

**Комплексные исследования вулкана Карымский в межэруптивный период с 14 по 28 августа 2024 года**

*Бахматова Я.А.<sup>1</sup>, Мельников Д.В.<sup>1</sup>, Калачева Е.Г.<sup>1</sup>, Чебров Д.В.<sup>2</sup>*

**Multipurpose studies of the Karymsky volcano during the inter-eruptive period from August 14 to 28, 2024**

*Bakmatova Y.A., Melnikov D.V., Kalacheva E.G., Chebrov D.V.*

<sup>1</sup> *Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский;  
e-mail: bakhyana@mail.com*

<sup>2</sup> *Камчатский филиал Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба РАН», г. Петропавловск-Камчатский*

В августе 2024 г. были проведены комплексные научные исследования в районе вулкана Карымский, Камчатка. По данным инструментальных наблюдений показано, что в период межэруптивного внешне спокойного состояния вулкан продолжает интенсивную деятельность, выраженную в сейсмических событиях и интенсивной дегазации.

**Введение**

Вулкан Карымский – один из наиболее активных вулканов Камчатки. Это типичный андезитовый стратовулкан центрального типа, который представляет собой правильный конус. Активность вулкана представлена эксплозивными и эффузивными извержениями. В последние 20 лет высота пепловых выбросов в среднем составляет 4-5 км над уровнем моря (далее н.у.м.), однако фиксировались и отдельные события с подъемом пепла до 8-10 км [1]. В связи с удаленностью вулкана от населенных пунктов мониторинг его состояния проводится, преимущественно, с использованием данных спутникового зондирования (ИВиС ДВО РАН, KVERT) и сейсмических наблюдений (КФ ФИЦ ЕГС РАН). В 2024 г. было несколько эксплозивных периодов активности вулкана в июне-июле, августе, октябре и ноябре.

По спутниковым (<http://www.kscnet.ru/ivs/kvert/volc?name=Karymsky>) и сейсмическим (<http://www.emsd.ru/~ssl/monitoring/main.htm>) данным, первый период продолжался с 20 июня по 10 июля. Он характеризовался пепловыми выбросами до высоты 5.5 км н.у.м. (<http://www.kscnet.ru/ivs/kvert/volc?name=Karymsky>). Затем последовал период внешне спокойного состояния вулкана, а 30 августа произошла серия сильных эксплозивных событий, сопровождавшихся подъемом пепла до высоты 7 км н.у.м.

С 14 по 26 августа 2024 г. в Карымском вулканическом центре (КВЦ) работала комплексная экспедиция ИВиС ДВО РАН. Проведены исследования динамики восстановления гидрохимии озера Карымское после катастрофического подводного извержения, произошедшего в кальдере Академии Наук в начале января 1996 г., сделана детальная геохимическая съемка на всех термопроявлениях центра. Выполнены сейсмические наблюдения и оценка эмиссии вулканогенного газа SO<sub>2</sub>, осуществляемой вулканом Карымский, измерен объем надпочвенной дегазации CO<sub>2</sub> на термальных площадках кальдер Карымская и Академии Наук. Проведена инфракрасная съемка и аэрофотосъемка зон южного сектора КВЦ.

В настоящей публикации представлены первые результаты сейсмических наблюдений в связке с оценкой эмиссии вулканогенного газа SO<sub>2</sub>, а также данные аэрофотосъемки вулкана Карымский и информация об обнаруженных по периферии термального поля взрывных воронках.

**Методы исследования**

Для проведения сейсмических наблюдений на период с 14 по 26 августа 2024 г. была сформирована временная сеть, состоящая из 4 широкополосных цифровых сейсмометров СМЕ-6011ND ([https://r-sensors.ru/ru/products/dig\\_seism/cme-6011nd-ru/](https://r-sensors.ru/ru/products/dig_seism/cme-6011nd-ru/)). Для подсчета локальной сейсмичности региона также была использована стационарная станция KRY (КФ ФИЦ ЕГС РАН [3]). Расположение станций показано на рис. 1а.

Обработка волновых форм и определение гипоцентров землетрясений проводились в ПО DIMAS [2].

