

УГАСАНИЕ КОМЕТ ИЗ ОБЛАКА ООРТА

Е.Е. Бирюков

В работе исследуется вопрос угасания комет из облака Оорта. Предполагается, что это случайный процесс, зависящий от возраста кометы и перигелийного расстояния её орбиты. Показано, что кометы должны угасать на достаточно больших гелиоцентрических расстояниях ($r > 2,5$ а.е.). Таким образом, существенное влияние на физическую эволюцию комет оказывает сублимация не только водяных льдов, но и льдов других, более летучих соединений. Статистическая оценка результатов дает хорошее согласие с наблюдениями.

Введение. Короткопериодические кометы (период меньше 200 лет) традиционно подразделяют на два основных класса - кометы семейства Юпитера и кометы галлеевского типа. Кометы семейства Юпитера (КСЮ) - кометы с периодом обращения вокруг Солнца меньше 20 лет и параметром Тиссерана $T_5 > 2$. Кометы галлеевского типа движутся на орбитах с периодом обращения вокруг Солнца $20 < P < 200$ лет и параметром Тиссерана $T_5 < 2$.

Моделирование захвата комет из облака Оорта показывает, что на орбитах галлеевского тала с $q < 1,5$ а.е. постоянно должно находиться около 3000 комет с абсолютной звездной величиной $H_{10} \leq 7$ [1–3]. Это достаточно крупные кометы, размер которых превышает 5 км. Однако в настоящий момент наблюдениям доступно всего 24 кометы на орбитах галлеевского типа с $q < 1,5$ а.е. и 14 комет на орбитах с $q < 1$ а.е. Еще в работе [4] было сделано предположение, что с течением времени летучие соединения в ядрах комет истощаются и кометы превращаются в астероиды.

Большинство исследователей полагает, что до 99% комет угасает [1, 2, 5]. В работе [5] было показано, что если кометы превращаются в астероиды, то должно существовать 46000 активных и угасших комет размером более 1,5 км на орбитах галлеевского типа с $q < 1,3$ а.е., что не согласуется с наблюдениями. В настоящее время обнаружено только два астероида на галлеевской орбите с перигелийным расстоянием меньше 1,3 а.е. - 1999 *X*S35 и 2006 *HR*30. С учетом наблюдательной селекции это число может быть около 100, что почти в 500 раз меньше полученной оценки. На этом основании было выдвинуто предположение, что 96% угасших комет разрушаются в пыль после первых прохождений перигелия орбиты до момента, как их орбиты эволюционируют в галлеевские. Однако эта работа не отвечает на вопросы, связанные с происхождением и эволюцией комет галлеевского типа: каким образом возможно угасание кометных ядер, какими внутренними процессами объясняется их резкое снижения яркости или разрушение после нескольких прохождений перигелия, что происходит в дальнейшем с остатками разрушения ядер и как это согласуется с наблюдениями. Подобные результаты уже были получены в работе [6], где была рассмотрена зависимость количества комет на галлеевских орбитах от ограничений на физическое время жизни ядер и от перигелийного расстояния орбиты соответствующего первому попаданию кометы на галлеевскую орбиту. В этой работе было показано, что среднее время жизни комет галлеевского типа не должно превышать времени, соответствующего 200 оборотам кометы вокруг Солнца.

Таким образом, в настоящее время не имеется работ, посвященных исследованию распределения элементов орбит КГТ, захваченных из облака Оорта, получаемое с учетом угасания кометных ядер. Практически во всех работах рассматривалось влияние ограничений физического времени жизни ядер на количество комет на орбитах КГТ. В данной работе ищется функциональная зависимость угасания комет не только от возраста кометы, но и от перигелийного расстояния орбиты кометы.

Угасание комет. Для решения вопроса физической эволюции комет необходимо выяснить, с чем может быть связано угасание комет, какие процессы протекают в ядрах комет.

