

Рождение нового экструзивного купола вулкана Шивелуч (Камчатка) в 2024 году по данным непрерывного спутникового мониторинга в информационной системе VolSatView

О. А. Гирина¹, А. Г. Маневич¹, Е. А. Лупян², Д. В. Мельников¹,
И. А. Нуждаев¹, И. А. Уваров², И. М. Романова¹, А. А. Сорокин³,
Л. С. Крамарева⁴, А. А. Нуждаев¹

¹ Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН
Петропавловск-Камчатский, 683006, Россия
E-mail: girina@kscnet.ru

² Институт космических исследований РАН, Москва, 117997, Россия

³ Вычислительный центр ДВО РАН, Хабаровск, 680000, Россия

⁴ Дальневосточный центр НИЦ «Планета», Хабаровск, 680000, Россия

Шивелуч — один из наиболее активных вулканов Камчатки. Его современная постройка включает три главных элемента: Старый Шивелуч, древнюю кальдеру и Молодой Шивелуч. На юго-западном склоне Старого Шивелуча находится группа древних экструзивных куполов (с юга на север): Шероховатая, Красная, Каран, Сопочка на склоне. Только в районе купола Каран имеются прогретые площадки с температурой мофет 70–96 °С. После мощного взрывного извержения влк. Шивелуч в апреле 2023 г. парогазовая активность купола Каран усилилась, на спутниковых снимках в районе купола начала отмечаться слабая термальная аномалия. На спутниковом снимке JPSS-1 (*англ.* Joint Polar Satellite System) от 26 апреля 2024 г. в 15:07 UTC (*англ.* Coordinated Universal Time) в районе купола Каран учёные KVERT (*англ.* Kamchatkan Volcanic Eruption Response Team) обнаружили яркую термальную аномалию, т. е. в этот день они зафиксировали уникальное явление: рождение нового вулканогенного образования — лавового купола, который назван «300 лет РАН». По состоянию на 7 июня 2024 г. размер нового купола составляет 800×500 м, площадь короны купола — 0,19 км². Извержение купола «300 лет РАН» продолжается.

Ключевые слова: вулкан, Шивелуч, Камчатка, экструзивное извержение, лавовый купол «300 лет РАН», спутниковый мониторинг, ИС VolSatView, KVERT

Одобрена к печати: 20.06.2024

DOI: 10.21046/2070-7401-2024-21-3-348-355

Введение

Шивелуч — один из наиболее активных вулканов Камчатки, он расположен в северной части Центральной Камчатской депрессии, в 50 км от пос. Ключи и в 450 км от г. Петропавловска-Камчатского (<http://www.kscnet.ru/ivs/kvert/volc?name=Sheveluch>). Шивелуч — одно из крупнейших вулканических сооружений Камчатки: поперечник его основания достигает 45–50 км, площадь — не менее 1300 км²; вулкан начал формироваться около 60–70 тыс. лет назад (Melekestsev et al., 1991). Его современная постройка включает три главных элемента: Старый Шивелуч (3283 м), древнюю кальдеру и Молодой Шивелуч (2800 м). В кратере Молодого Шивелуча с августа 1980 г. растёт лавовый купол, активность которого представлена экструзивными, эффузивными и взрывными (вулканского типа) извержениями (Гирина и др., 2018; Girina et al., 2023).

На юго-западном склоне Старого Шивелуча находится группа хорошо сохранившихся древних экструзивных куполов, приуроченных к разлому северо-северо-восточного простирания (с юга на север): Шероховатая, Красная, Каран, Сопочка на склоне (Меняйлов, 1955). Только в районе купола Каран имеются прогретые площадки, мофетная активность которых изучается вулканологами с 1937–1938 гг. (Башарина, 1966). Температура мофет оставалась

примерно на одном уровне (изменялась в пределах от 70 до 96 °С) в течение всего времени наблюдений (например, (Башарина, 1953, 1966; Борисов, Никитина, 1962; Меняйлов, 1955; Набоко, 1953)). Изредка в 20-м и 21-м столетиях отмечалась повышенная парогазовая активность купола Каран.

