

Состояние экструзивных куполов группы Каран (вулкан Шивелуч, п-ов Камчатка) в апреле 2025 года

Фролов В.И., Нуждаев И.А., Бакматова Я.А., Черкашин Р.И.

State of the Karan group extrusive domes (Shiveluch volcano, Kamchatka Peninsula) in April 2025

Frolov V.I., Nuzhdaev I.A., Bakmatova Ya.A., Cherkashin R.I.

*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский;
e-mail: frolovvi91@ya.ru*

Отражены основные результаты полевых наблюдений за состоянием экструзивных куполов группы Каран вулкана Шивелуч в апреле 2025 года. Измерены температуры и концентрация газов, выполнена аэрофотосъемка, отобраны образцы пород отложений и воды в кратерном озере. Даны предварительные названия новообразованным кратерам.

На западном склоне вулкана Шивелуч находится группа экструзивных куполов (Каран, Красная, Шероховатая), которые возникли субсинхронно с формированием вулкана Молодой Шивелуч [2], а также новообразованный купол 300 лет РАН [1]. Внедрение экструзий приурочено к разлому северо-восточного простирания, секущему западные склоны постройки Старого Шивелуча [2, 5].

По состоянию на конец 2024 г. данные полевых наблюдений за деятельностью куполов группы Каран включали в себя информацию обо всех событиях, начиная с момента активизации в мае 2023 г.: процесс подготовки к появлению нового экструзивного купола в мае 2024 г., формирование купола и серия эксплозивных извержений – с 17 по 20 августа, с 1 по 3 сентября и с 7 по 9 ноября 2024 г. [6]. Однако, последствия четвертого, наиболее разрушительного, извержения 7 ноября 2024 г., оставались неизвестными. С 9 по 11 апреля 2025 г. авторами были проведены полевые работы для оценки текущего состояния экструзивных куполов.

Выполнен отбор образцов наиболее представительных пород, измерены температуры отложений и активных фумарол, проведена аэрофотосъемка с использованием БПЛА, в том числе плановая съемка для создания цифровой модели рельефа (далее – ЦМР). Отобраны пробы воды в новообразованном кратерном озере у восточного подножия купола Каран и произведены измерения концентрации газов.

Актуальное состояние экструзивных куполов

Эксплозии в ноябре 2024 г. привели к значительному разрушению экструзивных куполов. Анализ ЦМР позволяет предположить, что в момент извержения одновременно работали до 6 центров активности (рис. 1).

Площадь эруптивной зоны можно грубо оценить значением 0.6 км² (900×700 м). Между сопкой Красная и куполом 300 лет РАН образовался крупный кратер Красный большой (150×300 м). На северном склоне сопки Красная соосно основному кратеру отчетливо наблюдался кратер Красный малый (60×120 м). Центральная часть купола 300 лет РАН значительно просела и расположена в явно выраженном кратере (Центральный) диаметром 400 м. У северо-восточного подножия купола образовался кратер Восточный диаметром 250 м.

У восточного подножия купола Каран образовался сложносоставной кратер Озерный. В северной части кратера Озерный образовалось озеро диаметром около 50 м. В центре озера наблюдалось бурление с фонтаном высотой до 0.6 м, сопровождаемое активной парогазовой деятельностью. У северо-западного подножия купола Каран также был обнаружен кратер (Обвальный). Он был значительно разработан в результате извержения 7 ноября 2024 г., его западный борт полностью разрушен.