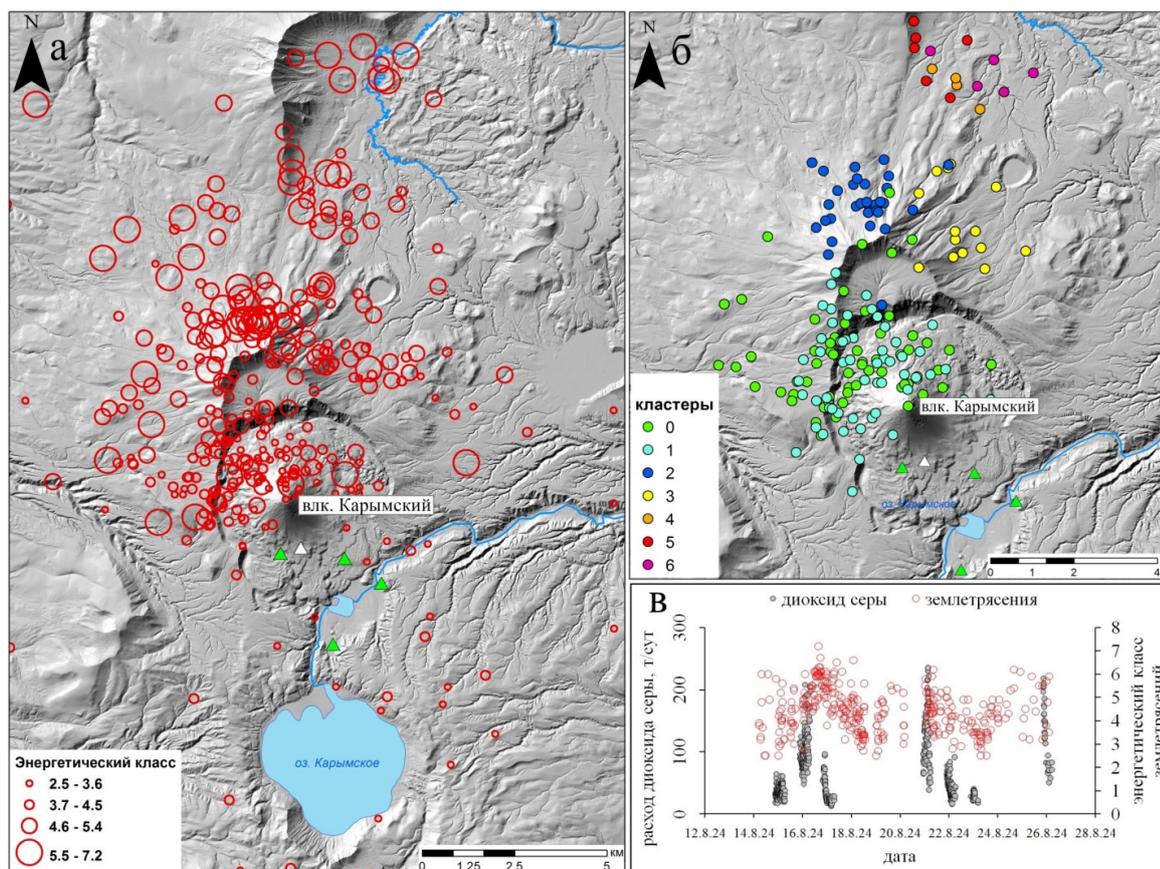


Рис. 1. Схема (а) распределения землетрясений в районе вулкана Карымский в период с 14 по 26 августа 2024 г. Зелеными треугольниками показаны места установки сейсмических станций СМЕ-6011ND, белый треугольник – положение сейсмостанции KRY (КФ ФИЦ ЕГС РАН). Кластерный анализ распределения землетрясений (б). Корреляция по времени между энергетическим классом землетрясений и эмиссии вулканогенного  $\text{SO}_2$  из кратера вулкана (в).

Оценка эмиссии диоксида серы ( $\text{SO}_2$ ) проводилась с помощью сканирующей системы на основе дифференциальной оптической абсорбционной спектроскопии (ДОАС). Технически сканер соответствует оборудованию, разработанному в рамках проекта Network for Observation of Volcanic and Atmospheric Change (NOVAC) [5]. Сканирующая станция была установлена рядом с геофизическим полевым стационаром «Карымский» (координаты установки станции 54.024 с.ш. 159.480 в.д.), на расстоянии 7 км от вершины вулкана. Измерение эмиссии газа проводилось в дневное время суток. Также данные о дегазации отсутствуют за период сложных метеорологических условий (сплошная облачность, туман).

Аэрофотосъемка осуществлялась при помощи квадрокоптера DJI Matrice 300 RTK и установленной на него камеры ZENMUSE H20T, позволяющей проводить съемку в видимом и инфракрасном спектральном диапазоне. Для построения ортофотоплана и цифровой модели местности использовалось ПО Agisoft Metashape.

