



# О природе сейсмического дрожания Ключевского вулкана

Иванов Виктор Васильевич  
Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН  
victor @ kscnet. ru



Nikolay V Ushakov (staff)

# ВВЕДЕНИЕ

Узкополосные сейсмические сигналы, связанные с процессами дегазации основных, сравнительно маловязких магм через центральные питающие каналы полигенных вулканов широко изучаются как за рубежом, так и на Камчатке. Сигналы обычно не имеют четких вступлений объемных волн, и их местоположение обычно не может быть определено методами классической сейсмологии. По данным сейсмических групп их источники располагаются на глубинах первые сотни метров от дна активного кратера. Они используются для целей мониторинга более 100 вулканов с основным составом продуктов по всему миру. Это особенно важно, поскольку в силу открытости этих вулканических систем подъем магмы перед вершинными извержениями не сопровождается заметными деформациями земной поверхности или роями вулканических землетрясений.

Сигналы бывают в форме импульсов (вулканические землетрясения) и продолжительных сигналов (вулканическое дрожание, ВД). Природа сигналов изучена недостаточно. Импульсные сейсмические сигналы подобного рода на Камчатке называются «взрывными вулканическими землетрясениями» или «событиями IV типа» по классификации П.И. Токарева. Дрожание подразделяется на «спазматическое», «непрерывное» и «полосчатое».

Более полное изучение природы указанной сейсмичности может дать способ получения информации о структуре основной магмы как газожидкостной системы и о происходящих в ней процессах. Для изучения подобных случайных процессов удобным является исследование их огибающих.

Ключевской вулкан является одной из 20 главных вулканологических обсерваторий мира. Сейсмичность указанного вида отмечается на нем ежедневно. Она изучалась многими исследователями (Г.С. Горшков, П.И. Токарев, В.И. Горельчик, В.В. Степанов, Е.И. Гордеев, В. Н. Чебров, А.Ю. Озеров и др.). П.П. Фирстов во время умеренной стромболианской активности вершинного кратера в 1980-х годах обнаружил, что огибающая ВД коррелирована с огибающей т.н. «акустического дрожания». Это доказывает, что ВД образуется в результате часто следующих стромболианских взрывов. Ранее на вулкане исследовались огибающие ВД, однако детального анализа распределения их вероятностей не проводилось. В силу труднодоступности, не проводилось также сопоставление сейсмичности с состоянием вершинного кратера по данным видеосъемки с его кромки. А именно это является целью настоящей работы.

В настоящее время по вулкану имеется достаточно полный сейсмограммный материал и средства для его статистической обработки (Д.В. Дроздин). Появились важные результаты по физическому моделированию стромболианской активности (А.Ю. Озеров), что вызывает повышенный интерес для изучения сопровождающей этот процесс сейсмичности. С другой стороны, полученные новые сведения о сейсмичности могут быть полезными для моделирования гидродинамических процессов в магматических колоннах.

# ТИПЫ АКТИВНОСТИ ВУЛКАНА

## вулканско - стромболианский

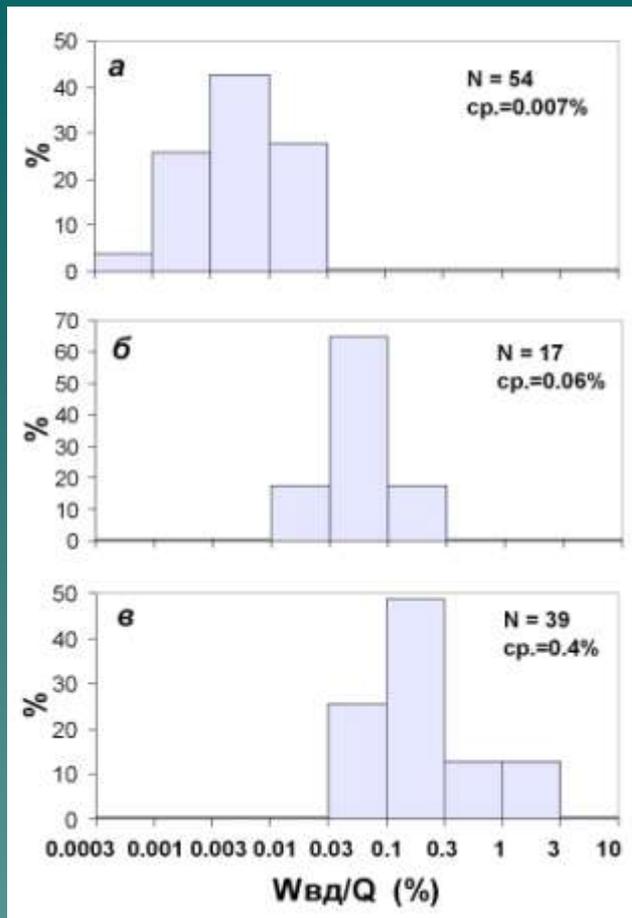


При вулканской активности, когда выбрасываются мелкие лапилли и вулканический пепел, очевидно структура магмы в основном состоит из сравнительно мелких пузырьков и расплава.

