

**Динамика активности фумарол вулкана Авачинский в 2013-2017 гг. по данным режимных и видео наблюдений и ее связь с локальной сейсмичностью**

**Н.А. Малик<sup>1</sup>, М.Ю. Некрасова<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, 683006; e-mail: [malik@kscnet.ru](mailto:malik@kscnet.ru)*

<sup>2</sup>*Камчатский филиал Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба РАН», Петропавловск-Камчатский, [mary\\_n@emsd.ru](mailto:mary_n@emsd.ru)*

Приведены результаты режимных наблюдений за фумаролами вулкана Авачинский в 2013–2017 гг. Изменения характера истечения газа, морфологии и температуры Западной фумаролы, произошедшие в 2014–2015 гг., подтверждены данными видеонаблюдений. Проведен анализ сейсмических данных за указанный период.

**Результаты режимных наблюдений на кратере**

С 2013 г. проводятся режимные наблюдения за фумаролами Авачинского вулкана, включающие визуальное обследование, измерения температур, отбор газа, газового конденсата и возгонов. Основное внимание уделяется двум высокотемпературным фумарольным площадкам: Западной и Восточной, приуроченным к трещине, образовавшейся в лавовой пробке в результате эксплозии в 2001 г. [1]

Восточное фумарольное поле размером около 30-55 м вытянуто вдоль трещины в юго-восточной части лавовой пробки и состоит из многочисленных газовых выходов с температурой до 665°C. Измерения температуры и отбор газа проводились 2-4 раза в год из выбранной для мониторинга фумаролы на северном краю поля. В течение 2013-17 гг. ее температура варьировала незначительно, в пределах 600±30°C. Умеренные изменения в ее газовом составе в основном коррелируют с изменениями температуры. Изотопный состав воды газового конденсата значительно менялся вдоль линии смещения метеорных и "андезитовых" вод от чисто магматического до 50%-содержания магматической фракции с некоторой зависимостью от сезона отбора пробы и температуры фумаролы, а также содержания хлора в конденсате газа.

Западная фумарола представляет собой выход газа из глубокой трещины на западном склоне конуса (~10 м вниз от кромки кратера), являющейся продолжением разлома 2001 г. в лавовой пробке. До 2015 г. газовая эмиссия происходила в виде интенсивной струи из трещины, просматривавшейся на 10 м вглубь, сопровождаемая сильным аэродинамическим шумом. В апреле 2015 г. было отмечено усиление шума, издаваемого струей, некоторое повышение температуры, а также признаки обвалов стенок трещины (рис. 1). 16 сентября 2015 г. при хорошей видимости было подтверждено, что в результате обвалов стенок трещина расширилась в верхней части, а выход высокотемпературной струи был завален, газ выходил не единой мощной струей, а через отдельные отверстия в обвалившейся породе, измеренная температура достигала 700°C, аэродинамический шум исчез (между 2 и 16 сентября). В мае 2016 г. температура Западной фумаролы впервые была измерена термопарой и составила 777°C. [1] Во время последующих обследований она постепенно возматала до 818, 828 и 839°C. В трещинах наблюдалось слабое свечение.

Описанные изменения в состоянии Западной фумаролы отразились на соотношении расходов газа двух высокотемпературных фумарольных полей Авачинского вулкана, определяемых визуально по высоте подъема газовых струй. Если до 2015 г. расход Западной фумаролы несколько превышал расход газа Восточного поля, то с 2015 г. ситуация изменилась на обратную.

