

О природе слабой сейсмичности Авачинского вулкана

Р.И. Черкашин, И.К. Дубровская, Т.М. Маневич

Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, 683006; e-mail: romache@kscnet.ru

Авачинский вулкан – один из действующих вулканов Камчатки. Его извержения представляют опасность для расположенных недалеко (~25 км) гг. Петропавловск-Камчатский и Елизово. Вулкан относится к типу Сомма-Везувий, пространство между соммой и действующим конусом занято фирном и ледниками, стекающими в северном, северо-западном направлениях и в истоки двух южных сухих речек [1]. На склоны вулкана ежегодно выпадает в среднем до 2000 мм атмосферных осадков, часть из них просачивается в постройку и способствует усилению фумарольной деятельности на вершине вулкана. В данной работе рассматривается наличие взаимосвязи между экзогенными факторами, такими как деятельность ледников и атмосферные осадки, и формированием слабой сейсмичности постройки вулкана Авачинский.

Введение

Ранее в работе [6] поднимался вопрос о природе слабой сейсмичности Авачинского вулкана. Было установлено существование суточной, сезонной и 11-летней цикличности землетрясений, связанных с циклом солнечной активности и неравномерностью вращения Земли. Помимо космических факторов, на деятельность вулкана влияют и метеорологические факторы, которые выражаются в усилении фумарольной деятельности после выпадения осадков. Для Авачинского вулкана к настоящему времени накоплен многолетний ряд сейсмических, климатических и гляциологических данных. Со времени последнего извержения в 2001 г. по сей день сейсмичность Авачинского вулкана находится на фоновом уровне, т.е. не превышает порогового числа событий по разным энергетическим классам за сутки [5]. Среднегодовое число землетрясений вулкана за период с 2000 по 2019 гг. составляет 170 событий. Около 85 % землетрясений вулкана происходят в его постройке (выше уровня моря). В то же время суммарная энергия, выделившаяся в результате этих землетрясений, составляет лишь 50 % от общей для всех землетрясений вулкана. Это означает, что большая часть землетрясений в постройке имеет малый энергетический класс ($M_s \leq 5$) и относится к слабой сейсмичности. Отсутствие связи между сейсмичностью и активизациями вулкана приводит к предположению об экзогенной, невулканической природе слабых землетрясений в его постройке.

Увеличение мощности ледников в зимнее время и ее уменьшение в летний период влияют на напряжения в породах склонов вулкана, занятых ледниками, что может отражаться на количестве землетрясений в этих частях вулканической постройки. Годовые изменения температур и высокая норма зимних осадков влияют на динамику ледников, приводя к их механическим подвижкам и трещинообразованию, что сопровождается слабыми сейсмическими событиями. Метеорная вода, выпадающая на вершину Авачинского вулкана в виде дождя и снега, из-за прогрева кратера инфильтруется в породы постройки как в летний, так и в зимний периоды. Накапливаясь в породах постройки и прогреваясь, вода образует геотермальный резервуар [2], в пределах которого среда более восприимчива к сдвиговым деформациям, в результате чего, предположительно, в ней могут возникать слабые землетрясения.

Методика исследований

Землетрясения Авачинского вулкана были взяты из каталога КФ ФИЦ ЕГС РАН [4] за период 2000-2019 гг. Рассматривались землетрясения с глубиной $h > 0$ м и энергетическим классом $K_s \leq 5$. Данные количества атмосферных осадков в первом приближении были получены с сайта pogodaiklimat.ru для метеостанции Петропавловск. В качестве исходных данных построены два временных ряда: для уровня осадков и числа землетрясений с шагом в 1 месяц за 2000-2019 гг. (рис. 1).



Рис. 1. Исходные данные – графики помесячного количества атмосферных осадков и числа землетрясений с $K_s \leq 5$ с 2000 по 2019 гг.

При помощи программы ArcGIS 10.1 были выбраны две группы землетрясений, эпицентры которых: а) пространственно расположены на ледниках, б) расположены вне ледников (рис. 2). Число землетрясений сопоставлялось с изменением сезонных температур воздуха.

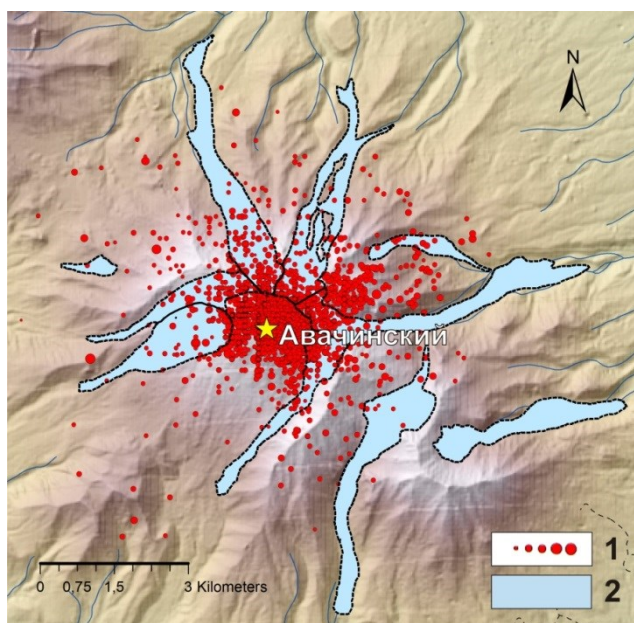


Рис. 2. Схема района вулкана Авачинский с эпицентрами землетрясений 2000-2019 гг. (1) и контурами ледников (2).

