



УДК 523.6+521

Развитие вспышки блеска кометы Холмса — модель и наблюдения

Н.В. Куликова, В.И. Тищенко

Обнинский Государственный Технический Университет (ИАТЭ), Россия

В статье рассматривается развитие вспышки блеска кометы 17P/Холмса, зарегистрированной в октябре 2007 года. Авторами процесс дезинтеграции кометы рассматривается как изотропный выброс твердой составляющей кометного ядра в любой точке орбиты исследуемого небесного тела с заданным диапазоном скоростей выброса. Результаты моделирования позволяют выявить основные тенденции изменений орбитальных элементов выброшенных фрагментов и построить общую картину заполнения региона космического пространства орбитами продуктов распада исследуемого объекта на расчетном интервале времени, уточнить возможность взаимосвязи комет с метеорными потоками, наблюдаемыми на Земле. Данная технология была применена для рассмотрения жизненного цикла кометы Холмса. Используя полученные элементы орбит кометы, авторы провели моделирование дезинтеграции ядра кометы для всех 17 обращений и получили возможный метеороидный комплекс кометы 17P/Холмса.

РОЗВИТОК СПАЛАХУ БЛИСКУ КОМЕТИ ХОЛМСА — МОДЕЛЬ ТА СПОСТЕРЕЖЕННЯ, Куликова Н.В., Тищенко В.І. — В статті розглядається розвиток спалаху блиску комети 17P/Холмса, зареєстрованого в жовтні 2007 року. Автори розглянули процес дезинтеграції комети як ізотропний викид твердої складової кометного ядра в будь-якій точці орбіти досліджуваного небесного тіла з заданим діапазоном швидкостей викиду. Результати моделювання дозволяють виявити основні тенденції змін орбітальних елементів викинутих фрагментів і побудувати загальну картину заповнення регіона космічного простору орбітами продуктів розпаду досліджуваного об'єкта на розрахунковому інтервалі часу, уточнити можливість взаємозв'язку комет з метеорними потоками, що спостерігаються на Землі. Дану технологію було застосовано для розгляду життєвого циклу комети Холмса. Використовуючи отримані елементи орбіт комети, автори провели моделювання дезинтеграції ядра комети для всіх 17 обертів й отримали можливий метеороїдний комплекс комети 17P/Холмса.

THE DEVELOPMENT OF BRIGHTNESS OUTBURST OF COMET HOLMES — MODEL AND OBSERVATIONS, by Kulikova N.V., Tischenko V.I. — In this paper the development of brightness outburst of comet 17P/Holmes is considered, detected in October 2007. Authors consider the comet disintegration process as isotropic ejection of solid fraction of comet nucleus at any point along the orbit of celestial body under consideration with a set ejection velocities range. Modeling results allow to reveal the trends in orbital elements changes of ejected fragments and to construct the general picture of space fulfillment by orbits of studied object's disintegration products at a calculation time span, to check the possibility of comet and meteor showers connection. This technology was applied for consideration of comet Holmes life cycle. By using the obtained orbital elements of the comet, authors modeled the comet nucleus disintegration for all the 17 revolutions and got the possible meteoroid complex for comet 17P/Holmes.

Ключевые слова: комета 17P/Холмса; вспышка блеска; метеороидный комплекс; жизненный цикл кометы Холмса, моделирование дезинтеграции ядра кометы.

Key words: comet 17P/Holmes; brightness outburst; meteoroid complex; comet Holmes life cycle.

В настоящий момент в состав Солнечной системы включаются восемь больших планет, их спутники, астероиды, кометы и огромное количество твердых мелких тел различных размеров. Размеры метеорных тел (метеороидов) находятся в широких пределах — от долей микрона в поперечнике для пылинок до нескольких десятков сантиметров и более для крупных тел.

Обзор сведений, опубликованных в данной области исследований, позволяет сформулировать ряд выводов, из которых можно выделить следующие:

- 1) отмечается все увеличивающееся количество наблюдаемых объектов крупных размеров (болидов, больших метеороидов и др.), принадлежность которых к имеющейся организационной структуре космического пространства (кометы, астероиды, метеорные рои и др.) крайне сложно идентифицировать;
- 2) зарегистрировано значительное количество вспышек кометной яркости на больших гелиоцентрических расстояниях (свыше $2 \div 2,5$ а.е.), которые не вписываются в рамки наиболее распространенной версии об усилении активности комет при их приближении к Солнцу;
- 3) поскольку все чаще высказываются достаточно обоснованные предположения о том, что астероиды есть угасшие кометы, а количество наблюдаемых крупных тел во время действия метеорных потоков все увеличивается, вполне разумно принять кометы как основной источник создания астероидно-метеороидного комплекса в космическом пространстве.

