

УДК 523.61: 004.9

ОСОБЕННОСТИ ДИНАМИКИ ДВИЖЕНИЯ КОМЕТЫ ХОЛМСА НА ИНТЕРВАЛЕ 1892–2300 ЛЕТ

Куликова Н. В.¹, Тищенко В. И.², Петровская Е. Н.³

PECULIARITIES OF THE DYNAMICAL MOTION OF HOLMES COMET FROM 1892 TO 2300

Kulikova N. V., Tishchenko V. I., Petrovskaya E. N.

A developed computer method is applied as a prognostic technique for simulating space-time evolutionary development of small celestial objects within a dynamic system under input data uncertainty. Holmes' comet is chosen as an object. Simulation of disintegration as well as motion dynamics has been carried out from 1892 till 2300. Periodic fluctuations of orbit elements which govern sudden changes in positions of the object formed during meteoroid complex disintegration in space are recognized from obtained visual representations of space orientation of the three-body system Jupiter – Saturn – comet. Time intervals between sudden object shifts in space are determined that allows the place of subsequent observations to be refined.

Keywords: computer technology, probabilistic simulation, visualizing results, disintegration processes, motion dynamics, space system orientation.

Введение

Отмечается, что причину, по которой комета Холмса внезапно вспыхнула в конце 2007 г., скорее всего, будет трудно установить, поскольку в 1892 г. данная комета была открыта наблюдателями в момент аналогичной мощной вспышки. Период обращения кометы тогда был определён в 7 лет. Она наблюдалась в 10 обращениях из 17 возможных. После 1906 г. комета была утеряна и до 1964 г. вообще не наблюдалась. С 1964 г. отмечалась как объект 18–19 звёздной величины, а в 2000 г. как объект 16 звёздной величины, с этой же яркостью она прошла перигелий 4 мая 2007 г., но 24 октября 2007 г. за сутки резко увеличила блеск и достигла яркости 3-ей звёздной величины.

Основные гипотезы, обсуждаемые в форме вариантов зафиксированных явлений, можно рассматривать как: 1) взрывы коме-

ты, происходящие примерно на одном и том же участке её орбиты, есть результат столкновения ядра с астероидами; 2) взрывы ядра, обусловленные падением на него его собственных спутников; 3) взрывы как следствие развала ядра водяными парами под воздействием солнечных лучей. При детальном рассмотрении выше перечисленных гипотез все они оказываются несостоятельными.

1. Постановка задачи

Конкретные результаты, полученные по изображениям внутренней комы кометы в момент взрыва с телескопа Хаббла, оценивают её около 14 тыс. км. Поперечник ядра оценивается примерно 3,6–4 км. Изображения, полученные телескопом "Spitzer", позволяют предположить силикатный состав пылевых частиц. Есть предположение, что при-

¹Куликова Нэллы Васильевна, д-р физ.-мат. наук, профессор кафедры компьютерных систем, сетей и технологий Института атомной энергетики «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»»; e-mail: kulikova@iate.obninsk.ru.

²Тищенко Валентина Ивановна, канд. физ.-мат. наук, доцент кафедры компьютерных систем, сетей и технологий Института атомной энергетики «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»»; e-mail: tishchenko@iate.obninsk.ru.

³Петровская Елена Николаевна, старший преподаватель кафедры компьютерных систем, сетей и технологий Института атомной энергетики «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»»; e-mail: pen@iate.obninsk.ru.

рода взрывов в ядре кометы, отмечающаяся наблюдателями, связана с колебаниями величины перигелийного расстояния её орбиты в разные моменты появления кометы. Так при прохождении кометы вблизи Юпитера в 1908 г. её перигелий изменился с 2,16 до 2,34 а.е. Затем до 1964 г. комета не наблюдалась, а в январе 2004 г. перигелий составлял 2,05 а.е. [1, 2].

В условиях указанных неопределённостей авторы применили относительно кометы Холмса разработанную ими ранее компьютерную технологию [3, 4] для моделирования процесса образования и последующего эволюционного движения в космическом пространстве метеороидных комплексов, образующихся при дезинтеграции родительского тела. Первоначально была осуществлена модельная дезинтеграция кометы по всей её орбите со скоростями выброса до 100 м/с для всех наблюдавшихся девяти появлений.

2. Предварительные результаты

Были получены величины отклонений элементов орбит модельных фрагментов, выброшенных из ядра кометы и динамика их изменений в процессе формирования выбросов явлений по всей орбите кометы для всех наблюдавшихся появлений. Далее, базирясь на полученных в процессе дезинтеграции результатах, работает алгоритм формирования и пространственно-временной эволюции метеороидного комплекса с центральным телом. Учет гравитационных возмущений, оказывающих влияние на движение кометы [5, 6], позволяет получить уточнённую сводку элементов орбиты для конкретного момента, и возникает возможность восстановления элементов орбиты для ненаблюдавшихся прохождений кометы. Гравитационные возмущения учитываются в виде двух составляющих: а) гравитационные возмущения в задаче N -тел, определённые численным интегрированием для N от двух до восьми; б) возмущение от гравитационного потенциала большой планеты при сближении с нею малых тел [6]. Первоначальный метеороидный комплекс имеет границы, определённые максимальными и минимальными значениями отклонений элементов орбит фрагментов от элементов орбиты родительского тела.