## Стромболианско - вулканский тип

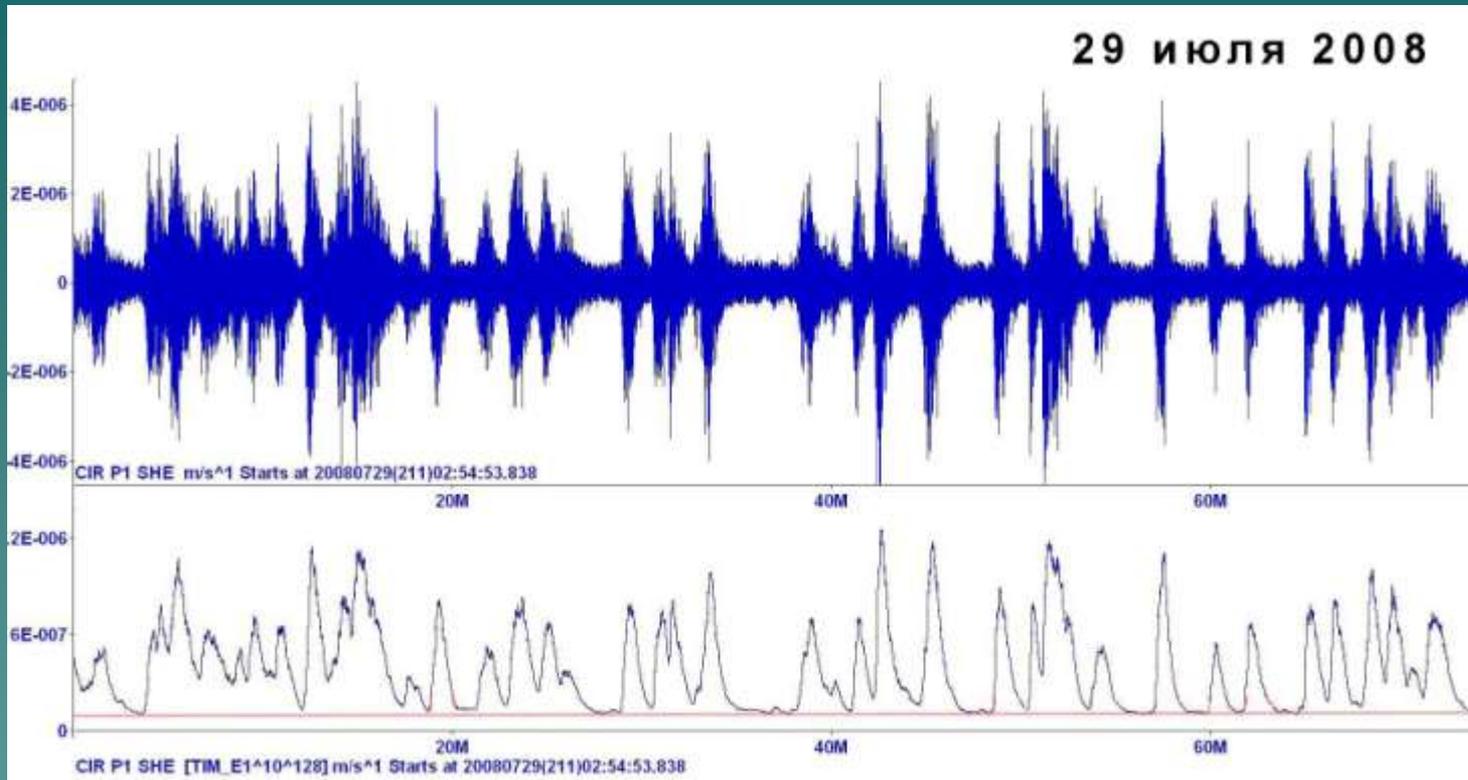


Стромболианские взрывы следуют один за другим без перерывов. При чистой стромболианской активности не выбрасывается пепла и если это происходит в глубоком кратере вулкана ее незаметно их пос. Ключи.



Доля мощности сейсмических сигналов от тепловой мощности струй извержения максимальна для стромболианской активности, меньшая для слабой стромболианской и субплинианской и наименьшая для чисто вулканической и парагазовой активностей (Иванов, 1988). Это можно использовать для целей мониторинга.

# Сопоставление сейсмичности и вулканической активности 29 июля 2008 г.



На рисунке отмечаются как короткие сигналы (импульсы, события IV типа) с длительностью 1-1.5 мин, так и более (длительные от 3 до 9 мин) сигналы. Между ними уровень сигнала снижается до фона микросейсм.

