмента и в период с 16 по 22 июля 1994 г. столкнулась с Юпитером, аномально яркая комета C/1995 O1 (Hale–Bopp), комета C/1996 B2 (Nyakutake) с аномально длинным хвостом, которая в марте 1996 г. подошла к Земле на расстояние около 0.1 а.е., комета C/1999 S4 (LINEAR), ядро которой на глазах наблюдателей распалось и полностью дезинтегрировало, в результате чего комета 10 августа 2000 г. прекратила свое существование.

В настоящей работе исследуются фотометрические особенности пяти наиболее примечательных комет начала нового, третьего тысячелетия. Наблюдательный материал, необходимый для по-

Таблица 1. Фотометрические параметры  $H_y$  и  $n$  пяти комет

Комета	$H_y$	$n$	$N$
C/2000 WM1 (LINEAR)	$7^m91 \pm 0^m02$	$2.64 \pm 0.06$	319*
	$6.42 \pm 0.07$	$4.54 \pm 0.11$	216**
C/2001 A2 (LINEAR)	$8.65 \pm 0.05$	$8.86 \pm 0.17$	343*
	$7.57 \pm 0.04$	$4.08 \pm 0.10$	624**
C/2002 C1 (Ikeya-Zhang)	$7.01 \pm 0.06$	$3.81 \pm 0.16$	290*
	$6.49 \pm 0.02$	$2.78 \pm 0.08$	643**
C/2002 F1 (Utsunomiya)	$9.49 \pm 0.19$	$5.16 \pm 0.31$	58*
	$7.94 \pm 0.34$	$4.13 \pm 0.54$	31**
19P-Borrelly	$5.38 \pm 0.45$	$10.9 \pm 1.1$	43*
	$7.88 \pm 0.12$	$5.10 \pm 0.20$	103**
19P-Borrelly (1981 IV)	—	—	—*
	$6.9 \pm 0.5$	$5.3 \pm 1.3$	62**
19P-Borrelly (1987 XXXIII)	$4.83 \pm 0.26$	$12.8 \pm 0.6$	198*
	$6.76 \pm 0.13$	$6.7 \pm 0.3$	307**

Примечания:

$N$  — число использовавшихся оценок интегрального блеска;

\* — до перигелия; \*\* — после перигелия.

строения кривых блеска, был собран с различных интернетовских сайтов. Методика обработки наблюдательного материала, построения кривых блеска и их анализа неоднократно описывалась нами ранее (например [2,3,4]).

**C/2000 WM1 (LINEAR).** Открыта 16 декабря 2000 г. группой LINEAR как астероидоподобный объект  $18^m$ . 20 декабря по наблюдениям T.V.Sprag с 1.2-м рефлектором Смитсоновской астрофизической обсерватории объект имел кому диаметром около  $10''$  и слабый широкий хвост длиной  $10'' - 20''$ . Комета прошла через перигелий 22.6731 января 2002 г. на расстоянии 0.555343 а.е. от Солнца. Эксцентриситет ее орбиты  $e = 1.000271$ , а ее плоскость сильно наклонена к плоскости эклиптики ( $i = 72.6^\circ$ ). Исследование орбиты показали, что это, вероятно, не первое появление кометы в окрестностях Солнца.

Gu.M.Szabo и др. выполнили детальную спектрофотометрию и исследовали морфологию кометы до перигелия и показали, что она, вероятно, относится к типу «газовых» комет. W.M.Irvine и др. обнаружили у кометы необычно большое значение отношения  $\text{HNC}/\text{HCN}$ , не соответствующее существующим моделям химического состава комет. J.T.T.Makinen и др. проанализировали все наблюдения кометы, полученные на околоперигелийном участке орбиты кометы с помощью инструмента SWAN, который установлен на космическом аппарате SOHO.

Кривая блеска кометы построена нами на основе 535 оценок интегрального блеска кометы, полученных с 1 ноября 2001 г. по 18 июня 2002 г. Кривую блеска (рис. 1) отличают: а) значительная вспышечная активность (хорошо заметны, по крайней мере, 14 вспышек до перигелия и не менее 15 вспышек после перигелия); б) обратная асимметрия (до перигелия блеск кометы увеличивался медленнее, чем затем убывал после перигелия); в) отсутствие изменений параметра  $n$  на до- и послеперигелийных участках орбиты; г) большая вспышка блеска (амплитуда  $\approx 3^m.5$ ), которая произошла сразу же после перигелия. Найденные нами значения фотометрических параметров  $H_y$  и  $n$  приведены в табл. 1.