3. Прогностические результаты

В процессе вычислений данные наблюдений и сама комета всегда остаются внутри границ метеороидного комплекса. Своеобразие полученных ранее результатов [7] спровоцировало авторов на моделирование динамики траектории метеороидного комплекса кометы в перспективе до 2300 г. (таблица).

На рис. 1 приведено расположение метеороидного комплекса в плоскости эклиптики при регулярных появлениях до 2300 года. Видно, что имеются достаточно регулярные смещения всего комплекса по оси Y в сторону уменьшения значения, в то время как перемещение комплекса по оси X имеют колебательный характер.

Обратим внимание на вариации периода обращения кометы на моделируемом временном интервале (рис. 2), на котором представлена динамика периода обращения кометы от оборота к обороту, вычисляемая по формуле

$$\Delta P (\%) = 100 \frac{P_{i+1} - P_i}{P_i},$$

где i — номер обращения кометы, $i = 1, 2, 3, 4, \dots, N$; $i = 1$ соответствует 1892 г., $i = N$ соответствует 2299 г.

Видно, что, во-первых, на фоне общего колебательного характера изменений периода обращения в определённые моменты времени проявляются резкие всплески значений; во-вторых, эти резкие изменения можно охарактеризовать как циклические; в-третьих, отмеченные изменения имеют как положительные, так и отрицательные значения, при этом приращения периода обращения со знаком плюс по абсолютной величине примерно на треть превышают изменения со знаком минус.

В связи с тем, что за период наблюдения кометы с 1892 по 2007 гг. был зафиксирован так называемый «плавающий перигелий» [1], а временной отрезок наблюдения данного объекта существенно меньше интервала проявления цикличности изменений периода обращения кометы, причину этого можно попытаться установить, проанализировав визуальные образы состояний Солнечной системы, полученные в процессе моделирования на каждом обороте кометы.

Рассмотрим поведение величины перигелийного расстояния q на моделируемом интервале (рис. 3). Вариации перигелийного расстояния проанализируем по трём характерным изменениям: а) резкое увеличение

Элементы орбиты кометы Холмса в интервале 2014–2299 гг. (результаты моделирования)

Дата	a (а.е.)	e	q (а.е.)	P (год)	i (°)	Ω (°)	ω (°)
30.03.2014	3,6221	0,4322	2,0566	6,8932	19,0935	326,751	24,5620
25.02.2021	3,6386	0,4281	2,0809	6,9407	19,0326	326,605	24,5224
08.02.2028	3,6476	0,4264	2,0923	6,9664	19,0041	326,578	24,5628
21.01.2035	3,6411	0,4280	2,0827	6,9479	19,0209	326,576	24,5023
21.12.2041	3,6281	0,4311	2,0640	6,9105	19,0266	326,448	24,4454
20.11.2048	3,6235	0,4318	2,0589	6,8975	19,0327	326,374	24,6251
18.01.2056	3,7292	0,4101	2,1999	7,2015	18,2808	324,913	28,3363
08.04.2063	3,7398	0,4084	2,2124	7,2301	18,2526	324,855	28,4465
26.06.2070	3,7346	0,4106	2,2012	7,2172	18,2642	324,857	28,3801
31.08.2077	3,7223	0,4127	2,1861	7,1815	18,2719	324,747	28,1813
07.11.2084	3,7183	0,4133	2,1815	7,1700	18,2749	324,665	28,4017
09.02.2092	3,7631	0,4027	2,2477	7,2999	18,0772	324,145	29,2224
04.06.2099	3,7737	0,4015	2,2586	7,3307	18,0518	324,107	29,2986
27.09.2106	3,7645	0,4032	2,2464	7,3039	18,0695	324,087	29,3016
23.12.2113	3,7243	0,4135	2,1842	7,1873	18,0829	323,536	29,5826
07.03.2121	3,7622	0,4131	2,2084	7,1929	18,0716	323,443	29,7965
17.05.2128	3,7384	0,4110	2,2018	7,2282	18,0402	323,366	29,5901
10.08.2135	3,7459	0,4092	2,2131	7,2499	18,0153	323,344	29,5229
05.11.2142	3,7356	0,4110	2,2005	7,2202	18,0338	323,309	29,6360
14.12.2149	3,6559	0,4361	2,0615	6,9902	17,7727	321,320	31,1029
15.12.2156	3,6596	0,4359	2,0643	7,0008	17,7616	321,233	31,2795
16.12.2163	3,6691	0,4338	2,0773	7,0286	17,7317	321,169	31,0803
27.12.2170	3,6761	0,4323	2,0870	7,0483	17,7090	321,156	31,0364
10.01.2178	3,6673	0,4339	2,0759	7,0230	17,7249	321,131	31,1099
27.12.2184	3,6302	0,4401	2,0327	6,9187	17,7309	320,578	31,4224
02.12.2191	3,6303	0,4437	2,0194	6,9169	17,7174	320,467	31,6602
17.11.2198	3,6583	0,4370	2,0596	6,9972	17,5939	320,147	31,9872
22.11.2205	3,6681	0,4353	2,0713	7,0253	17,5659	320,104	32,0669
25.11.2212	3,6621	0,4370	2,0618	7,0081	17,5809	320,108	31,9741
18.11.2219	3,6140	0,4390	2,0275	6,9773	17,5868	319,974	31,9227
10.11.2226	3,6463	0,4398	2,0428	6,9627	17,5828	319,898	32,0984
27.01.2234	3,7483	0,4043	2,2327	7,2567	16,7930	318,185	35,7433
07.05.2241	3,7593	0,4187	2,1852	7,2887	16,7668	318,125	35,8324
15.08.2248	3,7529	0,4206	2,1744	7,2703	16,7686	318,099	35,8631
07.11.2255	3,7350	0,4242	2,1507	7,2182	16,7819	317,907	35,7629
29.01.2263	3,7329	0,4245	2,1482	7,2122	16,7794	317,814	35,9881
01.05.2270	3,7615	0,4280	2,1893	7,2951	16,6754	317,519	36,1893
22.08.2277	3,7716	0,4165	2,2007	7,3247	16,6412	317,467	36,3016
12.12.2284	3,7612	0,4182	2,1881	7,2943	16,6593	314,439	36,3452
27.02.2292	3,7029	0,4340	2,0960	7,1205	16,5896	316,158	37,3135
20.04.2299	3,7068	0,4334	2,1005	7,1368	16,5755	316,059	37,5032