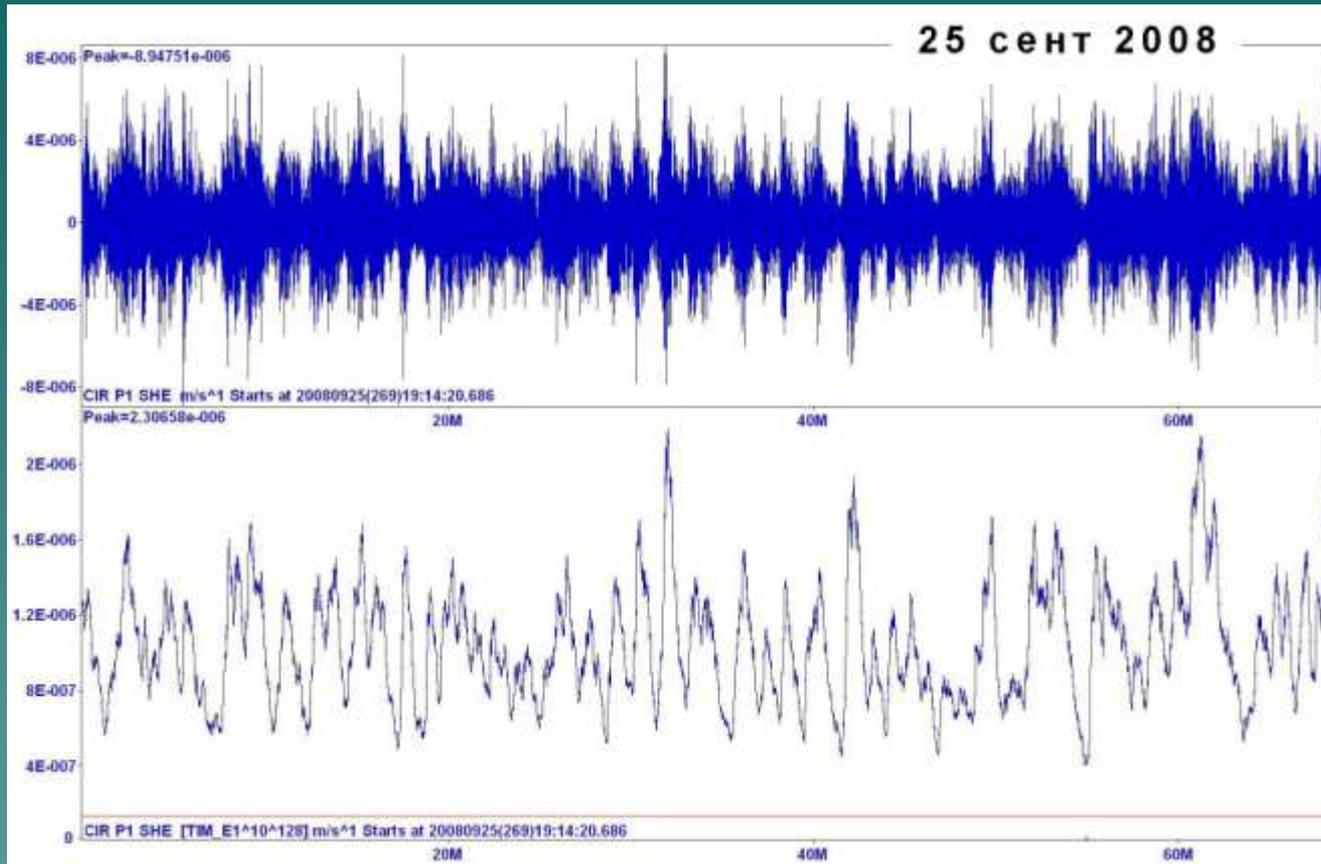
Распределение длительности всех событий единое, монотонно спадающее по степенному закону. Следовательно, по длительности обычно невозможно разделить сигналы на импульсы (вулканические землетрясения) и ВД. Более длительные сигналы в Японии называют «изолированным тремором», в последнее время на Камчатке их называют «сериями НЧ землетрясений». Какую пороговую длительность для разделения землетрясений и ВД принять, остается неопределенным.

## Видеофрагмент слабого стромболианского взрыва 29 июля 2008 г.



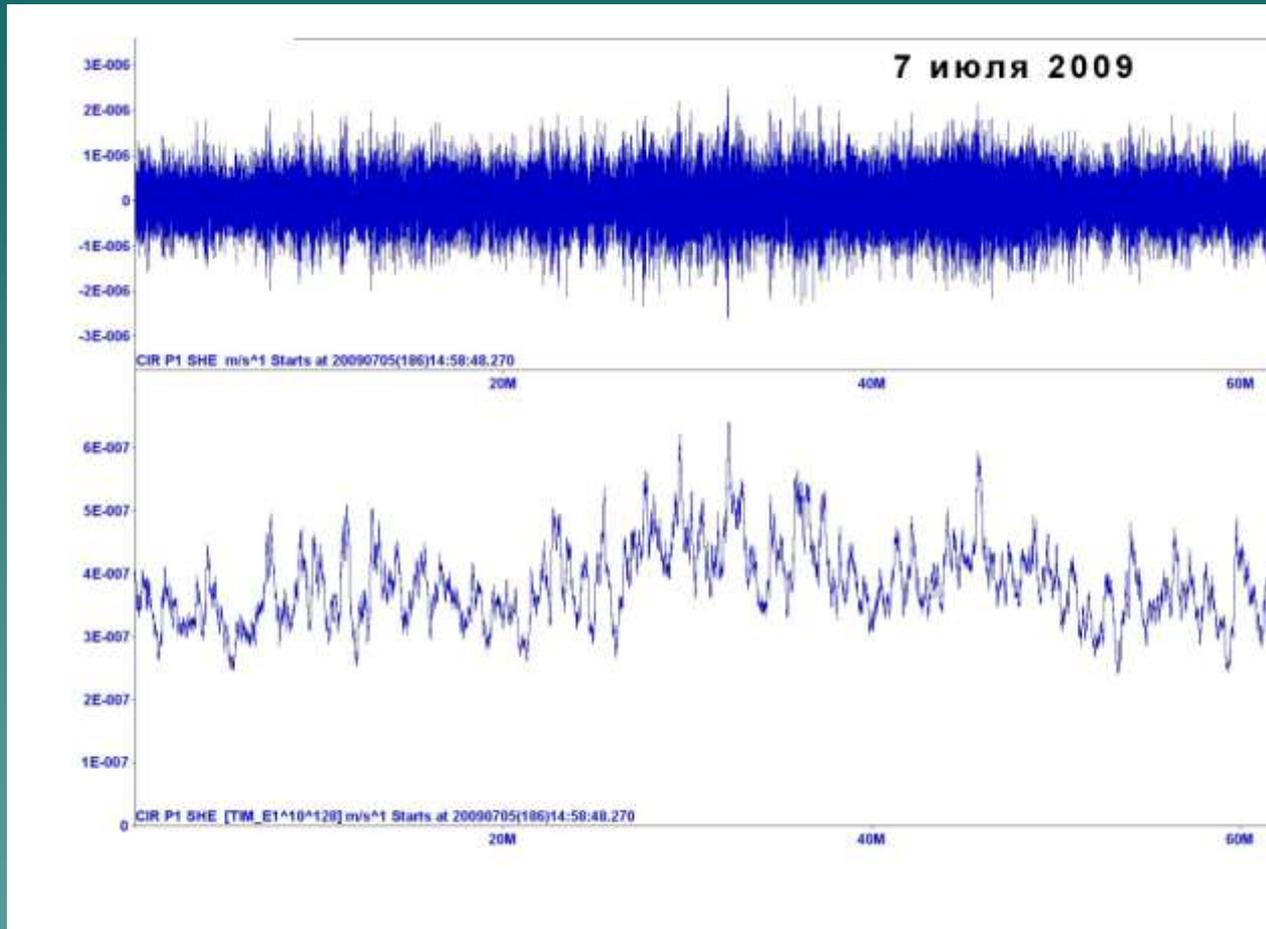
Каждое событие IV типа порождается серией слабых стромболианских взрывов, первый из которых самый сильный, последующие выбросы более слабые и газовые. Из лавовых фрагментов образуется шлаковый конус, у основания которого изливается лавовый поток. Следовательно, появление событий IV типа уже означает начало вершинного извержения. Обращает на себя внимание полное отсутствие пепла. Очевидно, такая активность связана с разрушением в канале близ поверхности земли пакета из нескольких крупных газовых пузырей.