Причина угасания комет заключается в следующем. При каждом прохождении перигелия, ядро кометы прогревается. Вследствие этого происходит сублимация льдов, входящих в состав

ядра кометы. Вместе с летучими веществами из ядра увлекаются в околоядерное пространство твердые минеральные вещества - пылинки. С течением времени кометный материал либо истощается и комета прекращает свое существование, либо ядро кометы покрывается плотной коркой. Ледяная поверхность со временем становится пятнистой вследствие образования минеральной корки, которая постепенно напластовывается на поверхности ледяных ядер и создает защитный экран-матрицу, заметно снижающий сублимацию льда в межзвездное пространство. Этот процесс особенно заметно проявляется у короткопериодических комет, многократно проходящих через перигелий. Когда коэффициент экранирования, равный отношению площади поверхности ядра, покрытой минеральной коркой, к полной площади поверхности ядра, становится больше 0,9, комету сложно отличить от астероида [7]. Необходимо отметить, что кометой называют малое тело Солнечной системы, у которого имеется кома, соответственно астероидом называют малое тело Солнечной системы, у которого эта кома отсутствует. Как показал Марсден [8], у многих комет семейства Юпитера доля активной поверхности ядра меньше 1% и эти объекты при наблюдениях идентифицируют именно как кометы. Это легко объясняется тем, что кометы семейства Юпитера обладают малым периодом обращения вокруг Солнца ($P < 20$ лет) и, как следствие, малым значением большой полуоси, в результате чего они доступны наблюдениям практически все время их орбитального периода. В связи с этим при наблюдениях легче обнаружить наличие весьма малой комы. Кометы галлеевского типа, как правило, наблюдаются только в момент их нахождения вблизи перигелия своей орбиты. Многие из них наблюдаются на протяжении всего нескольких дней, и следующее их появление произойдет только через 100-200 лет. Поэтому очень часто кометы галлеевского типа не обнаруживают, а если обнаруживают, то определяют их как астероиды. Например, объекты *2001 OG108* и *2002 CEЮ* первоначально идентифицировали как астероиды, и спустя некоторое время у них была обнаружена слабая кома.

В монографии Шульмана [7] был подробно рассмотрен процесс образования минеральной корки на поверхности ядра. Было показано, что если размер ядра меньше 1,5 км, то на его поверхности никогда не сможет образоваться минеральная корка и это ядро очень быстро превратится в пыль. Отсюда следует главный недостаток работы Левисона и др. [5]. В своей работе они рассматривали кометы размером больше 1,5 км, но как следует из результатов [7], у ядер таким размером минеральная корка будет весьма незначительная и не сможет полностью защитить ядро от сублимации льдов и истощения кометного материала. В той же работе Шульмана было показано, что пылинки, размер которых больше некоторого критического значения, в процессе сублимации льда оседают на поверхности ядра, образуя минеральную корку. Критический размер пылинок уменьшается с увеличением перигелийного расстояния и размеров ядра кометы. То есть, чем больше размер ядра и перигелийное расстояние орбиты, тем больше пыли оседает на поверхности ядра и тем быстрее образуется минеральная корка. Это вызвано тем, что на больших гелиоцентрических расстояниях скорость выброса пылевых частичек очень мала и не достигает скорости, необходимой для преодоления силы притяжения ядра (чем больше ядро, тем сила притяжения больше), и частички оседают на ядро кометы, образуя плотную корку. Данный способ угасания проходит с высокой скоростью. Прежде чем прекратиться кометная активность ядра, комете достаточно совершить несколько прохождений перигелия своей орбиты. Имеются случаи прекращения кометной активности ядра до первого прохождения кометой перигелийного расстояния (например, комета *D/1978R1*). Однако по причине приближения кометы к Солнцу размер ее ядра уменьшается, как следствие увеличивается критический радиус пылинок, и некоторые пылинки выдуваются в кометную атмосферу.

