

**Первые результаты эксплуатации вулканологического многопараметрического автоматизированного комплекса (ВМАК) на Авачинском вулкане**

*Бахматова Я.А., Озеров А.Ю., Мельников Д.В.*

**First results of the operation of the volcanological multiparametric complex deployed at the Avachinsky volcano**

*Bakmatova Ya.A., Ozerov A.Yu., Melnikov D.V.*

*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский;*

*e-mail: bakhyana@gmail.com*

Представлены первые результаты эксплуатации ВМАК на Авачинском вулкане (Камчатка, Россия). В ходе непрерывного мониторинга с 28.08.2025 г. по настоящее время (февраль 2026 г.) комплекс обеспечивает передачу данных в реальном времени в приемно-аналитический центр ИВиС ДВО РАН.

**Введение**

Авачинский вулкан (2741 м) – активный андезитовый вулкан [1], расположенный в непосредственной близости от крупных населенных пунктов Камчатского края (г. Петропавловск-Камчатский, г. Елизово, г. Вилючинск) и международного аэропорта. Последнее извержение (фреатический тип) вулкана произошло в 2001 г. и спровоцировало образование трещины в лавовой пробке [4, 5], заполняющей кратер вулкана. В последующие годы вулкан проявлял преимущественно фумарольную активность, что, однако, свидетельствует о сохраняющейся магматической дегазации и потенциальной угрозе возобновления извержений [3, 7, 9]. Ранее коллективом авторов был предложен и обоснован проект наукоемкого многопараметрического комплекса – Вулканологического Многопараметрического Автоматизированного Комплекса (ВМАК), предназначенного для непрерывного слежения за состоянием вулкана и снижения вулканических рисков [6, 11].

**Объект и методы исследования**

В рамках НИР FWME-2024-0015 [11] в августе 2025 г. сотрудниками ИВиС ДВО РАН были развернуты три пункта наблюдений ВМАК на Авачинском вулкане. Две станции (ВМАК-2 и ВМАК-3) размещены на юго-восточном склоне вулкана на высотах 1150 и 1050 м. Станция ВМАК-1 установлена на вершине вулкана, в пределах лавовой пробки, на высоте 2720 м. Запись сейсмических сигналов производится с помощью широкополосной станции (Nanometrics Trillium TC120-SV1, 120 с) и регистратора Nanometrics Centaur CTR4-6S.

Передача данных со всех комплексов осуществляется в режиме реального времени по радиоканалам в приемно-аналитический центр ИВиС ДВО РАН в г. Петропавловск-Камчатский. Обработка сейсмических данных проводится с использованием Python-библиотеки ObsPy [10] и специализированного ПО DIMAS [2], сопоставление с региональным каталогом – по данным Единой информационной системы сейсмологических данных (ЕИССД) КФ ФИЦ ЕГС РАН [8].

**Первые результаты**

За период непрерывной регистрации с 28 августа 2025 г. по 15 февраля 2026 г. все компоненты ВМАК функционировали штатно, продемонстрировав устойчивость к экстремальным погодным условиям (ветровые нагрузки, обледенение, низкие температуры). Наиболее интересный результат получен при анализе записей кратерной станции ВМАК-1. Первичная обработка сейсмического сигнала с использованием алгоритма STA/LTA [12] определила около 100 высокочастотных событий (рис. 1), из которых более сильные (по энергетическому классу), зарегистрированы и сетью КФ ФИЦ ЕГС РАН.