# Сейсмичность при усилении вулканической активности



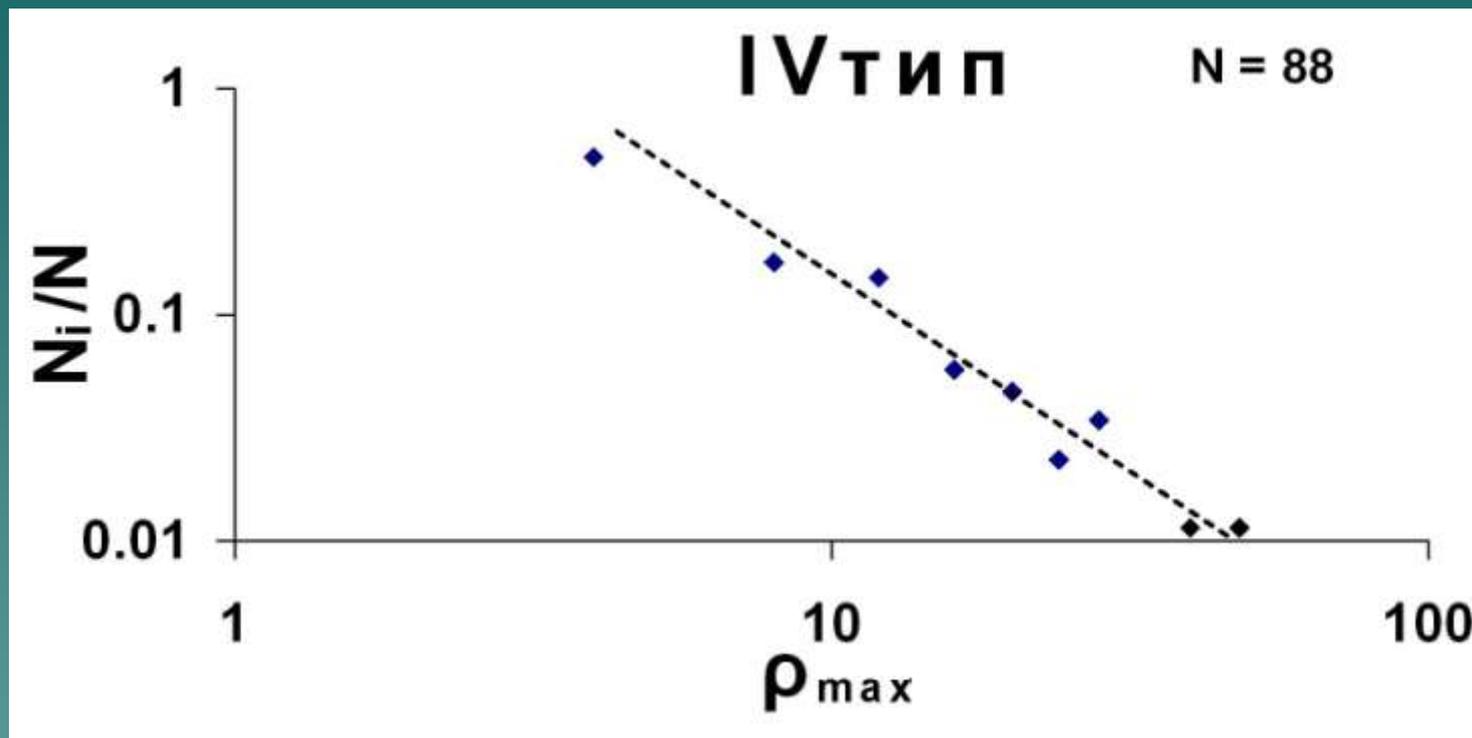
С усилением активности сопровождающий сейсмический сигнал становится сплошным. Выделить отдельные сигналы уже нельзя. Огибающая сигнала сильно варьирует со временем (**спазматическое ВД**).