**C/2001 A2 (LINEAR).** Открыта той же исследовательской группой LINEAR 15 января 2001 г. как астероидоподобный объект  $17^m - 18^m$ . На ПЗС-изображениях, полученных 16 января, объект имел диффузный вид с комой размером около  $10''$ . Через перигелий комета прошла 24.5204 мая 2001 г. на расстоянии 0.779026 а.е. от Солнца. Орбита кометы имеет эксцентриситет  $e = 0.999337$  и это, по-видимому, не первое ее посещение внутренних частей Солнечной системы.

S.W.Hergenrother, M.Chamberlain и Y.Chamberlain на ПЗС-изображениях кометы, полученных

Таблица 2. Изменение значений фотометрического параметра  $n$  четырех комет

До перигелия		После перигелия	
Интервал $\lg(r)$	$n$	Интервал $\lg(r)$	$n$
C/2001 A2 (LINEAR)			
-0.11...0.07	$4.85 \pm 0.16$	-0.11...-0.04	$0.64 \pm 1.01$
0.07...0.18	$18.7 \pm 2.3$	-0.04...0.07	$5.23 \pm 0.34$
—	—	0.07...0.25	$3.62 \pm 0.22$
—	—	0.25...0.32	$9.2 \pm 1.5$
—	—	0.32...0.46	$-2.9 \pm 1.1$
C/2002 C1 (Ikeya-Zhang)			
—	—	-0.30...0.08	$3.47 \pm 0.05$
—	—	0.08...0.31	$1.09 \pm 0.11$
C/2002 C1 (C/2002 F1 (Utsunomiya))			
-0.36...-0.35	$5.16 \pm 0.31$	-0.36...-0.34	$4.12 \pm 0.54$
-0.35...-0.20	$9.82 \pm 0.37$	-0.34...-0.23	$7.2 \pm 2.6$
-0.20...-0.05	$3.64 \pm 0.48$	-0.20...-0.04	$0.20 \pm 0.64$
19P-Borrelly			
0.11...0.17	$17.0 \pm 1.9$	0.14...0.25	$7.44 \pm 0.47$
0.17...0.22	$2.5 \pm 4.5$	0.25...0.37	$4.17 \pm 0.64$

30.12 апреля с помощью 1.54-м рефлектора, обнаружили двойное ядро, состоящее из компонентов примерно равного блеска и отстоящих друг от друга на  $3''5$ . Оба компонента были весьма конденсированными. 14.98 мая по наблюдениям E.Jehin и др., выполненным с помощью 8.2-м телескопа VLT, компонент А был на  $1^m$  слабее компонента В, который находился от него на расстоянии  $12''6$ . К 16.98 мая расстояние между компонентами увеличилось до  $14''6$ . Оба компонента имели индивидуальные комы. Z.Sekanina по результатам астрометрических наблюдений компонентов ядра, полученных с 30 апреля по 18 мая, нашел вероятный момент распада ядра кометы — март  $29.9 \pm 1^d6$ .

O.Schuetz и др. провели 16–21 июня интенсивный мониторинг внутренней комы кометы с высоким пространственным разрешением. Для наблюдений в инфракрасном диапазоне использовался 3.6-м телескоп ESO (La Silla), а для наблюдений в видимом диапазоне — 3.5-м телескоп NTT и 2.2-м телескоп ESO/MPG. Эти наблюдения показали, что комета состоит из нескольких фрагментов. Как показал анализ, выполненный Z.Sekanina, наблюдались три фрагмента: D, E, F. Фрагмент D отделился от компонента В июня  $3.5 \pm 1^d8$ , фрагмент E отделился июня  $9.5 \pm 0^d7$ , а фрагмент F — июня  $11.3 \pm 0^d5$ .

Z.Sekanina и др. нашли строгую временную корреляцию между началом вспышек блеска и фрагментацией ядра кометы. Это подтверждает мнение З.Секанины о том, что вспышки блеска являются спусковым механизмом деления кометных ядер.