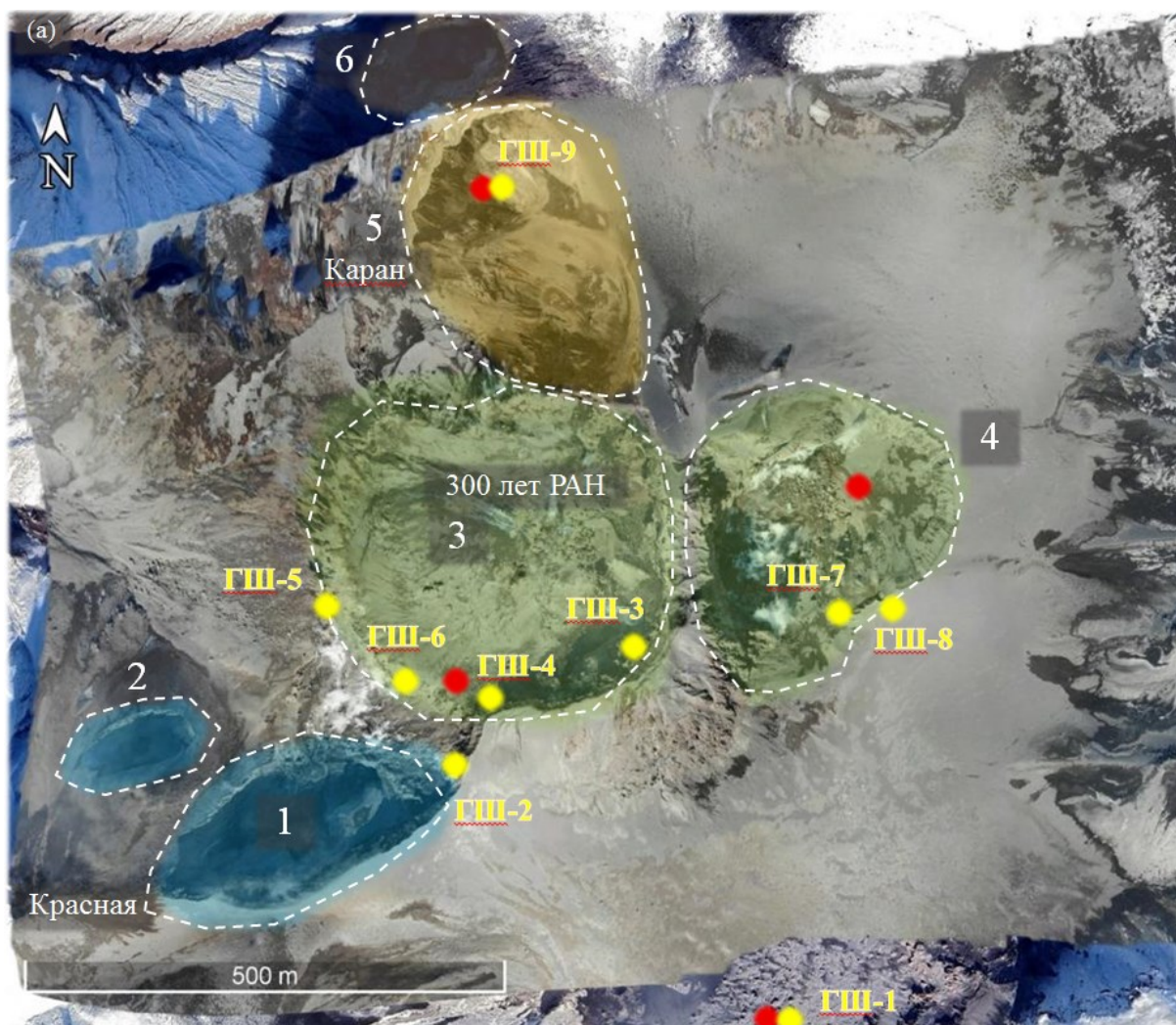


Рис. 1. Ортофотоплан экструзивных куполов 10 апреля 2025 г. Обозначения: 1 – кратер Красный большой, 2 – кратер Красный малый, 3 – кратер Центральный, 4 – кратер Восточный, 5 – кратер Озерный, 6 – кратер Обвальный. Красные точки – пункты отбора образцов, желтые – пункты измерений концентрации газов. Фото: И.А. Нуждаев.

Продукты извержения. Преобладающие продукты извержения представляли собой обломки эффузивных пород крупного и среднего размера – от десятков сантиметров до первых метров, рыхлый пирокластический материал, а также корки вторичных минералов.

Исследование вещественного состава выполнено для трех образцов (таблица). Содержания главных элементов определены методом рентгеновской флюоресценции в Центре коллективного пользования (ЦКП) «Геодинамика и геохронология» Института земной коры СО РАН (г. Иркутск).

Таблица. Содержание главных элементов в образцах породы извержения 7 ноября 2024 г. экструзивного купола 300 лет РАН (все значения даны в мас. %)

Шифр	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O
2501	56.36	0.69	15.19	7.28	0.13	6.88	7.46	3.45	1.41
2403	56.68	0.71	15.30	7.43	0.13	7.17	7.57	3.41	1.44
2404	56.39	0.72	15.34	7.41	0.14	6.85	7.59	3.46	1.32

Примечание. 2501 – твердая лава кратера Восточный купола 300 лет РАН (отбор 11.04.2025); 2403 – твердая лава в пиропотоке по р. Карина (отбор 10.11.2024); 2404 – сыпучий материал в пиропотоке по р. Карина (отбор 10.11.2024).