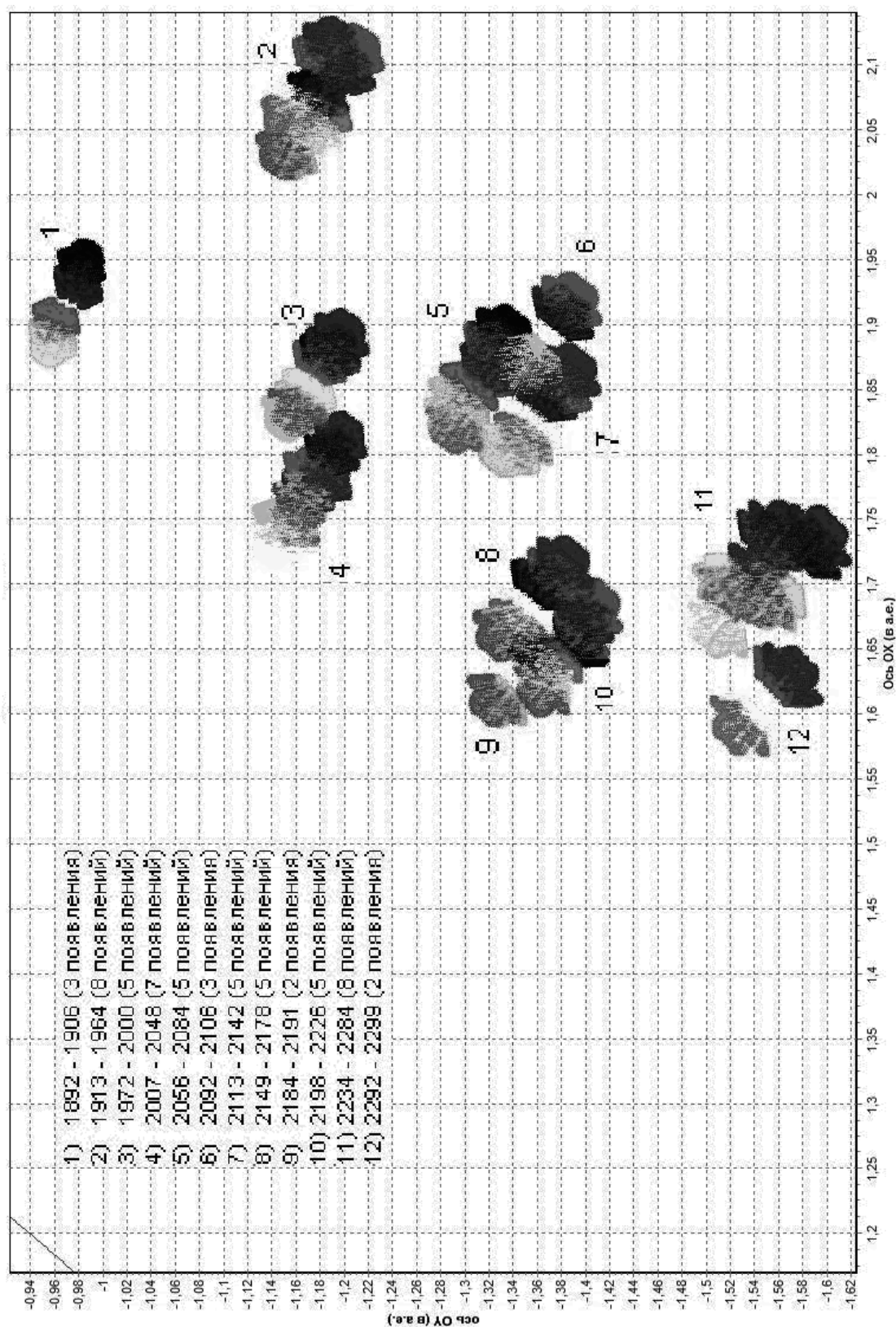


Рис. 1. Динамика траектории метеороидного комплекса кометы 17P/Холмса в перспективе до 2300 г. В левом верхнем углу — отрезок орбиты Марса