Для построения кривой блеска нами были использованы 967 оценок интегрального блеска кометы, полученные с 12 марта 2001 г. по 16 ноября 2001 г. На кривой блеска выделяется не менее 6 вспышек блеска до перигелия и как минимум 13 вспышек после перигелия. Причем небольшая вспышка амплитудой  $\approx 0^m5$  и максимумом  $\approx 2$  августа 2001 г. зарегистрирована нами также с помощью ПЗС-наблюдений [5], что подтверждает надежность построенной кривой блеска.

Найденные нами значения фотометрических параметров  $H_y$  и  $n$  приведены в табл. 1. Как видно из рис. 2, до перигелия скорость изменения блеска, характеризующаяся параметром  $n$ , скачкообразно изменила свое значение на гелиоцентрическом расстоянии  $r \approx 1.175$  а.е., а после перигелия значение параметра  $n$  менялось по крайней мере четыре раза (табл. 2).

На доперигелийном участке кометной орбиты было обнаружено значимое влияние фазовой зависимости на кривую блеска и было определено значение фазового коэффициента  $\beta = 0.086 \pm 0.027$  ( $m/\text{град}$ ). После перигелия влияние фазовой зависимости оказалось несущественным.

**C/2002 C1 (Ikeya–Zhang).** Новую комету  $9^m$  визуально обнаружили 1 февраля 2002 г. японские наблюдатели К.Икея и D.Zhang. Это уже шестая новая комета на счету К.Икея, которую ему удалось открыть после долгого перерыва (5 комет К.Икея открыл еще в 60-х годах). Новая комета прошла через перигелий 18.9793 марта 2002 г. на гелиоцентрическом расстоянии 0.507058. У нее эллиптическая орбита с эксцентриситетом  $e = 0.989954$ .

S.Nakano и I.Hasegawa, исследовав эволюцию орбиты этой кометы и изучив китайские хроники, установили, что это очередное появление кометы C/1661 C1, которая, вероятно, наблюдалась также в феврале 1273 г., в феврале 877 г., в июле 458 г., в мае 88 г. н.э. и в декабре 269 г. до н.э. С историческими подробностями наблюдений этой кометы можно ознакомиться на сайте Кометной секции Британской астрономической ассоциации: [www.ast.cam.ac.uk/~jds/](http://www.ast.cam.ac.uk/~jds/).

Вблизи перигелия комета была яркой и ее интегральный блеск достигал  $3^m - 3^m.5$ . M.Fujii, K.Ayani и H.Kawakita в спектрах низкого разрешения, полученных 3 марта с 28-см рефлектором, обнаружили эмиссионные линии NaI. C.W.Hergenrother 3–10 марта с помощью 1.5-м рефлектора наблюдал пылевые оболочки на расстоянии  $30''$  от ядра.

A.Lecacheux и N.Viver с помощью субмиллиметрового космического телескопа с 21 по 28 марта проводили спектральные наблюдения высокого разрешения и обнаружили линию  $H_2O$  на частоте 556.936 ГГц. Производительность воды 28 марта была около  $1.7 \cdot 10^{29}$  молекул/с.

G.Gremonese и др. 20 апреля с помощью 3.5-м рефлектора наблюдали натриевый джет, вытянутый в направлении кометного хвоста. 27–29 апреля M.D.Nicks и M.S.Hanner с помощью 5-м паломарского телескопа обнаружили излучение силикатов в области 10 мкм, однако J.E.Luke и др. 22 мая, наблюдая с помощью 1.52-м телескопа, не нашли у кометы какого-либо излучения силикатов на длине волны 11 мкм. H.A.Weaver и др. с помощью спектрографа высокого разрешения STIS Космического телескопа Хаббла 20–23 апреля наблюдали кометные эмиссии H, O, C, S, CO,  $C_2$ , CS,  $S_2$ , OH и NH. Были подробно исследованы пространственные профили этих линий.

Кривая блеска кометы была нами построена по 964 оценкам интегрального визуального блеска, полученным с 2 февраля 2002 г. по 14 июля 2002 г. Кривую блеска отличает почти полное отсутствие вспышек блеска: не более 3 вспышек до перигелия и около 9 вспышек после перигелия, причем все они небольшой амплитуды (рис. 3).

Найденные нами значения фотометрических параметров  $H_y$  и  $n$  приведены в табл. 1. Как видно из рис. 3, после перигелия параметр  $n$  резко изменил свое значение на гелиоцентрическом расстоянии  $r \approx 1.202$  а.е. (табл. 2).