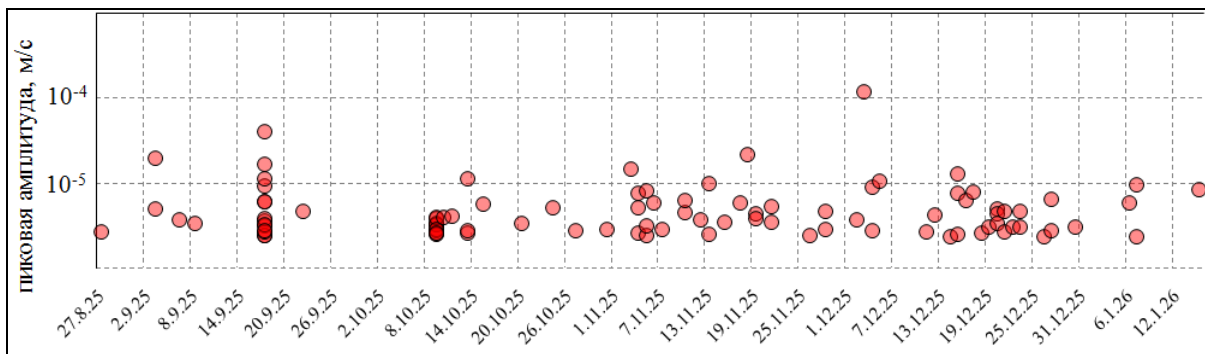


Рис. 1. График выделенных алгоритмом STA/LTA высокочастотных землетрясений станцией ВМАК-1.

На рис. 2в приведен пример типичной записи такого события, зарегистрированного 17.09.2025 г. на станции ВМАК-1. Отсутствие S-волны, вероятно, обусловлено крайне малым расстоянием от очага до приемника (источник находится непосредственно в теле вулканической постройки или лавовой пробки). События характеризуются следующими признаками: четкое импульсное вступление продольной P-волны; отсутствие корректно выделяемой S-волны; продолжительность одного сигнала не превышает 3-5 секунд.