Другой возможный механизм угасания комет есть следствие самой сублимации кометных льдов, то есть проявления кометной активности. При каждом последующем прохождении перигелия кометы из-за сублимации льдов и выноса в околоядерное пространство вместе с летучими веществами и твердых частиц, кометы теряют часть своей массы и уменьшаются в размерах. Однако процесс истощения кометного материала проходит медленно, и его скорость очень сильно зависит от перигелийного расстояния. Если комета движется по орбите с $q = 1$ а.е., то она испаряется за 600 оборотов вокруг Солнца. Для комет с перигелийным расстоянием орбиты $q = 2$ а.е. требуется совершить около 4500 оборотов [9]. В таком случае угасание кометы заключается в уменьшении размеров кометы настолько, что ее «теряют», то есть комета становится недоступна наблюдениям.

Таким образом, необходимо ввести функцию угасания кометных ядер, которая характеризует потерю кометы для земных наблюдений. Функция должна зависеть от количества обращений кометы вокруг Солнца и от перигелийного расстояния ее орбиты. Функции угасания, предложенные в работе [10] следует отбросить сразу. Поскольку, во-первых, несмотря на кажущееся многообразие предложенных функций (в работе представлено 6 функций угасания), все они дают зависимость угасания только от возраста кометы. Во-вторых, в этих функциях введены коэффициенты, физический смысл которых не раскрывается, а потому не понятно, по какой причине происходит угасание комет. В-третьих, под угасанием они так же рассматривают переход комет на короткопериодические орбиты, что не имеет физического смысла, поскольку после захвата на короткопериодическую орбиту с ядром кометы ничего не происходит, и ее идентифицируют как комету. Наиболее подходящей является функция, предложенная в работе [6]. Однако в этой работе не было учтено, что у комет в процессе эволюции изменяются элементы орбит, в частности перигелийное расстояние, и, как следствие, изменяется вероятность угасания. В работе также не рассмотрен вклад комет галлеевского типа, захваченных с орбит с большими перигелийными расстояниями. Как было показано в работе [3], эти объекты являются существенным источником КГТ.

Вероятность угасания кометы за один оборот равна $P = 1/(N_{\max} \cdot q^\alpha)$, где N_{\max} - максимальное количество оборотов комет вокруг Солнца на орбитах с перигелийным расстоянием $q = 1$ а.е., α - некоторая константа. Была проведена серия вычислений для разных значений параметров угасания N_{\max} (100–700) и α (0,5–3). Предполагается, что угасание комет связано с сублимацией водяных льдов, интенсивность которой резко усиливается на расстояниях меньше 2,5 а.е.