# «Непрерывное дрожание»

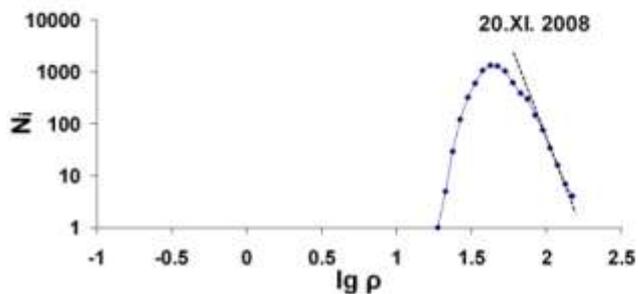
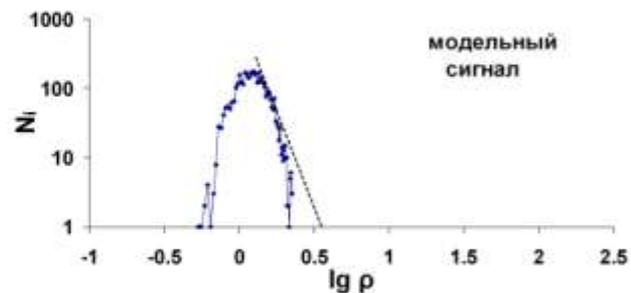
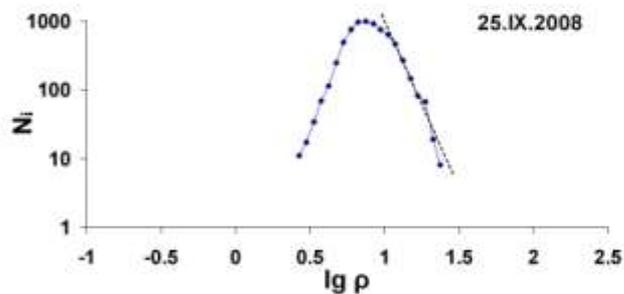
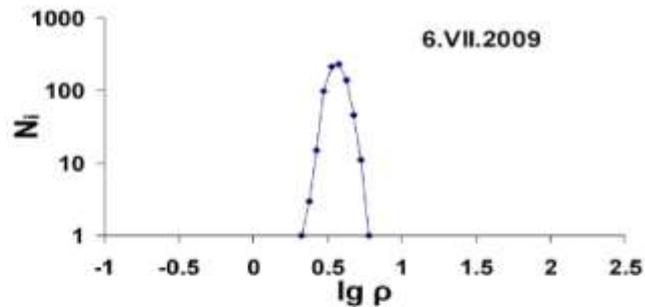
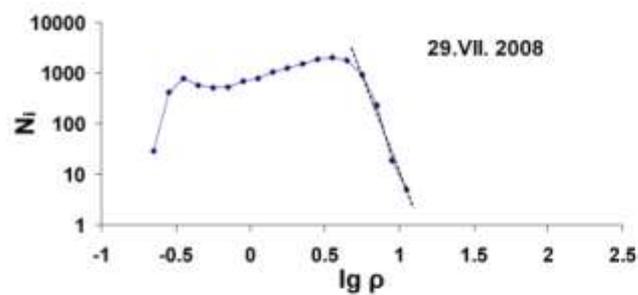


Иногда наблюдается «полосчатое ВД», в полосах которого отмечается **непрерывное ВД**. Огибающая варьирует сравнительно мало. Это узкополосный стационарный случайный сигнал с нормальным распределением.

