

УДК 523.64

О. В. Калиничева, В. П. Томанов

Вологодский государственный педагогический университет
6, ул. Сергея Орлова, Вологда, Россия 160035

К вопросу о динамической связи комет с Ураном

Исследуется связь с Ураном: 1) 945 почти параболических комет (период $P > 200$ лет, перигелийное расстояние $q > 0.1$ а. е.); 2) 1277 комет Крейца ($P > 200$ лет, $q < 0.01$ а. е.); 3) 414 короткопериодических комет ($P < 200$ лет). Оказалось, что ни одна из почти параболических комет не прошла через сферу действия Урана, ни одна из комет Крейца не приближалась к Урану ближе 11 а. е., и только две короткопериодические кометы C/2006 U7 и C/2006 F2 могли иметь тесные сближения с Ураном за 5000 лет.

ДО ПИТАННЯ ПРО ДИНАМІЧНИЙ ЗВ'ЯЗОК КОМЕТ З УРАНОМ, Калінічева О. В., Томанов В. П. — Досліджується зв'язок з Ураном: 1) 945 майже параболических комет (період $P > 200$ років, перигелійна відстань $q > 0.1$ а. о.); 2) 1277 комет Крейца ($P > 200$ років, $q < 0.01$ а. о.); 3) 414 короткоперіодичних комет ($P < 200$ років). Виявилось, що жодна з майже параболических комет не пройшла через сферу дії Урана, жодна з комет Крейца не наближалась до Урана ближче за 11 а. о., і лише дві короткоперіодичні комети C/2006 U7 та C/2006 F2 могли мати тісні наближення до Урана за 5000 років.

ON THE DYNAMIC CONNECTION OF COMETS WITH URANUS, by Kalinicheva O. V., Tomanov V. P. — We consider the connection with Uranus for: 1) 945 near-parabolic comets (period $P > 200$ years, perihelion distance $q > 0.1$ AU); 2) 1277 Kreutz comets ($P > 200$ years, $q < 0.1$ AU); 3) 414 short-period comets ($P < 200$ years). It turns out that none of the near-parabolic comets passed through the sphere of activity of Uranus, none of the Kreutz comets approach Uranus closer than 11 AU, and only two short-period comets, C/2006 U7 and C/2006 F2, could have close encounters with Uranus during 5000 years.

Проблема динамической связи комет с планетами впервые была поставлена основателями кометной космогонии Лапласом [22] и Лагран-

жем [21]. В кометной космогонии от самых ее истоков роль планет рассматривается в двух аспектах: гравитационный захват планетами межзвездных комет (Лаплас) и выброс комет на гелиоцентрические орбиты с поверхности планет или их спутников (Лагранж). Исследование вопроса захвата комет Юпитером на короткопериодические орбиты из числа долгопериодических комет, а также библиография по данной проблеме содержатся в работе Е. И. Казимирчак-Полонской [3]. Эруптивную гипотезу Лагранжа обстоятельно исследовал С. К. Всехсвятский [1], полагая, что выброс комет на гелиоцентрические орбиты осуществляется за счет вулканических процессов на спутниках планет-гигантов. Е. И. Дробышевский [18] предполагает, что кометы семейства Сатурна образовались за счет взрыва Титана. С. К. Всехсвятский и А. С. Гулиев [2] связывают происхождение комет с извержениями на спутниках Урана. Захват фиктивных комет Нептуном рассмотрен в работе Е. И. Казимирчак-Полонской [4]. В последнее время связь комет с планетами рассматривалась в работах В. П. Томанова [14—16], О. В. Калиничевой и В. П. Томанова [5—7].

