

Развертывание сети Вулканологических Многопараметрических Комплексов (ВМАК) на Авачинском вулкане: от концепции к реализации

Озеров А.Ю., Мельников Д.В., Бахматова Я.А., Фролов В.И., Миронов И.К., Магуськин К.М., Чубаров М.В., Новиков Ю.В., Нuzдаев И.А., Нuzдаев А.Н.

Deployment of a network of Volcanological Multiparametric Arrays Complexes (VMAK) on Avachinsky volcano: from concept to implementation

Ozerov A.Yu., Melnikov D.V., Bakhmatova Y.A., Frolov V.I., Mironov I.K., Maguskin K.M., Chubarov M.V., Novikov Yu.V., Nuzdaev I.A., Nuzdaev A.N.

*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский;
e-mail: ozerov@ozerov.ru*

В сентябре 2025 года завершен первый этап практической реализации проекта по установке сети Вулканологических Многопараметрических Автоматизированных Комплексов (ВМАК) в районе вулкана Авачинский. В рамках создания научно-исследовательского полигона развернуты три наблюдательные станции.

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 и представляющий для них постоянную угрозу. Для повышения достоверности прогноза извержений необходима интеграция различных методов наблюдений. В работе представлены результаты реализации проекта по созданию сети Вулканологических Многопараметрических Комплексов (ВМАК) [3] на склонах Авачинского вулкана. Основная цель – переход от концепции комплексного мониторинга к ее практическому воплощению: развертыванию аппаратуры, организации сбора данных и их совместному анализу. Рассмотрены ключевые этапы работ и конструкция ВМАК.

Концепция ВМАК и оборудование

В августе 2025 г. сотрудниками ИВиС ДВО РАН в рамках НИР FWME-2024-0015 были развернуты три пункта наблюдений ВМАК на Авачинском вулкане. Две станции (ВМАК-2 и ВМАК-3) размещены на южном склоне вулкана на высотах 1150 и 1050 м. Станция ВМАК-1 установлена на вершине вулкана, в пределах лавовой пробки, на высоте 2720 м.

Разработаны две комплектации аппаратуры:

Для ВМАК-1: сейсмическая широкополосная станция (Trillium TC120-SV1, 120 с) с регистратором Centaur CTR4-6S, установленная непосредственно на лавовой пробке в кратере вулкана для регистрации сигналов в ближней зоне. Передача данных осуществляется по GSM связи. Электропитание обеспечено за счет аккумуляторов 400 Ач, которые заряжаются от солнечной панели мощностью 200 Вт.

ВМАК-2 и ВМАК-3 (рис. 1) обладают идентичным техническим оборудованием. Сейсмическая широкополосная станция (Trillium TC120-SV1, 120 с) с регистратором Centaur CTR4-6S; ГНСС-станция; метеостанция (Davis Instruments Vantage Pro); IP-видеокамера, ДОАС (дифференциальный оптический абсорбционный спектрометр). Электропитание обеспечено за счет аккумуляторов 400 Ач, которые заряжаются от солнечных панелей общей мощностью 980 Вт.

Передача данных со всех комплексов осуществляется в режиме реального времени по радиоканалам в приемно-аналитический центр ИВиС ДВО РАН в г. Петропавловск-Камчатский. Первичная обработка сейсмических данных проводится с использованием Python-библиотеки ObsPy [2].

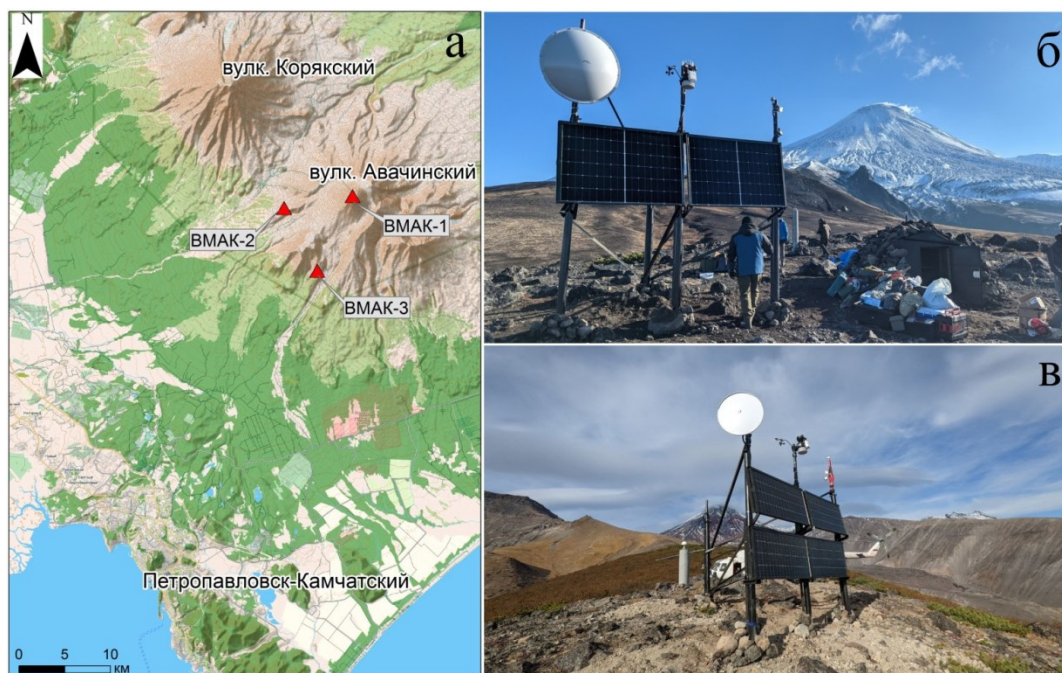


Рис. 1. Схема расположения пунктов ВМАК в районе вулкана Авачинский (а), пункты ВМАК-2 (б) и ВМАК-3 (в).