**C/2002 F1 (Utsunomiya).** Комету визуально открыл японский наблюдатель S.Utsunomiya с помощью 15-см бинокля на утреннем небе как диффузный объект  $10^m$  со слабой центральной конденсацией. Комета была сильно конденсированной и имела короткий хвост. Через перигелий комета прошла 22.8985 апреля 2002 г. на расстоянии 0.438299 а.е. от Солнца. Ее орбита эллиптическая с эксцентриситетом  $e = 0.999541$  и ее плоскость сильно наклонена к плоскости эклиптики ( $i = 80.9^\circ$ ).

A.J.Lovell, E.S.Howell и F.P.Schloerb наблюдали комету с помощью 300-м радиотелескопа в Аресибо в линии OH на длине волны 18 см и построили карты излучения кометы в этой радиолнии.

Кривая блеска кометы построена нами на основе 89 оценок интегрального блеска кометы, полученных с 21 марта 2002 г. по 26 мая 2002 г. Как видно из рис. 4, кривая блеска этой кометы имеет примечательный двугорбый вид с двумя сериями вспышек блеска, расположенных симметрично относительно перигелия. На кривой блеска выделяется не менее 12 вспышек блеска: 6 вспышек до перигелия и 6 — после.

Найденные нами значения фотометрических параметров  $H_y$  и  $n$  приведены в табл. 1. Как оказалось, фотометрический параметр  $n$  два раза изменял свое значение до перигелия и два раза — после (рис. 4). Причем изменения этого параметра происходили симметрично относительно перигелия (табл. 2). На кривой блеска этой кометы видна еще одна, новая особенность: изменения параметра  $n$  совпадали с моментами вспышек блеска (рис. 4). Эта особенность заметна также на кривых блеска кометы C/2001 LINEAR A2 (рис. 2) и кометы 19P–Borrelly (рис. 5). Вопрос о том, что

в обнаруженном явлении причина, а что следствие (изменение параметра  $n$  провоцирует вспышку блеска или же наоборот, вспышка блеска приводит к резкому изменению значения параметра  $n$ ) требует, по-видимому, дополнительного исследования.

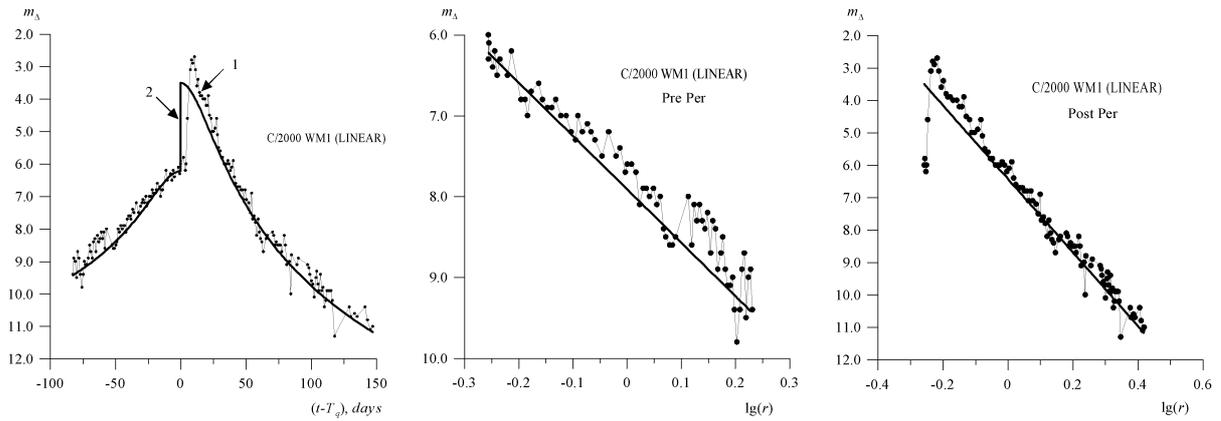


Рис. 1. Кривая блеска кометы C/2000 WM1 (LINEAR) и ее аппроксимация формулой С.Орлова (табл. 1).