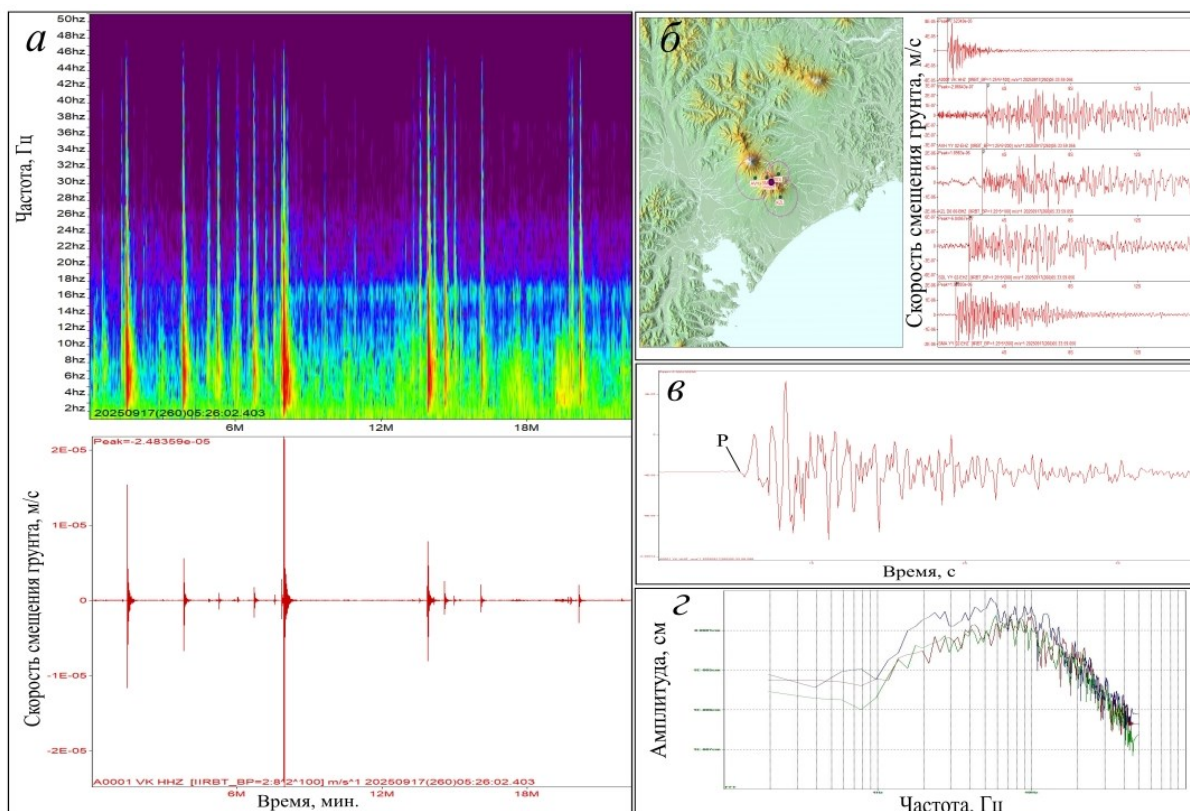


Рис. 2. Спектрограмма интервала за 17 сентября 2025 г. (а), диалоговое окно ПО Dimas, где видно вступление P-волны на станции ВМАК-1 и станциях КФ ГС РАН, расположенных в непосредственной близости от вулкана Авачинский (б), пример записи высокочастотного события 17 сентября 2025 г. (в), амплитудный спектр трех событий (г).

На спектрограмме (рис. 2г) видно, что регистрируемые события имеют практически идентичную форму, что указывает на единую природу землетрясений. На интервале от 2-4 Гц происходит резкий подъем амплитуды и плавный спад к 10 Гц.

Суточное количество событий варьирует от 0-2 до 10-15. Сопоставление с каталогом КФ ФИЦ ЕГС РАН показывает, что подобные микрособытия не

коррелируют напрямую с тектоническими землетрясениями, однако их появление может учащаться в интервалах между роями более сильных событий, что требует дальнейшей статистической проверки.

### **Обсуждение результатов**

Обнаруженный тип сейсмичности, вероятно, связан с процессами, происходящими в верхней части постройки вулкана. Высоочастотный характер сигналов и отсутствие S-волн типичны для источников, расположенных в непосредственной близости от сейсмоприемника, и могут быть вызваны:

1. деятельностью фумарол или импульсной дегазацией в трещиноватой структуре лавовой пробки;
2. сдвиговыми подвижками по мелким трещинам под действием флюидного давления;
3. обрушением мелких блоков внутри кратерной зоны.

Ранее, при отсутствии станций в кратерной зоне, подобные события не могли быть зарегистрированы. Полученные данные позволяют по-новому взглянуть на степень активности вулкана в «спокойный» период. Если традиционные методы (визуальные наблюдения, термальная съемка, региональная сейсмика) фиксировали лишь общий фон, то станции ВМАК дают возможность наблюдать «микропульсацию» вулканической системы. Дальнейший более детальный анализ, включая спектральный и поляризационный, а также накопление статистики за более длительный период, позволят уточнить природу этих сигналов и, возможно, выявить предвестниковые паттерны перед возобновлением активности.

### **Заключение**

Комплекс ВМАК успешно развернут и функционирует на Авачинском вулкане с августа 2025 г., обеспечивая непрерывный поток данных в реальном времени, и подтвердил высокую надежность работы в экстремальных высокогорных условиях. Впервые получены непрерывные сейсмические записи непосредственно с лавовой пробки активного вулкана на Камчатке. Выявлен и охарактеризован класс слабых высокоочастотных сейсмических событий, генерируемых в постройке вулкана и не всегда регистрируемых региональной сетью. Это указывает на сохраняющуюся внутреннюю динамику вулкана даже при отсутствии явных признаков подготовки извержения.