Для двух рядов исходных данных (осадки и число землетрясений) был применен взаимный корреляционный анализ для выявления взаимосвязи этих двух величин.

Коэффициенты корреляции рассчитывались в Excel для последовательно смещенных относительно друг друга массивов данных.

Результаты и обсуждение

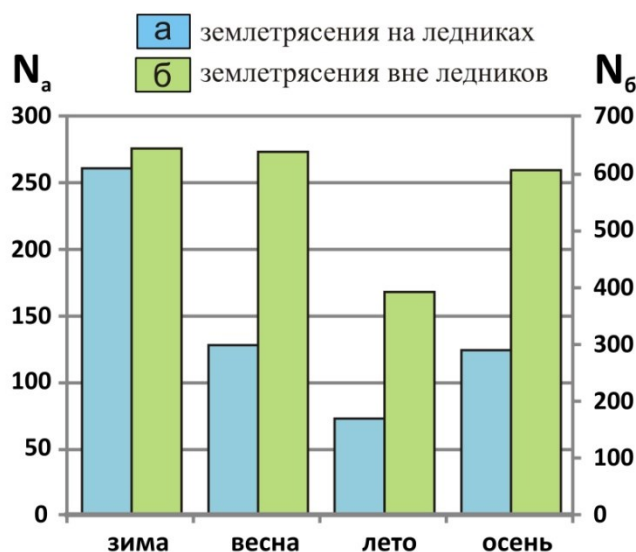


Рис. 3. Гистограммы числа землетрясений Авачинского вулкана с $K_s \leq 5$ для групп а) и б) (см. текст)

Рассмотрим зависимость каждой группы землетрясений а) и б) от изменения температур в течение года. Для каждой группы построены гистограммы сейсмичности по сезонам (рис. 3). На них видно, что сезонная зависимость землетрясений на ледниках (рис. 3а) выражена ярко. Это связано как с ростом числа ледниковых землетрясений при низких температурах воздуха, так и с более высокой нагрузкой ледников на склоны в зимние месяцы. Внеледниковая же часть землетрясений (рис. 3б) менее зависит от смены времен года, их количество в целом равномерно распределено между зимой, весной и осенью и заметно ниже только летом. Это говорит о связи этих землетрясений с другими факторами.

Теперь рассмотрим взаимосвязь между среднемесячным количеством атмосферных осадков и количеством землетрясений с $K_s \leq 5$ в постройке Авачинского вулкана. На рис. 4 показана взаимная корреляционная функция для этих двух величин.

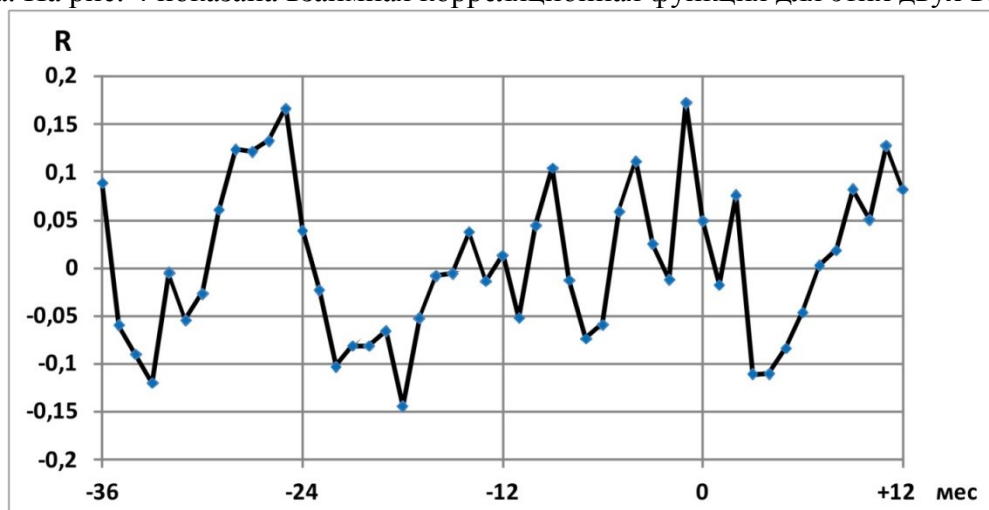


Рис. 4. Функция взаимной корреляции для исходных данных ежемесячного уровня атмосферных осадков и суммарного месячного количества землетрясений с $K_s \leq 5$ Авачинского вулкана за 2000-2019 гг.