Ежедневный спутниковый мониторинг влк. Шивелуч проводится учёными из Камчатской группы реагирования на вулканические извержения (*англ.* Kamchatkan Volcanic Eruption Response Team — KVERT) Института вулканологии и сейсмологии (ИВиС) ДВО РАН с 2002 г. (Гирина и др., 2018; Girina et al., 2023). С 2014 г. он выполняется с помощью информационной системы (ИС) «Дистанционный мониторинг активности вулканов Камчатки и Курил» (VolSatView, <http://kamchatka.volcanoes.smislab.ru>) (Гирина и др., 2018; Gordeev et al., 2016; Luryan et al., 2014). Для мониторинга вулкана в ИС VolSatView имеются оперативно обновляемые данные среднего и низкого разрешения спутниковых систем: NOAA-18/19 (*англ.* National Oceanic and Atmospheric Administration), Terra и Aqua, Suomi NPP (*англ.* National Polar-orbiting Partnership) и JPSS-1/2 (*англ.* Joint Polar Satellite System), Sentinel-3A/3B, «Метеор-М-2», Himawari-8/9, а также снимки высокого разрешения спутников Landsat-7/8/9, Sentinel-1A/1B/2A/2B и др. (Гирина и др., 2018; Girina et al., 2023; Gordeev et al., 2016), а также различные инструменты для проведения анализа этих данных и результатов их обработки.

Рождение нового экструзивного купола вулкана Шивелуч

После мощного эксплозивного извержения влк. Шивелуч в 2023 г., непрерывно продолжавшегося 10–13 апреля (Гирина и др., 2023), на юго-западном склоне вулкана в районе древних лавовых куполов образовалась крупная трещинная зона (устное сообщение В. И. Фролова, сотрудника ИВиС ДВО РАН). После улучшения погоды в районе Шивелуча 30 апреля 2023 г. на куполе Каран было обнаружено несколько крупных фумарол, в дальнейшем их активность оставалась высокой: парогазовый столб поднимался порой до 3–3,5 км над уровнем моря (н. у. м.) (*рис. 1*).



Рис. 1. Пример высокой парогазовой активности купола Каран на юго-западном склоне влк. Шивелуч 21 сентября 2023 г. Фото И. А. Нуждаева

В этот же день учёными KVERT было высказано предположение о возможном появлении нового лавового купола в районе Карана (https://t.me/IViS_DVO_RAN/161). С 30 апреля 2023 г. в районе купола Каран начала отмечаться термальная аномалия (рис. 2). Разность значений Температуры термальной Аномалии и Фона (РТАФ) с 30 апреля 2023 г. по 26 апреля 2024 г. изменялась от 2,1 до 18,8 °С, составляя в среднем 9,6 °С (выборка из 642 ночных значений РТАФ по данным приборов AVHRR (англ. Advanced Very-High-Resolution Radiometer), MODIS (англ. Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), VIIRS (англ. Visible Infrared Imaging Radiometer Suite), SLSTR (англ. Sea and Land Surface Temperature Radiometer), МСУ-МР (Многозональное сканирующее устройство малого разрешения)). Как хорошо видно из рис. 2, температура аномалии в районе купола Каран была значительно меньшей, чем температура аномалии в районе активного купола Молодого Шивелуча.

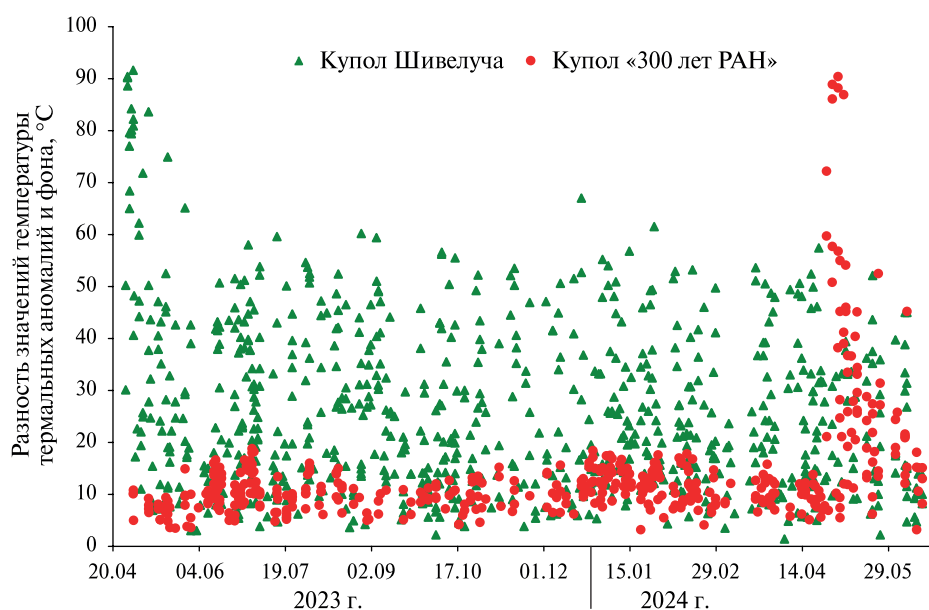


Рис. 2. Разность значений температуры термальных аномалий и фона активного купола влк. Молодой Шивелуч и купола «300 лет РАН» в 2023–2024 гг. по ночным данным спутников JPSS-1/2 и Suomi NPP (4-й канал прибора VIIRS) из ИС VolSatView