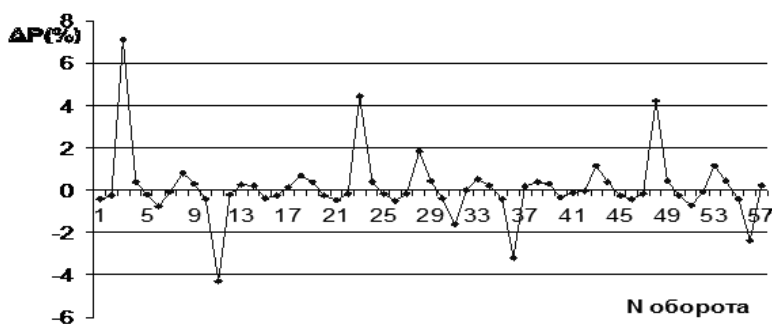
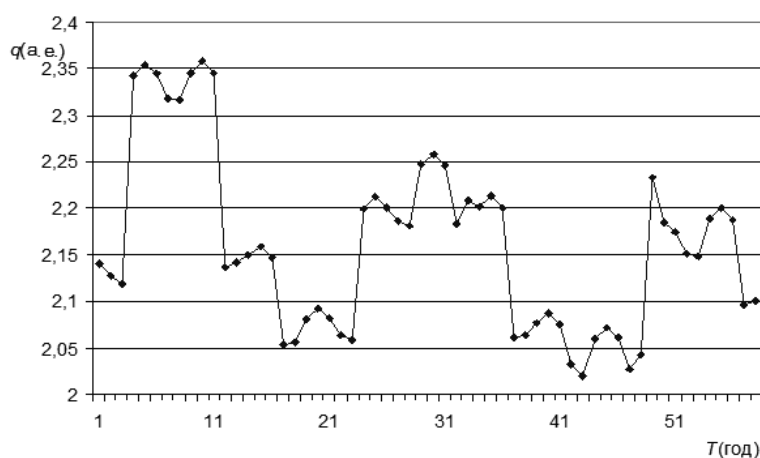


Рис. 2. Изменение периода обращения в процентах

Рис. 3. Вариации перигелийного расстояния q (а.е.) на временном интервале 1892–2299 гг. По оси X фиксируется дата прохождения кометы перигелия: 1 — 1892 г., 2 — 1899 г., 3 — 1906 г. и т.д. до 2299 г.

q ; б) резкое уменьшение q ; в) относительно небольшие псевдоколебательные изменения в промежутках между предыдущими и последующими резкими изменениями q . К категории а) можно отнести обороты кометы 1906–1913, 2048–2056, 2226–2234 гг.; к категории б) отнесём обороты 1964–1972, 2000–2007, 2142–2149, 2285–2292 гг.; к категории в) соответственно появления кометы в интервале следующих годов: 1913–1964 (8 оборотов), 1972–2048 (12 оборотов), 2056–2142 (13 оборотов), 2149–2226 (12 оборотов) и 2234–2285 (8 оборотов). Явно прослеживается тенденция «плавающего» перигелия на всём моделируемом интервале, что в перспективе отражает нереальность долговременного наблюдения кометы в одной и той же точке пространства.

Для выявления схемы пространственного перемещения кометы рассмотрим каждую из вышеперечисленных категорий по отдель-

ности, анализируя пространственное расположение объектов Солнечной системы в соответствующие периоды времени по визуальным образам планетарной системы. Эти образы получены по результатам моделирования дезинтеграции кометы Холмса с учётом гравитационных эффектов.

Картинки пространственного расположения объектов на конкретном обороте кометы будем анализировать в двух точках орбиты — в перигелии (0°) и афелии (180°). Ситуация категории а) представлена на рис. 4, 5. На рис. 4 видно, что в 1906, 2048, 2085, 2226 гг. (нижние точки интервала всплеска) система комета – Юпитер – Сатурн почти стандартна, меняет своё местоположение только Сатурн.