Таблица 1. Элементы движения кометы Холмса по данным наблюдений

№	Дата прохождения перигелия	a (а.е.)	e	q (а.е.)	P (год)	ω (град)	Ω (град)	i (град)
1.	14 июня 1892 г.	3.624	0.409	2.142	6.902	14.37	331.64	20.79
2.	28 апреля 1899 г.	3.613	0.411	2.128	6.874	14.09	331.72	20.80
3.	14 марта 1906 г.	3.609	0.412	2.122	6.857	14.31	331.67	20.82
Нет информации о наблюдениях за 10 обращений								
4.	15 ноября 1964 г.	3.779	0.3789	2.347	7.35	21.84	329.55	21.84
5.	30 января 1972 г.	3.677	0.414	2.155	7.046	23.43	327.46	19.22
6.	22 февраля 1979 г.	3.679	0.413	2.160		23.60	327.38	19.20
7.	14 марта 1986 г.	3.439	0.369	2.17	7.08	23.34	327.34	19.18
8.	10 апреля 1993 г.	Объект 18^m с незначительной центральной конденсацией и комой диаметром $20'$						
9.	11 мая 2000 г.	3.68	0.412	2.165	7.07	23.35	328.01	19.187
10.	4 мая 2007 г.	3.617	0.432	2.05	6.88	24.26	326.86	19.11

Ближайшее явление вспышечной активности зарегистрировано в октябре 2007 года. Наблюдателями была зафиксирована неожиданно яркая вспышка кометы 17P/Холмса.

Комета 17P/Холмса была открыта 6 ноября 1892 г. как объект 4–5 звездной величины, диаметр комы оценивался $5'$. Считается, что она была открыта в момент мощной вспышки. Период обращения кометы составляет 7 лет. Она наблюдалась в десяти возвращениях из семнадцати возможных. После 1906 года комета была утеряна и до 1964 года вообще не наблюдалась. С 1964 г. регулярно наблюдалась как объект $18-19^m$, в 2000 г. — как объект 16^m . Последний раз прошла перигелий 4 мая 2007 г. с той же яркостью, но 24 октября 2007 г. увеличила блеск за сутки по разным оценкам от 400 000 до 1 000 000 раз и достигла яркости 3^m . Предполагают, что комета распалась на фрагменты на расстоянии около 1,63 а.е. от Земли.

Расположение орбиты кометы в Солнечной системе в момент ее открытия представлено на рис. 1, а на рис. 2 приведено развитие вспышечной активности в течение суток с момента регистрации вспышки [1].

Аналогичное развитие вспышки было зафиксировано многими наблюдателями, в том числе и нашими коллегами из обсерватории Воронежского государственного университета (руководитель группы - доцент кафедры оптики и спектроскопии Расхожев В.Н.), которые предоставили некоторые результаты своих наблюдений авторам данной статьи (рис. 3–4).

Поскольку малые тела Солнечной системы в процессе эволюции проявляют сложное поведение, которое трудно описать и объяснить в рамках классической небесно-механической теории движения, то во второй половине XX столетия начинают разрабатываться вероятностные формы описания процесса эрупции вещества из родительского тела в любой точке траектории его движения и исследовать модели существования возникающих при этом новых классов малых тел [2–4].

Процессы выброса вещества являются стохастическими процессами, когда априори неизвестны начальные условия выброса. Поскольку случайность — это неотъемлемая часть большинства происходящих в природе явлений, то стохастический подход в этом случае вполне правомерен. Тогда можно выделить следующие направления исследований:

- выявление структур новых образований на основе наиболее вероятных механизмов дезинтеграции родительских тел;
- определение возможности возникновения и существования новых классов малых тел в космическом пространстве;
- эволюционное движение в межпланетном пространстве новых образований и остатков начальных объектов под действием факторов гравитационного и негравитационного характера.

