

УДК 523.64

О гипотезе Оорта

А. С. Гулиев, А. С. Дадашов

Рассматриваются различные аспекты гипотезы Оорта. Показано, что она не в состоянии объяснить распределения афелийных расстояний и объемной плотности афелиев. Распределение афелийных расстояний характеризуется резким максимумом в области $<10^4$ а. е. Путем статистического анализа параметра H_{10} показано, что разделение комет на «новые» и «старые» физически не обосновано. Первоначально облако Оорта должно было иметь вид диска. Крайне маловероятно, что возмущения всякого рода могут изменить эту первоначальную форму. При справедливости гипотезы Оорта должны наблюдаться перенаселенность афелиев или перигелиев вблизи плоскости эклиптики. Это следствие не подтверждается каталожными данными. Перенаселенность перигелиев наблюдается вблизи плоскости с параметрами $\Omega=280^\circ$ и $i=90^\circ$. Минимальное количество перигелиев соответствует области $\pm 10^\circ$ у плоскости с $\Omega=180^\circ$ и $i=80^\circ$. Эти две группы комет отличаются по H_{10} и i .

ON THE OORT HYPOTHESIS, by Guliev A. S., Dadashov A. S.— Different aspects of the Oort hypothesis are discussed. It has been shown that it cannot account for the distribution of aphelion distances and volume densities. The distribution of aphelion distances characterized by a sharp maximum in the region $<10^4$ a. u. The statistical analysis of the H_{10} parameter has shown that the classification of comets as «new» and «old» is not substantiated. It is apparent that the Oort cloud should have originally the form of a disc. It is unlikely that the disturbances of any kind could change this original form. Assuming the validity of the Oort hypothesis there should be an overpopulation of aphelia and perihelia near the ecliptic. This consequence has not been verified by the observational data. It has been stated that the overpopulation of perihelia occurs near the plane with parameters $\Omega=280^\circ$ and $i=90^\circ$. Minimum number of perihelia occurs in the region within $\pm 10^\circ$ around the plane with $\Omega=180^\circ$ and $i=80^\circ$. The two comet groups differ in H_{10} and i .

В 1950 г. голландский астроном Оорт [17] предложил гипотезу, согласно которой на периферии Солнечной системы существует огромное кометное облако. В результате звездных прохождений вблизи этого облака многие кометные ядра изменяют гелиоцентрическую скорость, а также направление движения. Часть из них попадает в сферу видимости с Земли и открывается наблюдателями.

Заметим, что идея существования подобного кометного облака была высказана ранее Скиапарелли, Эпилом, В. Г. Фесенковым и др. Но лишь в трактовке Оорта эта концепция была научно обоснована. Он впервые сопоставил эту гипотезу с данными наблюдений, качественно определил влияние звездных возмущений на облако, привел конкретный механизм его образования, впервые использовал данные о кометных орбитах, указал конкретное расстояние, за которым должно находиться предполагаемое облако, оценил количество кометных ядер, их объемную плотность в облаке, массу облака, а также попытался найти соответствие между физическими и динамическими параметрами комет. Кроме того, гипотеза Оорта согласуется с наиболее распространенной теорией происхождения планет. По этой причине она нашла широкую поддержку со стороны специалистов по планетной космогонии [7, 10, 19—21] и является в настоящее время одной из наиболее популярных концепций происхождения комет.

За прошедшие три с половиной десятилетия после появления гипотезы ей было посвящено множество работ, в большинстве которых авторы поддерживают и развивают эту концепцию. Высказан ряд новых соображений относительно происхождения гипотетического облака, уточнялись его параметры, рассматривался вопрос о его устойчивости, эволюции и возрасте. Лишь в немногих работах эта идея ставилась под сомнение или опровергалась в целом [2, 14, 22]. Характерной особенностью работ, в которых идея Оорта поддерживается и развивается, является то, что в них авторы

рассматривают либо чисто эволюционный процесс, в результате чего приходят к выводу о существовании облака, либо считают его существование доказанным и лишь уточняют некоторые параметры. В данной работе мы рассмотрим некоторые аспекты гипотезы Оорта, исходя из предпосылки, что она без особых противоречий должна объяснить все наблюдаемые особенности системы долгопериодических комет.