# Распределения вероятностей огибающих сигналов

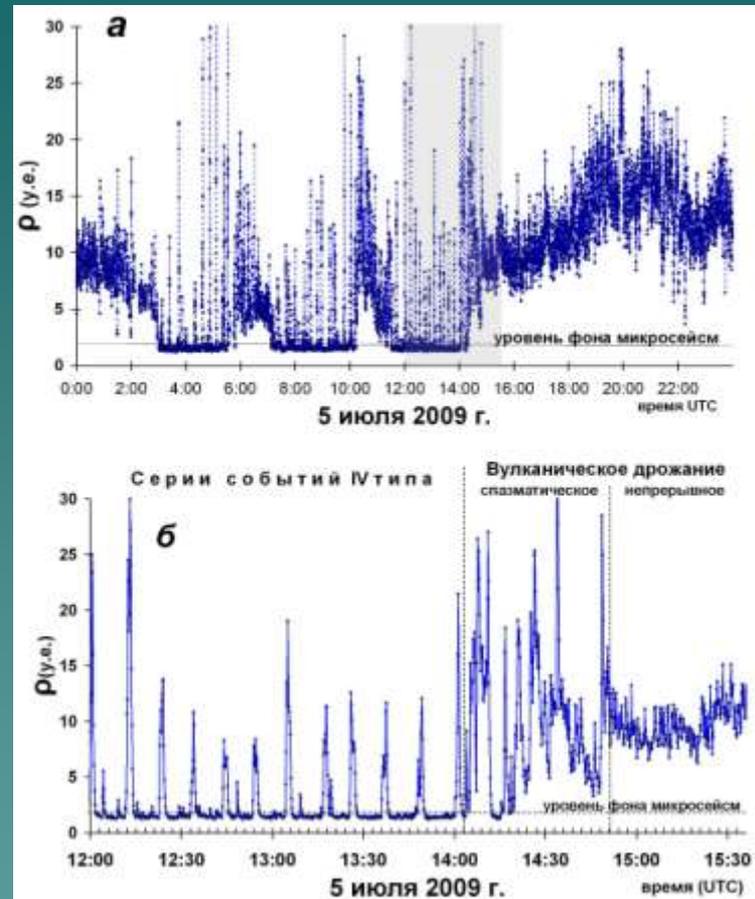
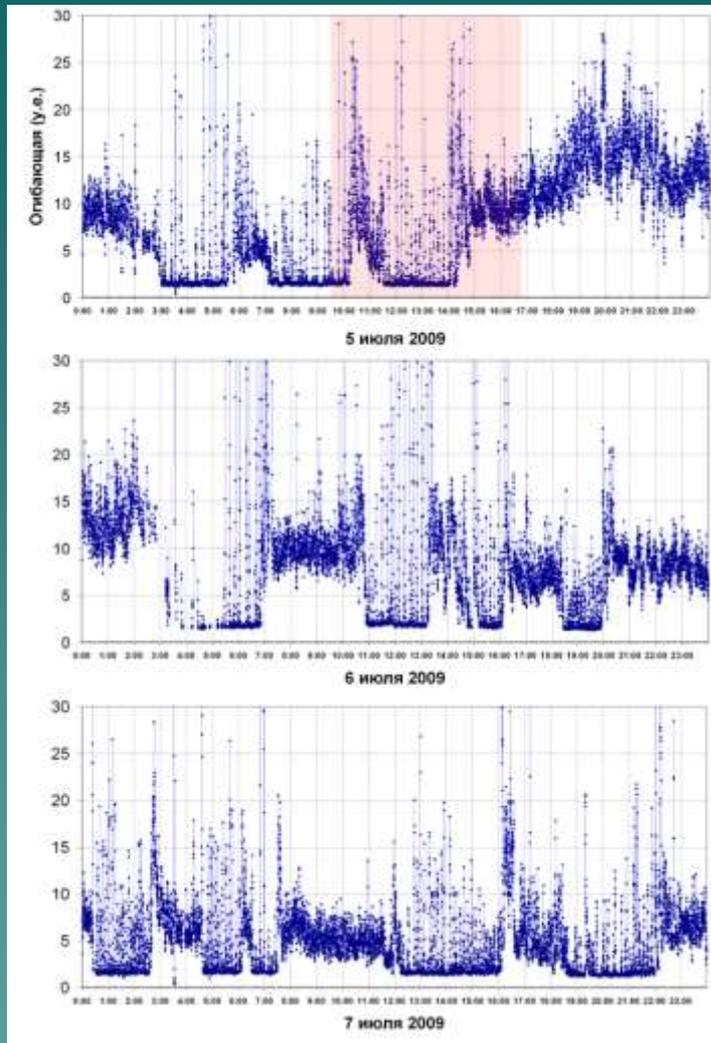


Величины огибающих в макс. фазе событий IV типа подчиняются степенному распределению, обычному для большинства землетрясений.



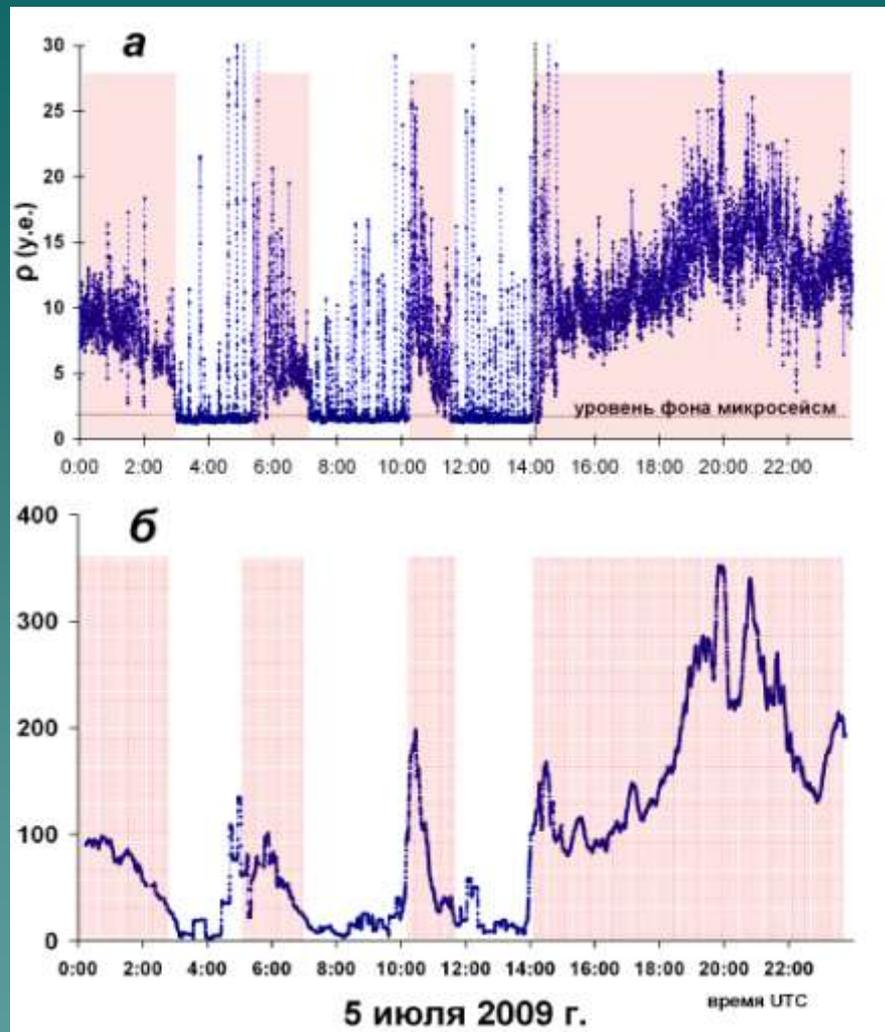
Распределения огибающих для ВД для указанных трех случаев. Несмотря на усиление активности ВД на Ключевском остается спазматическим. Склоны распределений для спазматического ВД также степенные как и у событий IV типа. Следовательно спазматическое ВД образуется в результате частот следующих стромболианских взрывов, т.е. разрушения крупных газо-жидкостных структур со степенным распределением их по размерам.