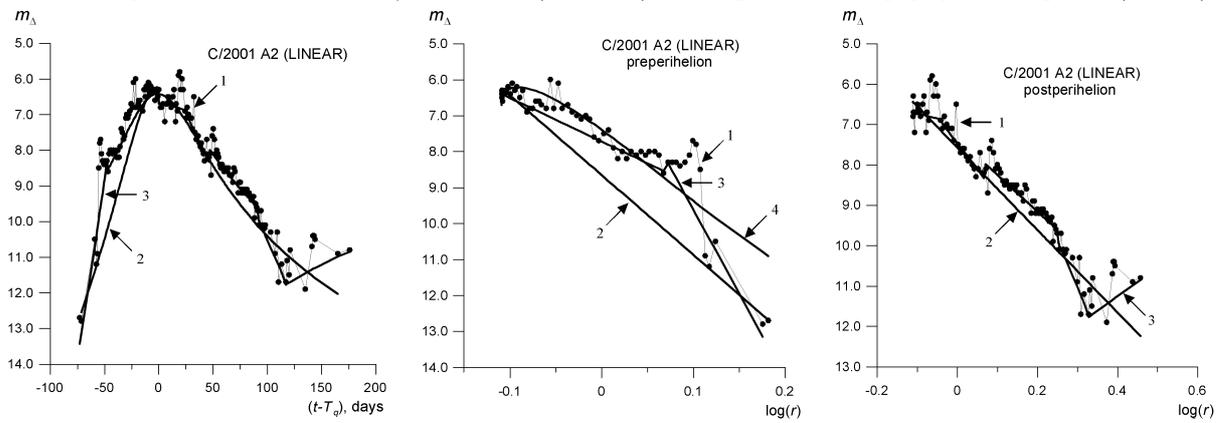


Рис. 2. Кривая блеска кометы C/2001 A2 (LINEAR): 1 — наблюдаемая кривая; 2 — теоретическая кривая без учета скачкообразных изменений параметра  $n$  (табл. 1); 3 — теоретическая кривая с учетом изменений параметра  $n$  (табл. 2); 4 — теоретическая кривая с учетом влияния фазовой зависимости блеска.