На спутниковом снимке JPSS-1 (прибор VIIRS, 4-й канал) от 26 апреля 2024 г. в 15:07 UTC (англ. Universal Time Coordinated) в районе купола Каран была обнаружена яркая термальная аномалия, РТАФ которой увеличилась с 8 до 59,7 °С (см. рис. 2), а в 16:23 UTC достигла 95 °С (по данным спутника Aqua, прибор MODIS).

Наши исследования термальной деятельности влк. Молодой Шивелуч выявили, что для него фоном активности является РТАФ 20 °С (Girina et al., 2023). Резкий рост РТАФ над фоном активности означает поступление на поверхность земли магматического вещества. Следовательно, учёные KVERT зафиксировали 26 апреля 2024 г. уникальное явление: рождение нового вулканогенного образования — лавового купола, который получил название «300 лет РАН».

Яркое свечение купола начало наблюдаться в ночное время по видеокамерам, работающим в инфракрасном режиме (см., например, <http://www.kscnet.ru/ivs/kvert/imgs/2966.jpg>). Мощная парогазовая деятельность с выносом вулканогенных аэрозолей до 4 км н.у.м. сопровождается выжиманием купола «300 лет РАН» (см., например, <http://www.kscnet.ru/ivs/kvert/imgs/2965.jpg>).

Наиболее мощно новый купол рос в первые недели, максимальная РТАФ 90,4 °С была зафиксирована 2 мая 2024 г. на спутниковом снимке Suomi NPP в 16:07 UTC (см. рис. 2). В дальнейшем температура лавового купола начала постепенно снижаться, связано это, веро-

ятно, с большим объёмом остывающего лавового и агломератового материала, перекрывающего канал поступления свежего магматического вещества.

Более детальная временная динамика изменения РТАФ в районе куполов Шивелуча, полученная на основе данных канала 4 мкм прибора АНИ (*англ.* Advanced Himawari Imager) спутника Himawari-9 в период с 22.04.2024 по 10.05.2024, представлена на *рис. 3*. Пространственное разрешение прибора АНИ составляет 0,5 км в видимом канале и 1 км в ИК-канале в подспутниковой точке. Частота съёмки прибором поверхности Земли — один снимок каждые 10 мин. Например, на *рис. 3* наблюдается постепенный рост термальной активности нового купола «300 лет РАН» и её кульминация 2 мая 2024 г. (РТАФ достигла 54 °С), в отличие от купола Молодого Шивелуча, термальная активность которого в среднем оставалась на одном и том же уровне (РТАФ не превышала 10–13 °С). Информация о РТАФ, полученная по разным спутниковым данным (приборы VIIRS и АНИ), одинаково ярко показывает кульминационные события, связанные с активным вулканизмом.

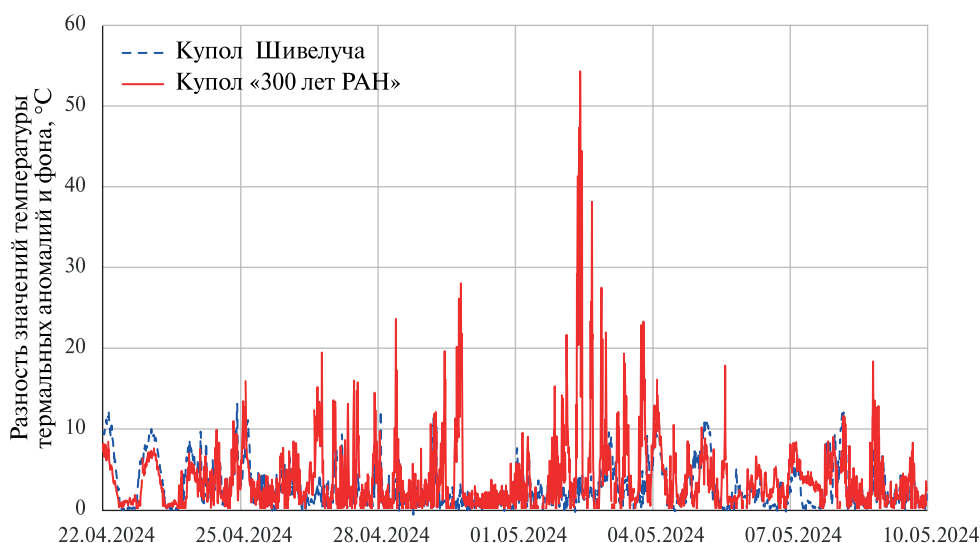


Рис. 3. Разность значений температуры термальных аномалий и фона активного купола влк. Молодой Шивелуч и купола «300 лет РАН» в период с 22.04.2024 по 10.05.2024 по дневным и ночным данным спутника Himawari-9 (канал 4 мкм прибора АНИ)