### Результаты исследования

По результатам сейсмических наблюдений за период с 14 по 26 августа 2024 г. был составлен каталог и определены гипоцентры 345 землетрясений (рис. 1а). Сейсмические события проявляют себя неравномерно и зачастую представляют собой скопления близко расположенных событий, что позволяет нам рассматривать их как кластеры. Используя алгоритм DBSCAN [4], выделены несколько групп землетрясений,

а также сейсмически активные зоны. Кластеры 0 (период с 15 по 19 августа) и 1 (период с 21 по 25 августа) локализованы (рис. 1б) в постройке вулкана Карымский, их энергетический класс ( $K_s$ ) находится в диапазоне 2.8-4.7. Разделены эти события на два кластера только по времени между собой – 20 августа землетрясений в постройке вулкана не регистрировалось. Кластеры 2-3 расположены в пределах кальдеры Двор, расположенной к северу от вулкана, соответствуют промежутку времени 15-17 августа и  $K_s=4.1-6.1$ . Группа кластеров 4-6 локализована севернее кальдеры Двор, землетрясения происходили 16-17 и 21 августа с  $K_s=4.7-6.3$ . При корреляции сейсмических данных и эмиссии  $SO_2$  показано, что было существенное увеличение количества,  $K_s$  землетрясений и расхода газа 16 и 21 августа (до 200 и 230 т/сут, соответственно).

Аэрофотосъемка кратера вулкана была осуществлена 27 августа, т.е. за трое суток до эксплозивного извержения 30 августа 2024 г. По результатам съемки построен ортофотоплан и цифровая модель местности (ЦММ) (рис. 2а, в). Определено, что ширина кратера составляет 300 м, а максимальная глубина 110 м (рис. 2б). По данным инфракрасной съемки (рис. 2а), на дне кратера не наблюдалось каких-либо высокотемпературных аномалий. Максимальная зафиксированная температура составила 170 °С и приурочена к фумароле, расположенной на кромке кратера.

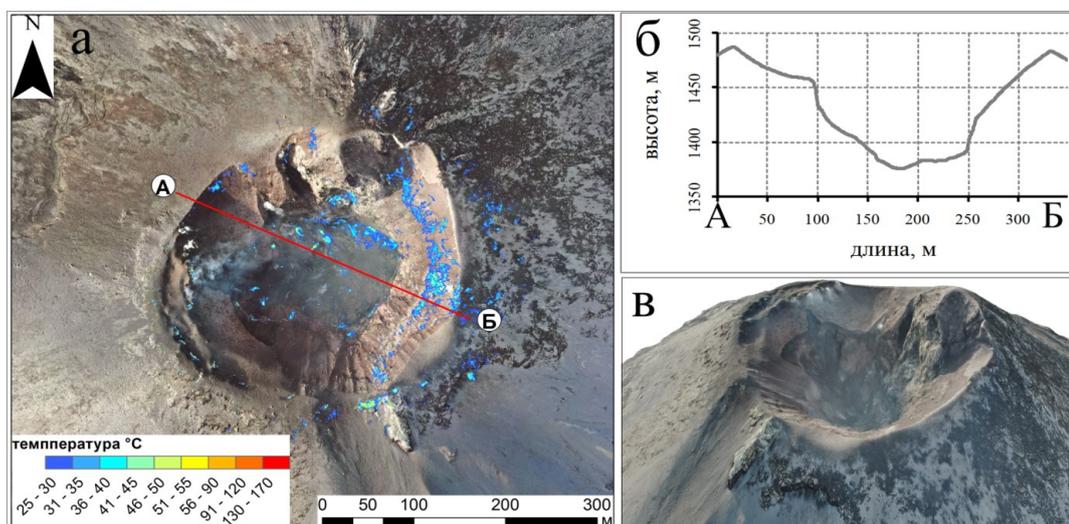


Рис. 2. Ортофотоплан кратера вулкана Карымский. Цветовой палитрой от синего до красного показано распределение температуры, определенной по данным инфракрасной съемки (а). По линии А-Б показан вертикальный разрез кратера по данным ЦММ (б). Перспективная 3D модель кратера вулкана по данным ЦММ (в).