Наилучшее согласие распределения орбит КГТ, захваченных из облака Оорта, с наблюдениями обеспечивается при значениях $N_{\max} = 600$ и $\alpha = 1$. Однако в таком случае количество комет на орбитах галлеевского типа с $q < 1,5$ а.е. равно 190 и 64 для орбит с $q < 1$ а.е., что противоречит наблюдениям, поскольку в каталоге Марсдена и Вильямса [11] имеются данные о 24 КГТ с $q < 1,5$ а.е. и 14 КГТ с $q < 1$ а.е. Можно предположить, что расхождение между полученным и наблюдаемым количеством комет на галлеевских орбитах является следствием эффекта наблюдательной селекции. Действительно, аргументы перигелиев новых комет из облака Оорта равномерно распределены в пределах (0° ; 360°). Из численного интегрирования было получено, что распределение аргументов перигелиев КГТ, происхождение которых связано с облаком Оорта, не должно отличаться от первоначального распределения. У наблюдаемых КГТ имеется явный недостаток орбит с аргументом перигелия орбиты $\omega > 180^\circ$. Из 14 комет на галлеевских орбитах с перигелийным расстоянием меньше 1 а.е. всего у трех аргумент перигелия орбиты больше 180° . Причем такая диспропорция наблюдается даже для комет, наблюдаемых в нескольких появлениях. Таким образом, на орбитах КГТ с перигелийным расстоянием меньше 1 а.е. должно быть не менее 20 комет. Этот эффект давно обнаружен, и его отмечали во множестве работ по наблюдательной селекции комет [12–14]. Он связан с тем, что у орбит с $\omega > 180^\circ$ перигелий располагается ниже плоскости эклиптики. В результате чего кометы доступны наблюдениям в южном полушарии Земли, где наблюдения затруднены меньшим, в сравнении с северным полушарием, количеством, как телескопов, так и астрономов-любителей. Но в работе [5] показано, что с учетом эффекта наблюдательной селекции количество комет на орбита галлеевского типа с $q < 1,3$ а.е. должно в два раза превышать наблюдаемое. Таким образом, полученные оценки количества КГТ значительно завышены. Количество комет галлеевского типа будет меньше, если взять малое значение N_{\max} . Но N_{\max} не может быть меньше 500, поскольку в этом случае будет наблюдаться недостаток комет с малыми перигелийными расстояниями орбит ($q < 0,75$ а.е.). Кроме облака Оорта не имеется другого источника, способного произвести кометы галлеевского типа с малыми перигелийными расстояниями орбит.

В качестве решения этой проблемы допустимо предположение о возможности проявления ядрами кометной активности на больших расстояниях от Солнца. Из этого следует, что кометная активность, способная вызвать угасание комет, связана с сублимацией льдов более летучих соединений, чем H_2O . Поэтому следует еще раз обратиться к наблюдательным данным.

Спектральный анализ кометных атмосфер показывает, что помимо водяных льдов в состав ядер комет входят льды более летучих соединений, чем вода (CH_3OH , CO , CO_2 и другие). Шульман [7], не останавливаясь ни на одной теории происхождения комет, дает подробный анализ формирования кометезималий в протопланетной туманности. Шульманом было показано, что

водные и аммиачные льды не могут одновременно конденсироваться на поверхности ядер комет в силу своих физических свойств. В процессе конденсации газопылевой туманности в первую очередь в твердую фазу переходит водяной пар, захватывающий некоторое количество аммиака (температура $T = 100-150$ К). С течением времени в процессе остывания туманности до 80-90 К происходит конденсация аммиака. Затем в диапазоне температуры 60-90 К конденсируется углекислый газ, в результате чего происходит формирование слоистого ядра. При этом форма ядра может быть совершенно произвольной. Не противоречит этим результатам идея Уиппла [15], согласно которой кометы на окраине Солнечной системы покрываются льдами более летучих соединений, чем вода. При первых прохождении кометой перигелия своей орбиты эти льды очень быстро сублимируют, после чего при наблюдениях с Земли комета становится менее яркой.

Таким образом, у комет, впервые приближающихся к Солнцу на расстояние ~ 3 а.е. проявляется кометная активность, связанная с сублимацией льдов летучих соединений, которые слоями покрывают водяной лед, расположенный ближе к центру ядра. В пользу этого предположения говорит статистика кометных наблюдений. Около трети короткопериодических комет движется на орбитах с перигелийным расстоянием, превышающим 2,5 а.е., из них около пятой части движется на орбитах с $q > 3,5$ а.е.. Поэтому имеются все основания рассматривать процесс угасания комет на расстоянии 3 а.е. и больше. В этом случае количество комет на орбитах галлеевского типа с перигелийным расстоянием $q < 1,5$ а.е. должно быть равно 90 и на орбитах с $q < 1$ а.е. около 25.