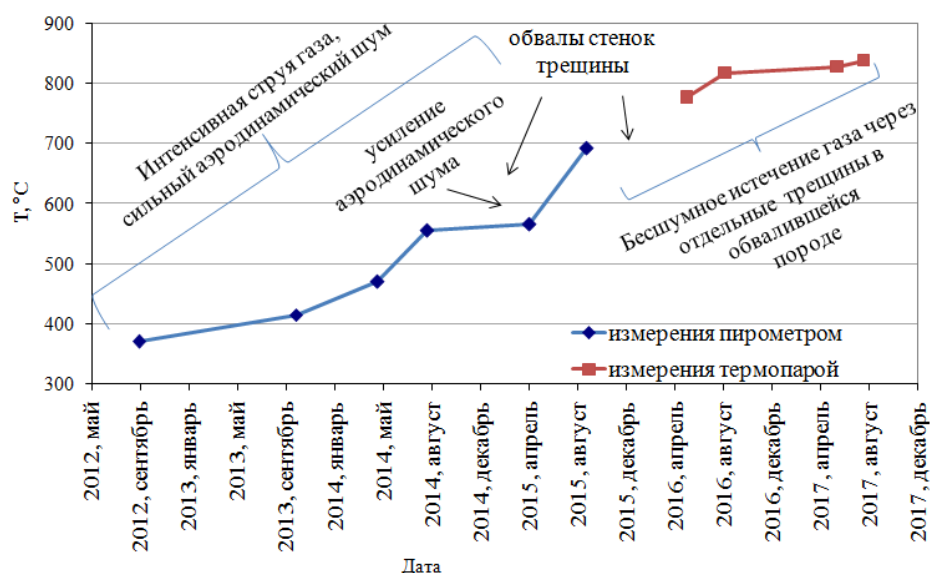


Рис. 1. Изменения температуры и других характеристик Западной фумаролы

### Данные видеонаблюдений

Камчатский филиал федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба РАН» (КФ ФИЦ ЕГС РАН) проводит видеонаблюдения за вулканом Авачинский в режиме реального времени двумя видеокамерами. Одна камера (AXIS R1346) расположена на Мишенной сопке, на расстоянии 27 км от вершины вулкана. Вторая видеокамера (AXIS1357) имеется в составе ПНВ\_А (комплексного пункта наблюдения за активными вулканами) АVN «Авача», на расстоянии 6 км от кратера. Изображения поступают на приемный центр «Петропавловск» с дискретизацией 1 кадр/минуту и архивируются на сервере КФ ФИЦ ЕГС РАН (<http://www.emsd.ru>).

Авторами были просмотрены изображения с камеры AXIS R1346 за рассматриваемый период. В декабре 2014 г., судя по высоте фумарольных струй, интенсивность выноса пара Западной фумаролы была немного больше или близкой к интенсивности фумарол Восточного поля (рис. 2).

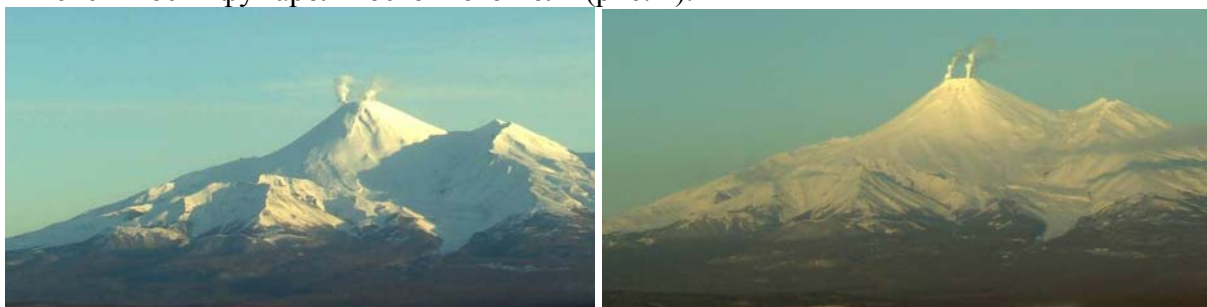


Рис. 2. Изображения вулкана Авачинский с камеры видеонаблюдений, расположенной на сопке Мишенной, 9 и 11 декабря 2014 г. Расход газа Западной фумаролы немного превышает расход газа с Восточного поля, или расход газа примерно одинаковый.

В январе 2015 г. соотношение высот фумарольных струй заметно изменилось. Высота струи Западной фумаролы уменьшилась по сравнению с Восточным полем (рис. 3). Этот качественный результат может служить подтверждением описанных выше изменений в морфологии и температуре Западной фумаролы.

### Результаты сейсмического мониторинга

В районе вулкана Авачинский установлена плотная сеть радиотелеметрических сейсмических станций КФ ФИЦ ЕГС РАН (SMA «Сомма», SDL «Седловина», UGL «Угловая», АVN «Авача»), которая позволяет проводить детальный сейсмический

мониторинг вулкана [2]. Ближайшая сейсмическая станция SMA расположена на расстоянии 1,8 км от активного кратера вулкана.



Рис. 3. Изображения вулкана Авачинский с камеры видеонаблюдений, расположенной на сопке Мишенной, 21-22 января 2015 г. Расход газа с Восточного поля заметно превышает расход газа Западной фумаролы.