Распределение афелийных расстояний долгопериодических комет. При справедливости рассматриваемой гипотезы подавляющее большинство долгопериодических комет должно начинать свои движения из облака Оорта ($r > 20\ 000$ а. е.). При построении своей гипотезы Оорт рассмотрел 19 значений $1/a$ (a — большая полуось кометной орбиты) до вхождения комет в зону планет («первоначальные» значения) и обратил внимание на то, что они концентрируются вблизи малых значений этого параметра. Это и дало ему основание утверждать, что большинство долгопериодических комет приходят с очень больших расстояний, где существует облако. Вслед за Оортом многие другие авторы также считали существование максимума в распределении $1/a$ сильным доводом в пользу рассматриваемой гипотезы. Однако в этой статистике имеется существенная ошибка: при построении гистограммы $N(1/a)$ ось $1/a$ делят на равные отрезки и подсчитывают количество комет на каждом из них. Если же каждому отрезку $1/a$ сопоставить соответствующий ему отрезок шкалы a , то окажется, что максимальный по длине отрезок a находится вблизи малых значений параметра $1/a$. Поэтому нет ничего удивительного в том, что на этом отрезке будет максимальное количество комет. Аналогичное соображение приведено в работе Литлтона [4]. Таким образом, параметр $1/a$, который широко используется в различных задачах теоретической астрономии, является не очень удобным для статистики. В этом случае целесообразнее рассматривать распределение самих афелийных расстояний.

В работах [11, 15] приводятся «первоначальные» значения $1/a$ для 228 комет, орбиты которых вычислены достаточно точно. По этим данным нами определены значения первоначальных афелийных расстояний ($R_{\text{пн}}$) комет и проведен статистический анализ на базе данной совокупности. Следует заметить, что точность афелийных расстояний, полученных по $1/a$, может быть весьма низкой. Однако анализ средних ошибок оскулирующих $1/a$, приведенных в работах [11, 15], позволяет предположить, что погрешность $R_{\text{пн}}$ должна быть небольшой. С другой стороны, если в распределении $R_{\text{пн}}$ наблюдается ясно выраженная закономерность, то маловероятно, что это является следствием накопленных ошибок $R_{\text{пн}}$.

Анализ показал, что у 137 из 228 комет афелийные расстояния меньше 20 000 а. е., т. е. афелии их орбит не достигают «зоны Оорта». Вероятность этого события в любом случае (оценки верхней границы облака Оорта, полученные различными авторами, расходятся) выходит далеко за рамки возможных ошибок. Приводим распределение афелийных расстояний 194 комет, у которых $R_{\text{пн}} \leq 10^5$ а. е.:

$R_{\text{пн}}$, а. е.	10^4	$2 \cdot 10^4$	$3 \cdot 10^4$	$4 \cdot 10^4$	$5 \cdot 10^4$	$6 \cdot 10^4$	$7 \cdot 10^4$	$8 \cdot 10^4$	$9 \cdot 10^4$	10^5
N	129	8	12	4	12	9	5	8	2	4

Видно, что существует довольно резкий максимум вблизи малых значений этого параметра (10^4 а. е.), что не согласуется с положениями гипотезы Оорта. Аналогичное распределение построено и для комет с $R_{\text{пн}} < 10^4$ а. е.:

$R_{\text{пн}}$, а. е.	10^3	$2 \cdot 10^3$	$3 \cdot 10^3$	$4 \cdot 10^3$	$5 \cdot 10^3$	$6 \cdot 10^3$	$7 \cdot 10^3$	$8 \cdot 10^3$	$9 \cdot 10^3$	10^4
N	74	15	12	14	3	1	4	2	3	1

Здесь также наблюдается очень выразительный максимум на первом отрезке. Приведем распределение афелийных расстояний комет с $R_{\text{пн}} < 10^3$ а. е.:

$R_{\text{пн}}$, а. е.	200	400	600	800	1000
N	28	18	7	10	11

Как и в предыдущих двух случаях, максимальное количество комет наблюдается также вблизи малых значений $R_{\text{пн}}$.

Итак, проведенная статистика в разных вариантах дает основание сделать следующее заключение: если построить распределение афелийных расстояний долгоперио-

дических комет в любом интервале $R_{\text{пн}}$ (при условии, что количество комет будет достаточно для статистики), то максимум наблюдается всегда на малых расстояниях. Это, с одной стороны, противоречит гипотезе Оорта, с другой стороны — указывает на то, что источник долгопериодических комет находится где-то в более близких областях Солнечной системы. Здесь необходимо отметить еще одно обстоятельство: постановка вопроса в гипотезе Оорта такова, что при анализе распределения афелийных расстояний нужно исходить из объемной плотности афелиев, которая должна увеличиваться в «зоне Оорта». Следовательно, шкалу расстояний в статистике нельзя разбивать на равные отрезки. Равные объемы получатся только в том случае, если шкалу разделить по закону $R_i = R_1 \sqrt[3]{i}$, где R_1 — радиус сферы (первый отрезок). В этом случае обнаруженные максимумы в распределении $R_{\text{пн}}$ будут намного выразительнее.