За последние годы появилось довольно много сведений о целом ряде малых небесных тел, наблюдавшихся в течение исторически длительных интервалов времени, что позволяет провести вероятностное моделирование на основе наиболее достоверных начальных данных. Именно такие объекты представляют значительный интерес для компьютерного моделирования эрупции кометных ядер во всех известных появлениях с целью исследования возможности образования метеороидных комплексов, их дальнейшей эволюции, установления генетической связи с конкретными метеорными потоками, а также определением космических регионов, в которых столкновение с фрагментами распада наиболее возможно. Современные средства вычислительной техники дают возможность разрабатывать специализированные компьютерные технологии, позволяющие получать решения, в том числе, и вышеперечисленных задач.

Авторами разработана компьютерная технология, в базовом варианте которой процесс дезинтеграции рассматривается как изотропный выброс твердой составляющей кометного ядра в любой точке орбиты исследуемого небесного тела с заданным диапазоном скоростей выброса [5–7].

Результаты моделирования позволяют выявить основные тенденции изменений орбитальных элементов выброшенных фрагментов и построить общую картину заполнения региона космического пространства орбитами продуктов распада исследуемого объекта на расчетном интервале времени, уточнить возможность взаимосвязи комет с метеорными потоками, наблюдаемыми на Земле. Данная технология была применена для рассмотрения жизненного цикла кометы Холмса. Авторы осуществили модельную дезинтеграцию кометы по всей её орбите со скоростями выброса до 100 м/с для всех наблюдавшихся девяти появлений. Исходные данные для моделирования представлены в табл. 1.

Возможный метеороидный комплекс, формирующийся за активную деятельность кометы с 1892 г. по 2007 г., представлен на рис. 5.

Были получены величины отклонений элементов орбит модельных фрагментов, выброшенных из ядра кометы и динамика их изменений в процессе формирования выбросовых явлений по всей орбите кометы и для всех наблюдавшихся появлений в заданном диапазоне скоростей выброса. Для появления кометы в 2007 г. эти результаты приведены на рис. 6.

Учет гравитационных возмущений при движении кометы в Солнечной системе [8–9] позволяет получить сводку элементов орбиты для конкретного года появления, что дает возможность восстановить элементы орбиты для ненаблюдавшихся проходов кометы (табл. 2).

Сравнение результатов моделирования (табл. 2) с данными наблюдений (табл. 1) показывают вполне удовлетворительное согласие данных. Используя полученные элементы орбит кометы, авторы провели моделирование дезинтеграции ядра кометы для всех 17 обращений и получили возможный метеороидный комплекс кометы 17P/Холмса.

На рис. 7 представлена проекция эволюционного развития этого метеороидного комплекса на плос-

