

УДК 551.465

*Памяти Н.А. Маровой посвящается*

## ОБЪЕМЫ ВУЛКАНИЧЕСКИХ ГОР ЛОЖА ОКЕАНА В ПРОЦЕССЕ ЭВОЛЮЦИИ ОКЕАНИЧЕСКОЙ ЛИТОСФЕРЫ

© 2007 Е.В. Жулёва

*Институт океанологии им. П.П. Шишова РАН, Москва, 117997;  
e-mail: lenageo@rambler.ru*

Представлены результаты анализа объемов вулканических гор ложа океана, формирующихся на разновозрастных участках океанической литосферы. Выявлены особенности пространственного распределения высот и объемов океанских вулканов, образующихся в различных геодинамических условиях. Сделан вывод о ведущей роли внутриплитового вулканизма на литосфере возрастом от 60 до 90 млн. лет в формировании вулканогенной морфоструктуры ложа океана.

Образование вулканических гор является важным этапом формирования твердой оболочки Земли. Непрерывный мощный процесс горообразования, характерный для срединно-океанических хребтов и собственно ложа океана, вносит существенный вклад в распределение вулканогенного вещества в ходе эволюции океанической литосферы и в значительной степени определяет особенности распространения вулканических гор в рельефе океанского дна.

При проведении геоморфологических исследований океанского вулканизма в качестве основного морфометрического показателя обычно рассматривается высота гор. Количественный анализ этого параметра позволил провести характеристику распределения гор различной высоты в пределах различных акваторий и морфоструктур океанского дна (Ефимов, Турко, 1995; Марова, 1982), разновозрастных участков океанической литосферы (Городницкий, 1985; Городницкий и др., 1978; Жулёва, 2001, 2004), генетически однородных районов с разной морфологией поверхности (Scheirer, Macdonald, 1993).

### ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ И СПОСОБЫ ЕЕ ДОСТИЖЕНИЯ

Цель настоящего исследования – анализ динамики масштабов океанского вулканизма на основе изучения распределения объемов вулканических гор, образующихся на разновозрастных участках литосферы. По соотношению суммарных

объемов образующихся вулканов можно судить о характере поступления магматического материала в ходе эволюции океанической литосферы и об интенсивности формирования вулканогенных морфоструктур ложа океана на океанической литосфере разного возраста, в различных геодинамических условиях.

Первым специалистом, исследовавшим интенсивность образования вулканических гор в океане на основании анализа такого показателя, как объем слагающих вулканитов, была сотрудница Института океанологии РАН, кандидат географических наук Н.А. Марова. Ею была выведена формула расчета объемов вулканических гор и предложена методика вычисления объемов гор океанского дна с учетом мощности осадочного чехла (Марова, Алёхина, 1998). В целях проведения наиболее полной характеристики распространения вулканических гор в пределах отдельных океанов Н.А. Маровой были вычислены суммарные объемы вулканитов подводных гор Тихого, Атлантического океанов и их отдельных регионов, а для участков несущей литосферы разного возраста определены такие показатели, как «мощность условного слоя вулканитов» и «средняя скорость накопления вулканитов за 1 млн. лет» (Марова, 1987; Марова, Алёхина, 1992, 1998).

На основании надежных морфометрических измерений по батиметрическим картам Н.А. Маровой была выведена формула для вычисления объема подводных гор

## ОБЪЕМЫ ВУЛКАНИЧЕСКИХ ГОР ЛОЖА ОКЕАНА

$$V = 1/3\pi R^2 h = 1/3\pi(h/tg\alpha)^2 h = 23.7h^3,$$

где  $R$  – радиус основания горы;  $h$  – высота горы; 23.7 – постоянный коэффициент при среднем угле наклона склонов  $\alpha = 11^\circ.8$  (Марова, Алёхина, 1998).

При вычислении объемов вулканические горы условно аппроксимируются конусами. Форму, близкую к конусовидной, могут иметь молодые вулканы центрального типа, а по мере увеличения возраста, в ходе эрозионно-абразионных и аккумулятивных процессов, они заметно трансформируются. Изменения начальной формы проявляются, прежде всего, в срезании вершины конуса и деформациях боковой поверхности, и проводимая аппроксимация допустима лишь в первом приближении. Однако на настоящем уровне морфологических исследований подводных гор используемый подход обеспечивает решение поставленной задачи.