По данным Системы оповещения о вулканическом пепле и SO₂ Службы поддержки авиации (*англ.* Support Aviation Control Service SO₂ and Ash Notification System, <http://sacs.aeronomie.be>), с помощью инструмента TROPOMI (*англ.* Tropospheric Ozone-Monitoring Instrument) 4 мая 2024 г. в районе купола «300 лет РАН» было зарегистрировано облако диоксида серы (SO₂) площадью 40 789 км² и массой 1,438 кт (https://sacs.aeronomie.be/alert/TropomiNrt/2024/05.alt/04/img/20240504_030541_111_vcd_interpol.gif).

Инфракрасная съёмка нового купола была выполнена сотрудником ИВиС ДВО РАН И. А. Нуждаевым 8 мая 2024 г. (*рис. 4*, см. с. 352). Хорошо выражено купольное строение короны экструзии, крутые обрывы в её привершинной части и многочисленные раскалённые лавины по всему её периметру. Выжимание купола сопровождается мощной парогазовой активностью. Высота купола была оценена в 70 м, диаметр его основания превышал 400 м (http://www.kscnet.ru/ivs/volcanoes/inform_messages/2024/Sheveluch_04/).

Новый купол хорошо выделяется на радиолокационных данных, получаемых спутником Sentinel-1A на нисходящих сеансах (*рис. 5*, см. с. 352). При этом следует отметить, что на восходящих сеансах того же спутника купол практически не различим.

На снимке со спутника Sentinel-2B (прибор MSI, *англ.* Multispectral Instrument) от 00:29 UTC 7 июня 2024 г. купол «300 лет РАН» хорошо выражен: он расположен у юго-восточного подножия купола Каран, там, где ранее отмечались наиболее высокотемпературные

мофеты с температурой 95 °С (Борисов, Никитина, 1962). Купол высотой около 100 м вытянут (по азимуту 260°) на 800 м вдоль небольшого распада, ширина его достигает 500 м, причём его юго-восточная часть уже перевалила через борт распада. Площадь короны купола составляет 0,19 км², площадь его подножия — 0,28 км². Небольшое подпрудное озеро размером 244×160 м и площадью 0,03 км² примыкает к северо-западному борту купола (рис. 6). Размер активного купола влк. Молодой Шивелуч достигает 1000×900 м, видимая площадь купола составляет 0,7 км² (рис. 6, см. с. 353).