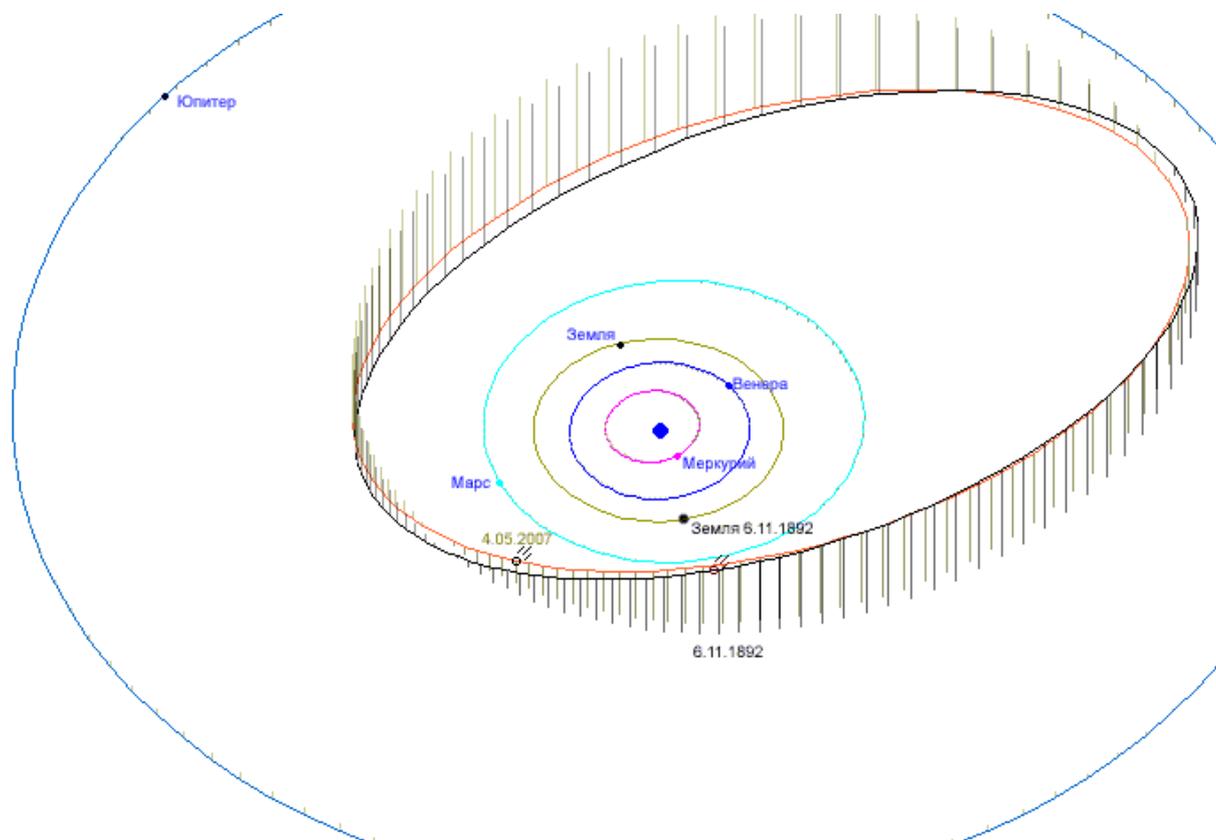


Рис. 1. Иллюстрация Солнечной системы в моменты открытия кометы в 1892 г. и прохождения перигелия в 2007 г.

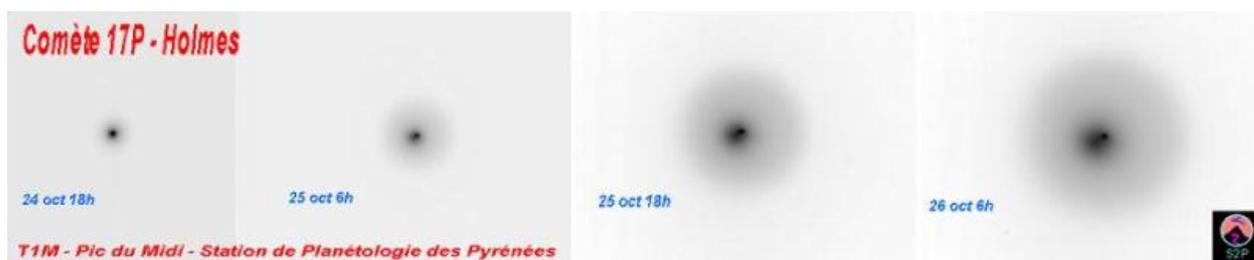


Рис. 2. Наблюдения кометы Холмса 24–26 октября 2007 г.