Эверхарт [13, 14] рассмотрел эффект наблюдательной селекции и получил вероятности обнаружения комет в зависимости от перигелийного расстояния орбиты и абсолютной величины H_{10} . Если принять во внимание оценки Эверхарта, то на орбитах галлеевского типа с перигелийным расстоянием $q < 1,5$ а.е. наблюдениям должно быть доступно 18-20 комет, и 7-11 комет с перигелийным расстоянием меньше 1 а.е. Вероятности обнаружения комет соответствуют разрешающей способности наблюдательных приборов 60-х годов, и полученные оценки согласуются с наблюдениями на тот момент.

В таблице 1 представлены характеристики комет, захваченных на орбиты галлеевского типа с учетом угасания кометных ядер. Для сравнения приведены данные, полученные с учетом угасания при $r < 2,5$ а.е. и $r < 3$ а.е. Ранее было показано [3], что примерно 2/3 комет захватывается на орбиты галлеевского типа путем а-захвата. Как видно из таблицы, практически все кометы, захваченные на галлеевские орбиты с помощью а-захвата, угасают. Особенно отчетливо это видно при рассмотрении угасания при $r < 3$ а.е. Значительная часть комет, испытавших а-захват, угасают, не достигнув галлеевских орбит. Это является следствием того, что эти кометы значительное время проводят на орбитах с $1,5$ а.е. $< q < 5$ а.е.

В работе [2] было получено, что медианный наклон орбит комет, захваченных на галлеевские орбиты из облака Оорта, значительно превышает медианный наклон орбит наблюдаемых КГТ. Поэтому авторы скорректировали первоначальное (по $\cos i$) распределение наклонов орбит комет из облака Оорта. Однако этого делать не следует, поскольку, во-первых, при исследовании статистических систем следует рассматривать не медианные, а средние величины. Во-вторых, было обнаружено, что средний наклон активных комет (то есть «не угасших») уменьшается с уменьшением N_{\max} и увеличением α .

Средний наклон орбит комет галлеевского типа с перигелийным расстоянием меньше 1 а.е. равен $77,7^\circ$ и $68,9^\circ$ у орбит с $q < 1,5$ а.е. В таблице представлены значения средних наклонов орбит теоретических комет галлеевского типа для параметров $N_{\max} = 600$ и $\alpha = 1$. Из таблицы видно, что при этих параметрах средние наклоны активных комет, захваченных из облака Оорта, согласуются с наблюдениями. Расхождение средних наклонов орбит обнаруженных и теоретических комет с $q < 1$ а.е. равно $1,1^\circ$ и $3,6^\circ$ для комет на орбитах с перигелийными расстояниями $q < 1,5$ а.е.

При исследовании захвата комет на орбиты галлеевского типа из облака Оорта с учетом угасания кометных ядер не следует принимать во внимание малые ядра размером около 1,5 км, поскольку время полного разрушения комет такого размера сопоставимо со временем захвата из облака Оорта на галлеевские орбиты. При самом быстром способе захвата комет из облака Оорта на орбиты КГТ (q-захват) комете необходимо совершить ~ 500 оборотов вокруг Солнца [3], в то время ядро кометы размером около 1-2 км на орбите с $q = 1$ а.е. полностью разрушается за ~ 600 оборотов вокруг Солнца [9]. Поэтому результаты Левисона др. [5] не отражают особенностей процесса угасания ядер комет, поскольку рассматривают даже малые кометные ядра, о поведении

которых совершенно определенно можно говорить, что все они разрушаются, прежде чем их орбиты эволюционируют в галлеевские. О крупных кометных ядрах ($H_{10} < 7$) можно сказать более определенно. Около 3000 комет должно существовать на орбитах галлеевского типа с $q < 1,5$ а.е., чье происхождение связано с облаком Оорта.