Во второй половине XVIII века впервые были открыты пять короткопериодических комет: D/1766 G1 Хельфенцидера (афелийное расстояние $Q = 4.92$ а. е.), D/1770 L1 Лексея ($Q = 5.63$ а. е.), 3D/1772 E1 Биела ($Q = 6.19$ а. е.), D/1783 W1 Пиготта ($Q = 5.06$ а. е.), 2P/1786 B1 Энке ($Q = 4.10$ а. е.), афелии орбит которых располагались около орбиты Юпитера. В XIX веке было открыто еще более двух десятков короткопериодических комет (КПК), афелии которых лежат около орбиты Юпитера. Всю эту группу комет стали называть семейством Юпитера. В то же время открывались кометы, афелии орбит которых концентрируются к орбитам Сатурна, Урана и Нептуна. Эти группы комет также именовали по имени соответствующей планеты. С. К. Всехсвятский [1] приводит списки кометных семейств Юпитера (71 комета), Сатурна (9), Урана (3), Нептуна (11).

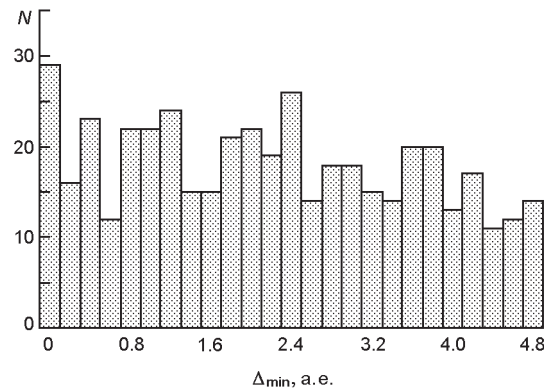
В. П. Коноплева [8], вычислив минимальные расстояния орбит почти параболических комет (ППК, период $P > 200$ лет) от орбит планет, пришла к выводу, что имеет место повышенная концентрация орбит ППК к орбитам Юпитера и Сатурна. На этой основе было введено понятие планетных семейств ППК Юпитера и Сатурна.

Настоящая работа посвящена исследованию связи комет с Ураном. Характер гравитационного воздействия Урана на комету логично характеризовать величиной минимального расстояния кометы от планеты. Критическим значением r_{\min} является радиус сферы действия Урана $= R(m_{\text{пл}}/m_{\odot})^{0.4} = 0.364$ а. е. Сближение кометы с планетой называется тесным, если выполняется условие

$$r_{\min} \leq R(m_{\text{пл}}/m_{\odot})^{0.4}. \quad (1)$$

Для статистики используется каталог Марседена и Вильямса [23]. Связь с Ураном будем проверять для трех групп комет: 1) почти параболические кометы (ППК, период $P > 200$ лет, перигелийное расстояние $q > 0.1$ а. е., $N = 945$ объектов); 2) короткоперигелийные кометы

Распределение почти параболических комет по минимальному расстоянию орбит от орбиты Урана



Крейца (КК, $P > 200$ лет, $q < 0.01$ а. е., $N = 1277$); 3) короткопериодические кометы (КПК, $P < 200$ лет, $N = 414$).

Уран и почти параболические кометы. Протестируем на предмет связи с Ураном кометы первой группы (ППК, $q > 0.1$ а. е.). Всего таких комет в каталоге Марседена и Вильямса — 945. Для каждой из этих комет мы вычислили минимальное расстояние r_{\min} ее орбиты от орбиты Урана. Процедура определения r_{\min} описана в работе О. В. Калининской и В. П. Томанова [6]. На рисунке показано распределение ППК по величине r_{\min} . Комет с $r_{\min} < 0.88$ оказалось 40 (табл. 1). Очевидно, что только эти кометы имели шанс пройти через сферу действия Урана. Для того чтобы произошло тесное сближение кометы с Ураном, должно выполняться неравенство (1). Таким образом, необходимо было найти реальное минимальное расстояние r_{\min} комет от Урана. С этой целью выполнено численное интегрирование уравнений движения каждой из 40 комет. Для интегрирования использован интегратор Эверхарта и планетная эфемерида Стэндиша DE406 на 6000 лет. Интегрирование проведено с учетом возмущений от всех планет Солнечной системы с шагом 2 сут. Интервал интегрирования составляет ± 40 лет от момента прохождения через перигелий, в то время как для подавляющего числа почти параболических комет r_{\min} достигается на интервале порядка 10 лет или менее. Поэтому негравитационные эффекты в данном случае несущественны.