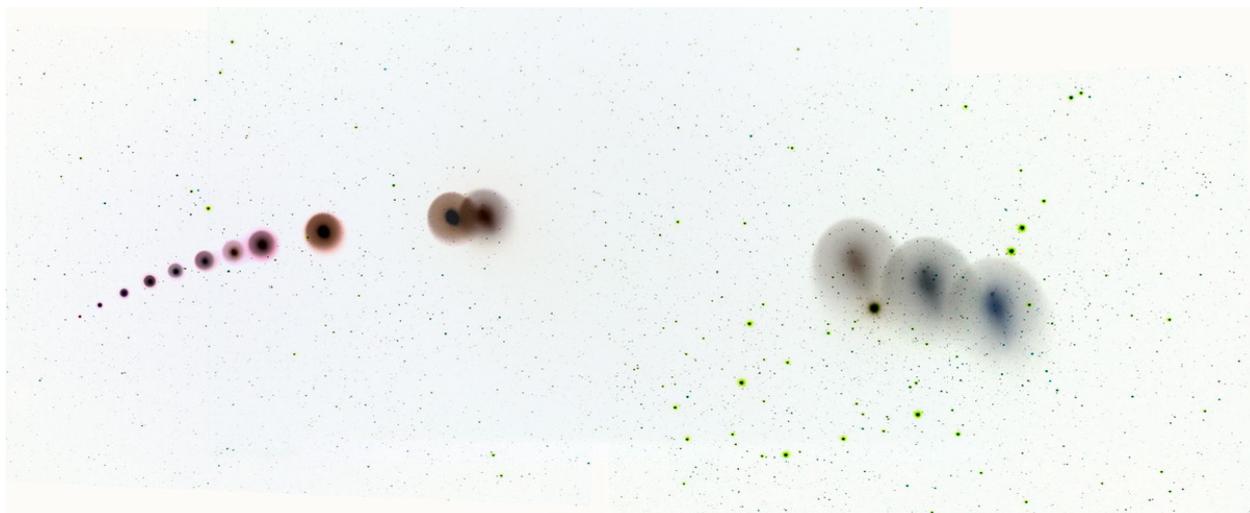


Рис. 3. Наблюдения кометы Холмса с 24.10 по 22.11 2007 г. (г. Воронеж)

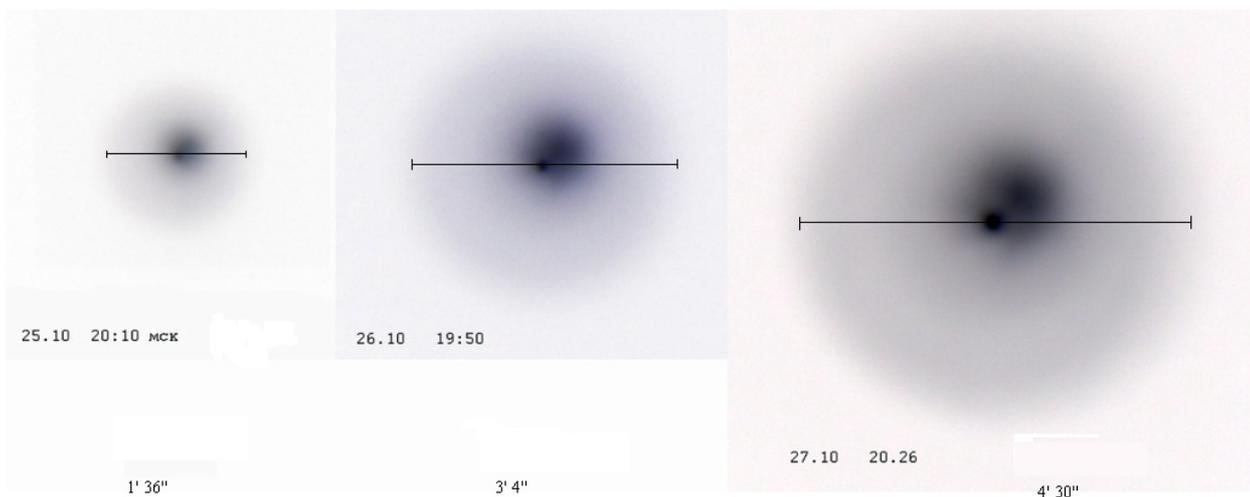


Рис. 4. Изменение комы кометы Холмса с 25.10 по 27.10 2007 г. (г. Воронеж)