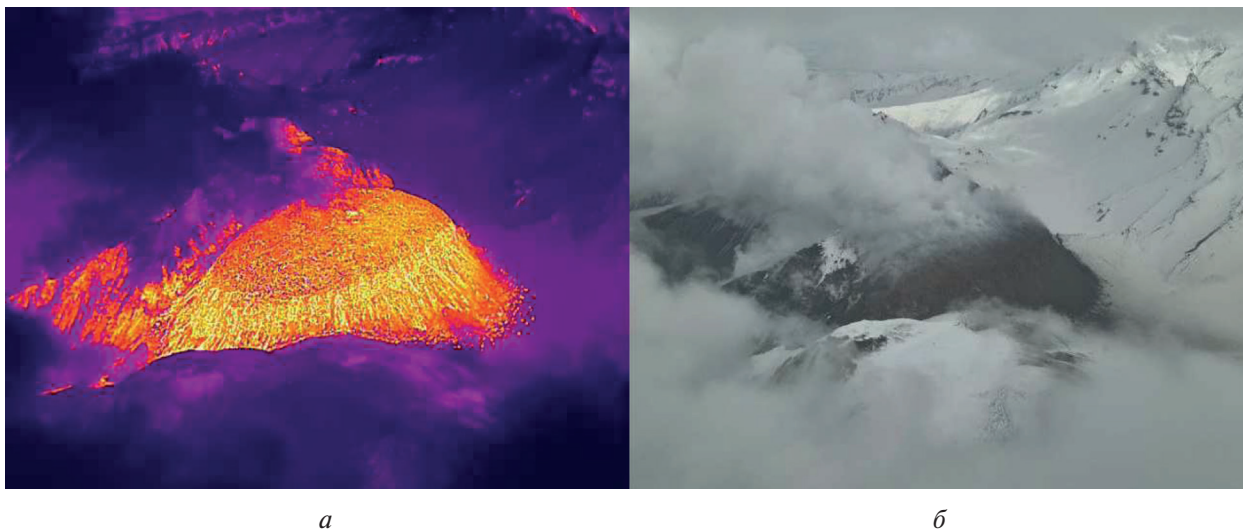


Рис. 4. Изображения нового лавового купола «300 лет РАН» у юго-восточного подножия древнего купола Каран влк. Шивелуч в инфракрасном (а) и видимом (б) каналах получены 8 мая 2024 г. с помощью системы DJI Mavic 3 Thermal

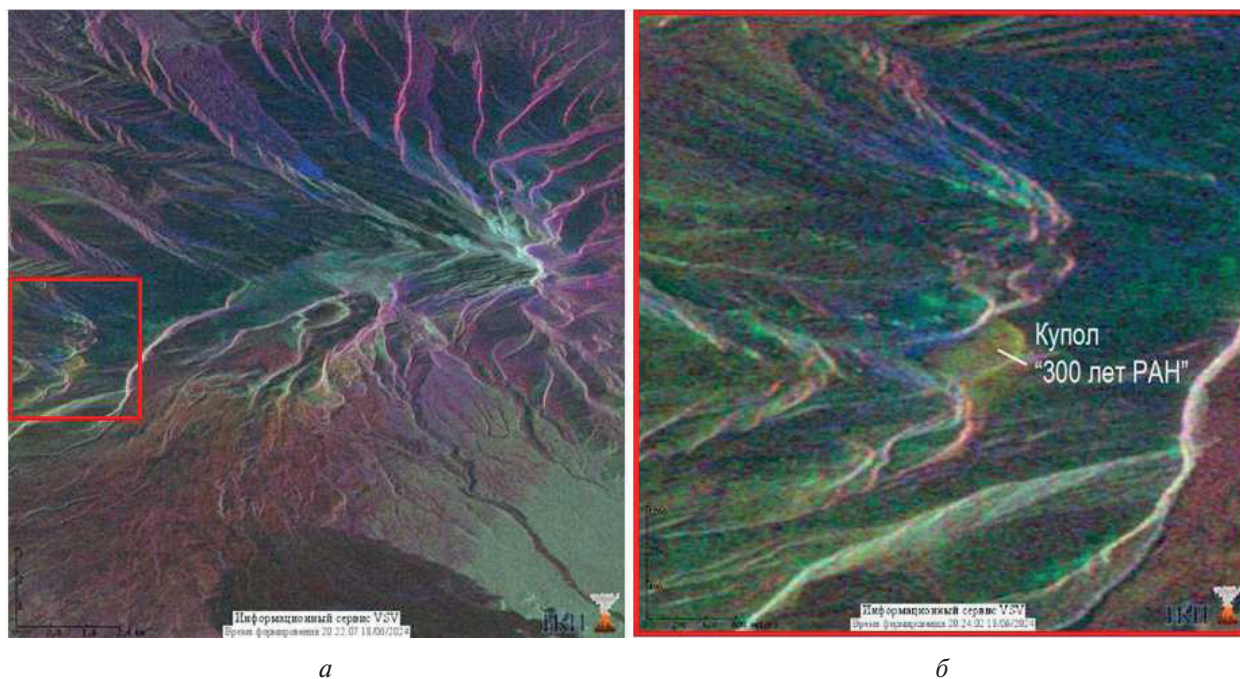


Рис. 5. Новый лавовый купол «300 лет РАН» (а) и увеличенное в четыре раза изображение (б) (красный квадрат на рис. 5а). Цветосинтезированное разновременное изображение, полученное на основе данных спутника Sentinel-1A (поляризация VV, нисходящий сеанс). R — данные за 06.06.2024, G — данные за 13.05.2024, B — данные за 26.01.2024