В табл. 1 приведены значения минимальных расстояний r_{\min} от комет до Урана. Наименьшее значение $r_{\min} = 0.88$ а. е. было получено для кометы C/1937 P1. Таким образом, тесных сближений почти параболических комет с Ураном не обнаружено.

В комплекс ППК входит группа из 1277 комет с перигелийным расстоянием $q < 0.01$ а. е. Поскольку пути комет Крейца расположены под углом $\approx 35^\circ$ к эклиптике, то минимальное расстояние орбит комет Крейца от орбиты Урана ($R = 19.2$ а. е.) составляет $r_{\min} = R \sin \theta = 11$ а. е.

Уран и короткопериодические кометы. С. К. Всехсвятский [1] относил к семейству Урана три кометы: 27P/1818 D1 Кроммелин, 38P/1867 В1 Стефана — Отерма и 55P/1366 U1 Темпеля — Туттля. В работе С. К. Всехсвятского и А. С. Гулиева [2] предпринята попытка

Таблица 1. Почти параболические кометы — кандидаты в семейство Урана

Комета	q_{\min} , а. е.	Комета	q_{\min} , а. е.	Комета	q_{\min} , а. е.
C/1931 AN	0.008	C/1874 Q1	0.102	C/1618 V1	0.186
C/1984 U1	0.009	C/2007 G1	0.102	C/1304 C1	0.210
C/1733 K1	0.010	C/1585 T1	0.114	C/1855 V1	0.237
C/1997 N1	0.024	C/1972 F1	0.116	C/1781 M1	0.270
C/1937 P1	0.028	C/1980 E1	0.116	C/2002 T7	0.274
C/1743 C1	0.038	C/1987 B2	0.119	C/1998 K2	0.276
C/1972 L1	0.043	C/1998 K3	0.120	C/2007 D2	0.276
C/1898 R1	0.058	C/2007 N3	0.126	C/1880 G1	0.289
C/1887 B3	0.060	C/1963 F1	0.136	C/1992 B1	0.294
C/1946 K1	0.060	C/2002 J4	0.152	C/1862 N1	0.301
C/1264 N1	0.083	C/1340 F1	0.156	C/1855 G1	0.343
C/1798 G1	0.086	C/1864 N1	0.162	C/1988 P1	0.343
C/2006 W3	0.089	C/2006 M2	0.163		
C/1965 S2	0.096	C/390 Q1	0.182		

объяснить происхождение этих комет как следствие вулканических извержений на спутниках Урана.

В статье Кресака [9] приводится аргументированная критика утверждения С. К. Всехсвятского и А. С. Гулиева [2] относительно того, что расположение афелиев пяти периодических комет свидетельствует об их эруптивном происхождении со спутников Урана. Убедительно показано, что в действительности известны только три кометы с указанными расстояниями афелиев. Причем одна из них проходит намного ближе к Юпитеру и Сатурну, чем к Урану, а другая комета противоречит требованиям гипотезы вследствие своего обратного движения. Приведена сводка многих других возражений против гипотезы извержения.

В статье В. П. Томанова [13] показано, что ни одна из комет «семейства» Урана не удовлетворяет известным критериям связи комет с планетами. Показано, что орбиты комет Кроммелина, Темпеля — Туттля и Стефана — Отерма проходят ближе всего к орбитам Венеры, Земли и Марса соответственно, а не к орбите Урана. В работе М. В. Николаевой и В. П. Томанова [11] анализируется гипотеза извержения комет из спутников Сатурна, Урана и Нептуна. Проведено сравнение элементов теоретических орбит с орбитами, полученными из наблюдений, сделан вывод об их несоответствии.

В работах авторов гипотезы извержения комет из спутников Урана сделана попытка оценить величину необходимой начальной скорости V_0 на спутниках планеты для выброса материи на гелиоцентрические орбиты. При оценке V_0 в работе С. К. Всехсвятского [1] использовалось понятие, не имеющее физического смысла, — радиус сферы действия спутника в поле тяготения Солнца. В работе [2] при определении V_0 принималось условие, заранее содержащее неопределенность: планетоцентрическая скорость продуктов извержения на границе сферы действия планеты не превышает орбитальной скорости планеты. Отсюда возникает недоверие к этому результату.