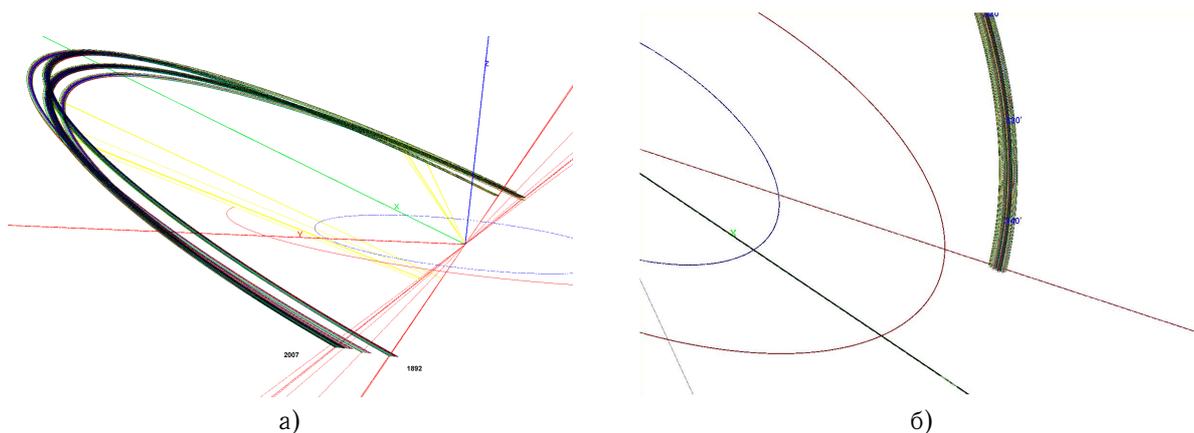


Рис. 5. Пространственное представление возможного метеороидного комплекса кометы Холмса: (а) за девять наблюдаемых появлений; (б) в нисходящем узле при появлении кометы в 2007 г.

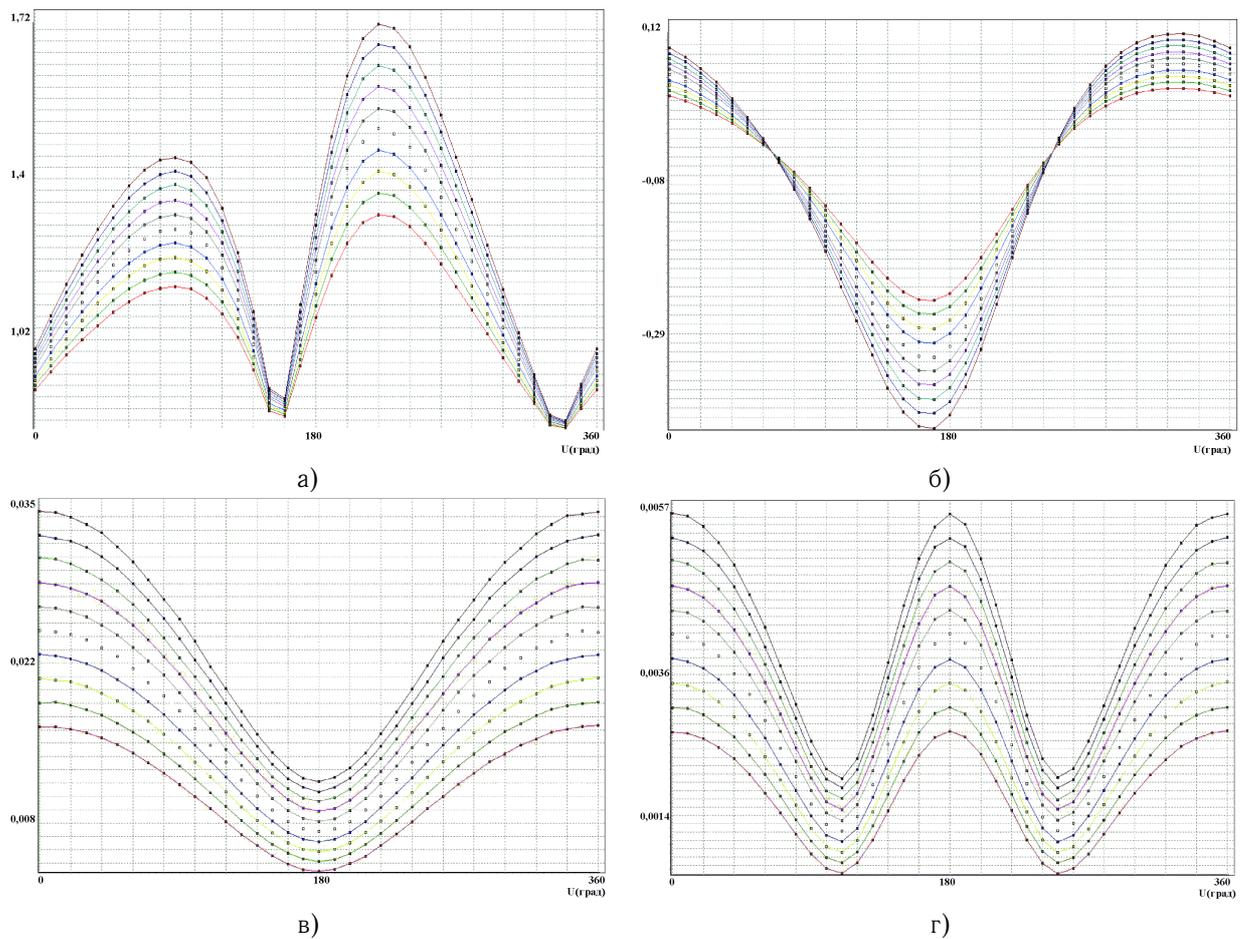


Рис. 6. Вариации отклонений элементов орбит выброшенных фрагментов из ядра кометы Холмса для 2007 г.: (а) долгота восходящего узла, (б) угол наклона, (в) большая полуось, (г) эксцентриситет

