

О МЕХАНИЗМЕ ОБРАЗОВАНИЯ ПОДВОДНЫХ ГОР ГАЛАКТИЧЕСКИМИ КОМЕТАМИ

Баренбаум А.А. (ИПНГ РАН, Москва)
 azary@mail.ru

Ключевые слова: кометы, подводные горы, кратеры, планеты, магматическая камера

Галактические кометы – это недавно открытый и потому пока слабоизученный класс космических тел [1]. Поступают они на Землю через 20-37 млн. лет исключительно в эпохи пребывания Солнца в струйных потоках и спиральных рукавах Галактики [2]. Падения галактических комет носят характер кометных ливней, когда в течение нескольких миллионов лет на Землю может выпасть $\sim 10^4$ - 10^6 этих космических тел. Все такие эпохи в истории нашей планеты выделены как времена глобальных (геологических, климатических, биотических и др.) катастроф, выбранных границами периодов и отделов геохронологической шкалы. Последняя бомбардировка имела место на границе неогенового и четвертичного периодов 1÷5 млн. лет назад, и этот рубеж отмечен мощными геодинамическими поднятиями земной коры [3].

Наиболее понятны и объяснимы [1,4] последствия падений галактических комет на Луну, Меркурий и обладающий разреженной газовой оболочкой Марс. В этих случаях в месте удара кометы о поверхность возникает кратер диаметром 10÷200 км. Такие кратеры резко отличаются от кратеров, созданных астероидами и кометами Солнечной системы, большей численностью, сложным строением, асимметричным расположением относительно экватора планеты, а также временем образования и функцией распределения по диаметрам (рис.1).

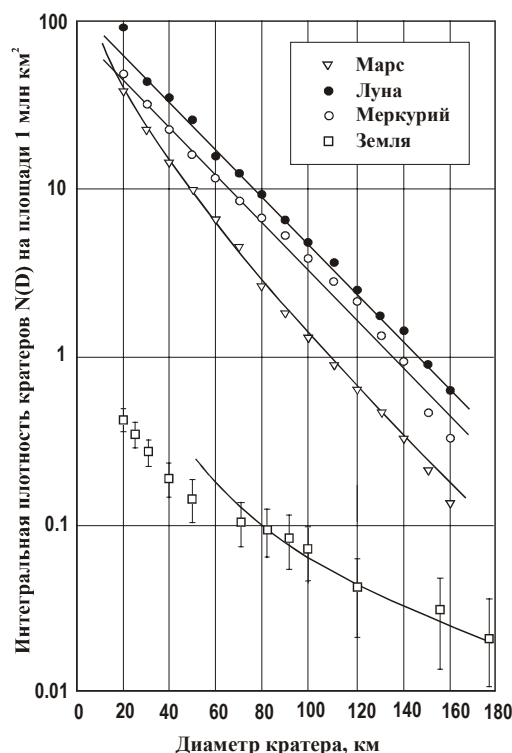


Рис.1. Интегральные распределения плотности кратеров Марса, Меркурия, Луны и Земли по диаметрам в полулогарифмической системе координат. Распределения на Марсе, Луне и Меркурии построены по данным [5], а на Земле – по данным [6] для кратеров фанерозойского возраста. Нижняя кривая следует степенной обратно квадратичной зависимости. У Земли для малых диаметров кратеров проявляются эффекты наблюдательной селекции [7].

Имеется ряд теоретических моделей, позволяющих по параметрам кратерообразующих тел вычислить диаметр возникающего кратера [8]. Эти модели предназначены, прежде всего, для расчета кратеров астероидного происхождения. Применение их для расчета диаметра кратеров,

созданных галактическими кометами, дает большие расхождения [1].

Однозначность теоретических оценок удастся существенно повысить при дополнительном учете потери массы кометами в газовых оболочках планет. Различия в распределениях кратеров Марса и Луны (см. рис.1) позволяют заключить, что плотность вещества галактических комет близка 1000 кг/м^3 , их ядро имеет размеры $0.1 \div 3.5 \text{ км}$, массу $10^9 \div 10^{14} \text{ кг}$ и характеризуется кинетической энергией $\sim 10^{20} \div 10^{25} \text{ Дж}$ [9].

Атмосфера Земли и тем более Венеры является для галактических комет непреодолимым препятствием. В газовых оболочках этих планет кометы неизбежно разрушаются и достигают твердой планетной поверхности в виде гиперзвуковой ударной волны, не способной образовать кратер [1]. Все крупные кратеры Земли имеют исключительно астероидное происхождение. Их распределение по диаметрам подчиняется обратно квадратичной зависимости, а численность в 100 раз меньше, чем кратеров от галактических комет на безатмосферных планетах (см. рис.1).