Найдем необходимую скорость выброса малого тела с поверхности спутника планеты на гелиоцентрическую орбиту с большой полуосью a , эксцентриситетом e , перигелийным расстоянием q , наклоном i с помощью аппарата ограниченной задачи трех тел.

Пусть m_1 и m_2 — масса Солнца и планеты, O — их центр масс, $Oxuz$ — барицентрическая прямоугольная система координат. Плоскость Oxu совпадает с плоскостью круговых орбит Солнца и планеты вокруг точки O . Планета постоянно находится на оси Ox , т. е. система вращается с угловой скоростью ω , равной среднему движению Солнца и планеты. В этой системе скорость третьего тела определяется интегралом Якоби:

$$V^2 = \omega^2 R_0^2 - 2 \frac{Gm_1}{R_1} - 2 \frac{Gm_2}{R_2} - C, \quad (2)$$

где R_0 , R_1 и R_2 — расстояния третьего тела соответственно от оси Oz , Солнца и планеты, G — гравитационная постоянная, C — константа Якоби.

Введем такую систему единиц, в которой $m_1 + m_2 = 1$, $\omega = 1$, $G = 1$. В этой системе единицей расстояния будет радиус орбиты планеты, а единицей скорости — ее орбитальная скорость.

Постоянную Якоби можно выразить из критерия Тиссерана, который в принятых единицах измерения имеет вид

$$C = a^{-1} - 2\sqrt{q(1-e)} \cos i. \quad (3)$$

Начальная скорость V_0 на спутнике и скорость V на границе сферы действия спутника в поле тяготения планеты связаны интегралом энергии:

$$V_0^2 - \frac{2Gm}{r} = V^2, \quad (4)$$

где m , r — масса и радиус спутника.

Планетоцентрическая скорость V малого тела на выходе из сферы действия спутника получается в результате сложения скорости V с орбитальной скоростью u спутника:

$$V^2 = u^2 + V^2 - 2uV \cos \theta, \quad (5)$$

где θ — угол между векторами \mathbf{u} и \mathbf{V} . При $\theta = 0$, что наиболее благоприятно для гипотезы извержения, из формул (2)–(5) имеем

$$V_0^2 = R_0^2 - \frac{2m_1}{R_1} - \frac{3m_2}{R_2} - \frac{2m}{r} [a^{-1} - 2\sqrt{q(1-e)} \cos i] - 2\sqrt{\frac{m_2}{R_2}} R_0^2 - \frac{2m_1}{R_1} - \frac{2m_2}{R_2} [a^{-1} - 2\sqrt{q(1-e)} \cos i]^{1/2}, \quad (6)$$

Соотношение (6), записанное в общем виде, позволяет вычислить V_0 для реальных комет с известными значениями a , e , q , i при условии старта с любого спутника планет Солнечной системы.

Вычисленные по формуле (6) значения V_0 для трех комет при условии выброса их с Титании приведены в табл. 2. Подчеркнем, что эти

Таблица 2. Короткопериодические кометы семейства Урана

Комета	Имя	a , а. е.	e	i	q , а. е.	V_0 , км/с
27P/1819 D1	Кроммелина	9.15	0.92	29.2	0.75	3.3
38P/1867 B1	Стефана — Огерма	11.12	0.86	18.2	1.58	3.7
55P/1366 U1	Темпеля — Туттля	10.43	0.91	162.2	0.98	6.8

значения (3.3, 3.7, 6.8 км/с) — минимальные, поскольку принято, что материя выбрасывается в направлении апекса спутника ($\theta = 0$). Реальные скорости должны быть еще больше. Однако согласно С. К. Всехсвятскому и А. С. Гулиеву [2] минимальная скорость V_0 на Титании должна составлять 1.77 км/с.