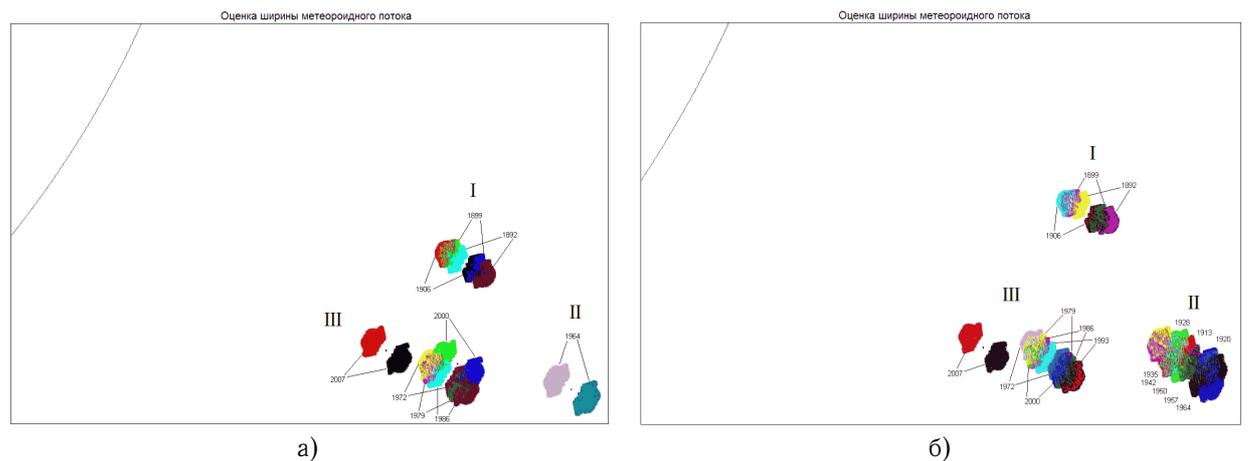


Рис. 7. Расположение областей пересечения орбит фрагментов выброса из ядра кометы с плоскостью эклиптики: (а) метеороидные комплексы, полученные по исходным данным наблюдений; (б) метеороидные комплексы, полученные по исходным данным моделирования.

Таблица 2. Элементы орбит кометы Холмса по данным моделирования для 17 обращений

№	Дата прохождения перигелия	a (а.е.)	e	q (а.е.)	P (год)	ω (град)	Ω (град)	i (град)
1.	15 июня 1892 г.	3.625	0.4095	2.1406	6.9018	14.28	333.22	20.805
2.	09 апреля 1899 г.	3.615	0.4113	2.1281	6.8732	14.06	333.14	20.814
3.	16 марта 1906 г.	3.609	0.4123	2.121	6.8561	14.26	333.08	20.826
4.	21 июля 1913 г.	3.778	0.3798	2.3431	7.3433	22.08	330.72	19.520
5.	30 ноября 1920 г.	3.788	0.3786	2.3538	7.3725	22.189	330.66	19.498
6.	09 апреля 1928 г.	3.783	0.3802	2.3447	7.3579	22.084	330.66	19.508
7.	01 августа 1935 г.	3.764	0.3843	2.3175	7.3025	21.892	330.49	19.528
8.	24 ноября 1942 г.	3.762	0.3843	2.3163	7.2967	22.141	330.40	19.524
9.	19 марта 1950 г.	3.782	0.3798	2.3451	7.3550	21.997	330.24	19.472
10.	28 июля 1957 г.	3.790	0.3778	2.3581	7.3783	21.959	330.21	19.442
11.	09 декабря 1964 г.	3.779	0.3796	2.3445	7.3462	22.075	330.18	19.463
12.	21 февраля 1972 г.	3.670	0.418	2.1359	7.0307	23.88	327.79	19.050
13.	10 марта 1979 г.	3.675	0.417	2.1424	7.0451	24.048	327.72	19.036
14.	24 марта 1986 г.	3.681	0.416	2.1497	7.0623	23.80	327.68	19.027
15.	15 апреля 1993 г.	3.686	0.414	2.1599	7.0767	23.69	327.67	18.997
16.	14 мая 2000 г.	3.677	0.416	2.1473	7.0508	23.81	327.64	19.01
17.	04 мая 2007 г.	3.615	0.435	2.0424	6.8732	24.65	326.57	18.95