На Земле и Венере энергия ударной кометной волны идет не на образование воронки, а на создание в этом месте глубоко под поверхностью планеты, вероятно, на границе литосферы и астеносферы крупной магматической камеры [4]. Наиболее убедительное обоснование данный вывод получает для современного Мирового океана с его тонкой океанической литосферой. В этом случае магматическая камера располагается сравнительно близко к земной поверхности, и поступающие из нее лавы изливаются на океанское дно, формируя подводные горы.

Подводными горами называют изолированные вулканические постройки на океанском дне высотой $\geq 500 \text{ м}$ [10]. Обычно они обладают конической формой, примерно половина из них имеет кальдеры, что позволяет рассматривать их как подводные вулканы. Количество таких вулканов огромно. Только в одном Тихом океане их насчитывается 130 000. Но и эта оценка по мере увеличения детальности изучения океанского дна быстро растет. Подводные вулканы на дне Мирового океана в тысячи раз превышают число вулканов на суше. В отличие от вулканов суши, тяготеющих к сейсмически активным поясам в зонах разломов крупных литосферных плит и к активным континентальным окраинам, подводные горы достаточно равномерно покрывают все дно океанов. При этом менее всего подводных гор на срединных океанических хребтах. С удалением от хребтов, т.е. по мере увеличения возраста океанского дна, плотность размещения и размеры гор закономерно увеличиваются, достигая максимума в зонах глубоководных котловин. Эта закономерность свойственна подводным горам всех океанов [10].

Подводные горы, как и кратеры от галактических комет на безатмосферных небесных телах, характеризуются экспоненциальным распределением по размерам (рис.2).

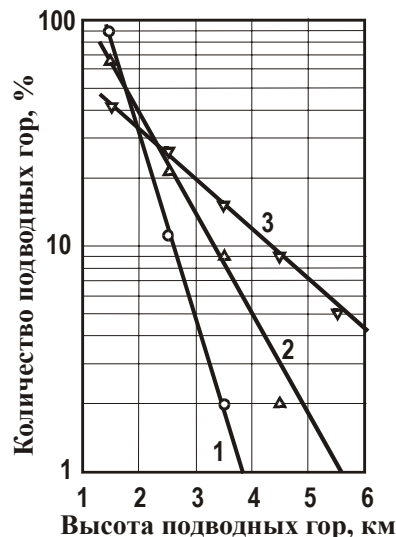


Рис.2. Распределение высот подводных гор на дне Атлантического океана разного возраста [11]: 1 – плейстоцен-олигоцен ($0 \div 37$ млн. лет), 2 – эоцен ($37 \div 65$ млн. лет), 3 – поздний мел ($65 \div 100$ млн. лет).

На рис.2 приведены распределения подводных гор по высотам на дне Атлантического океана разного возраста. Все распределения следуют зависимости: $N(h) = N_0 \exp(-h/\eta)$, где η – константа. Для гор на коре плейстоцен-олигоцена $\eta = 0.6 \text{ км}$, эоцена – $\eta = 1.0 \text{ км}$, а гор позднего мела – $\eta = 2.0 \text{ км}$. Объем гор связан с их высотой как $V = 23.7 h^3$ [11]. Поэтому объемы подвод-

ных гор также распределены по экспоненциальному закону. Средний объем гор на коре соответствующего возраста составляет: 95, 190 и 640 км³. Объем же наиболее старых и крупных подводных гор порядка 3000 км³ [10].

Очень похожие на подводные горы сооружения имеются и на Венере. Здесь они получили название тектонических куполов, которые интерпретируются как небольшие щитовые вулканы. Купола имеют диаметр 1-20 км и достигают высоты сотен метров. Распределение куполов по диаметрам подчинено все той же экспоненциальной зависимости. Средний диаметр купола 4 км. Объем вулканических пород, слагающих средний купол, составляет 0.73 км³, что в $\sim 10^2$ - 10^3 раз меньше объема подводных гор на Земле. Общее количество вулканических куполов на Венере оценивается величиной $\sim 10^6$ [12].

