

Дистанционный мониторинг эксплозивного извержения вулкана Безымянный 24 июля 2024 г.

О. А. Гирина¹, А. Г. Маневич¹, Д. В. Мельников¹, А. М. Константинова²,
И. М. Романова¹, И. А. Уваров², А. А. Сорокин³, Л. С. Крамарева⁴,
С. П. Королев³, С. И. Мальковский³

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*

Вулкан Безымянный — один из наиболее активных вулканов Камчатки и мира. Предыдущее его извержение произошло 18 октября 2023 г. Показана термальная активность вулкана, дано описание эксплозивного извержения 24 июля 2024 г. и предвещающих его событий на основании изучения видеоматериалов, а также различных спутниковых данных в информационной системе «Дистанционный мониторинг активности вулканов Камчатки и Курил» (VolSatView, <http://kamchatka.volcanoes.smislab.ru>). Вслед за эксплозиями последовало образование пирокластических потоков в долине Восточная, над которыми сформировалось коигнимбритовое облако. По анимированному изображению движения пепловых облаков от вулкана, выполненному по серии снимков Himawari-9 в VolSatView (<http://kamchatka.volcanoes.smislab.ru/animation/1721855961.webm>), наблюдается быстрое перемещение эруптивного облака на юго-восток от вулкана и медленное движение длинного коигнимбритового облака на юго-запад от вулкана. Эруптивное облако отмечалось на спутниковых снимках до 12:00 UTC (англ. Coordinated Universal Time) 25 июля на расстоянии до 2500 км от вулкана в восточной части Тихого океана. Коигнимбритовое облако медленно смещалось от вулкана полосой вдоль Восточного хребта Камчатки и в дальнейшем двигалось на юго-запад вдоль восточной части Курильской гряды. Это облако отмечалось до 17:00 UTC 27 июля на расстоянии до 1800 км от вулкана. Пепловые облака были опасны для международной авиации: по данным представителя Росавиации, 25 июля 307 авиалайнеров воспользовались обходными маршрутами. Основная площадь территории, на которой отмечались пеплопады, по состоянию на 27 июля 2024 г. составила около 462 тыс. км², в том числе на суше — около 105 тыс. км².

Ключевые слова: вулкан, Безымянный, эксплозивное извержение, KVERT, прогноз, спутниковый мониторинг, VolSatView, Камчатка

Одобрена к печати: 11.12.2024

DOI: 10.21046/2070-7401-2024-21-6-389-397

Введение

Изучение современных вулканогенных процессов и эруптивных отложений позволяет восстанавливать геологическую историю нашей планеты, потому так важны исследования каждого извержения вулкана и его продуктов.

В июле 2024 г. произошло очередное эксплозивное извержение вулкана Безымянный (рис. 1, см. с. 390), одного из наиболее активных вулканов мира, расположенного в центральной части Ключевской группы вулканов Камчатки (<http://www.kscnet.ru/ivs/kvert/volc?name=Bezumianny>). После катастрофического извержения 30 марта 1956 г. рост лавового купола в его эксплозивном кратере продолжается. Длительные (от месяца до нескольких лет) эффузивные извержения вулкана сопровождаются относительно краткими (от 0,5 ч до 2 сут) эксплозивными извержениями, во время которых пепловые облака поднимаются до 15 км н. у. м. (над уровнем моря) и перемещаются до 5000 км в различных направлениях от вулкана в зависимости от циклонической активности в районе Камчатки и других метео-

рологических условий (Girina, 2013; Girina et al., 2023). Вулканические пепловые облака, особенно таких вулканов как Безымянный, поставляющие в атмосферу тонкие пеплы андезидацитового состава, чрезвычайно опасны для авиации (Gordeev, Girina, 2014; Miller, Casadevall, 2000), поэтому мониторинг активности вулканов, прогноз их эксплозивных извержений и наблюдения за перемещением их эруптивных облаков являются важными задачами фундаментальных и прикладных исследований вулканологии. Необходимо отметить, что наблюдения за перемещением пепловых облаков от вулканов возможны только с помощью спутниковых данных.