Характеристики комет, захваченных на орбиты галлеевского типа с учетом угасания

Q	Угасание при $r < 2,5$ а.е.				Угасание при $r < 3$ а.е.				$N^{HC}_{КГТ}$
	P (а-захват)	P (q-захват)	$N^m_{КГТ}/n$	i	P (а-захват)	P (q-захват)	$N^m_{КГТ}/n$	i	
$q < 1$ а.е.	0,0023	0,0018	64/156	78°	0,0006	0,0015	25/121	76,6°	7–11
$q < 1,5$ а.е.	0,0074	0,002	190/210	73,7°	0,004	0,0019	90/175	72,5°	18–20

$N^m_{КГТ}$ - теоретическое значение количества комет галлеевского типа, $N^{HC}_{КГТ}$ - количество комет галлеевского типа, которое может быть доступно наблюдениям (наблюдательная селекция по Эверхарту [13, 14]), и - среднее время жизни комет галлеевского типа с учетом угасания в оборотах, i - средний наклон КГТ. P (а-захват) и P (q-захват) - вероятности захвата на орбиты КГТ с учетом угасания. Вероятности приведены с учетом зависимости потока новых комет от перигелийного расстояния в соответствии с результатами [16].

Из таблицы видно, что с учетом угасания вероятность а-захвата на орбиты КГТ с $q < 1,5$ а.е., составляет 0,004, что в 5 раз меньше вероятности а-захвата без учета угасания (Бирюков, 2006). Вероятность q-захвата на орбиты КГТ из облака Оорта с учетом угасания равна 0,0019, что в 3 раза меньше вероятности, полученной без угасания. Таким образом, 80% комет, испытавших а-захват, и 66% комет, испытавших q-захват, угасают до того как их орбиты трансформируются в галлеевские. Следовательно, только 75% комет угасает, прежде чем они были захвачены на галлеевские орбиты, а не 96%, как утверждают Левисон и др. [5]. Необходимо отметить, что около трети комет угасает на долгопериодических орбитах. Всего 2% комет выброшены с орбит галлеевского типа на гиперболы, прежде чем их ядра угасли и примерно 5% комет угасли после того, как были выброшены с галлеевских на другие орбиты. У всех этих объектов орбиты эволюционировали в галлеевские с помощью q-захвата. Остальные кометы (около 18% комет) угасают на орбитах КГТ.

На рис. 1 представлено распределение перигелийных расстояний наблюдаемых комет галлеевского типа, на рис. 2 представлено распределение перигелийных расстояний комет, захваченных

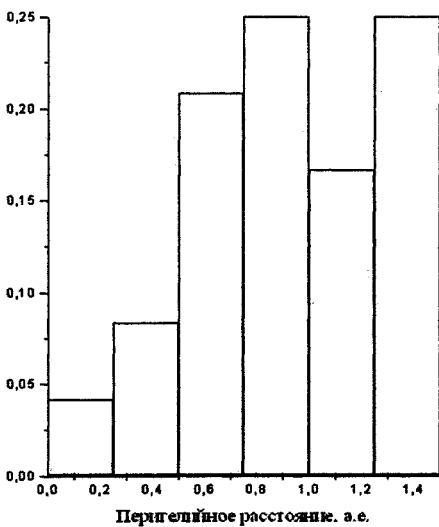


Рис. 1. Наблюдаемое распределение перигелийных расстояний КГТ

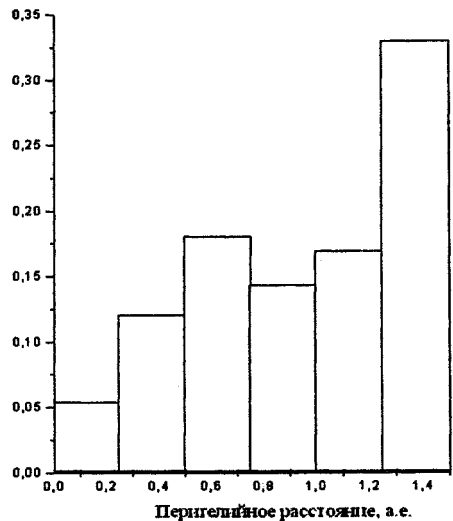


Рис. 2. Распределение перигелийных расстояний комет, захваченных на галлеевские орбиты с учетом угасания

ных на орбиты галлеевского типа из облака Оорта с учетом угасания. Не смотря на то, что представленные распределения имеют много общего, вопрос их эквивалентности является спорным.