При этом в интервале 2048–2226 гг. ситуация полностью совпадает, что соответствует шести оборотам Юпитера (≈ 178 лет). В 1913,

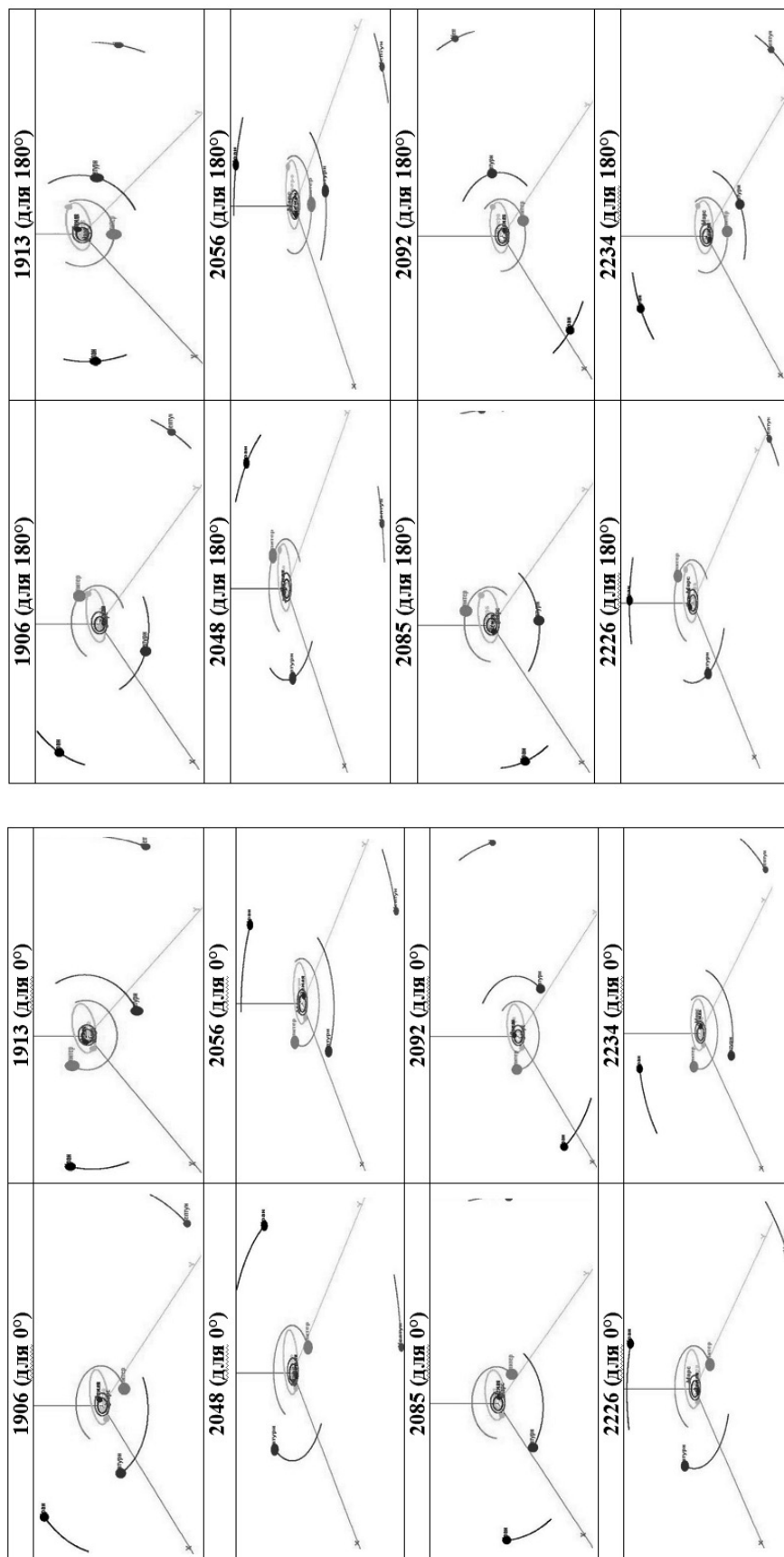


Рис. 4. Пространственное расположение объектов Солнечной системы для случая резкого увеличения перигелийного расстояния орбиты кометы (перигелий)