В связи с открытием в последние десятилетия новых комет целесообразно вновь проверить наполняемость планетных семейств, в том числе и семейства комет Урана. Дифференциация КПК на планетные семейства обычно проводится на основе критерия приближенного равенства афелийного расстояния Q кометной орбиты и большой полуоси A орбиты родительской планеты. Подвергнем анализу на предмет связи с Ураном кометы с афелийным расстоянием 15 а. е. $< Q < 26$ а. е. В общей совокупности КПК ($N = 414$) таких комет 21 (табл. 3), 16 из которых открыты в последнее десятилетие. Кометы из табл. 3 имеют различные орбитальные характеристики: перигелийное расстояние q принимает значения от 0.6 а. е. до 11.8 а. е., эксцентриситет e — от 0.269 до 0.931, период обращения P — от 15 до 54 лет. Шесть комет (174P, 95P, 166P, C/2001 T4, C/2007 S2, 167P) имеют перигелии за орбитой Юпитера и афелии в области Сатурн — Нептун, то есть принадлежат к семейству кентавров [19]. В табл. 3 приведена величина гелиоцентрического расстояния R_A восходящего и R_D нисходящего узла. Для девяти комет узел орбиты лежит в интервале $4 < R < 10$ а. е. Поскольку в теориях происхождения комет узел — это место «рождения» кометы, то вряд ли данные кометы можно включать в семейство Урана.

Дополнительную информацию о взаимной кинематике кометной и планетной орбит может дать значение минимального расстояния r_{\min} между этими орбитами. В табл. 3 для всех комет приведена величина r_{\min} . Для 14 орбит величина r_{\min} составляет от 1.56 а. е. до 12.19 а. е. Таким образом, данные кометы проходили на весьма значительных расстояниях от орбиты Урана, поэтому есть основания исключить их из дальнейшего исследования на предмет связи с Ураном. Шесть комет, отмеченных звездочкой (табл. 3), проходивших от орбиты Урана на расстояниях $0.3 < r_{\min} < 0.9$ а. е., предварительно будем считать семейством Урана. Подчеркнем, что отбор комет в семейство Урана произведен на основе геометрических критериев (Q, R_A, R_D, r_{\min}) близости кометных орбит к орбите планеты.

С. К. Всехсвятский и А. С. Гулиев [2] считают, что кометы семейства Урана есть продукты выброса со спутников планеты. Поскольку

Таблица 3. Кандидаты в кометное семейство Урана

Комета	Название	q , а. е.	e	P , лет	Q , а. е.	R_A , а. е.	R_D , а. е.	r_{\min} , а. е.
P/1997 B1	Кобаяси	2.055	0.76075	25.2	15.1	15.04	2.06	4.25
174 P	Эхекл	5.808	0.45608	34.9	15.5	14.97	5.89	3.85
27 P	Кроммелина	0.735	0.91920	27.4	17.4	12.18	0.75	2.94
C/2002 B1	LINEAR	2.271	0.77091	31.2	17.6	3.40	4.93	11.40
C/2002 CE10	LINEAR	2.047	0.79147	30.8	17.6	6.88	2.50	7.44
P/2005 T4	SWAN	0.649	0.93058	28.6	18.1	0.74	4.15	4.49
C/2004 C1	Ларсена	4.350	0.62580	39.6	18.9	4.88	12.86	4.26
*95 P	Хирон	8.454	0.38311	50.7	19.0	8.60	18.24	0.84
166 P	NEAT	8.564	0.38441	51.9	19.3	9.10	16.99	1.56
C/2001 T4	NEAT	8.564	0.38442	51.9	19.3	9.10	16.99	1.56
*C/2006 U7	Гиббса	4.428	0.63013	41.4	19.5	4.47	18.72	0.30
*55 P	Темпеля — Туттля	0.977	0.90553	33.2	19.7	18.21	0.98	0.43
*C/2006 F2	Кристенсена	4.296	0.65149	43.3	20.4	20.35	4.30	0.87
*167 P	CINEOS	11.788	0.26919	64.8	20.5	11.89	20.19	0.86
C/2000 S3	LONEOS	2.662	0.77218	39.9	20.7	3.45	7.44	5.43
*38 P	Стефана — Отгерма	1.574	0.85998	37.7	20.9	1.57	20.85	0.69
C/1998 G1	LINEAR	2.133	0.82348	42.0	22.0	7.16	2.67	9.12
C/2003 E1	NEAT	3.245	0.76363	50.9	24.2	7.00	4.84	7.63
C/2001 OG108	LONEOS	0.994	0.92529	48.5	25.6	3.25	1.36	12.19
C/2000 G2	LINEAR	2.717	0.80901	53.6	25.7	5.88	4.22	2.41
C/1991 L3	Левн	0.983	0.92881	51.0	26.6	1.12	6.23	3.15