Работа выполнена в рамках «Межведомственной программы комплексных научных исследований Камчатского полуострова и сопредельных акваторий в 2024-2026 гг.» государственного задания Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН по теме НИР № FWME-2024-0015 «Изучение механизмов извержения Авачинского вулкана и создание методик оценки вулканической опасности». Также использованы данные, полученные на уникальной научной установке «Сейсмоинфразвуковой комплекс мониторинга арктической криолитозоны и комплекс непрерывного сейсмического мониторинга Российской Федерации, сопредельных территорий и мира» (<https://ckp-rf.ru/usu/507436/>).

### **Список литературы**

1. *Гирина О.А., Озеров А.Ю., Мельников Д.В., Маневич А.Г.* Вулкан Авачинский: мониторинг и основные характеристики извержений // Вулканизм и связанные с ним процессы. Материалы XXII Всероссийской научной конференции, посвященной Дню вулканолога. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН. 2019. С. 11-14.
2. *Дроздин Д.В., Дроздина С.Я.* Интерактивная программа обработки сейсмических сигналов DIMAS // Труды региональной научно-технической конференции «Геофизический мониторинг и проблемы сейсмической безопасности Дальнего Востока России»,

- 11-17 ноября 2007 г. Петропавловск-Камчатский, 2008. С. 117-122.
3. *Дрознин В.А., Муравьев Я.Д.* Энергетический и экологический аспекты извержения вулкана Авачинский на Камчатке (январь 1991 г.) // Вулканология и сейсмология. 1994. № 3. С. 3-19.
  4. *Мелекесцев И.В., Селиверстов Н.И., Сеников С.Л.* Информационное сообщение об активизации октябре 2001 г. вулкана Авачинский на Камчатке и проведенных исследованиях 2001 г. // Вулканология и сейсмология. 2002. № 2. С. 79-80.
  5. *Мелекесцев И.В., Брайцева О.А., Двигало В.Н., Базанова Л.И.* Исторические извержения Авачинского вулкана на Камчатке (попытка современной интерпретации и классификации для долгосрочного прогноза типа и параметров будущих извержений). Часть II (1926-1991 гг.) // Вулканология и сейсмология. 1994. № 2. С. 3-23.
  6. *Озеров А.Ю., Мельников Д.В.* Новый подход к мониторингу вулканов Авачинский и Корякский // Вулканизм и связанные с ним процессы. Материалы XXII Всероссийской научной конференции, посвященной Дню вулканолога. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН. 2019. С. 24-27.
  7. *Федотов С.А., Двигало В.Н., Дрознин В.А. и др.* Последнее извержение вулкана Авачинский в январе 1991 г. и проблема вулканической опасности // Вулканизм, структуры и рудообразование: Тез. Докл. VII Всесоюзного вулканологического совещания. Иркутск, 1992. С. 36-37.
  8. *Чеброва А.Ю., Чемарев А.С., Матвеев Е.А. и др.* Единая информационная система сейсмологических данных в Камчатском филиале ФИЦ ЕГС РАН: принципы организации, основные элементы, ключевые функции // Геофизические исследования. 2020. Т. 21. № 3. С. 66-91. <https://doi.org/10.21455/gr2020.3-5>
  9. Kamchatka Volcanic Eruption Response Team [Электронный ресурс] URL: <http://kvert.febras.net/>
  10. *Krischer L., Megies T., Barsch R. et al.* ObsPy: a bridge for seismology into the scientific Python ecosystem // Computational Science & Discovery. 2015. V. 8(1). Art. 014003. <https://doi.org/10.1088/1749-4699/8/1/014003>
  11. *Ozerov A.Yu., Bakhmatova Ya.A., Melnikov D.V. et al.* Multiparametric monitoring of the Avachinsky volcano to ensure the safety of densely populated areas of Kamchatka // Journal of Volcanology and Seismology. 2025. V. 19. Suppl. 1. P. 72-74. <https://doi.org/10.1134/S0742046325700551>
  12. *Trnkoczy A.* Understanding and parameter setting of STA/LTA trigger algorithm // New manual of seismological observatory practice 2 (NMSOP-2). 2012. P. 1-20.