В проводимые расчеты включается «видимая» высота горы. Высота непосредственно вулкана была больше. Сокращение абсолютной высоты постройки связано с изостатическим погружением горы в ходе термического уплотнения пород магматического очага и собственно вулкана на завершающей стадии вулканической деятельности (Ушаков, Дубинин, 1996). Кроме того, в случае формирования острова происходит эрозионно-абразионное разрушение надводной вершины. Изменение фиксируемой высоты горы вызывается погребением подножий палеовулканов в ходе аккумуляции рыхлых осадков в океанских котловинах; оно отчасти компенсируется накоплением осадочного материала на подводных вершинах.

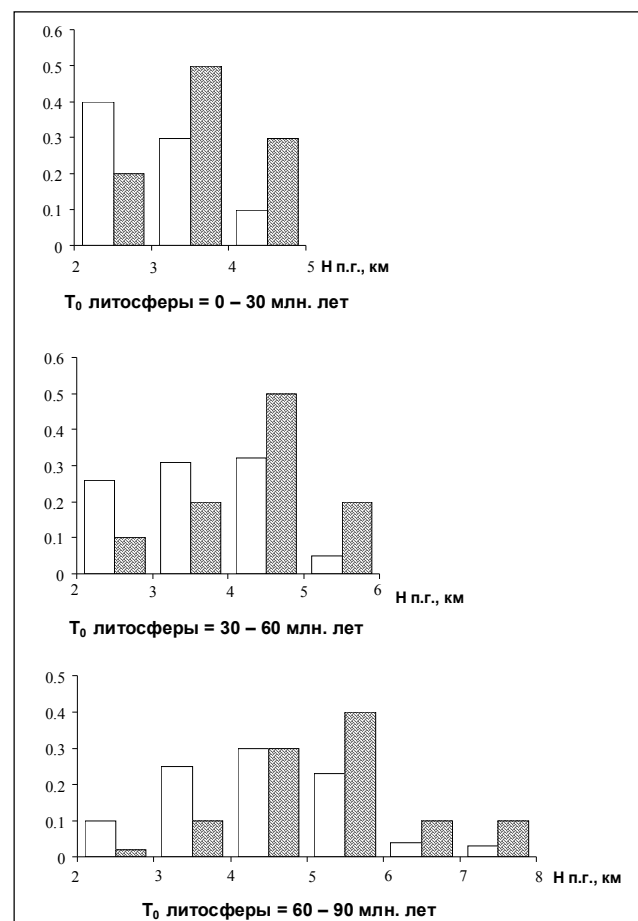
## ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

К подводным горам относятся изолированные вулканические поднятия глубоководного дна высотой более 1000 м. Опубликованная информация о высотах вулканических гор отдельных океанов свидетельствует о резком преобладании на океанической литосфере низких гор высотой от 1 до 2 км: в Атлантическом океане на их долю приходится около 53% (Марова, Алёхина, 1992), в Тихом – около 66% (Марова, 1987), в Индийском – около 57% (Ефимов, Турко, 1995). В среднем по океанам они составляют примерно 58.8% от общего количества построек. Однако оценка суммарного объема гор этой преобладающей высоты показывает, что на их долю приходится лишь 0.1 общего объема излившихся пород, слагающих вулканические горы ложа океана. То есть, несмотря на относительно большое количество и широкое распространение низких гор, их формирование не вносит существенного вклада в распределение магматического вещества в процессе вулканизма на океанической литосфере. При оценке объемов материала, выходящего на

дневную поверхность в ходе формирования вулканических гор ложа океана, постройки высотой от 1 до 2 км могут рассматриваться как своеобразный «фон» для средних и крупных гор, в которых сосредоточено 90% изверженных вулканитов.