Аналогично данным работы [8], содержание SiO_2 варьирует в узких пределах – от 56.3 до 56.7 мас. %. Среди главных элементов преобладают Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO и CaO . Содержания SiO_2 и $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ в образцах пород извержения 7 ноября 2024 г. полностью аналогичны содержанию соответствующих элементов в породах предшествующих извержений купола 300 лет РАН.

Температуры отложений. Измерение температур отложений выполнялось с помощью термопары с измерителем и инфракрасной камеры БПЛА. Наивысшая зафиксированная температура в активной фумароле кратера Центральный составила $345\text{ }^\circ\text{C}$, тогда как средняя температура отложений в активной области варьировала в пределах $100\text{--}200\text{ }^\circ\text{C}$. Параллельно с ИК-съемкой активной области выполнена плановая съемка для построения ортофотоплана и ЦМР (см. рис. 1).

Газы. Выполнены измерения концентрации газов (SO_2 , H_2S , HCl) в 9 пунктах наблюдений (см. рис. 1). Наиболее корректные данные были получены в пределах кратера Восточный (ГШ-7, ГШ-8). Значения составили 2.94 ppm для SO_2 и 0.626 ppm для H_2S (рис. 2). Согласно работе [7], соотношение $\text{SO}_2/\text{H}_2\text{S}=4.70$ попадает в зону «магматически-обусловленных гидротермальных газов».

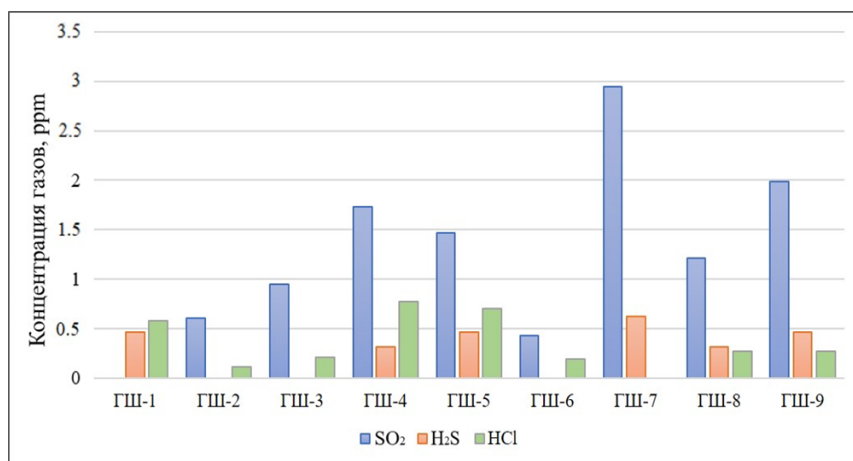


Рис. 2. График концентрации газов (ppm) в точках наблюдений. Расположение точек ГШ см. рис. 1.

Озеро в кратере Озерный. Выполнен отбор проб воды из новообразованного озера в кратере Озерный, измерены температуры воды и донных отложений. Согласно результатам анализа проб, выполненного в аналитическом центре ИВиС ДВО РАН (г. Петропавловск-Камчатский), состав воды типичен для кратерных озер вулканов островодужных вулканических поясов. Значение $\text{pH}=2.4$ соответствует ультракислым озерам [3]. Среди анионов преобладают сульфаты SO_4^{2-} (3818 мг/л) и хлориды Cl^- (1471.0 мг/л).

Для вулкана Шивелуч образование кратерного озера не является уникальным явлением. Фонтанирующий котел наблюдался в сентябре 2023 г. [6]. После катастрофического извержения вулкана Шивелуч в 1964 г. образовалось озеро Горячее [4]. По результатам анализа подтверждена высокая интенсивность выщелачивания Ca^{2+} (598 мг/л), Mg^{2+} (498 мг/л) и Fe^{2+} (604 мг/л). Их высокая концентрация может указывать на особенности состава пород в питающей системе активного центра [3]. В отличие от исследований [4], в новообразованном озере наблюдается повышенная концентрация Cl^- . Это коррелирует с данными измерений концентрации газов и указывает на насыщение воды кратерного озера газами прямого магматического происхождения.