При рассмотрении распределения долгопериодических комет по афелийным расстояниям нужно учесть и влияние возмущений от больших планет. Как известно, в результате прохождения через зону планет большая полуось орбиты кометы с равной вероятностью либо увеличивается, либо уменьшается. В первом случае комета может быть выброшена из Солнечной системы, а во втором — это приводит к сокращению афелийного расстояния. Отсюда и возникает мысль о том, что приведенные выше распределения, возможно, являются следствием планетных возмущений. Справедливость этого предположения нельзя проверить без учета дезинтеграции комет. Подобное сокращение афелийных расстояний должно сопровождаться уменьшением параметра H_{10} . Поэтому в рамках указанного предположения следует ожидать весьма ощутимую обратную корреляцию между величинами $R_{\text{пн}}$ и H_{10} . Для комет с $R_{\text{пн}} < 10^3$; $10^3 \leq R_{\text{пн}} < 10^4$ и $10^4 \leq R_{\text{пн}} \leq 10^5$ получены следующие значения коэффициента корреляции: -0.101 ± 0.116 ; -0.191 ± 0.084 и -0.253 ± 0.069 соответственно. Однако едва заметная корреляция еще не полностью подтверждает исходное предположение. Здесь согласие носит весьма качественный характер. Дело в том, что между темпом сокращения афелийных расстояний (или увеличением $1/a$) и скоростью уменьшения H_{10} должно наблюдаться разумное согласие.

Обратимся к фактам. По данным [11, 15], 56 комет (из 228) после прохождения зоны планет должны иметь гиперболическую орбиту и покинуть Солнечную систему. Для остальных долгопериодических комет среднее значение возрастания величины $1/a$ составляет 170 ед. (1 ед. = 10^{-6} а. е.⁻¹). Это среднее значение приводит к следующему: для того чтобы $1/a$ увеличилось от 100 (нижняя граница для «новых» комет) до 10 000 ед., комета должна совершить в среднем 58 прохождений через внутреннюю часть Солнечной системы. Если считать, что в каждом прохождении ее блеск уменьшается на 0.1^m , то в результате такой эволюции абсолютный блеск кометы должен уменьшиться на 5.8^m . Анализ данных [11, 15] показывает, что это не наблюдается. Для примера приводим среднее значение H_{10} для двух групп комет: с $R_{\text{пн}} \leq 200$ а. е. и с $10^4 \leq R_{\text{пн}} \leq 10^5$. Они оказались 7.04^m и 6.69^m соответственно. Таким образом, скорость дезинтеграции не согласуется со скоростью увеличения $1/a$ долгопериодических комет. Это дает основание считать, что избыток комет с малыми $R_{\text{пн}}$ вряд ли объясним их «стоком» в результате планетных возмущений.

О разделении долгопериодических комет на «новые» и старые. Следуя Оорту, многие авторы классифицируют почти параболические кометы на «новые» ($a > 10\,000$ а. е.) и «старые». «Новые» кометы недавно вышли из облака и совершают первые прохождения через внутреннюю часть Солнечной системы. По современным представлениям, поверхность ядер этих комет полностью или почти полностью свободна от минеральной корки, тормозящей процесс сублимации ледяной составляющей. Такая корка образуется в результате физической эволюции ядер. Оорт и Шмидт [18] пытались найти физические различия между этими двумя кометными группами. При этом они использовали не общепринятый физический параметр H_{10} , который хорошо характеризует атмосферу и ядро кометы, а исходили из данных, которые, как справедливо указал С. К. Всехсвятский [2], определяются с большой дисперсией. Причем количество статистических данных в то время было намного меньше, чем сейчас.

