

## **К вопросу о механизмах базальтового-андезибазальтового и андезитового-дацитового типов извержений**

**А.Ю. Озеров**

*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский,  
e-mail: [ozerov@ozerov.ru](mailto:ozerov@ozerov.ru)*

На основании систематизации и анализа вулканологических, петрологических и экспериментальных данных установлено, что разнообразие извержений, наблюдаемых на Камчатке, обусловлено двумя принципиально разными эруптивными моделями: газогидродинамической – для жидких базальт-андезибазальтовых магм и вязкоупругодинамической – для малоподвижных андезитовых-дацитовых магм.

### **Введение**

В настоящее время механизмы подготовки и реализации извержений являются самой малоизученной частью магматического процесса как в России, так и за рубежом. Не определены различия между механизмами базальтового-андезибазальтового и андезитового-дацитового типов извержений. Не выявлены отличия в природе возникновения разных типов вулканических землетрясений. Остается дискуссионным вопрос о причинах перехода магматических расплавов во взрывообразное состояние. Это связано с тем, что ни в физике, ни в физической вулканологии не описаны аналоги подобных процессов. Поэтому реальные модели подготовки и реализации извержений до сих пор не разработаны.

Предлагаемое исследование обобщает значительный массив вулканологических, сейсмологических, петрологических и экспериментальных данных. Впервые представлена концептуальная систематизация этих материалов и показана целесообразность развития нового научного направления, ориентированного на всестороннее моделирование процессов извержений.

Цель исследований – определение главных физических процессов, обеспечивающих извержения вулканов базальтового-андезибазальтового и андезитового-дацитового типов.

Основные методы – комплексное изучение магматических пород и динамических параметров извержений, экспериментальное газогидродинамическое моделирование процесса движения жидких базальтовых и андезибазальтовых магм, теоретическое моделирование движения вязких андезитовых и дацитовых магм, сопоставление полученных данных с информацией по реальным вулканическим процессам.

Объекты моделирования – динамические процессы, происходящие в магматической колонне при подъеме расплава по подводящему каналу вулкана, а также взрывные эффекты извержений в кратере вулкана.

### **Особенности базальтового-андезибазальтового и андезитового-дацитового типов извержений**

Камчатка является наиболее подходящим регионом для проведения настоящих исследований, поскольку здесь наблюдается самая высокая концентрация активных вулканов на нашей планете. Среди них суперактивные вулканы, извергающиеся практически ежегодно: Ключевской, Шивелуч, Безымянный и Карымский. Другие вулканы извергаются реже: Толбачинский, Кизимен, Жупановский, Авачинский, Корякский, Горелый, Мутновский и Ксудач.

Химический состав изверженных пород изменяется в широких пределах. На рисунке приведен общекамчатский петрохимический тренд вулканических пород,

построенный с использованием базы данных GEOROC. Представлены вариации содержания MgO в зависимости от содержания SiO<sub>2</sub> – желтые кружки. Тренд начинается в поле высокомагнезиальных базальтов (MgO 14–10 мас.%), проходит через андезибазальты, андезиты, дациты и заканчивается в поле ультракислых риолитов (MgO 0 мас.%).