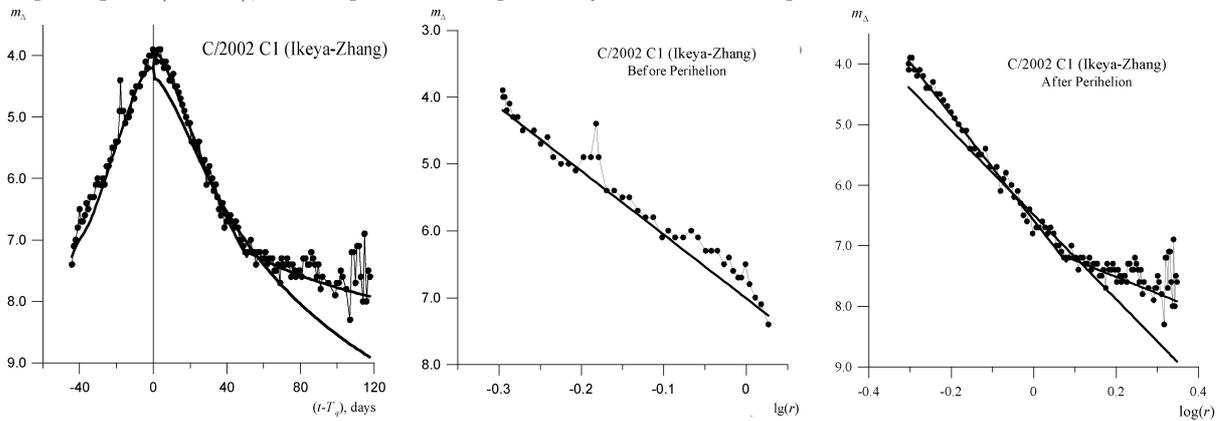


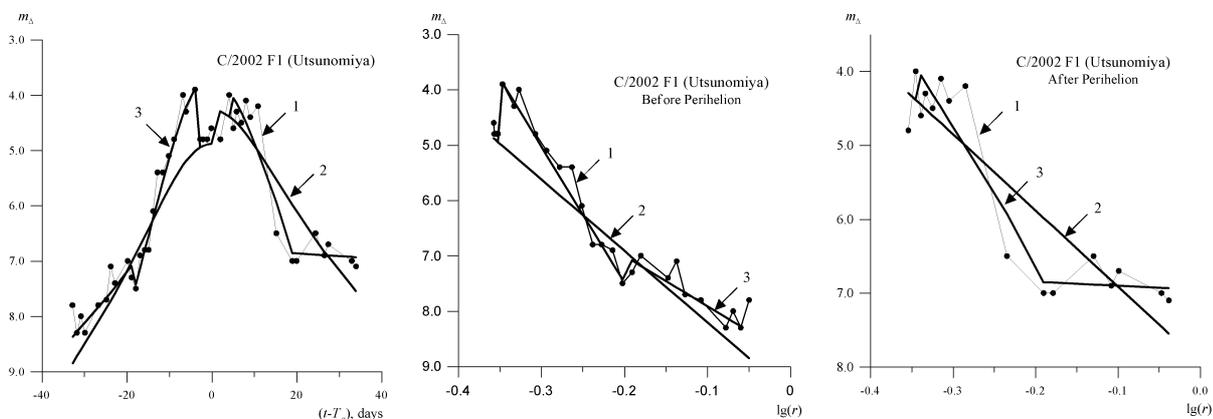
Рис. 3. Кривая блеска кометы C/2002 C1 (Ikeya-Zhang) и ее аппроксимации формулой С.Орлова без учета скачкообразного изменения параметра  $n$  на послеперигелийном участке кривой блеска (табл. 1) и с учетом этого обстоятельства (табл. 2).

**19P-Borrelly.** Это двенадцатое наблюдаемое появление короткопериодической кометы, которая была визуально открыта 28 декабря 1904 г. А.Л.Н.Вогрелли на Марсельской обсерватории с помощью 16-см рефрактора. Комета имеет период 6.86 года и в очередной раз прошла через перигелий 14.7334 сентября 2001 г. на расстоянии 1.3582 а.е. от Солнца.

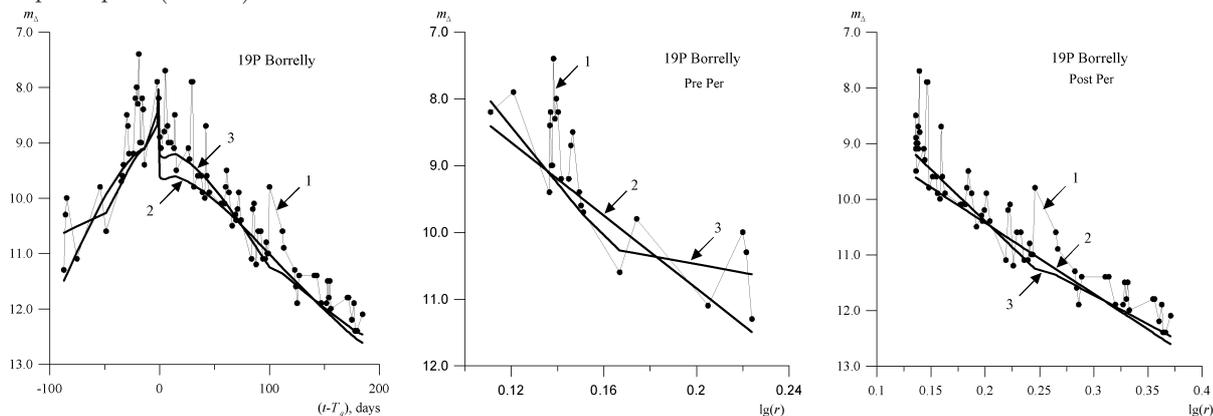
Эта комета была избрана объектом исследования с помощью космического аппарата “Deep Space-1”, который 22 сентября 2001 г. в 22<sup>h</sup>30<sup>m</sup> UT прошел на расстоянии 2171 км от ядра кометы. На борту DS-1 были установлены приборы, которые позволяли получать черно-белые изображения, проводить спектральные ИК-измерения, измерять концентрацию ионов и электронов, а также измерять магнитные поля в окрестностях кометы.

За несколько часов до наименьшего сближения с кометой ионные и электронные датчики DS-1 начали регистрировать кометное вещество. За 32 минуты до наименьшего сближения камеры DS-1 начали снимать ядро кометы и наилучшее изображение было получено за несколько минут до минимального сближения. На снимках ядро имеет вытянутую форму длиной около 8 км. На поверхности ядра были обнаружены несколько активных областей, а также кратеры. Был подтвержден вывод, сделанный еще по результатам наземных наблюдений о том, что у этой кометы активно всего около 10% поверхности ядра.