Указанную задачу можно решить путем сопоставления данных работ [11, 15] с данными монографии С. К. Всехсвятского и ее дополнений [1, 3—6]. При этом будем исходить из следующей предпосылки: физические характеристики «новых» и «старых» комет должны заметно отличаться. В настоящей работе это следствие проверяется

только относительно физического параметра H_{10} , распределение которого для «новых» и «старых» комет класса I [15] (с повышенной точностью определения $1/a$) приводим ниже:

H_{10}	до	1.5^m	3^m	4.5^m	6^m	7.5^m	9^m	10.5^m	12^m
«новые»	1	2	10	24	14	7	2	—	—
«старые»	1	3	9	14	13	8	1	1	—

Выборочная средняя этого распределения для «новых» комет — $H_{10} = 5.69^m \pm 0.23^m$, а для «старых» — $H_{10} = 5.79^m \pm 0.29^m$. Существенной разницы между этими значениями нет.

Распределение H_{10} для всех «новых» и «старых» комет [11, 15] с известными первоначальными орбитами приведено ниже:

H_{10}	до	1.5^m	3^m	4.5^m	6^m	7.5^m	9^m	10.5^m	12^m
«новые»	1	3	12	32	22	11	4	5	—
«старые»	3	6	15	31	36	25	10	6	—

Как и в первом случае, получены близкие значения рассматриваемого параметра для «новых» и «старых» комет ($6.17^m \pm 0.22^m$ и $6.43^m \pm 0.20^m$ соответственно). Разница между ними значима лишь с вероятностью 0.68.

Таким образом, сравнение распределений параметра H_{10} для «новых» и «старых» комет показывает, что классификация долгопериодических комет на эти группы физически не обоснована. Следовательно, предполагаемый процесс «диффузии» афелиев в сторону Солнца, хотя и подтверждается небесномеханическими расчетами, но не играет главной роли в образовании кометных орбит с малыми размерами. Приведенные здесь факты в сочетании с данными предыдущего раздела статьи указывают на то, что в Солнечной системе существуют, по-видимому, другие источники пополнения ярких комет с малыми значениями a . Если все же придерживаться термина «облако», то, исходя из приведенных данных, можно предположить, что оно либо динамически связано с планетной системой, либо имеет повышенную плотность в непосредственной близости к этой системе. К такому же выводу приходит и Бейли [9], исходя из других соображений.

Об ориентации орбит долгопериодических комет. Во многих работах, посвященных обсуждаемой гипотезе, в явной или неявной форме исходят из предположения об изотропности кометных ядер внутри объема, соответствующего «зоне» Оорта. В этом разделе мы излагаем результаты статистических исследований перигелиев орбит долгопериодических комет, основанных на предположении о том, что, с одной стороны, неоднородность облака должна отражаться на распределении афелиев по небесной сфере, с другой стороны, она определяется конкретным механизмом формирования. В настоящее время обсуждаются различные механизмы формирования гипотетического облака. Их можно классифицировать следующим образом: разрыв планеты, находившейся между орбитами Марса и Юпитера, и последующий выброс ее фрагментов на периферию Солнечной системы; аккреция кометных ядер в зоне планет-гигантов в ходе конденсации планет из первичного газо-пылевого диска и их выброс в результате гравитационного воздействия «планетезималей»; конденсация кометных ядер на периферии Солнечной системы [8, 13]. В адрес последнего механизма высказано немало возражений ([20] и др.). Некоторые авторы ставят под сомнение возможность конденсации комет во внешних областях, ссылаясь на то, что здесь плотность туманности слишком мала для такого процесса. Однако этот вариант имеет явное преимущество в небесномеханическом плане. В данном случае для образования круговых кометных орбит с большими a не требуется «вмешательство» соседних звезд. Что касается первых двух механизмов, то они хотя и имеют преимущество в астрофизическом плане, но в то же время сталкиваются с небесномеханическими трудностями: для того чтобы часть комет, выброшенных из внутренних областей Солнечной системы на далекие расстояния, перешла на круговые орбиты (или же на орбиты с малыми e) требуется, чтобы одновременно вблизи Солнца оказалось много звезд, что маловероятно.

Рассматривая различные области Солнечной системы в качестве возможных источников долгопериодических комет, Фернандес [12] пришел к выводу, что источник в области Уран — Нептун образует наибольшую потоковую скорость прохождения комет. Однако в своих модельных расчетах он рассматривал эволюции кометных орбит по a , q , i , не изучая вопроса об их ориентации. Для эволюции параметра i в рамках

моделей, согласно которым источник комет находится на периферии Солнечной системы, Фернандес получил неопределенный результат. В целом вопрос об ориентации кометных орбит в рамках изучаемых моделей остается открытым.