Проверим гипотезу о совпадении теоретического и наблюдаемого распределения перигелийных расстояний комет галлеевского типа. По критерию Смирнова-Колмогорова для уровня значимости $\alpha = 0,05$ $\lambda_{кр} = 1,36$. Область перигелийных расстояний орбит (0;1,5) а.е. была разбита на

23 интервала. В этом случае $\lambda = \sqrt{N} \sup |F_H - F_M| = 1,02$, где F_H и F_M - накопленные частоты наблюдаемого и модельного распределений перигелийных расстояний орбит, \sqrt{N} - объем выборки (рис. 3). Полученное значение λ меньше $\lambda_{кр}$, следовательно, оно удовлетворяет условию, что предложенную гипотезу отвергать не следует при уровне значимости 0,05. Таким образом, предложенный закон угасания значительно лучше согласуется с наблюдениями, в сравнении с моделью [5]. Следовательно, имеются все основания принять рассмотренную модель угасания кометных ядер.

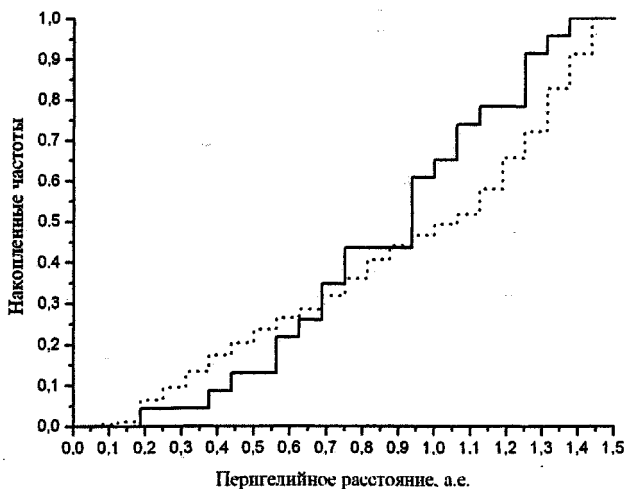


Рис. 3. Функции распределения перигелийных расстояний орбит обнаруженных КГТ (сплошная линия) и захваченных из облака Оорт с учетом угасания (пунктирная линия)

Заключение. Рассмотренный процесс угасания комет предполагает не только разрушение или падения их яркости, но и уменьшение размеров ядра кометы, в результате чего комета становится недоступна земным наблюдениям, то есть комета теряется. При выборе функции угасания принималось во внимание, что газопроизводительность ядра кометы и, как следствие, уменьшение ее в размерах или покрытие ее поверхности минеральной коркой зависит от перигелийного расстояния орбиты кометы, возраста кометы (от количества совершенных кометой оборотов вокруг Солнца на малых перигелийных расстояниях).

Исследование угасания кометных ядер показало, что этот процесс связан не только с сублимацией льдов воды, но и других более летучих соединений. Скорость сублимации водяного льда резко увеличивается на достаточно малых (около 2,5 а.е.) расстояниях от Солнца. Если рассматривать кометную активность как процесс, связанный только с сублимацией льдов воды, то постоянное количество комет, которое постоянно должно находиться на орбитах галлеевского типа, значительно превышает наблюдаемое даже с учетом эффекта наблюдательной селекции. На основании данных наблюдений о наличии в спектрах атмосфер комет летучих соединений, например аммиак и оксид углерода, была рассмотрена слоистая ледяная модель кометного ядра, подробное физическое описание которой представлено в работе Шульмана (1987). Учет существенного присутствия в составе ядер комет льдов CH_3OH , CO_2 и других предполагает проявление кометной активности ядрами на достаточно больших гелиоцентрических расстояниях.