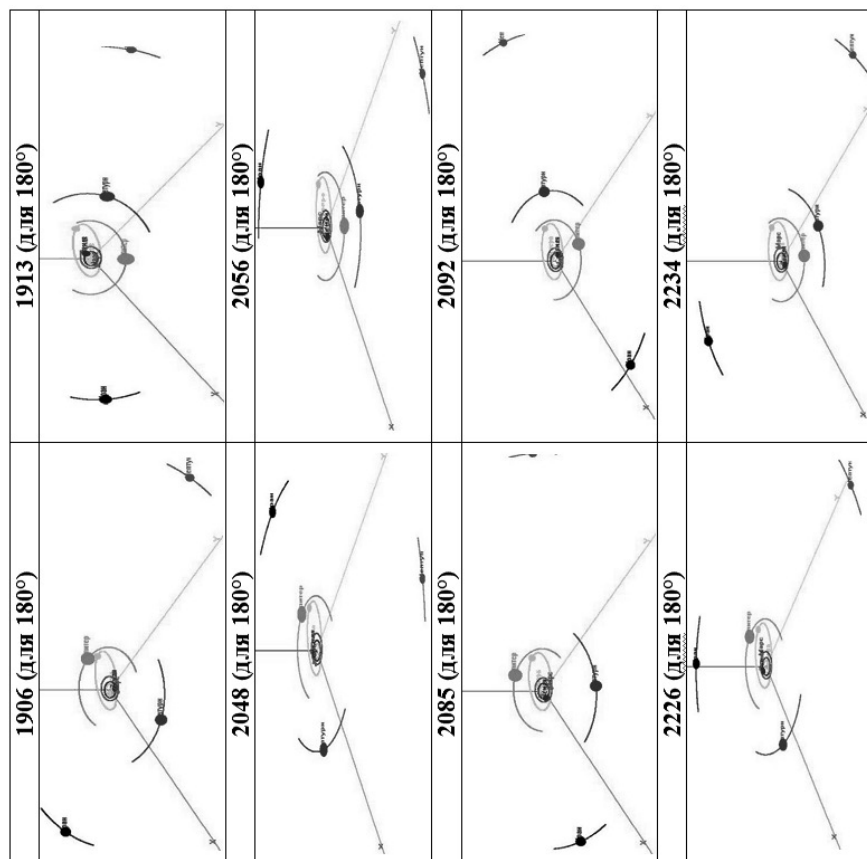


Рис. 5. Пространственное расположение объектов Солнечной системы для случая резкого увеличения перигелийного расстояния орбиты кометы (афелий)

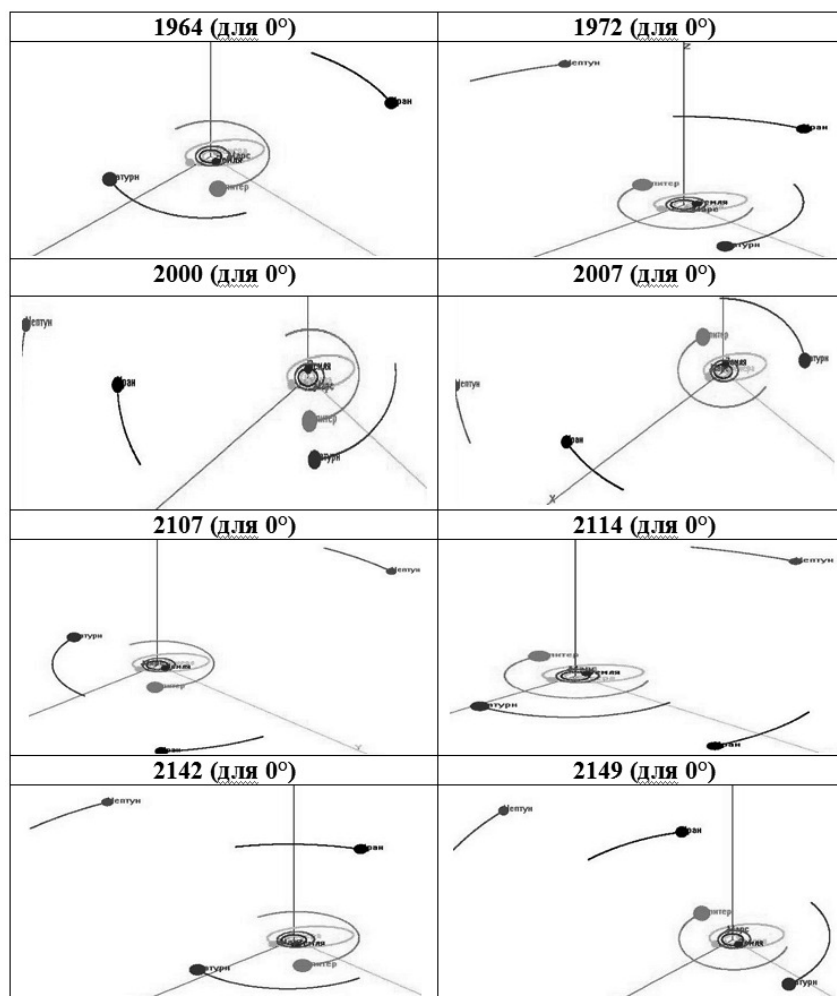


Рис. 6. Пространственное расположение объектов Солнечной системы для случая резкого уменьшения перигелийного расстояния орбиты кометы (перигелий)

2056, 2092, 2234 гг. (точки всплеска) ситуация также определяется Юпитером и во все годы стандартна по отношению к комете. Положение Сатурна почти идентично в 1913 и 2092 гг. и отлично от положения в 2056 и 2234 гг.

На рис. 5 представлена система комета-Юпитер-Сатурн, когда комета находится в афелии. Влияние Юпитера на комету сказывается в районе афелия, и поскольку период обращения Юпитера составляет 1,5 оборота кометы, степень этого влияния в различные годы на комету неодинакова, но во всех случаях значение q увеличивается. Для верхних точек всплеска ситуация 2056 г. повторяется в 2234 г., что так же равно 178 годам. Аналогичные заключения просматриваются и для категории б) (рис. 6, 7). Для категории в) можно сделать следующие предположения. При идентичной качественной картине про-

странственного расположения объектов количественные значения изменения величины q прежде всего зависят от взаимного расположения планет Юпитера и Сатурна (рис. 8).