В период с 01.01.2013 по 31.12.2017 вулкан проявлял только фумарольную активность разной интенсивности. С целью сопоставления фумарольной активности вулкана с локальной сейсмичностью, был проведен пространственно-временной анализ сейсмичности района вулкана Авачинский с радиусом 5 км от центра кратера и глубиной 7 км (рис. 4, 5). За рассматриваемый период локализовано 900 землетрясений (данные оперативного каталога КФ ФИЦ ЕГС РАН, обработанные сотрудниками лаборатории ИСВА), из которых большая часть событий располагалась на глубинах от -2,6 км до 2 км в центральной части постройки вулкана Авачинский (рис. 4, 5).

Рассматривались следующие параметры сейсмического режима: энергетический класс для землетрясений с  $K > 2$  ( $K = \lg E$ , Дж); их кумулятивное количество; глубина гипоцентров (Н); кумулятивная кривая выделившейся энергии (рис. 5). В период с ноября 2014 г. по январь 2015 г. отмечается слабая сейсмическая активизация в верхней части ( $H \sim -2$  км) и в основании постройки вулкана ( $H \sim 0 - -1$  км), которая обусловлена количеством землетрясений выше среднего за период и их относительно высоким  $K = 4 - 6$ . В этот период отмечается рост, как числа землетрясений, так и их энергии (рис. 5, б и г). Этот всплеск сейсмичности близок по времени к изменению режима работы Западной фумаролы вулкана Авачинский. По-видимому, он свидетельствует об изменении напряженно-деформированного состояния блока геосреды в рассматриваемый период, что также нашло отражение в фумарольной активности вулкана.

Более слабая сейсмическая активизация, наблюдавшаяся в сентябре-октябре 2016 года (рис. 5), не отразилась явно в результатах режимными наблюдений, проводимых в августе 2016 г. и апреле-мае 2017 г., кроме дальнейшего незначительного роста температуры Западной фумаролы (рис. 1).

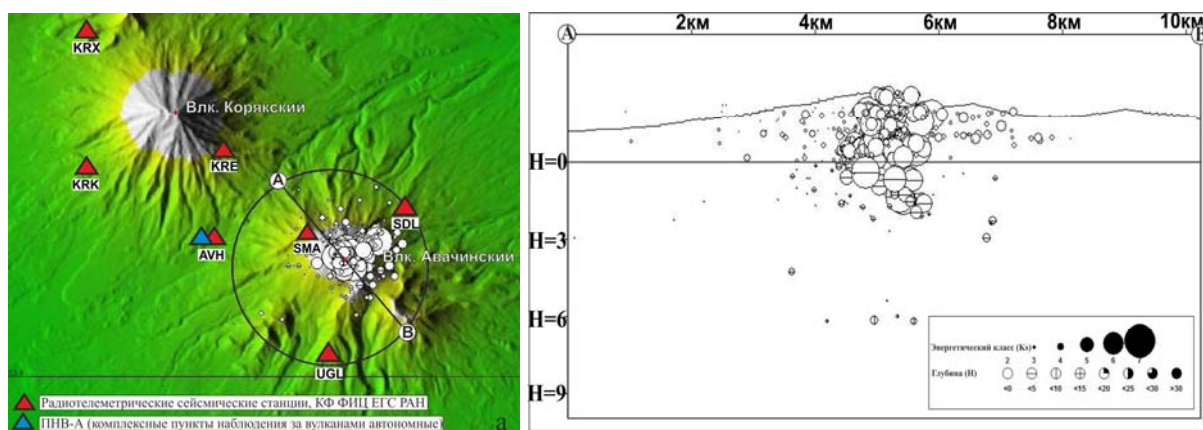


Рис. 4. Сейсмичность вулкана Авачинский с 01.01.2013 по 31.01.2017: а) карта эпицентров землетрясений; б) проекция гипоцентров на вертикальное сечение вдоль линии АВ.