Было показано, что не следует рассматривать малые кометные ядра размером около 1,5 км, поскольку эти ядра достаточно быстро разрушаются. Наиболее полную информацию о процессе угасания комет дает исследование ядер размером ~5 км. 75% этих комет угасает еще до того, как они захватываются на орбиты галлеевского типа. Около трети комет угасает на долгопериодических орбитах.

Статистическая оценка результатов показала лучшее согласие с наблюдениями в сравнении с результатами [5].

Выражаю благодарность Емельяненко В.В. и Заляпину В.И за обсуждение результатов и рекомендации.

Работа поддержана грантом РФФИ 06-02-16512 и программой целевой поддержки научных исследований молодых ученых ЮУрГУ.

Литература

1. Емельяненко и Бэйли (Emel'yanenko V.V., Bailey M.E.) The capture of Halley-type and Jupiter-family comets from the near-parabolic flux // Dynamics and Astrometry of Natural and Artificial Celestial Bodies. - 1997. - P. 159-164
2. Левисон и др. (Levison H.F., Dones L., Duncan M.J.) The origin of Halley-type comets: probing the inner Oort cloud // The Astronomical Journal. - 2001. - V. 121. - N. 4. - P. 2253-2267.
3. Бирюков Е.Е. Захват комет на орбиты галлеевского типа и семейства Юпитера из облака Оорта // *Астрономический вестник*. - 2006 (В печати).
4. Уиппл Ф.Л. Природа комет // *Кометы и происхождение жизни: Пер.с англ.* - М.: Мир. - 1984. - С. 9-28.
5. Левисон и др. (Levison H.F., Morbidelli A., Dones L., Jedicke R., Wiegert P.A., Bottke W.F. Jr.) The Mass Disruption of Oort Cloud Comets // *Science*. - 2002. - V. 296. - P. 2212-2215.
6. Емельяненко и Бэйли (Emel'yanenko V.V., Bailey M.E.) Capture of Halley-type comets from the near-parabolic flux // *Mon. Not. R. Astron. Soc.* - 1998. - V. 298. - P. 212-222.
7. Шульман Л.М. Ядра комет. - М.: Изд-во «Наука». - 1987. - 232 с.
8. Марсден (Marsden B.G.) Evolution of comets into asteroids? // *Physical Studies of Minor Planets*. // Ed.T. Gehrels. - Washington: NASA SP-267. - 1971. - P. 211-225.
9. Вейсман (Weissman, P.R.) Physical loss of long-period comets // *Astron. & Astrophys.* - 1980. - V. 85. - P. 191-196.
10. Вейгерг и Тремейн (P. Wiegert, S. Tremaine) The Evolution of Long-Period Comets // *Icarus*. - 1999. - V. 137. - P. 84-98.
11. Марсден и Вильяме (Marsden B.G., Williams G.V.) Catalogue of Cometary Orbits // *Minor planet Ceter. Smithsonian Astrophys. Obs. Cambridge. MA.* - 2005.
12. Радзиевский В.В. и Томанов В.П. Некоторые селекционные эффекты в открытии комет // *Астрон. Ж.* - 1976. - № 53. - С. 1315-1317.
13. Еверхарт (Everhart E) Comet Discoveries and Observational Selection // *Astron. J.* - 1967. - V. 72. - № 6. - P. 716-727.
14. Еверхарт (Everhart E) Intrinsic Distribution of cometary Perihelia and Magnitudes // *Astron. J.* - 1967. - V. 72. - № 8. - P. 1002-1012.
15. Уиппл (Whipple F.L.) On the structure of the cometary nucleus // *ММС*. - 1963. - P. 639-664.
16. Мазеева О.А. Поток долгопериодических комет в планетной области: динамическая эволюция из облака Оорта // *Астрономический вестник* (В печати).

Поступила в редакцию 13 июля 2006 г.