кость эклиптики. Правая часть (рис. 7а) рисунка — это картина расположения в пространстве и временная эволюция метеороидного комплекса, полученного с использованием в качестве исходных данных для моделирования наблюденных элементов орбиты кометы в соответствующий год её появления.

Поскольку в процессе моделирования получают отклонения орбитальных элементов выброшенных фрагментов в пределах $\pm \delta f$ (где f — элементы орбиты a, e, i, Ω, ω), то комплекс имеет две ветви по отношению к орбите родительского тела для каждого обращения кометы. Слева (рис. 7б) мы имеем аналогичную картину, полученную для всех 17 обращений кометы с исходными данными табл. 2. Четко выделяются три области концентрации комплекса (рис. 7а), ограниченные временными интервалами наблюдения кометы: 1892–1906 гг. (область I), 1964 г. (область II), 1972–2007 гг. (область III). Перемещение в пространстве комплекса происходит от области I к области III. Восстановленные моделированием орбиты ненаблюдавшихся обращений кометы со своими комплексами группируются в области II. Внимательное рассмотрение временных интервалов позволяет предположить, что комета находится в конкретной области пространства на протяжении восьми обращений, после чего перемещается в другой регион. Если это соответствует действительности, то комету открыли в момент вспышки, после которой через два обращения она резко изменила свою орбиту. Все восемь последующих обращений (1913–1964 гг.), кроме последнего (1964 г.), были с Земли не наблюдаемы или не идентифицировались с кометой Холмса. В следующей группе наблюдений (область III) в настоящий момент имеется 6 наблюдений, и возможно в этой области комета появится еще дважды. Такое изменение орбиты может быть связано как с мощными дезинтеграционными процессами в самой комете, так и с действием других эффектов негравитационного и гравитационного характера и, в не последнюю очередь, влиянием Юпитера (рис. 8).



Рис. 8. Иллюстрация Солнечной системы с учетом гравитационного движения кометы Холмса: (а) в 1913 г.; (б) в 1972 г.

1. www.astronet.ru
2. Куликова Н.В. К теории образования метеорных потоков // *Астроном. вестник М.*-1971.-Т.5.-№ 3.-С.181-184.
3. Куликова Н.В. Образование, эволюция и природа метеорных роев в космическом пространстве: Дисс. ... д.ф.-м.н. — Обнинск, 1988. — 327 с.
4. Куликова Н.В., Мышев А.В., Чепурова В.М. Стохастическая динамика малых тел Солнечной системы // *М. Известия АН (Серия физическая)*. — 1998. — **62**, №9. — С. 1902–1906.
5. Kulikova N.V., Tischenko V.I. Computer technologies for processing and presenting simulation results and astronomical observational data. // *Astronomical and Astrophysical Transactions*. — 2003. — № 4–5. — P. 535–541.
6. Tischenko V.I. Information technology for visualization of a dynamical evolution of meteoroid complexes // *Astronomical and Astrophysical Transaction*. — 2004. — **23**, № 5. — P. 475–480.
7. Тищенко В.И. Компьютерная технология исследования метеороидных комплексов в ближнем космосе: Дисс. ... к.ф.-м.н. — Обнинск, 2005. — 162 с.
8. Чепурова В.М., Куликова Н.В., Черкасов Е.А. Численное и аналитическое моделирование движения малых тел Солнечной системы // *Сб. трудов конф. «Околосемная астрономия»*, Казань, 19–24 сент. 2005. — ИНАСАН, КазГУ, 2006. — С. 40–45.
9. Kulikova N.V., Chepurova V.M. Realized Consideration of gravitational Perturbations in the Evolution of meteor Complexes // affiliated to the International Conference “Computer Algebra in Scientific Computing – 2006” (CASC–2006), Chisinau, Sept., 11–12, 2006. — P. 128–135.

Поступила в редакцию 24.10.2011