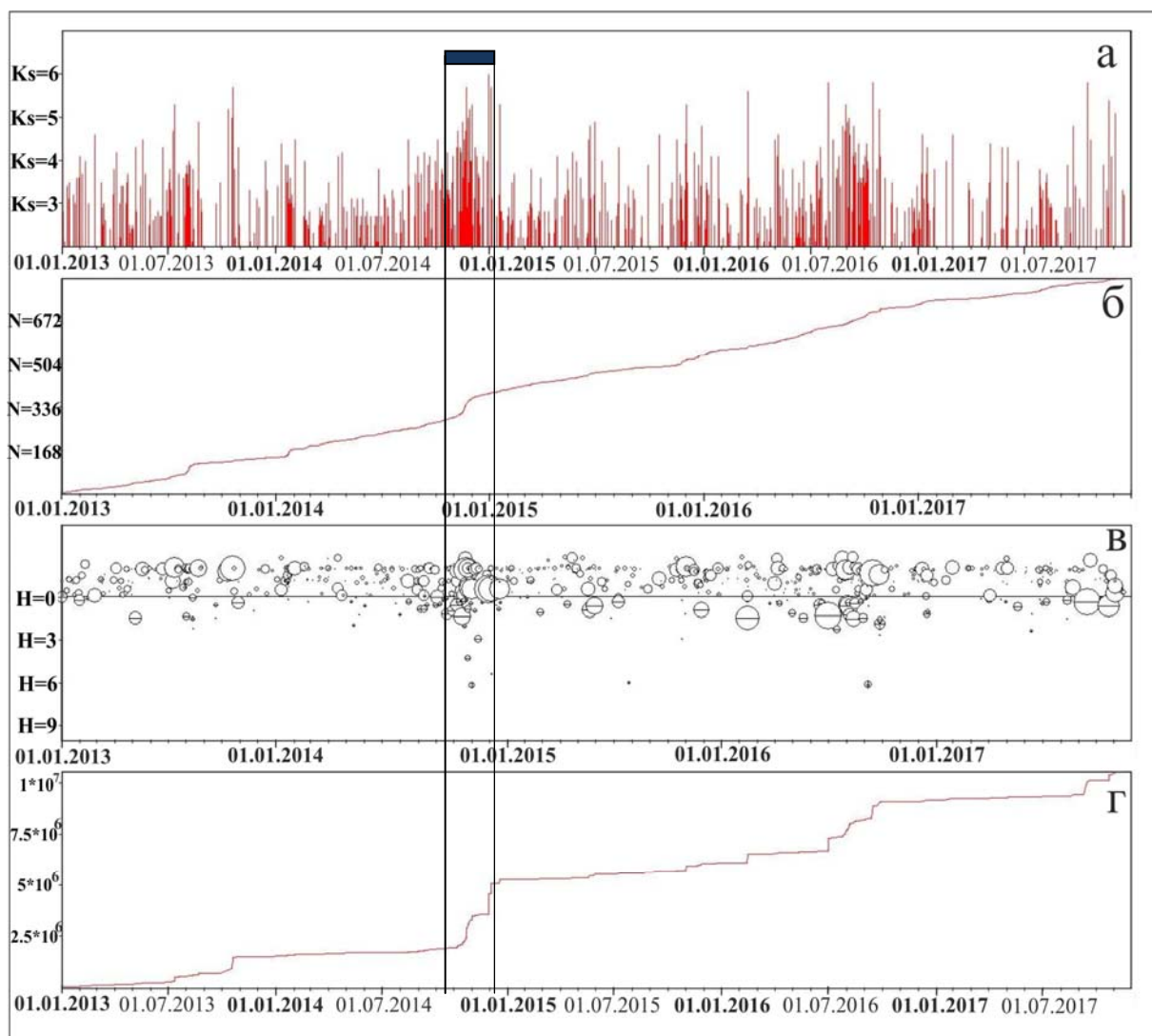


Рис. 5. Графики распределения во времени параметров землетрясений, выделенных окружностью на рис. 4а: а – энергетический класс по S-волне; б – кумулятивное количество землетрясений; в – глубина гипоцентров, км; г – кумулятивная энергия, Дж.

### Заключение

За период наблюдений с 2013 по 2017 гг. наиболее заметные изменения произошли на Западной фумароле, где глубокий выход газовой струи был завален породой обвалившихся стенок, после чего расход газа сократился, а его температура возросла до 839°C. Данные видеонаблюдений подтвердили изменения в соотношении расходов газа двух высокотемпературных полей и позволили определить более точно временной интервал изменений как 11 декабря 2014 г. - 21 января 2015 г. В это же время была отмечена небольшая сейсмическая активизация в постройке вулкана.

Авторы выражают благодарность д.ф.-м.н. П.П. Фирстову за помощь в интерпретации данных. Работа выполнена при частичной поддержке гранта РФФИ №17-55-50005 ЯФ\_а.

### Список литературы

1. Малик Н.А., Зеленский М.Е., Округин В.М. Температура и состав газа фумарол вулкана Авачинский (Камчатка) в 2013-2016 гг. // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2017. № 1. С. 21–33.
2. Чебров В.Н., Дроздин Д.В., Кугаенко Ю.А., и др. Система детальных сейсмологических наблюдений на Камчатке в 2011 г. // Вулканология и сейсмология. 2013. № 1. С. 18–40.