За 2 минуты до минимального сближения ионные и электронные датчики были повернуты



**Рис. 4.** Кривая блеска кометы C/2002 F1 (Utsunomiya): 1 — наблюдаемая кривая; 2 — теоретическая кривая без учета скачкообразных изменений параметра  $n$  (табл. 1); 3 — теоретическая кривая с учетом изменений параметра  $n$  (табл. 2).



**Рис. 5.** Кривая блеска кометы 19P-Borrelly: 1 — наблюдаемая кривая; 2 — теоретическая кривая без учета скачкообразных изменений параметра  $n$  (табл. 1); 3 — теоретическая кривая с учетом изменений параметра  $n$  (табл. 2).

в сторону от ядра кометы с тем, чтобы они могли тщательно исследовать газовую и пылевую составляющие внутренней комы.

Кривая блеска была построена нами на основе 146 оценок интегрального блеска, полученных с 19 июня 2001 г. по 19 марта 2002 г. Как видно из рис. 5, для кометы характерна сильная вспышечная активность: на кривой блеска выделяется не менее 5 вспышек блеска до перигелия и не менее 10 вспышек после перигелия, причем амплитуды вспышек  $\geq 1^m$ .

Найденные нами значения фотометрических параметров  $H_y$  и  $n$  приведены в табл. 1. Как видно из рис. 5, параметр  $n$  изменял свое значение как до, так и после перигелия (табл. 2), причем моменты изменения параметра  $n$  совпадали со вспышками блеска.

Сравнение кривой блеска, построенной по наблюдениям, полученным во время последнего появления с кривыми блеска, построенными по наблюдениям кометы в появлениях 1981 г. и 1987 г. [1], показало, что кривая блеска кометы сохраняет свою форму от появления к появлению и имеет сравнимое значение параметра  $n$  в различных появлениях, но в появлении 2001 г. комета была слабее на  $\geq 1^m$ , чем в появлении 1981 г. и на  $\sim 0^m.6 - 1^m$  слабее, чем в появлении 1987 г. (табл. 1).

#### **Выводы:**

1. Построены и исследованы кривые блеска новых комет C/2000 WM1 (LINEAR), C/2001 A2 (LINEAR), C/2002 C1 (Ikeya-Zhang), C/2002 F1 (Utsunomiya) и короткопериодической кометы 19P/Borrelly.

2. Определены фотометрические параметры  $H_y$  и  $n$  этих комет и параметры их вспышечной активности.

3. У комет C/2001 A2, C/2002 C1, C/2002 F1 и 19P обнаружены скачкообразные изменения параметра  $n$  на до- и послеперигелийных участках орбиты.

4. У кометы C/2001 A2 обнаружено влияние фазовой зависимости блеска на доперигелийном участке кометной орбиты и определено значение фазового коэффициента.

5. Проведено сравнение кривой блеска короткопериодической кометы 19P/Borrelly в трех ее появлениях: 1981, 1987 и 2001 гг.

1. Филоненко В.С., Чурюмов К.И. Кривые блеска комет. III. Кометы П/Боррелли (1981 IV) и (1987 XXXIII), П/Темпель-1 (1983 XI), Чернис (1983 XII) // *Кометный Циркуляр*. — 1990. — № 419. — С. 4–6.
2. Филоненко В.С. Кривые блеска, вспышечная активность и физические характеристики комет // *Труды международной конференции КАММАК-99 «Современные проблемы комет, астероидов, метеоров, метеоритов, астроблем и кратеров»*. — Винница, 26 сентября — 1 октября 1999 г. — Винница, 2000. — С. 125–131.
3. Филоненко В.С., Чурюмов К.И. Кривые блеска избранных комет: фотометрические параметры и вспышки блеска // *Астрон. Вестн.* — 2001. — **35**, № 2. - С. 158–162.
4. Филоненко В.С., Чурюмов К.И. Некоторые особенности кривых блеска и вспышечной активности комет // *Астрон. Вестн.* — 2003. — **37**, № 2.

Поступила в редакцию 9.09.2004