В проведенный количественный анализ включена случайная выборка данных для 250 вулканических гор, вошедших в собственный электронный каталог геолого-геоморфологических данных о вулканических горах ложа Мирового океана (Жулёва, 2007). Были использованы такие характеристики, как высота горы, возраст горы и возраст несущей литосферы. По разнице двух последних показателей (возраст литосферы и возраст горы) определялся тот возраст литосферной плиты, когда на ней происходило формирование вулкана.

Для анализа динамики масштабов горообразования по мере увеличения возраста океанической литосферы построены столбчатые гистограммы (рисунок).



**Рис.** Гистограммы распределения высот и суммарных объемов формирующихся вулканических гор (в долях единицы) в пределах разновозрастных участков океанической литосферы.

Белые столбцы – высоты; заштрихованные столбцы – объемы.  $T_0$  – возраст литосферы, на которой происходило образование вулкана.

Выбранный возрастной интервал составляет 30 млн. лет. Проводится кластерный анализ распределения размеров вулканов, формирующихся на литосфере возрастом от 0 до 30 млн. лет, мощностью менее 41 км, от 30 до 60 млн. лет, мощностью 41 – 58 км, и от 60 до 90 млн. лет, мощностью 58 - 71 км. Мощность литосферы указывается в соответствии с расчетами, выполненными по формуле О.Г. Сорохтина:  $M = 7.5T^{1/2}$  (Сорохтин, 1974). Возраст литосферы ограничен значением 90 млн. лет, так как ранее было установлено, что около 95% вулканов ложа океана сформировалось на литосфере, возраст которой не превышал 90 млн. лет (Брусиловский, Жулёва, 1998). В построенных графиках ось абсцисс разбита на конечное число граничащих друг с другом интервалов, количество которых определялось выявленным на основании экспериментальных исследований диапазоном значений высот вулканических гор, сформировавшихся на литосфере соответствующего возраста (Жулёва, 2001). На графиках отмечено, какая доля выборочных значений высот лежит в каждом интервале. Кроме того, для каждого интервала указаны суммарные объемы слагающего вулканического материала, посчитанные с учетом групповых частот по приведенной выше формуле.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В пределах рассмотренных возрастных диапазонов распределения групповых частот для выделенных высотных интервалов и суммарных объемов вулканических гор не идентичны. Так, на литосфере возрастом от 0 до 30 млн. лет гор высотой 2-3 км образуется в 4 раза больше, чем гор высотой 4-5 км, а их суммарные объемы соотносятся как 2:3. В пределах океанической литосферы возрастом от 30 до 60 млн. лет вулканы высотой от 2 км до 3 км формируются гораздо чаще, чем вулканы высотой от 5 км до 6 км, а суммарный объем сосредоточенного в них вулканического материала вдвое меньше. В то же время при сравнительно равномерном формировании вулканов высотой 3-4 км и 4-5 км суммарный объем последних в два раза больше. На литосфере возрастом от 60 до 90 млн. лет образуется примерно одинаковое количество гор в высотных интервалах 3-4 км и 5-6 км, а суммарный объем последних в четыре раза больше.

На литосфере различного возраста можно выделить характерные высоты вулканических гор, в которых сосредоточены наибольшие объемы магматических пород, и формирование которых связано с максимальными объемами вертикального массопереноса глубинного вещества, участвующего в горообразовании на дне океана. На океанической литосфере возрастом от 0 до 30 млн. лет примерно

половина вулканических сконцентрирована в горах высотой 3-4 км со средним объемом отдельных построек около  $1016 \text{ км}^3$ , в пределах литосферы возрастом от 30 до 60 млн. лет - в горах высотой 4-5 км со средним объемом построек  $2160 \text{ км}^3$ . На океанической литосфере возрастом от 60 до 90 млн. лет наибольшие объемы вулканического материала заключены в постройках высотой 5-6 км со средним объемом  $3943 \text{ км}^3$  (их доля составляет 0.4) и в горах высотой 4-5 км, на долю которых приходится около 0.3 суммарного объема формирующихся гор.

Сравнительный анализ суммарных объемов вулканических гор, формирующихся на разновозрастных участках океанической литосферы, показывает, что они растут по мере увеличения возраста и, соответственно, мощности литосферы, и для рассмотренных возрастных интервалов их соотношение составляет 2 : 3 : 5.

### ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

На литосфере разного возраста существуют различные геодинамические обстановки, в которых формируются вулканические горы ложа океана. В пределах наиболее молодых участков литосферы, к которым приурочены срединно-океанические хребты, формирование вулканов происходит на дивергентных и трансформных границах литосферных плит: в спрединговых зонах и трансформных разломах (Ушаков, Дубинин, 1996). Кроме того, как для срединно-океанических хребтов, так и непосредственно для ложа океана характерен вулканизм, согласно разным моделям связанный с плюмовым магматизмом «горячих точек» и обстановками «pull-apart» в условиях фрактальной дискретности литосферы (Грачев, 2000; Мирлин, 2001).

Важно отметить, что при принятом подходе анализируется не количество вулканического вещества, накапливающегося на океанической литосфере по мере увеличения ее возраста, а суммарные объемы магматического материала, который непосредственно поступает на земную поверхность в пределах литосферы разного геологического возраста в процессе горообразования в разных геодинамических обстановках. Представлен этот материал, в основном, толеитовыми и щелочными базальтами.

Поскольку вулканизм спрединговой зоны начинает проявляться с момента формирования дивергентной границы, можно говорить о том, что он является наиболее продолжительным по времени в геологической истории океанов, и его возраст составляет около 160 млн. лет. Однако в вулканических горах, которые сформировались на новообразованной литосфере возрастом от 0 до

30 млн. лет в пределах срединно-океанических хребтов в ходе вулканизма спрединговой зоны, а также активных и близлежащих пассивных частей трансформных разломов, сосредоточено только 0.2 объема вулканитов, слагающих горы океанского ложа. Рассматривая вулканизм спрединговой зоны необходимо отметить, что в горообразовании участвует лишь очень небольшая часть магматического вещества, выносимого в рифтовых зонах срединно-океанических хребтов. Объемы поступления вулканического материала в рифтовых зонах, по данным О.В. Кувикас (2007), составляют не менее 4 км<sup>3</sup> в год, и это вещество составляет второй слой океанической коры.

С учетом вулканической активности на литосфере возрастом от 30 до 60 млн. лет, можно говорить о том, что в целом в пределах срединно-океанических хребтов, условная граница которых соответствует изохроне 65 млн. лет (Ильин, 2003), на земную поверхность поступило около половины вулканитов, формирующих подводные горы и острова ложа океанов.

Другая половина изливается на поверхность дна с возрастом литосферы от 60 до 90 млн. лет. В условиях внутриплитового вулканизма, определяемого плюмовым магматизмом «горячих точек» либо фрактальной дискретностью литосферы, на сравнительно мощной литосфере океанских котловин чаще образуются крупные вулканические горы высотой более 4000 м, в которых сосредотачиваются наибольшие объемы излившихся пород.

## ВЫВОДЫ

Продолжительный вулканизм рифтовых зон и трансформных разломов не играет ведущей роли в выносе магматического вещества, участвующего в горообразовании. Суммарный объем вулканических гор, сформировавшихся на геодинамических границах в пределах срединно-океанических хребтов на литосфере возрастом менее 60 млн. лет, сопоставим с суммарным объемом внутриплитовых вулканов, выросших в ходе рассосредоточенного вулканизма на литосфере возрастом от 60 до 90 млн. лет.

Динамика вертикального массопереноса, определяющего формирование вулканических гор ложа океана, заключается в увеличении объемов изверженного материала по мере увеличения возраста литосферы до 90 млн. лет, что подтверждается соотношением суммарных объемов вулканических гор, образующихся на разновозрастных участках океанского дна. Подобный рост суммарных объемов связан с расширением диапазона высот образующихся вулканов и увеличением относительного количества крупных гор.

Наибольший вклад в распределение базальтов, поступающих на земную поверхность в процессе

вулканизма в ходе эволюции океанической литосферы, вносит образование крупных гор высотой от 4 до 6 км и объемом от 1517 км<sup>3</sup> до 5119 км<sup>3</sup> в провинциях возрастом от 60 до 90 млн. лет. Этот процесс играет ведущую роль в формировании вулканогенной морфоструктуры ложа океана.