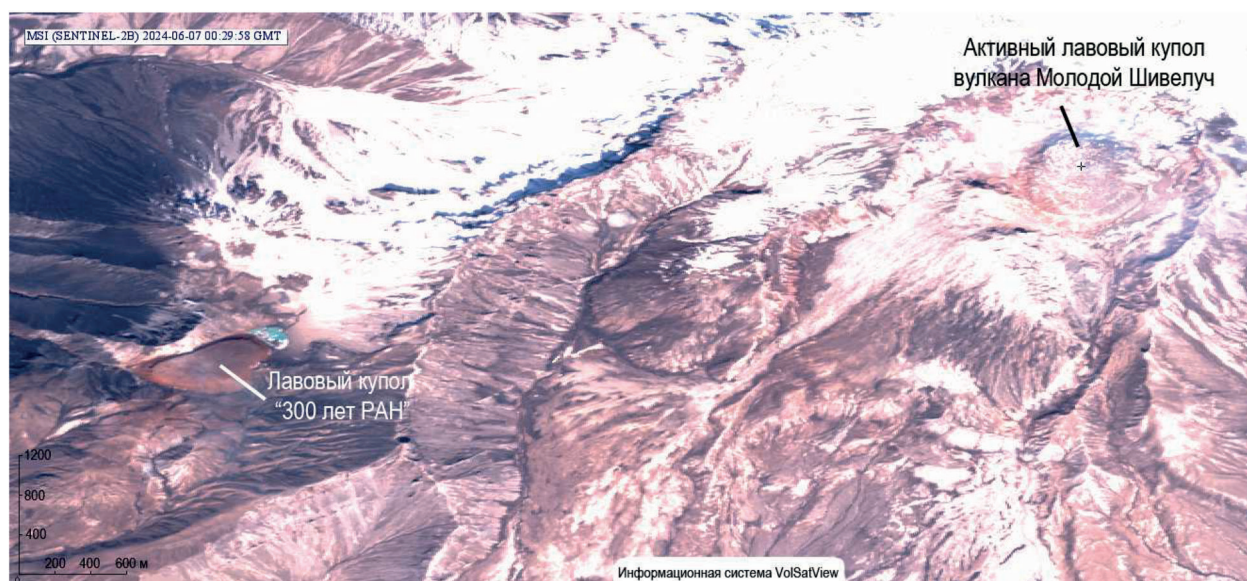


Рис. 6. Новый лавовый купол «300 лет РАН» на спутниковом снимке Sentinel-2B от 00:29 UTC 7 июня 2024 г. Данные из ИС VolSatView

Заключение

26 апреля 2024 г. произошло уникальное событие: рождение вулканогенного образования влк. Шивелуч — нового лавового купола, получившего название «300 лет РАН». Появление купола было предсказано учёными KVERT 30 апреля 2023 г., и, благодаря ежедневному спутниковому мониторингу вулкана в ИС VolSatView, было зафиксировано ими 26 апреля 2024 г.

Термальная и парогазовая активность в районе древнего купола Каран начала отмечаться после мощного извержения влк. Молодой Шивелуч 10–13 апреля 2023 г. В течение года прорабатывался канал, по которому 26 апреля 2024 г. магматическое вещество было выжато на дневную поверхность. По состоянию на 7 июня 2024 г. размеры купола «300 лет РАН» составляют: высота 100 м, длина 800 м, ширина 500 м, площадь короны купола 0,19 км². Извержение купола «300 лет РАН» продолжается.

Представленный в работе анализ комплексных наблюдений рождения нового лавового купола «300 лет РАН» выполнялся в рамках темы ИВиС ДВО РАН «Комплексный мониторинг активных вулканов Камчатки и Курильских островов наземными и дистанционными методами: изучение, оценка опасности, прогноз извержений вулканов. Геологический, энергетический, экологический эффекты извержений вулканов; анализ динамики вулканогенного процесса средствами геоинформационных технологий; моделирование механизмов извержений» (госрегистрация № 124031400008-3).

Работа ИС VolSatView, которая стала основой для проведения анализа наблюдений за вулканом, обеспечивалась с использованием ресурсов, предоставленных: Дальневосточным центром НИЦ «Планета»; Центром коллективного пользования (ЦКП) «ИКИ-Мониторинг», поддержка работы которого осуществляется Институтом космических исследований РАН в рамках темы «Мониторинг», госрегистрация № 122042500031-8 (Лупян и др., 2019); ЦКП научным оборудованием «Центр обработки и хранения научных данных ДВО РАН», поддержка работы которого осуществляется Вычислительным центром ДВО РАН (Sorokin et al., 2017) в рамках соглашения № 075-15-2021-663 с Министерством науки и высшего образования РФ; ИВиС ДВО РАН (Гирина и др., 2018).