Геофизическими методами установлено [13], что под основанием подводных гор обычно имеется крупная магматическая камера (иногда не одна) размерами $\sim n \times 10$ км. Из этой камеры магматический расплав по каналу диаметром ~ 1 км поступает кверху, где, изливаясь на поверхность дна, создает подводную гору. Степень плавления пород камеры $\sim 10\%$. Тем самым, при объеме камеры 10^4 - 10^5 км³ объем расплава может быть 10^3 - 10^4 км³, что достаточно для создания очень крупных подводных гор. Время «жизни» магматической камеры ~ 100 млн. лет [13], поэтому процесс излияния магмы может происходить на протяжении всего времени существования ложа современных океанов.

Характер изменения размеров подводных гор с увеличением возраста коры на рис.2 свидетельствует об активном протекании на дне океанов двух процессов. С одной стороны, это появление на дне новых молодых гор, а с другой – постепенный рост гор в ходе спрединга дна. Первый процесс можно объяснить периодическими бомбардировками Земли галактическими кометами, а второй – связать с длительным временем существования магматических камер.

Произведем элементарный расчет. Оценим количество энергии E_k , которое необходимо галактической комете для создания в астеносфере магматической камеры объемом $V_0 = 10^5$ км³, способной образовать за счет излияния лав подводную гору объемом $V_r = 10^3$ км³ и массой $m_r \approx 3 \times 10^{15}$ кг. Величина этой энергии составит: $E_k = C_p V_0 \Delta T + \xi \lambda \rho_s V_0 + m_r g H$. Первое слагаемое определяет количество энергии, необходимое для нагревания вещества камеры до температуры ликвидуса. Второе характеризует количество тепла, требуемое для превращения части ($\xi \sim 10\%$) нагретых пород в магматический расплав. И третье слагаемое определяет затраты энергии на подъем магмы к поверхности с глубины H (трением магмы о стенки канала пренебрегаем). Этот подъем обеспечивается увеличением объема пород камеры при нагревании на величину $\Delta V_0 = V_0 [\beta \Delta T + \xi (\rho_s / \rho_L - 1)]$. Полагая ускорение силы тяжести $g = 9.8$ м/с², коэффициент удельной теплоты нагревания пород $C = 1200$ Дж/кг·К°, коэффициент их удельной теплоты плавления $\lambda = 210$ кДж/кг, коэффициент объемного расширения пород $\beta = 3 \times 10^{-5}$ (К°)⁻¹, а также плотность пород до плавления $\rho_s = 3300$ кг/м³ и после плавления $\rho_L = 2700$ кг/м³, получаем, что при нагревании вещества камеры на $\Delta T = 500^\circ$ и превращения $\xi = 10\%$ части ее пород в расплав объем камеры увеличится на $\Delta V_0 = 3.5 \times 10^3$ км³.

Так как этот избыток объема в основном устраняется излиянием магмы, то данный процесс способен привести к появлению очень крупных подводных гор. При этом на образование самой магматической камеры требуется 3×10^{23} Дж энергии, из которых $\sim 2/3$ идет на нагрев ее пород и $\sim 1/3$ на их плавление. Подъем лав к поверхности менее энергозатратен. Затраты энергии здесь составляют $\sim 3 \times 10^{19}$ Дж на 1 км глубины. Если допустить, что на данный процесс расходуется $\sim 10\%$ энергии, идущей на образование камеры, то этого ее количества достаточно, чтобы обеспечить подъем лав с глубин $H \sim 1000$ км.

При раскрытии океанов в зонах срединных хребтов скорость горизонтальных движений океанической литосферы с глубиной снижается. Она максимальна для поверхностного слоя остывшей коры и несколько меньше у вещества подстилающей кору мантии. Поэтому в случае, когда магматическая камера располагается неглубоко и движется вместе с дном, изливающаяся из камеры лава формирует одиночную гору, которая по мере разрастания дна увеличивается в размере, сохраняя конусную форму. Если скорость перемещения дна от хребта выше скорости движения камеры, то в процессе своего роста гора приобретает асимметричную форму. Такой асимметрией обладают многие подводные вулканы. И, наконец, если камера находится столь глубоко, что почти не перемещается, то при излиянии лав создается эффект «горячей точки», когда вместо одиночной горы возникает вулканический хребет или вытянутая в линию цепь подводных гор, протягивающаяся иногда, как на Гавайях, на 2500 км.