Массив данных месячных значений числа землетрясений смещался на 3 года назад (-36 мес.) и на 1 год вперед (+12 мес.) относительно массива данных месячных осадков. Как видно из графика взаимной корреляционной функции, коэффициенты корреляции R для разных смещений двух массивов величин не отклоняются от нуля более чем на 0.2. Это однозначно говорит об отсутствии прямой корреляции между уровнем атмосферных осадков и частотой землетрясений в постройке Авачинского вулкана.

В заключении сравним количество осадков, поступающих в постройку через кратер Авачинского вулкана, и расход водного флюида шлейфами его фумарол, оценка

которого выполнялась ранее для 2008 г. [3]. Площадь кратера равна ~ 110 тыс. м², среднегодовой уровень осадков здесь составляет 2000 мм. Если принять, что все осадки, выпавшие в кратере за год, проникли в постройку, то объем воды, поступивший внутрь вулкана, составил $2.0 \text{ м} \times 110000 \text{ м}^2 = 220000 \text{ м}^3$ или 220 тыс. т. Расход водного флюида в 2008 г. по [3] составлял ~ 4.5 кг/с или ~ 142 тыс. т за весь год. Таким образом, отношение количества воды, выносимой фумаролами, к количеству метеорной воды, поступившей в систему вулкана за год, равно ≈ 142 тыс. т / 220 тыс. т = 64 %. Следует отметить, что метод оценки расхода водного флюида фумаролами даёт точность в полпорядка, но и по этим приблизительным подсчетам порядки величин поступления и выноса воды через кратер Авачинского вулкана хорошо соотносимы.

Выводы

Для Авачинского вулкана рассмотрена взаимосвязь между слабой сейсмичностью в вулканической постройке и внешними факторами воздействия на ее формирование. Показано, что для областей развития ледников слабые землетрясения в постройке вулкана в основном связаны с внутригодовой динамикой нагрузки на его поверхность. Для этих землетрясений характерно возрастание числа с сезонным понижением температуры воздуха в зимние периоды. Дополнительно, также, сейсмические события могут сопровождать сход снежных лавин.

Взаимный корреляционный анализ для всех землетрясений с $K_s \leq 5$ в пределах постройки Авачинского вулкана со средним уровнем атмосферных осадков показал отсутствие прямой связи между этими двумя рядами данных. Таким образом, предположение о том, что увеличение количества осадков влечёт возрастание числа слабых землетрясений экзогенной природы на Авачинском вулкане по представленным данным не подтверждено, хотя фактор обводненности пород постройки вулкана, вероятно, и сказывается на возникновении в нем слабой сейсмичности, не связанной с извержениями. Возможно, ввиду незначительного вклада фактора атмосферных осадков наряду с другими факторами, влияющими на сейсмичность, выявить связь между осадками и землетрясениями довольно сложно.

Оценка среднегодового количества осадков, выпадающих в область кратера вулкана, и расхода водного флюида шлейфами фумарол (для 2008 г.) показала, что порядок этих двух величин хорошо соотносим, однако точность может отличаться на полпорядка в соответствии с методом оценки фумарольного выноса воды.

Список литературы

1. *Виноградов В.Н., Муравьев Я.Д.* Ледник Козельский (Авачинская группа вулканов). СПб: Гидрометеоздат, 1992. 119 с.
2. *Дрознин В.А., Дубровская И.К., Кирюхин А.В. и др.* О возможности использования энергии геотермального резервуара Авачинского вулкана // Материалы XVIII Всероссийского совещания по подземным водам Сибири и Дальнего Востока. Иркутск, 19-23 июня, 2006 г. С. 252-255.
3. *Иванов В.В.* Активизация вулкана Корякский (Камчатка) в конце 2008-начале 2009 г.: оценки выноса тепла и водного флюида, концептуальная модель подъема магмы и прогноз развития активизации // Материалы конференции, посвященной Дню вулканолога, 30-31 марта 2009 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2010. С. 24-38.
4. Каталог землетрясений Камчатки и Командорских островов (1962 г. – наст. вр.). Камчатский филиал ФИЦ ЕГС РАН. Единая информационная система сейсмологических данных, <http://sdis.emsd.ru/main.php>
5. *Сенюков С.Л., Нуждина И.Н., Дрознина С.Я., Кожевникова Т.Ю.* Сейсмичность Авачинского вулкана в 1994-2005 гг. // Геофизический мониторинг Камчатки: Материалы научно-технической конференции 17-18 января 2006. Петропавловск-Камчатский: КФ ГС РАН. 2006. С. 101-105.
6. *Токарев П.И., Широков В.А.* Состояние и сейсмический режим Авачинского вулкана в 1971-1975 гг. // Бюлл. вулканол. станций. 1977. № 53. С. 46-52.