Литература

1. Башарина Л.А. Исследование газообразных продуктов вулканов Ключевского и Шивелуча в 1946–1947 гг. // Бюл. вулканол. станций. 1953. № 18. С. 31–40.
2. Башарина Л.А. Вулканические газы Камчатки: автореф. дис. ... канд. геолого-минерал. наук. Петропавловск-Камчатский: ИВ СО АН СССР, 1966. 30 с.
3. Борисов О.Г., Никитина И.Б., Состояние фумарол вулканов Шивелуч и Безымянный в 1960 г. // Бюл. вулканол. станций. 1962. № 33. С. 3–19.
4. Гирина О.А., Лупян Е.А., Сорокин А.А., Мельников Д.В., Романова И.М., Кашицкий А.В., Уваров И.А., Мальковский С.И., Королев С.П., Маневич А.Г., Крамарева Л.С. Комплексный мониторинг эксплозивных извержений вулканов Камчатки. Петропавловск-Камчатский, 2018. 192 с. <https://elibrary.ru/item.asp?id=37061627>.
5. Гирина О.А., Лупян Е.А., Хорват А. и др. Анализ развития пароксизмального извержения вулкана Шивелуч 10–13 апреля 2023 года на основе данных различных спутниковых систем // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2023. Т. 20. № 2. С. 283–291. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2023-20-2-283-291>.
6. Лупян Е.А., Прошин А.А., Бурцев М.А. и др. Опыт эксплуатации и развития центра коллективного пользования системами архивации, обработки и анализа спутниковых данных (ЦКП «ИКИ-Мониторинг») // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 3. С. 151–170. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2019-16-3-151-170>.
7. Меняйлов А.А. Вулкан Шивелуч — его геологическое строение, состав и извержения: тр. лаб. вулканологии АН СССР. М.: Изд-во АН СССР, 1955. Вып. 9. 264 с.
8. Набоко С.И. Возгоны вулкана Шивелуч // Бюл. вулканол. станций. 1953. № 18. С. 47–55.
9. Girina O.A., Manevich A.G., Loupian E.A. et al. Monitoring the thermal activity of Kamchatkan volcanoes during 2015–2022 using remote sensing // Remote Sensing. 2023. V. 15. No. 19. Article 4775. <https://doi.org/10.3390/rs15194775>.
10. Gordeev E.I., Girina O.A., Lupyay E.A. et al. The VolSatView information system for monitoring the volcanic activity in Kamchatka and on the Kuril Islands // J. Volcanology and Seismology. 2016. V. 10. No. 6. P. 382–394. <https://doi.org/10.1134/S074204631606004X>.
11. Lupyay E.A., Milekhin O.E., Antonov V.N. et al. System of operation of joint information resources based on satellite data in the Planeta Research Centers for Space Hydrometeorology // Russian Meteorology and Hydrology. 2014. V. 39. P. 847–853. <https://doi.org/10.3103/S1068373914120103>.
12. Melekestsev I.V., Volynets O.N., Ermakov V.A., Kirsanova T.P., Masurenkov Y.P. Sheveluch Volcano // Active Volcanoes of Kamchatka. М.: Nauka, 1991. V. 1. P. 98–103.
13. Sorokin A.A., Makogonov S.I., Korolev S.P. The Information Infrastructure for Collective Scientific Work in the Far East of Russia // Scientific and Technical Information Proc. 2017. V. 4. P. 302–304.

Birth of a new extrusive dome of the Sheveluch volcano (Kamchatka) in 2024, according to continuous satellite monitoring in the VolSatView information system

О.А. Girina¹, А.Г. Manevich¹, Е.А. Loupian², D. V. Melnikov¹, I. A. Nuzhdaev¹, I. A. Uvarov², I. M. Romanova¹, А.А. Sorokin³, L. S. Kramareva⁴, А.А. Nuzhdaev¹

¹ Institute of Volcanology and Seismology FEB RAS
Petropavlovsk-Kamchatsky 683006, Russia
E-mail: girina@kscnet.ru

² Space Research Institute RAS, Moscow 117997, Russia

³ Computing Center FEB RAS, Khabarovsk 680000, Russia

⁴ Far Eastern Center of SRC Planeta, Khabarovsk 680000, Russia

Sheveluch is one of the most active volcanoes in Kamchatka. Its modern edifice includes three main elements: Old Sheveluch, an ancient caldera and Young Sheveluch. On the southeastern slope of Old Sheveluch, there is a group of ancient extrusive domes (from south to north): Sherokhovataya,

Krasnaya, Karan, Sopochka na sklone. Only in the area of the Karan dome, there are heated areas with mofets temperature of 70-96 °C. After the powerful explosive eruption of the Sheveluch volcano in April 2023, the gas-steam activity of the Karan dome intensified, and a thermal anomaly began to be noted in satellite images of the area of this dome. On April 26, 2024, in a satellite image of JPSS-1 (Joint Polar Satellite System) at 15:07 UTC, KVERT (Kamchatkan Volcanic Eruption Response Team) scientists discovered a bright thermal anomaly in the area of the Karan dome, that is, they recorded on this day a unique phenomenon: the birth of a new volcanogenic formation — the new lava dome. It was given the name “300 years of RAS”. As of June 7, 2024, the size of the new dome was 800×500 m, and the area of the dome crown was 0.19 km². The eruption of new lava dome “300 years of RAS” continues.