Сопоставляя оценки энергии горообразования с энергией комет, находим, что, по крайней мере, 5% комет кометного ливня имеет энергию свыше 3×10^{23} Дж. Полагая, что за одну бомбардировку на Землю выпадает в среднем $10^4 \div 10^5$ галактических комет [1,2], они способны инициировать появление $\sim 10^3 \div 10^4$ крупных подводных гор. Принимая во внимание, что возраст современного океанского ложа не превышает 200 млн. лет и что за это время произошло 8 кометных бомбардировок, общее число созданных ими крупных подводных вулканов должно составить несколько десятков тысяч. Количество же мелких подводных гор достигнет $\sim 10^6$, что вполне хорошо согласуется с фактическими данными не только для Земли, но и Венеры.

Таким образом, предложен механизм образования подводных гор кометами Галактики. Механизм включает: 1) разрушение галактических комет в атмосфере Земли с возникновением гиперзвуковой ударной волны; 2) прохождение ударной волны через толщу вод и породы океанской литосферы; 3) диссипацию энергии волны в астеносфере с созданием магматической камеры; 4) излияние лав камеры в виде плюма с созданием на океанском дне подводной горы.

Наименее исследованными вопросами механизма являются процессы взаимодействия гиперзвуковой кометной ударной волны с внешней жидкой и твердой оболочками Земли. На теоретическое изучение этих проблем в ближайшее время следует направить основные усилия.

Литература

1. Баренбаум А.А. Галактика, Солнечная система, Земля. Соподчиненные процессы и эволюция // М.: ГЕОС. 2002. 394 с.
2. Баренбаум А.А., Гладенков Ю.Б., Ясаманов Н.А. Геохронологические шкалы и астрономическое время (современное состояние проблемы) // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2002. Т.10. №2. СС. 3-14.
3. Артюшков Е.В. Новейшие поднятия земной коры на континентах как следствие подъема из мантии крупных масс горячего вещества // Докл. АН. 1994. Т.336. №5. СС.680-683.
4. Баренбаум А.А., Ясаманов Н.А. Галактические кометы как один из ведущих факторов тектонической эволюции планет земной группы // Тектоника и геодинамика континентальной литосферы. Материалы 36 Тектон. совещ. Т.1. М.: ГЕОС. 2003. СС. 24-26.
5. Казимиров Д.А., Родионова Ж.Ф. Ситников Б.Д. и др. Планетарные закономерности распределения кратеров на Марсе, Луне и Меркурии // Препринт ГИН-ГАИШ. М.: 1981.
6. Фельдман В.И. Каталог астроблем и метеоритных кратеров Земли // Метеоритика. 1987. Вып. 46. СС. 154-157; Каталог астроблем и метеоритных кратеров Земли (Дополнение 1) // Метеоритика. 1993. Вып. 50. СС. 142-145.
7. Масайтис В.Л., Мащак М.С. Районирование территории СССР по относительной оценке плотности вероятно сохранившихся астроблем // Метеоритика. 1984. Вып.43. СС. 161-172.
8. Мелош Г. Образование ударных кратеров. Геологический процесс // М.: Мир. 1994. 336 с.
9. Barenbaum A.A. Definition of parameters of galactic comets nucleuses by measurement of crater diameters on the Mars and the Moon // Microsymposium 38 Vernadsky Inst. - Brown Univ. Abstracts. М.: 2003. MS004.
10. Ильин А.В. Изменчивый лик глубин. Проблемы изученности дна океана // М.: 1996. 186 с.
11. Марова Н.А., Алехина Г.Н. Объемы подводных вулканических гор Атлантического океана и зависимость их распределения от эволюции океанической литосферы // Океанология. 1998. Т.38. С.435-441.
12. Креславский М.А., Вдовиченко Р.В., Дж.У.Хэд. Морфометрия малых кратеров на Венере по радарным изображениям // Астрономический вестник. 2000. Т.34. №4. СС. 291-301.
13. Добрецов Н.Л., Кирдяшкин А.Г., Кирдяшкин А.А. Глубинная геодинамика. Новосибирск: СО РАН. Фил. ГЕО. 2001. 409 с.

Вестник Отделения наук о Земле РАН - №1(22) 2004

Информационный бюллетень Ежегодного семинара по экспериментальной минералогии, петрологии и геохимии 2004 года (ЕСЭМПГ-2004)

URL: http://www.scgis.ru/russian/cp1251/h_dgggms/1-2004/informbul-1/term-1.pdf

Опубликовано 1 июля 2004 г

© *Вестник Отделения наук о Земле РАН, 1997 (год основания), 2004*

При полном или частичном использовании материалов публикаций журнала, ссылка на "Вестник Отделения наук о Земле РАН" обязательна