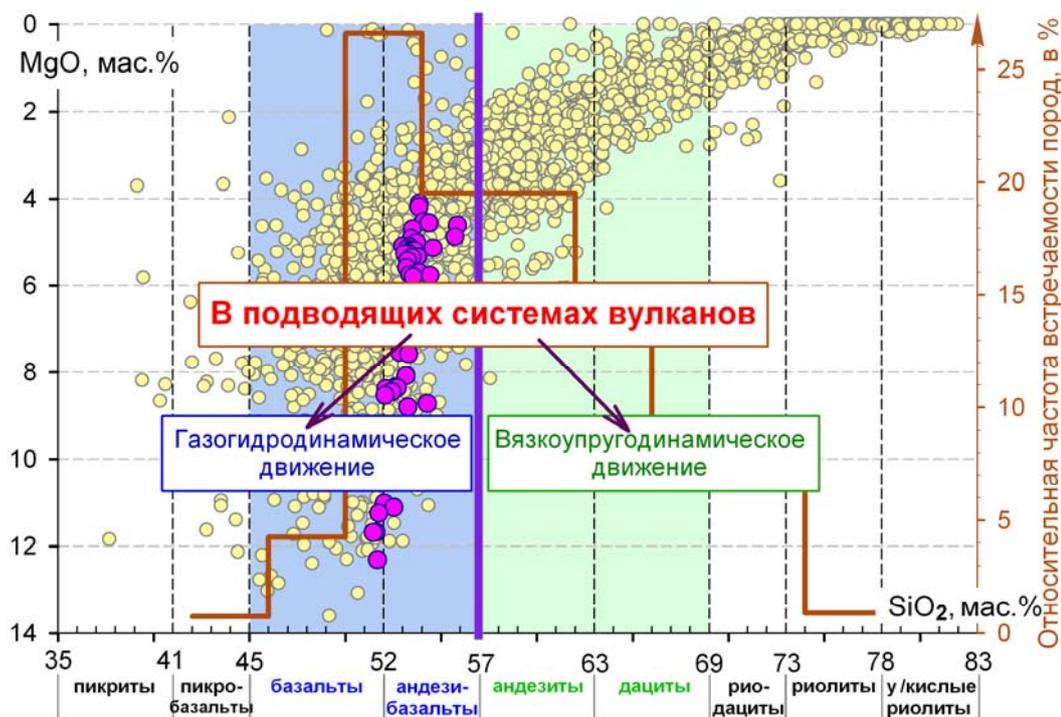


Рисунок. Общекамчатский петрохимический тренд вулканических пород. Вариации содержания MgO в зависимости от содержания SiO<sub>2</sub> (желтые кружки) и распределение четвертичных лав Камчатки (коричневая линия) с различным содержанием SiO<sub>2</sub>. Породы Ключевского вулкана показаны лиловыми кружками.

Распространенность пород в пределах общекамчатского тренда различна. Коричневая линия – гистограмма распределения четвертичных лав Камчатки с различным содержанием SiO<sub>2</sub>, по данным О.Н. Волынца и А.В. Колоскова [1]. Гистограмма показывает, что максимальное развитие имеют базальты и андезибазальты, затем по распространенности следуют андезиты и дациты. Лиловыми кружками показан базальтовый-андезибазальтовый тренд серии пород Ключевского вулкана, левее располагаются базальты Толбачика. Породы вулканов Шивелуча, Безымянного, Кизимена, Карымского, Жупановского попадают в поле андезитов и дацитов. Состав пород определяет их внешний облик: темно-серый до черного цвет характерен для базальтов-андезибазальтов, светло-серый цвет – для андезитов-дацитов.

Извержения рассматриваемых вулканов существенно различаются по своему характеру. При извержениях на базальтовых-андезибазальтовых вулканах изливаются лавовые потоки, они текут со скоростью 0,3–0,5 км/ч. В процессе извержений на андезитовых-дацитовых вулканах образуются пирокластические потоки, движущиеся с огромной скоростью 30–50 км/ч. Разница в скорости движения лавовых и пирокластических потоков достигает двух порядков значения.

Сопоставление рассматриваемых типов вулканов показывает значительные морфологические различия в строении их конусов. На вершинах базальтовых-андезибазальтовых вулканов Плоский Толбачик и Ключевской имеются глубокие полукилометровые кратеры, образовавшиеся в результате оттока жидкой магмы. На вершинах

андезитовых-дацитовых вулканов Безымянный и Шивелуч – высокие, достигающие полукилометровой высоты экстрезивные купола, состоящие из вязкой выжатой лавы.

Представленные различия в морфологии вулканов, в характере извержений и в типах слагающих их пород обусловлены особенностями строения питающих систем вулканов. В работе [6] представлена блок-диаграмма глубинного строения вулканов Ключевской и Безымянный. Согласно этим данным на Ключевском вулкане происходит прямой транспорт жидких высокоподвижных расплавов из верхней мантии к поверхности, тогда как магмы вулкана Безымянный, по мере подъема, задерживаются в промежуточном очаге. При этом изменяется их состав, падает температура, в результате чего к поверхности подходят вязкие малоподвижные расплавы.

В таблице приведены вязкостные характеристики извергаемых магматических расплавов разных вулканов в сопоставлении с хорошо известными веществами – водой, глицерином и вязкостью ледников. Хорошо видно, что самые жидкие базальтовые-андезибазальтовые магмы Ключевского вулкана ( $10^2$  пуаз) всего в 10 раз отличаются по вязкости от глицерина ( $10^1$  пуаз), а вязкие андезитовые-дацитовые магмы Безымянного вулкана ( $10^9$  пуаз) всего в 10 раз отличаются по вязкости от текущих ледников ( $10^{10}$  пуаз). Представленные данные демонстрируют, что в одном случае мы имеем дело с реальной жидкостью, а в другом – фактически с твердым телом.

**Таблица. Эффективная вязкость (в пуазах) базальтовых-андезибазальтовых и андезитовых-дацитовых магм в сопоставлении с жидкостями и ледниками**

Андезитовые и дацитовые	<b>Ледники</b>	$10^{10} - 10^{16}$
	<b>Шивелуч</b>	$10^9 - 10^{10}$
	<b>Безымянный</b>	$10^7 - 10^9$
	<b>Карымский</b>	$10^6 - 10^7$
Базальтовые и андезибазальтовые	<b>Толбачик Северный</b>	$10^4 - 10^5$
	<b>Ключевской</b>	$10^2 - 10^4$
	<b>Толбачик Южный</b>	$10^2 - 10^3$
	<b>Глицерин</b>	$10^1$
	<b>Вода</b>	$10^{-2}$

### **Газогидродинамическая и вязкоупругодинамическая модели извержений**

Из приведенных сведений следует, что механизмы подготовки и реализации базальтовых-андезибазальтовых и андезитовых-дацитовых извержений должны быть разными. Для понимания механизмов вулканических явлений проводится широкий комплекс исследований, важной составной частью которого является создание двух самостоятельных экспериментальных установок физического моделирования, соответственно для базальтового-андезибазальтового и для андезитового-дацитового типов извержений.