Измерения температуры воды и донных отложений у берега были выполнены с использованием термопары. В обоих случаях температура соответствовала значению около $52\text{ }^\circ\text{C}$.

Обсуждение

Результаты полевых работ 9-11 апреля 2025 г., по сути, стали завершающим этапом в наблюдении за жизненным циклом экструзивной постройки 300 лет РАН. Авторы выполнили фото- и видеofиксацию (в т.ч. БПЛА) последствий мощного эксплозивного извержения купола 300 лет РАН. Полученная ЦМР демонстрирует наличие 6 новообразованных кратеров.

Отобраны образцы продуктов извержения. Из обнаруженного в кратере Озерный водоема отобраны пробы воды и растворимых компонентов газов. Высокое содержание Mg^{2+} в пробах, взятых из водоема, находится в соответствии с валовым составом (MgO) экструзивных лав [8], а также, в целом, с повышенной магнезиальностью пород вулкана Шивелуч [2]. Продукты извержения купола 300 лет РАН 7 ноября 2024 г., как и в предшествующих извержениях [8], представлены умеренно-К известково-щелочными андезибазальтами. Корреляция данных о содержании Si в пробах воды и газообразного HCl в породах свидетельствует о продолжающемся поступлении магматических газов на поверхность. В активной области преобладает SO_2 , что свидетельствует о поступлении свежего магматического вещества. Тем не менее, измеренная максимальная температура фумарол (345 °C) является слишком низкой для прямого поступления магматического газа, что свидетельствует либо об активном охлаждении магматических флюидов, либо об их значительном взаимодействии с гидротермальной системой.

Наблюдения за уникальными событиями, происходящими на северо-западном склоне вулкана Шивелуч в 2023-2024 гг., позволили расширить представление о формировании и эволюции экструзивных куполов.

Работа выполнена в рамках темы НИР ИВиС ДВО РАН № 124031400008-3. Работа И.А. Нуждаева выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, проект № 25-27-20039.

Список литературы

1. *Гирина О.А., Маневич А.Г., Лупян Е.А. и др.* Рождение нового экструзивного купола вулкана Шивелуч (Камчатка) в 2024 г. по данным непрерывного спутникового мониторинга в информационной системе VolSatView // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2024. Т. 21. № 3. С. 348-355. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2024-21-3-348-355>
2. *Горбач Н.В., Портнягин М.В.* Геологическое строение и петрология лавового комплекса вулкана Молодой Шивелуч, Камчатка // Петрология. 2011. Т. 19. № 2. С. 140-172.
3. *Калачева Е.Г.* Ультракислые сульфатно-хлоридные воды вулcano-гидротермальных систем. Дис. на соиск. уч. ст. докт. геол.-мин. наук. Новосибирск, 2024. 300 с.
4. *Кирсанова Т.П.* Отчет по теме «Результаты режимных наблюдений на вулкане Шивелуч в 1965-1970 гг.» Петропавловск-Камчатский, 1971 г. 352 с.
5. *Певзнер М.М., Толстых М.Л., Бабанский А.Д.* Вулканический массив Шивелуч, Камчатка: этапы развития магматической системы (результаты геохронологических и термобарогеохимических исследований) // Вулканология и сейсмология. 2018. № 4. С. 15-25. <https://doi.org/10.1134/S0203030618040065>
6. *Frolov V.I., Cherkashin R.I., Ozerov A.Yu. et al.* Chronology of the extrusive domes activity at the Shiveluch volcano western slope in 2023–2024 // Journal of Volcanology and Seismology. 2025. V. 19. Suppl. 1. P. S94-S102. <https://doi.org/10.1134/S0742046325700538>
7. *Giggenbach W.F.* Chemical composition of volcanic gases. In Monitoring and mitigation of volcano hazards. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 1996. P. 221-256.
8. *Gorbach N.V., Portnyagin M.V., Ovsyannikov G.N. et al.* First data on lamprophyre-like amphibole-rich basaltic andesites erupted in 2024 on the western slope of Shiveluch volcanic massif, Kamchatka // Journal of Volcanology and Seismology. 2025. V. 19. Suppl 1. P. S44-S54. <https://doi.org/10.1134/S0742046325700587>