Благодаря расположению ВМАК-1 непосредственно на лавовой пробке, станция обеспечивает регистрацию самых слабых высокочастотных событий, происходящих в постройке вулкана. Это позволяет изучать более слабую сейсмичность вулкана, недоступную для традиционных сетей, и открывает новые возможности для раннего обнаружения возможных признаков активизации вулкана.

Первые данные

За период с 28 августа 2025 г. по настоящее время (февраль 2026 г.) получен непрерывный поток сейсмических данных. Для автоматического выделения событий применялся детектор на основе алгоритма STA/LTA с параметрами, оптимизированными для высокочастотных локальных событий. Данные со станций предварительно очищались от инструментального отклика. За пять месяцев наблюдений зарегистрировано несколько тысяч событий. Для исключения тектонических землетрясений и шумовых детекций применялась пост-фильтрация по амплитуде. В итоговый каталог вошло около 100 высокочастотных событий с наиболее сильными амплитудами.

Анализ временного распределения выявил повышенную активность в сентябре-октябре 2025 г., причем события часто группируются в рои. Для каждого сильного события были построены амплитудные спектры (FFT) и спектрограммы. Определены доминирующие частоты – в среднем они лежат в диапазоне 12-22 Гц, что характерно для вулканотектонических событий небольшой магнитуды. Спектрограммы показывают кратковременный (менее 1 с) всплеск энергии без выраженной дисперсии, что подтверждает близость источника к станции.

Выводы и перспективы

Развернутая сеть ВМАК успешно функционирует в экстремальных высокогорных условиях, обеспечивая непрерывный многопараметрический мониторинг Авачинского вулкана. Установка вершинной станции на лавовой пробке позволила впервые получать сейсмические сигналы непосредственно из ближней зоны источника (рис. 2), что открыло возможность регистрировать слабые высокочастотные события, не видимые удаленными сетями.

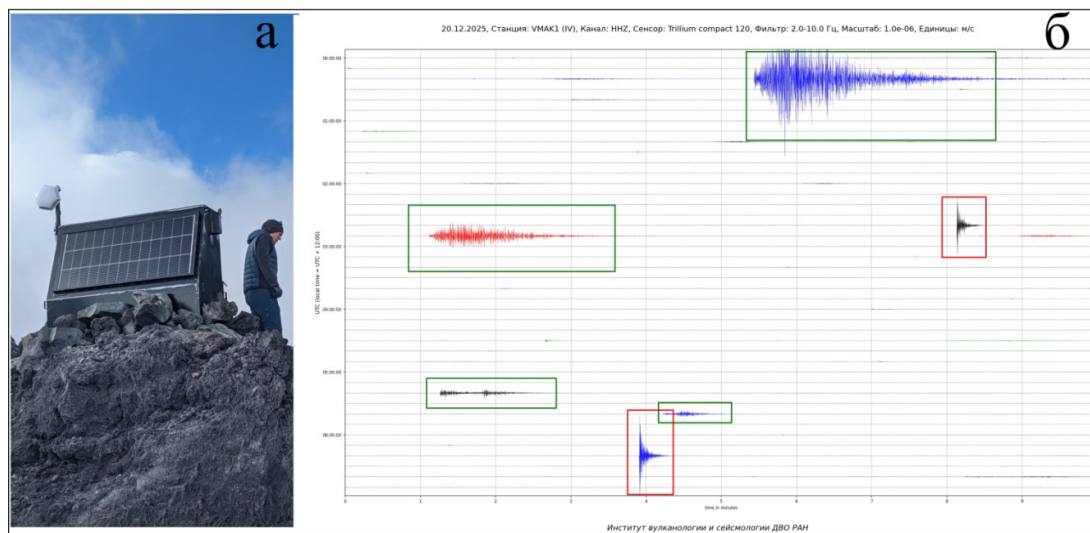


Рис. 2. Станция ВМАК-1 (а) и пример записи сейсмического сигнала (б). Зелеными прямоугольниками показаны тектонические землетрясения, а красными прямоугольниками – высокочастотные события, которые происходят в непосредственной близости от станции.

Полученные за пять месяцев данные легли в основу первого каталога локальных сейсмических событий. Статистический и спектральный анализ выявил неоднородность популяции событий, что требует дальнейшего изучения их природы. Планируется:

- провести классификацию событий с использованием методов машинного обучения на основе спектральных и поляризационных признаков;
- сопоставить сейсмическую активность с данными метеостанций (температура, ветер) для выделения техногенных и ледниковых помех;
- интегрировать в анализ данные газового состава (ДОАС) и деформаций (ГНСС) для построения комплексной модели подготовки возможного извержения;
- оснастить станции дополнительным оборудованием: инфракрасные камеры, газовые анализаторы, сеть из термоэлектрических преобразователей.

Созданная инфраструктура и отработанные методики обработки данных (включая открытый Python-код) закладывают основу для создания системы раннего предупреждения о вулканической опасности, что критически важно для обеспечения безопасности населенных пунктов Камчатского края.

Работа выполнена в рамках «Межведомственной программы комплексных научных исследований Камчатского полуострова и сопредельных акваторий в 2024-2026 гг.» по государственному заданию Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН по теме НИР № FWME-2024-0015 «Изучение механизмов извержения Авачинского вулкана и создание методик оценки вулканической опасности».

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. 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>
3. 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>