## Список литературы

- Брусиловский Ю.В., Жулёва Е.В.* Возрастное распределение палеовулканов на океанической литосфере // Докл. АН СССР. 1998. Т. 359. № 5. С. 683-685.
- Городницкий А.М.* Строение океанской литосферы и формирование подводных гор. М.: Наука, 1985. 166с.
- Городницкий А.М., Марова Н.А., Седов А.П.* Высоты подводных гор Тихого океана и их связь с мощностью литосферы // Докл. АН СССР. 1978. Т. 243. № 6. С. 1517-1520.
- Грачев А.Ф.* Мантийные плюмы и проблемы геодинамики // Физика Земли. 2000. № 4. С. 3-37.
- Дубинин Е.П., Ушаков С.А.* Океанический рифтогенез. М.: ГЕОС, 2001. 293 с.
- Ефимов В.Н., Турко Н.Н.* Морфометрические характеристики подводных гор Индийского океана // Геология и минеральные ресурсы мирового океана. СПб.: ВНИИОкеангеология, 1995. С. 219-234.
- Жулёва Е.В.* Оценка связи высоты океанских палеовулканов с параметрами литосферы // Океанология. 2001. Т. 41. № 5. С. 780-784.
- Жулёва Е.В.* Геоморфология вулканических гор ложа океана. М.: ИО РАН, 2004. 185 с.
- Жулёва Е.В.* Рельеф вулканических гор ложа океана: Автореф. дис. ... д-ра географ. наук. СПб., 2007. 54 с.
- Ильин А.В.* Эволюция морфоструктуры дна океана // Океанология. - 2003. Т. 43. № 3. - С. 428-440.
- Кувикас О.В.* Объемы и особенности пространственного проявления вулканизма рифтовых зон срединно-океанических хребтов // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2007. № 1. Вып. 9. С. 150-153.
- Марова Н.А.* Зависимость высот подводных гор Тихого океана от возраста литосферы // Океанология. 1982. Т. 22. № 3. С. 435-438.
- Марова Н.А.* Некоторые закономерности распределения внутриплитовых подводных вулканов ложа Тихого океана // Докл. АН СССР. 1987. Т. 295. № 1. С. 219-223.
- Марова Н.А., Алёхина Г.Н.* Подводные горы Атлантического океана и особенности их распространения // Океанология. - 1992. Т. 32. - С. 178-180.
- Марова Н.А., Алёхина Г.Н.* Объемы подводных вулканических гор Атлантического океана и

ЖУЛЁВА

зависимость их распределения от эволюции океанической литосферы // *Океанология*. 1998. Т. 38. № 3. С. 435 - 441.

*Мирлин Е.Г.* Фрактальная дискретность литосферы и геодинамика // *Докл. РАН*. 2001. Т. 379. № 2. С. 231-234.

*Сорохтин О.Г.* Глобальная эволюция Земли. М.: Наука, 1974. 181с.

*Ушаков С.А., Дубинин Е.П.* Внутриплитовая тектоника и эволюция рельефа дна и океанической литосферы. *Жизнь Земли: строение и эволюция литосферы*. М.: Изд-во МГУ, 1996. С. 37-67.

*Scheirer D.S., Macdonald K.C.* Near-axis seamounts of East Pacific Rise // *J. Geophys. Res.* 1993. V. 98. P. 7871-7886.

## THE VOLUMES OF THE OCEAN BOTTOM'S VOLCANIC SEAMOUNTS IN PROCESS OF CRUSTAL EVOLUTION

**Zhuleva E.V.**

*P.P. Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow*

The results of the analysis of the volumes distribution of the seamounts formed on different age's oceanic plates have been presented. The peculiarities in the spatial distribution of the heights and volumes of oceanic volcanoes formed in different geodynamic conditions were revealed. The conclusion about the leading part of the intraplate volcanism on the lithosphere about 60-90 millions age in the bottom's volcanic morphostructure formation is make.