# Полосчатое дрожание



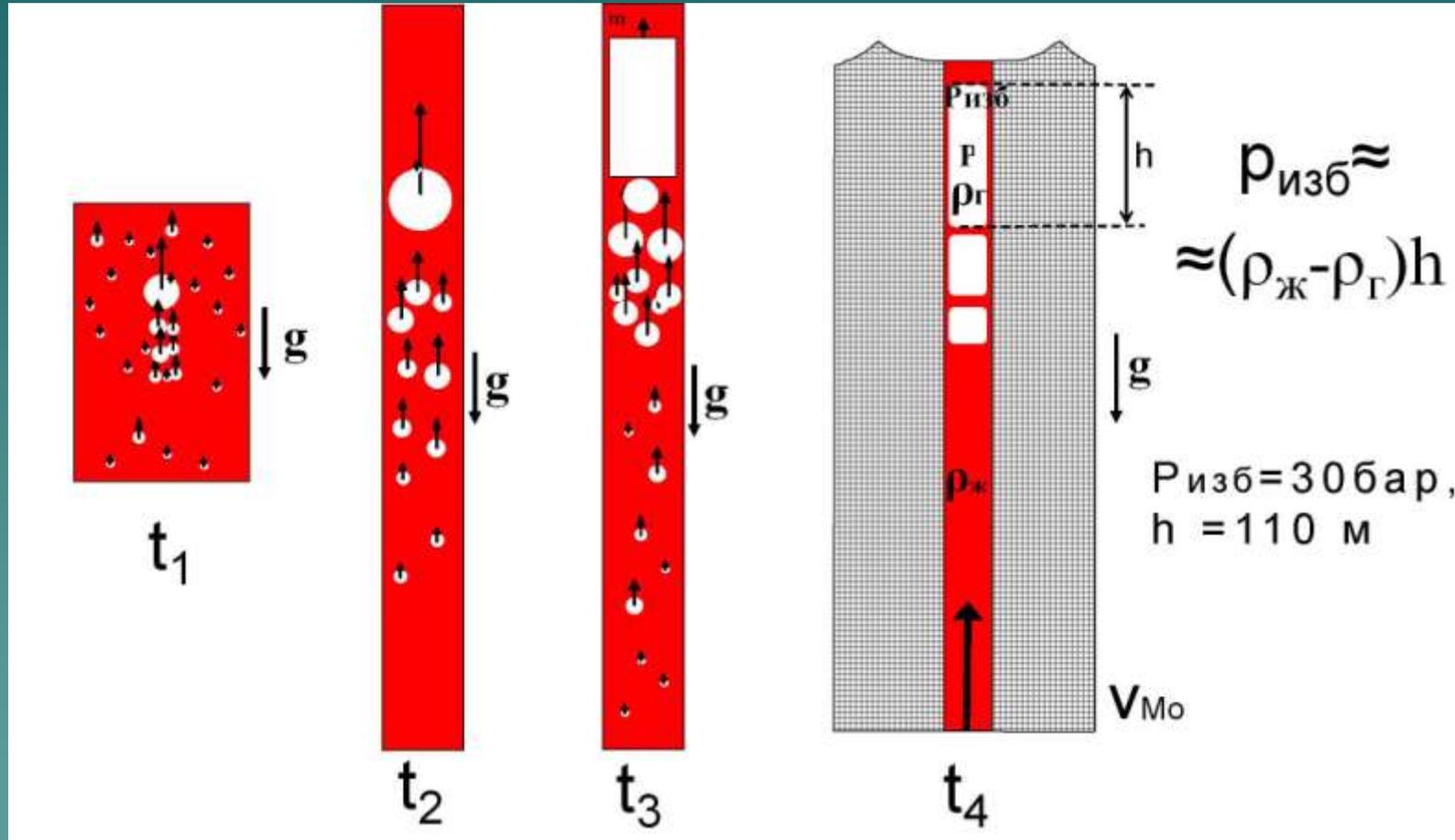
Показаны полосы ВД, разделенные паузами, во время которых отмечаются серии изолированных событий IV типа. Справа – переход между импульсным режимом к непрерывному ВД. Важно, что начальная фаза эпизода состоит из спазматического ВД.