Известно, что основной вклад в возмущённое движение Юпитера вносит Сатурн, вследствие чего меняется орбита Юпитера и соответственно варьируется влияние Юпитера на комету. Это влияние двояко — вековое и резонансное. Вековое меняет эксцентриситет орбиты Юпитера в пределах $0,2 \div 0,06$ на интервале примерно 70 тыс. лет. Резонансное возмущение 2:5 (временной интервал 60 лет, приблизительно 8–9 оборотов кометы). Более детальный анализ расположения объектов Солнечной системы, по нашему мнению, позволит уточнить количественные характеристики изучаемых явлений, которые возможно дадут объяснения перемещениям

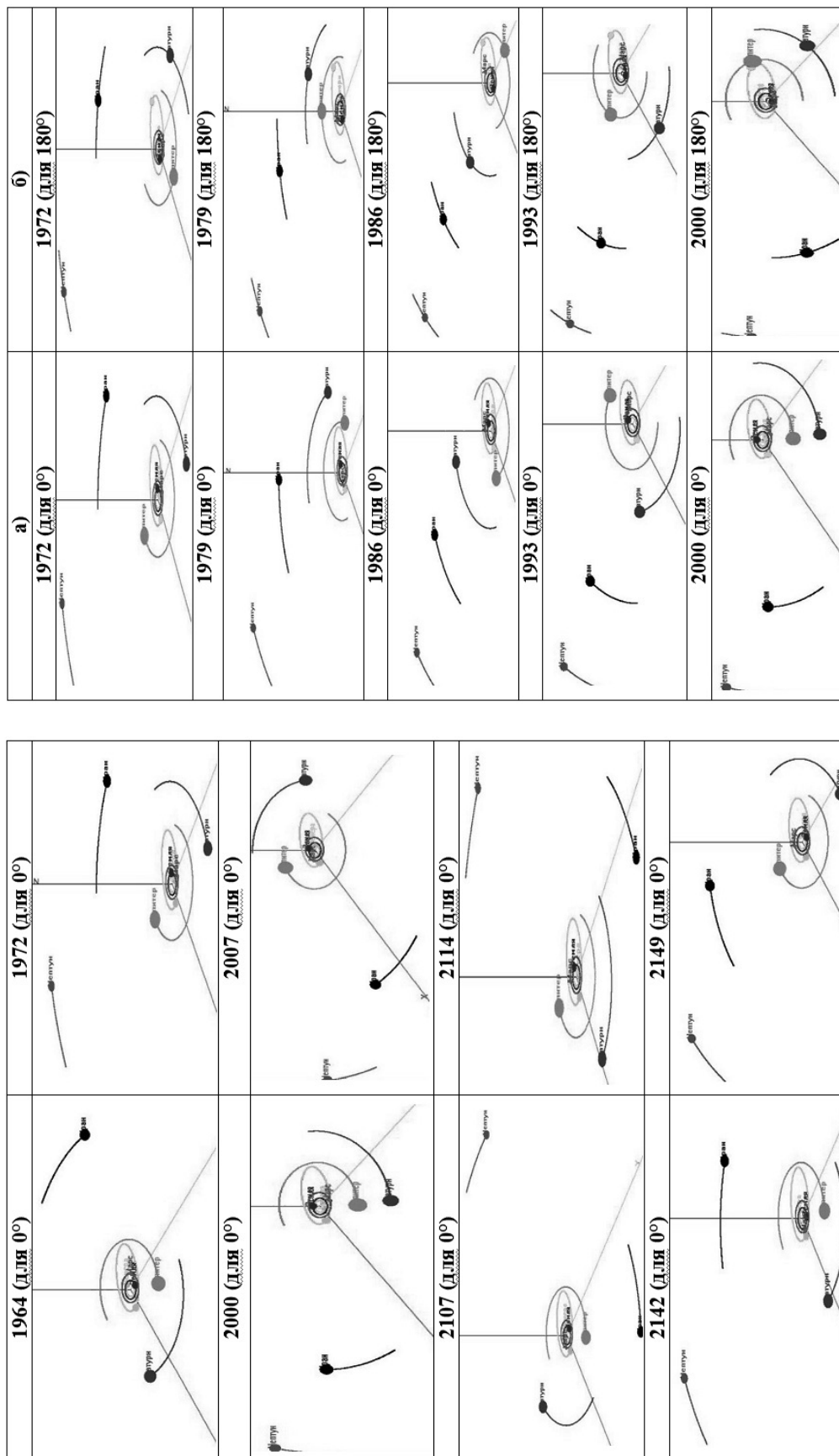


Рис. 7. Пространственное расположение объектов Солнечной системы для случая резкого уменьшения перигелийного расстояния кометы (афелий)