Кроме изучения вулканической постройки проводились работы и на сопредельной территории. Одной из интересных находок было обнаружение двух воронок (ранее не известных), расположенных на болотистой низине у подножия вулкана, на северо-восточной окраине очага разгрузки интенсивно газифицирующихся углекислых термальных вод (Карымские источники). Ширина воронок составляет 7 и 4 метра, глубина до 1.5 м. Координаты более крупной – 54.02587 с.ш. 159.4686 в.д., второй – 54.02663 с.ш. 159.4727 в.д. (рис. 3). Учитывая высокую газонасыщенность термальных вод кальдеры Карымская, наличие «сухих» газовых струй с высоким содержанием  $CO_2$ , происхождение этих воронок связано с газогидратными взрывами. Дополнительно, на взрывной характер указывают характерные небольшие вывороченные «воротники» по краю воронок, а также куски почвенной дернины и обломки горных пород, разбросанные по периферии он них. Поскольку обе образовавшиеся воронки находятся в стороне от зоны разгрузки термальных вод, они заполнены пресной (минерализация 130 мг/л и 86 мг/л) холодной водой гидрокарбонатно-хлоридного типа (по преобладающим анионам) со смешанным катионным составом, рН=6.2-6.3.

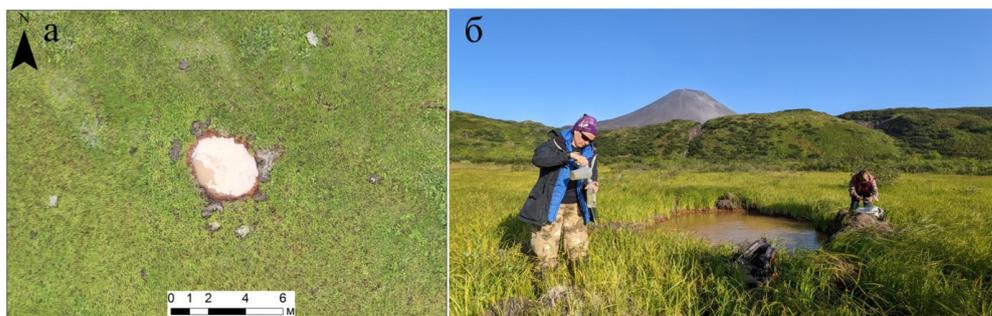


Рис. 3. Взрывная воронка (а). Отбор воды из воронки для гидрохимического анализа (б). На заднем плане вулкан Карымский.

### Выводы

В ходе проведенных исследований были получены новые комплексные данные о состоянии вулкана Карымский в межэруптивный период с 14 по 26 августа 2024 г. По визуальным данным, вулкан в этот промежуток времени был спокоен. Однако инструментальные наблюдения позволили выделить этапы повышенной вулканической активности. По сейсмическим данным, 16 и 21 августа регистрировалось большое количество слабых землетрясений в постройке вулкана. Также в эти дни отмечалась интенсивная эмиссия газа  $\text{SO}_2$  из кратера вулкана. Серия землетрясений в районе кальдеры Двор, скорее всего, имеет вулканотектонический характер.

Данные работы в очередной раз продемонстрировали, что район Карымского вулкана является крайне интересным для комплексных научных исследований. Такие работы необходимо продолжать и в перспективе расширить их на вулкан Малый Семячик, учитывая, что для этих вулканов существует единый глубокий магматический очаг [6].

Исследование выполняется в рамках темы НИР ИВиС ДВО РАН «Мониторинг влияния вулканической и гидротермальной активности на химический состав рек Камчатки» (FWME-2024-0014). Также работа выполнена с использованием данных, полученных на уникальной научной установке «Сейсмоинфразвуковой комплекс мониторинга арктической криолитозоны и комплекс непрерывного сейсмического мониторинга Российской Федерации, сопредельных территорий и мира» (<https://scrf.ru/usu/507436/>).

### Список литературы

1. *Гирина О.А., Константинова А.М., Крамарева Л.С. и др.* Эксплозивное событие 19 апреля 2022 г. Вулкана Карымский (Камчатка) по спутниковым данным // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2022. Т. 19. № 2. С. 255-260.
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. *Чебров Д.В.* 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>
4. *Ester M., Kriegel H.P., Sander J., Xu X.* A density-based algorithm for discovering clusters in large spatial databases with noise // *AAAI Press*. 1996. P. 226-231.
5. *Galle B., Johansson M., Rivera C. et al.* Network for Observation of Volcanic and Atmospheric Change (NOVAC) – A global network for volcanic gas monitoring: Network layout and instrument description // *Journal of Geophysical Research*. 2010. V. 115. Art. D05304. 3
6. *Ji L., Izbekov P., Senyukov S., Lu Z.* Deformation patterns, magma supply, and magma storage at Karymsky Volcanic Center, Kamchatka, Russia, 2000-2010, revealed by InSAR // *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. 2018. V. 352. P. 106-116.