все спутники Урана находятся внутри его сферы действия, то для комет, извергнутых из системы Урана, должно выполняться соотношение (1). Таким образом, правдоподобность гипотезы о генетической связи комет с Ураном может быть проверена, если будет известно значение r_{\min} для каждой кометы. Согласно [7] соотношение (1) выполняется только для двух комет. Комета C/2006 U7 Гиббса прошла через сферу действия Урана в январе 1981 г., и этот результат можно считать вполне достоверным, поскольку он получен при интегрировании на интервале всего 20 лет. Декабрь 1509 г. — эпоха тесного сближения кометы C/2006 F2 Кристенсена — получена в работе [7] в результате численного интегрирования на интервале 500 лет. Но поскольку при интегрировании на большом промежутке времени неизбежно накапливаются ошибки, то этот результат нельзя считать абсолютно достоверным.

Вряд ли следует давать космогоническую интерпретацию сближений с Ураном комет C/2006 U7 и C/2006 F2. Появление кометных афелиев в зоне орбиты Урана может быть следствием возмущающего действия планет-гигантов. Для определения радиуса A орбиты планеты, вызвавшей возмущение элементов орбиты кометы, можно использовать критерий

$$A = \frac{2\sqrt{q_1(1-e_1)} \cos i_1}{a_2^{1/3}} \frac{2\sqrt{q_2(1-e_2)} \cos i_2}{a_1^{1/3}}, \quad (7)$$

где индексы 1 и 2 относятся к двум различным появлениям кометы. Данный критерий получен В. В. Радзиевским [12] на основе критерия Тиссерана о равенстве постоянной Якоби для различных систем элементов кометных орбит и используется в случае, если движение возмущающей планеты происходит в плоскости эклиптики. Элементы орбит комет в нескольких появлениях нам известны только для четырех комет. По формуле (7) величина A вычислена для следующих комет: 27P ($A = 3.5, 5.8, 8.6, 5.6$ а. е., среднее значение $\bar{A} = 5.9$ а. е.), 38P ($A = 4.8, 5.6$ а. е., $\bar{A} = 5.2$ а. е.), 55P ($A = 7.5, 8.0, 3.0, 6.2$ а. е., $\bar{A} = 6.2$ а. е.) и 95P ($A = 9.9, 10.6$ а. е., $\bar{A} = 10.3$ а. е.). Таким образом, определяющую роль в динамической эволюции большинства рассматриваемых комет играл Юпитер, а на движение кометы 95P существенное влияние оказал Сатурн.

Заключение. В работе выделены короткопериодические кометы, которые предположительно могут быть динамически или генетически связаны с Ураном. В предварительном критерии отбора использовалось афелийное расстояние Q , однако исследования показали, что близость перигелия или афелия кометной орбиты к орбите планеты не является определяющей в эволюции кометы. Так, комета Галлея 1P имеет перигелий около орбиты Венеры, а афелий за орбитой Нептуна, однако на ее эволюцию доминирующее влияние оказывает Юпитер [17]. На динамику большинства комет, предварительно выделенных в семейство Урана (табл. 3), доминирующее влияние на интервале 6000 лет также оказывает Юпитер. Через сферу действия Урана за 5000 лет могли пройти две короткопериодические кометы C/2006 U7 Гиббса и C/2006 F2 Кристенсена [7]. Не обнаружено тесных сближений с Ураном почти параболических комет. Кометы Крейца не приближались к Урану ближе 11 а. е.