# Сейсмическая мощность во время полосчатого дрожания



Средняя по 20 минутным интервалам сейсмическая мощность во время полосы ВД на 1-1.5 порядка выше, чем в паузах, во время которых отмечаются события IV типа. Причем как для непрерывной фазы, так и для спазматической фазы эпизода.

# Возможный механизм образования крупных газовых структур в магме, оценки их размеров



# Выводы

1. События IV типа на Ключевском связаны с серией слабых стромболианских взрывов в его центральном кратере Ключевского вулкана. Появление этих событий уже свидетельствует о начале вершинного извержения вулкана.
2. События IV типа образуются в результате разрушения пакета из нескольких крупных газовых пузырей, самый верхний их которых наибольший. Вертикальная протяженность пакета для самых сильных стромболианских взрывов оценивается примерно в 100 м. Это минимальная оценка.
3. Распределение амплитуд скорости в максимальных фазах событий IV типа степенное, что характерно и для других типов землетрясений.
4. ВД на Ключевском в основном спазматическое, его распределение также спадает по степенному закону. Это доказывает, что спазматическое ВД образуется в результате слияния часто следующих друг за другом событий IV типа.
5. Эпизод полосчатого ВД состоит из начальной спазматической фазы и основной более длительной фазы непрерывного ВД. Последнее, в отличие от спазматического ВД представляет собой узкополосный нормальный стационарный случайный процесс. Вероятно, непрерывное ВД образуется по другому механизму, чем спазматическое.
6. Смена отдельных событий IV типа сериями низкочастотных событий и затем ВД отражает увеличение расхода магмы и/или ее газонасыщенности. Есть перспективы оценивать параметры магмы как газожидкостной системы по характеристикам указанных сейсмических явлений.
7. Если эпизоды полосчатого ВД связаны с подходом к поверхности земли более газонасыщенных порций магмы, то изучение этого вида сигналов открывает перспективы изучения конвективных движений в магматической питающей системе вулкана.

# Литература

- ◆ Гордеев Е.И. *Природа сейсмических сигналов на активных вулканах. Автореф. дисс. доктора физ.-мат. Наук. М., 1998. 35 с.*
- ◆ Токарев П.И. *Извержения и сейсмический режим вулканов Ключевской группы. М.: Наука, 1966. 118с.*
- ◆ Koyanagi R.Y., Chouet B., Aki K. *Origin of volcanic tremor in Hawaii. Pt. 1 // Volcanism in Hawaii. V. 2. Chapter 45. U.S. Geological Survey Professional Paper 1350. W. 1987. P. 1221-1257.*
- ◆ McNutt S. R. *Volcanic seismicity // Encyclopedia of volcanoes. Academic Press. Ed. Sigurdsson H. 1999b. P. 1015-1033.*
- ◆ Гордеев Е.И., Мельников Ю.Ю., Сеницын В.И., Чебров В.Н. *Вулканическое дрожание Ключевского вулкана (извержение вершинного кратера в 1984 г.) // Вулканология и сейсмология. 1986. № 5. С. 39–53.*
- ◆ Конов А.С., Озеров А.Ю. *Закономерности в динамике извержений Ключевского вулкана и сопровождающем их вулканическом дрожании // Вулканология и сейсмология. 1988. № 3. С. 21-38.*
- ◆ Benoit J.B., McNutt S.R. *Duration- amplitude distribution of volcanic tremor // J.G.R. 2003. V.108. No. B3. PP. ESE 5-1—5-15. doi: 10.1029/2001JB001512.*
- ◆ Левин Б.Р. *Теоретические основы статистической радиотехники, М.: Радио и связь. 1989. 655 с.*
- ◆ Гордеев Е.И., Феофилактов В.Д., Чебров В.Н. *Исследование вулканического дрожания Толбачинского извержения // Геологические и геофизические данные о Большом трещинном Толбачинском извержении 1975-1976 гг. М.: Наука, 1978. С. 151-163.*
- ◆ Chouet B., Saccorotti G., Martini et al. *Source and path effects in the wave fields of tremor and explosions at Stromboli Volcano, Italy. // J. Geophys. Res. Solid Earth. 1997. V. 102 (B7). P. 15129-15150.*
- ◆ Трубников Б.А., Слезин Ю.Б., Самойленко Б.И., Сторчеус А.В. *К теории глубинного вулканического дрожания // ДАН СССР. 1981. Т.256. №6. С. 1337-1340.*
- ◆ Gordeev E.I., Ripepe M. *Sources of volcanic tremor at basaltic volcanoes // Volc. Seis. 1998. V.19. P. 353-369.*
- ◆ Ripepe M., Gordeev E. *Gas bubble dynamics model for shallow volcanic tremor at Stromboli // J. Geophys. Res. 1999. V. 104. P.10639-10654.*
- ◆ Фирстов П.П. *Вулканические акустические сигналы диапазона 0.5-10 Гц в атмосфере и их связь с взрывным процессом. Петропавловск-Камчатский: 2003. ИВГИГ и Камчатский государственный педагогический университет. 90 с.*

Спасибо за внимание !