Базальтовые-андезибазальтовые извержения (вулканы Ключевской, Толбачинский, Корякский и Горелый) продуцируются магмами низкой вязкости. Такая вязкость дает возможность газовым пузырям подниматься значительно быстрее, чем магматический расплав, в котором они находятся. Газовая фаза формирует свои собственные структуры, которые взрывообразно реализуются на поверхности [2, 8]. Для исследования этих процессов нами создан крупногабаритный лабораторный Комплекс Аппаратуры Моделирования Базальтовых Извержений – КАМБИ [3–5]. В результате экспериментов показано, что базальтовый-андезибазальтовый тип извержений определяется законами газовой гидродинамики в вертикальных колоннах. Для изучения законов движения двухфазных магматических расплавов предлагается создать второе поколение установки КАМБИ, эксперименты на которой будут направлены на проведение параметрических исследований.

Другой тип извержений – андезитовый-дацитовый, проявляется на вулканах Шивелуч, Безымянный, Карымский, Кизимен, Жупановский, Авачинский и

Мутновский. Эти извержения генерируются вязкими и высоковязкими магмами. Выделившиеся из расплава пузыри газа находятся в запечатанном состоянии, они не имеют возможности самостоятельно двигаться и образовывать свои собственные крупные газовые структуры, как в базальтовых-андезиобазальтовых магмах. Андезитовые и дацитовые расплавы движутся за счет мощнейших сил выдавливания. Этот тип извержений определяется законами вязкоупругого движения [7], ведущая роль принадлежит силам трения, возникающим между расплавом и стенками подводющего канала, что создает условия для накопления упругой энергии в магматической колонне и последующей ее взрывной реализации. Для моделирования этого типа извержений необходимо создать самостоятельную экспериментальную установку – лабораторный аналог андезитового-дацитового вулкана.

### **Заключение**

1. Установлено, что разнообразие извержений вулканов Камчатки обусловлено двумя принципиально разными эруптивными моделями: газогидродинамической – для базальтового-андезиобазальтового вулканизма и вязкоупругодинамической – для андезитового-дацитового вулканизма.

2. Базальтовые-андезиобазальтовые извержения продуцируются магмой низкой вязкости, в которой газовые пузырьки поднимаются значительно быстрее заключающего их магматического расплава. Газовая фаза формирует свои собственные структуры, которые взрывообразно реализуются на поверхности.

3. Андезитовые-дацитовые извержения генерируются вязкими и высоковязкими магмами. Выделившиеся из расплава пузыри газа находятся в запечатанном состоянии, они не имеют возможности самостоятельно двигаться. Ведущая роль принадлежит силам трения расплава со стенками канала, что создает условия для накопления упругой энергии и последующей ее взрывной реализации.

4. Для дальнейшего продуктивного изучения механизмов извержений, наряду с традиционными методами исследования вулканов, необходимо использовать газогидродинамические и вязкоупругодинамические экспериментальные установки физического моделирования.

Исследование поддержано грантами РФФИ 15-05-05502 и ДВО 15-И-2-069.

### **Список литературы**

1. *Вольнец О.Н., Колосков А.В.* Плагиоклазы четвертичных эффузивов и малоглубинных интрузивов Камчатки. Новосибирск. Наука. 1976. 136 с.
2. *Дроздин В.А.* Физическая модель вулканического процесса. М.: Наука. 1980. 92 с.
3. *Озеров А.Ю.* Экспериментальный комплекс для моделирования базальтовых взрывов // В сборнике «Материалы ежегодной конференции, посвященной дню вулканолога». Петропавловск-Камчатский. 2007. С. 144-156.
4. *Озеров А.Ю.* Механизм базальтовых взрывов (экспериментальное моделирование) // Вулканология и сейсмология. 2010. № 5. С. 3-19.
5. *Озеров А.Ю.* Механизм периодического фонтанирования базальтовых вулканов (по экспериментальным исследованиям и природным наблюдениям) // Сборник «Экстремальные природные явления и катастрофы». Том. 2. М.: 2011. С. 279-298.
6. *Озеров А.Ю., Арускин А.А., Кайл Ф. и др.* Петролого-геохимическая модель генетического родства базальтового и андезитового магматизма вулканов Ключевской и Безымянный, Камчатка // Петрология. 1997. Т. 5. № 6. С. 614–635.
7. *Ozerov A.Yu., Ispolatov I.O., Lees J.* Modeling Strombolian eruption of Karymsky volcano, Kamchatka, Russia // Journal of Volcanology and Geothermal Research. 2003. № 122. P. 265-280.
8. *Vergnolle S., Jaupart C.* Separated two-phase flow and basaltic eruptions // Journal of Geophysical Research. 1986. V. 91. P. 12,842–12,860.