Из перечисленных выше механизмов вытекает одно общее следствие: гипотетическое облако Оорта первоначально должно было иметь форму диска около плоскости эклиптики или же плоскости Лапласа. Если имели место первые два механизма, то трудно допустить, что выброс мелких фрагментов из внутренних областей Солнечной системы был изотропным. Подавляющее большинство этих фрагментов в результате планетных возмущений должны были выбрасываться под малыми углами к плоскости эклиптики. Следовательно, первоначально они должны были концентрироваться в околоэклиптикальном поясе. Если все же допустить, что некоторая часть фрагментов выбрасывалась в направлении полюсов эклиптики, то размеры их орбит будут недостаточными для того, чтобы имели место значительные звездные возмущения. В случае третьего механизма (так называемая транспланетная конденсация) этот процесс должен идти преимущественно вблизи центральной плоскости первичного газо-пылевого облака.

Нужно учесть и различные эволюционные процессы. Это очень трудный вопрос, хотя и здесь можно исходить из некоторых, по нашему мнению, реальных предпосылок.

В частности, маловероятно, что звездные возмущения могут сконцентрировать кометные ядра вблизи плоскости, имеющей заметный наклон к эклиптике. Если все же допускать альтернативную возможность и считать, что звездные возмущения привели к случайному или изотропному распределению кометных ядер по всему объему, то опять-таки мы должны ожидать перенаселенность перигелиев вблизи эклиптики, исходя из условий открытия комет.

На основе каталожных данных авторы проверили справедливость этого следствия. По [16] определено количество перигелиев в области $\pm 10^\circ$ от эклиптики. Их оказалось 124. Далее рассмотрены такие же окрестности 100 плоскостей, каждая из которых характеризуется двумя параметрами: Ω — долготой восходящего узла и i — наклоном к эклиптике ($i \leq 90^\circ$). Количество перигелиев в этих областях небесной сферы приводится в таблице. Видно, что максимальное количество перигелиев наблюдается не вблизи эклиптики. В 35 из рассматриваемых 100 поясов количество перигелиев примерно такое же, как в околоэклиптикальном поясе, или значительно больше. Максимальное количество перигелиев наблюдается вблизи плоскости с параметрами $\Omega = 280^\circ$ и $i = 80^\circ$ ($N = 163$). Однако если учитывать и условия видимости, то можно прийти к заключению, что на эту роль больше всех претендует плоскость с $\Omega = 280^\circ$ и $i = 90^\circ$ ($N = 159$), поскольку она проходит через южный полюс, где кометы открываются редко. Минимальное количество перигелиев соответствует окрестности плоскости с параметрами $\Omega = 180^\circ$ и $i = 80^\circ$ ($N = 71$). Таким образом, принимая гипотезу Оорта, пришлось бы допустить, что центральная плоскость облака перпендикулярная к плоскости эклиптики. Но это не согласуется ни с одним из перечисленных механизмов. Этот эффект трудно объяснить и влиянием галактического экватора на кометные орбиты, так как наклон найденной плоскости к нему составляет 30° . К тому же в 10° -й окрестности галактического экватора находятся перигелии орбит всего лишь 114 долгопериодических комет.

Количество перигелиев в 10° -й окрестности 101 плоскости

Ω , град	i , град						Ω , град	i , град					
	0	20	40	60	80	90		0	20	40	60	80	90
0	124	96	112	111	75	72	180	108	106	77	71	72	
30		79	88	116	92	90	210	124	113	93	104	90	
60		83	82	109	114	94	240	129	128	113	84	94	
70		90	89	105	131	108	250	140	133	102	92	108	
80		103	100	108	137	132	260	139	137	93	101	132	
90		139	108	121	154	138	270	139	124	99	134	138	
100		138	106	114	152	159	280	139	134	116	163	159	
110		105	110	124	129	136	290	149	139	121	134	136	
120		105	96	114	125	120	300	144	136	135	130	120	
150		101	112	102	81	82	330	114	121	106	86	82	

Дальнейший анализ показал, что найденные две группы комет, перигелии орбит которых расположены в «минимальном» и «максимальном» поясах, значительно отличаются по некоторым параметрам. Например, среднее значение H_{10} для комет первой группы оказалось равным $7.29^m \pm 0.32^m$, а у второй значительно меньше: $6.42^m \pm 0.20^m$. Расхождение имеет место и в распределениях i .