1. Всехсвятский С. К. Природа и происхождение комет и метеорного вещества. — М.: Просвещение, 1967.—182 с.
2. Всехсвятский С. К., Гулиев А. С. Система комет Урана — пример эруптивной эволюции спутников планет // Астрон. журн.—1981.—58, № 3.—С. 630—635.
3. Казимирчак-Полонская Е. И. Захват комет Юпитером и некоторые закономерности в вековой эволюции кометных орбит // Астрометрия и небесная механика. Сер. Проблемы исследования Вселенной. — М.-Л., 1978.—С. 340—383.
4. Казимирчак-Полонская Е. И. О роли Нептуна в преобразованиях кометных орбит и о происхождении комет // Астрометрия и небесная механика. Сер. Проблемы исследования Вселенной. — М.-Л., 1978.—С. 384—417.
5. Калиничева О. В., Томанов В. П. Динамическая связь комет с планетами. — Вологда: ВГПУ, 2008.—190 с.
6. Калиничева О. В., Томанов В. П. Об отсутствии связи кометных орбит с Плутоном // Астрон. вестн.—2009.—43, № 6.—С. 520—523.

7. *Калиничева О. В., Томанов В. П.* Каталог орбитальной эволюции короткопериодических комет на интервале 5000 лет. — Вологда: ВГПУ, 2010.—430 с.
8. *Коноплева В. П.* О существовании семейств Юпитера и Сатурна среди непериодических комет // *Комет. циркуляр.*—1980.—№ 258.—С. 2—3.
9. *Кресак Л.* Спутники Урана и гипотеза извержения комет // *Астрон. вестн.*—1983.—**17**, № 1.—С. 27—31.
10. *Натансон С. Г.* О происхождении комет // *Тр. астрон. обсерватории Петроградского ун-та.*—1923.—С. 18—24.
11. *Николаева М. В., Томанов В. П.* О гипотезе извержения комет из спутников Сатурна, Урана и Нептуна // *Структура и эволюция космических объектов.* — Алма-Ата, 1987.—С. 149—156.
12. *Радзиевский В. В.* Происхождение и динамика кометной системы // *Кинематика и физика небес. тел.*—1987.—**3**, № 1.—С. 66—67.
13. *Томанов В. П.* О семействе комет Урана // *Динамика галактических и внегалактических систем.* — Алма-Ата, 1983.—С. 98—103.
14. *Томанов В. П.* Поиски трансплутоновых планет с помощью долгопериодических комет // *Письма в Астрон. журн.*—2006.—**32**, № 5.—С. 392—400.
15. *Томанов В. П.* О связи комет с планетами // *Кинематика и физика небес. тел.*—2007.—**23**, № 5.—С. 273—285.
16. *Томанов В. П.* О космогонических выводах в статье А. С. Гулиева. «Транснептуновый объект 2003 UB 313 как источник комет» // *Астрон. вестн.*—2009.—**43**, № 6.—С. 575—576.
17. *Carusi A., Valsecchi G. B., Kresak L., Perozzi E.* On the past orbital history of comet P/Halley // *Cel. Mech.*—1988.—**43**, N 1-4.—P. 319—322.
18. *Drobyshevski E. M.* The young long-period comet family of Saturn // *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*—2000.—**315**.—P. 517—520.
19. *Emel'yanenko V. V.* Structure and dynamics of the Centaur population: Constraints on the origin of short-period comets // *Earth, Moon, and Planets.*—2005.—**97**, N 3-4.—P. 341—351.
20. *Kreutz H.* Untersuchungen über das System der Kometen 1843 I, 1880 I, und 1882 II. II Teil. Der grosse Septemberkomet 1882 II // *Publ. Sterun. Kiel.*—1891.—N 6.—S. 1—67.
21. *Lagrange J. L.* Sur l'origine des cometes. — Paris, 1812.—Mem. VII.—P. 381—395.
22. *Laplace P. S.* Exposition du Systeme du Monde. — Paris, 1796.
23. *Marsden B. G., Williams G. V.* Catalogue of cometary orbits. — 17th edition. — Cambridge: SAO. Solar, Stellar Planetary Science Division, 2008.—207 p.

Поступила в редакцию 24.02.11