Keywords: volcano, Sheveluch, Kamchatka, extrusive eruption, lava dome “300 years of RAS”, satellite monitoring, information system VolSatView, KVERT

Accepted: 10.06.2024

DOI: 10.21046/2070-7401-2024-21-3-348-355

References

1. Basharina L. A., Study of gaseous products of the Klyuchevskoy and Sheveluch volcanoes in 1946–1947, *Bull. Volcanological Stations*, 1953, No. 18, pp. 31–40 (in Russian).
2. Basharina L. A., *Vulkanicheskie gazy Kamchatki: avtoref. diss. kand. geologo-mineral. nauk* (Volcanic gases of Kamchatka, Cand. geol.-mineral. sci. thesis), Petropavlovsk-Kamchatsky: IV SO AS USSR, 1966, 30 p. (in Russian).
3. Borisov O. G., Nikitina I. B., State of fumaroles of Sheveluch and Bezymianny volcanoes in 1960, *Bull. Volcanological Stations*, 1962, No. 33, pp. 3–19 (in Russian).
4. Girina O. A., Loupian E. A., Sorokin A. A., Melnikov D. V., Romanova I. M., Kashnitskii A. V., Uvarov I. A., Malkovskii S. I., Korolev S. P., Manevich A. G., Kramareva L. S. *Kompleksnyi monitoring eksplozivnykh izverzhenii vulkanov Kamchatki* (Comprehensive monitoring of explosive volcanic eruptions of Kamchatka), Petropavlovsk-Kamchatsky, 2018, 192 p., <https://elibrary.ru/item.asp?id=37061627> (in Russian).
5. Girina O. A., Loupian E. A., Horvath A. et al., Analysis of the development of the paroxysmal eruption of the Sheveluch volcano on April 10–13, 2023, based on data from various satellite systems, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2023, Vol. 20, No. 2, pp. 283–291, <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2023-20-2-283-291>.
6. Loupian E. A., Proshin A. A., Bourtsev M. A. et al., Experience of development and operation of the IKI-Monitoring center for collective use of systems for archiving, processing and analyzing satellite data, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2019, Vol. 16, No. 3, pp. 151–170, <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2019-16-3-151-170> (in Russian).
7. Menyailov A. A., *Vulkan Sheveluch: ego geologicheskoe stroenie, sostav i izverzheniya* (Sheveluch Volcano — its geological structure, composition and eruptions), Trudy laboratorii vulcanologii Akademii nauk SSSR, Moscow: Izd. Akademii nauk SSSR, 1955, Vol. 9, 264 p. (in Russian).
8. Naboko S. I., Sublimates of the Sheveluch volcano, *Bull. vulkanologicheskikh stantsii*, 1953, No. 18, pp. 47–55 (in Russian).
9. Girina O. A., Manevich A. G., Loupian E. A. et al., Monitoring the thermal activity of Kamchatkan volcanoes during 2015–2022 using remote sensing, *Remote Sensing*, 2023, Vol. 15, No. 19, Article 4775. <https://doi.org/10.3390/rs15194775>.
10. Gordeev E. I., Girina O. A., Lupyana E. A. et al., The VolSatView information system for monitoring the volcanic activity in Kamchatka and on the Kuril Islands, *J. Volcanology and Seismology*, 2016, Vol. 10, No. 6, pp. 382–394, <https://doi.org/10.1134/S074204631606004X>.
11. Lupyana E. A., Milekhin O. E., Antonov V. N. et al., System of operation of joint information resources based on satellite data in the Planeta Research Centers for Space Hydrometeorology, *Russian Meteorology and Hydrology*, 2014, Vol. 39, pp. 847–853, <https://doi.org/10.3103/S1068373914120103>.
12. Melekestsev I. V., Volynets O. N., Ermakov V. A., Kirsanova T. P., Masurenkov Y. P., Sheveluch Volcano, In: *Active Volcanoes of Kamchatka*, Moscow: Nauka, 1991. Vol. 1, pp. 98–103.
13. Sorokin A. A., Makogonov S. I., Korolev S. P., The information infrastructure for collective scientific work in the far east of Russia, *Scientific and Technical Information Proc.*, 2017, Vol. 4, pp. 302–304.