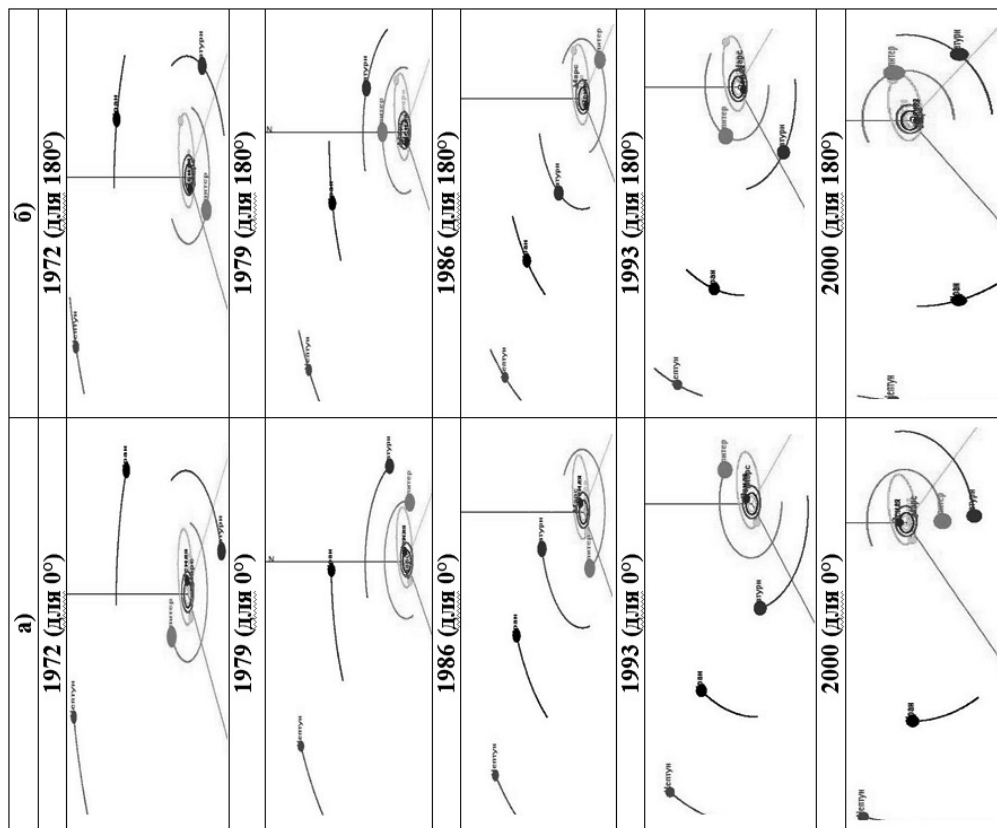


Рис. 8. Пространственное расположение объектов Солнечной системы для случая псевдоколебательных изменений перигелийного расстояния кометы (а — перигелий, б — афелий)

кометы Холмса и её метеороидного комплекса в пространстве.

Рис. 4–8 были сформированы вручную из базы визуальных образов посредством их группировки по анализируемому сценарию, что достаточно трудоёмко. В следствие чего в настоящее время предпринята определённая работа по разработке отдельного блока технологии для автоматизации анализа графических файлов по заданному шаблону с помощью библиотеки компьютерного зрения.

Вывод

Таким образом, возможности компьютерной технологии позволяют провести исследования выше описанного типа задач с использованием расчетных алгоритмов и визуализации результатов с их последующим анализом, что можно трактовать как современный прогностический метод.

Литература

1. *Дергачёв Ф.* Комета Холмса. Ноябрь 2007 г. // Земля и Вселенная. Часть 7. Комета Холмса и «Фабрика астероидов». [URL] <http://artefact-2007.blogspot.ru/2011/12/7.html>
2. *Козловский А.* Астрономическая неделя с 29 октября по 4 ноября (вспышка кометы 17P/Holmes) // Astronet. 27.10.2007. [URL] <http://www.astronet.ru/db/msg/1224119>
3. *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.
4. *Куликова Н. В., Тищенко В. И.* Возможности компьютерного моделирования орбитальной эволюции космических объектов малой массы // Вестник РосНой. 2012. №4. С. 34–41.
5. *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.
6. *Kulikova N. V., Polyakov N. V., Chepurova V. M.* Gravitational perturbations in evolutionary development of comet Tempel – Tuttle meteoroid complex // Радиотехника. Харьков. 2010. Вып. 160. С. 92–99.
7. *Куликова Н. В., Тищенко В. И., Чепурова В. М., Поляков Н. В., Калинин Д. А.* Миграция малых тел средствами компьютерных технологий. Сб. труд. Конф. «Околоземная астрономия», Казань, 22–26 августа 2009. С. 174–180.

Ключевые слова: компьютерная технология, вероятностное моделирование, визуализация результатов, процессы дезинтеграции, динамика движения, пространственная ориентация системы.

Статья поступила 23 октября 2013 г.

Институт атомной энергетики «Национальный исследовательский ядерный университет “МИФИ”», г. Москва

© Куликова Н. В., Тищенко В. И., Петровская Е. Н., 2013