Заключение. Анализ работ, посвященных гипотезе Оорта, показывает, что в них содержится до определенной степени предвзятый подход к проблеме происхождения комет. Гипотеза Оорта, несмотря на внешнюю привлекательность, связана с определенными трудностями в объяснении ряда особенностей системы долгопериодических комет. Для их преодоления многим ее сторонникам приходится делать весьма искусственные предположения, что уменьшает ценность этой концепции. Гипотеза Оорта не в состоянии объяснить распределение афелийных расстояний кометных орбит, объемную плотность афелиев, распределение перигелиев по небесной сфере и различия по абсолютным звездным величинам рассмотренных выше групп комет. Возможно, что приведенные нами аргументы не дают основания для полного опровержения этой гипотезы в целом. Однако в острой борьбе между конкурирующими концепциями происхождения комет нельзя исключить возможность того, что в рамках других гипотез эти распределения могут быть объяснены более просто, без дополнительных маловероятных предположений.

1. *Всехсвятский С. К.* Физические характеристики комет.— М.: Физматгиз, 1958.— 575 с.
2. *Всехсвятский С. К.* Замечания к работам Оорта, посвященным вопросам происхождения и эволюции комет.— Публ. Киев. астрон. обсерватории, 1959, вып. 8, с. 13—20.
3. *Всехсвятский С. К.* Физические характеристики комет, наблюдавшихся в 1954—1960 гг.— М.: Наука, 1966.—88 с.
4. *Всехсвятский С. К.* Кометы 1961—1965 гг.— М.: Наука, 1967.—87 с.
5. *Всехсвятский С. К.* Физические характеристики комет 1971—1975 гг.— Киев: Наук. думка, 1979.—115 с.
6. *Всехсвятский С. К., Ильчишина Н. И.* Физические характеристики комет 1965—1970 гг.— М.: Наука, 1974.—112 с.
7. *Левин Б. Ю.* О происхождении комет.— *Вопр. космогонии*, 1963, 9, с. 215—231.
8. *Шульман Л. М.* Состав кометного ядра: Космогон. подход.— М., 1983.—19 с.— (Препринт / АН СССР, Ин-т косм. исслед.; Пр.—771).
9. *Bailey M. E.* Comets, planet X and the orbit of Neptune.— *Nature*, 1983, 302, N 5907, p. 399—400.
10. *Cameron A. G. W.* Accumulation processes in the primitive solar nebula.— *Icarus*, 1973, 18, N 3, p. 407—450.
11. *Everhart E., Marsden B. G.* New original and future cometary orbits.— *Astron. J.*, 1983, 88, N 1, p. 135—137.
12. *Fernandes J. A.* Dynamical aspects of the origin of comets.— *Ibid.*, 1982, 87, N 9, p. 1318—1332.
13. *Hills J. G.* On the process of accretion in the formation of the planets and comets.— *Icarus*, 1979, 18, N 3, p. 505—522.
14. *Lytleton R. A.* The non-existence of the Oort cometary shell.— *Astrophys. and Space Sci.*, 1974, 31, N 2, p. 385—401.
15. *Marsden B. G., Sekanina Z., Everhart E.* New osculating orbits for 110 comets and analysis of original orbits for 200 comets.— *Astron. J.*, 1978, 83, N 1, p. 64—71.
16. *Marsden B. G.* Catalogue of cometary orbits.— Cambridge: Central Bureau for Astronomical Telegrams, Smithsonian Astrophys. Observatory, 1982.—98 p.
17. *Oort J. H.* The structure of the comets surrounding the solar system and hypothesis concerning its origin.— *Bull. Astron. Inst. Neth.*, 1950, 11, N 408, p. 91—110.
18. *Oort J. H., Smidt M.* Differences between new and old comets.— *Ibid.*, N 419, p. 259—269.
19. *Opik E. Y.* The dynamical aspects of the origin of comets.— *Mem. Soc. Roy. Sci. Liège*, 1966, 12, p. 523—574.
20. *Opik E. Y.* Comets and planets. Their interrelated origin.— *Astron. J.*, 1975, 12, N 1—2, p. 1—48.
21. *Safronov V. S.* Ejection of bodies from the solar system in the course of the accumulation of the giant planets and the formation of the cometary cloud.— *IAU Symp.*, 1972, N 45, p. 329—334.
22. *Volker K.* Gibt es die Oortsche Kometenwolke wirklich.— *Sterne und Weltraum*, 1982, 21, N 5, p. 196—198.
23. *Whipple F. L.* Cometary brightness variation and nucleus structure.— *Moon and Planets*, 1978, 18, N 3, p. 343—359.