Рис. 1. Вулкан Безымянный 31 июля 2024 г. Фото Д. Ермолаева

Предыдущее эксплозивное извержение Безымянного произошло 18 октября 2023 г.: эруптивное облако поднялось до 11 км н.у.м. и перемещалось на северо-запад от вулкана. Площадь пеплопадов превышала 132 тыс. км², вулканический эксплозивный индекс VEI (*англ.* Volcanic Explosivity Index) извержения равен двум (Гирина и др., 2024).

Наблюдения за Безымянным с помощью видеокамер осуществляются с 20 августа 2003 г. (Гирина и др., 2018). Спутниковый мониторинг вулкана проводится учёными Камчатской группы реагирования на вулканические извержения KVERT (*англ.* Kamchatkan Volcanic Eruption Response Team) Института вулканологии и сейсмологии (ИВиС) ДВО РАН с 2002 г. (Гирина и др., 2018; Gordeev, Girina, 2014); 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, 2019; Girina et al., 2023; Gordeev et al., 2016). Выпуск предупреждений о вулканической опасности для авиации VONA (*англ.* Volcano Observatory Notice for Aviation) осуществляется в ИС KVERT (<http://www.kscnet.ru/ivs/kvert/>).

Эксплозивное извержение вулкана 24 июля 2024 г.

После эксплозивного извержения в октябре 2023 г. на восточный и южный склоны купола Новый происходило выжимание лавовых потоков: по видеоданным отмечалось свечение лавового купола, на спутниковых снимках в районе вулкана постоянно регистрировалась термальная аномалия (рис. 2, см. с. 391). Разность температур термальной аномалии и фона (РТАФ) была постоянно выше 40 °С вплоть до 6 июня 2024 г., т.е. выжимание лавовых потоков на склоны купола продолжалось. Отметим, что уровнем фона термальной активности вулкана является РТАФ, равная 20 °С (Girina et al., 2023).

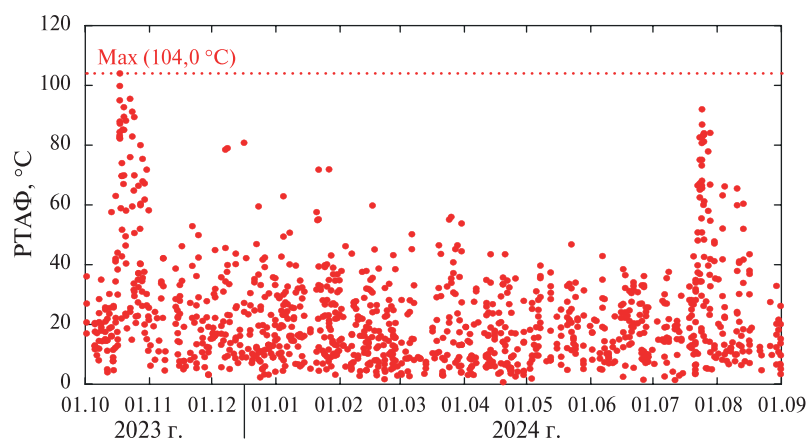


Рис. 2. Активность вулкана Безымянный за период с 1 октября 2023 г. по 1 сентября 2024 г.: изменение РТАФ по данным обработки спутниковой информации среднего разрешения учёными KVERT в ИС VolSatView

Вновь РТАФ превысила 40 °С 20 июля 2024 г. и в дальнейшем только росла (см. рис. 2). С 21 июля начали отмечаться обрушения раскалённых лавин с купола вулкана, что указывало на поступление свежей порции лавы и вероятное скорое эксплозивное извержение вулкана. В связи с этим в 23:30 UTC (англ. Coordinated Universal Time) 22 июля KVERT выпустила VONA о возможном сильном эксплозивном извержении вулкана с выносом пепла до 10–15 км н.у.м. в течение следующих трёх суток (72 ч) (<http://www.kscnet.ru/ivs/kvert/van/?n=2024-41>).

Активность вулкана росла, 22–24 июля раскалённые лавины почти непрерывно обрушивались на восточные склоны купола, пепел от лавин поднимался до 3 км н.у.м., пепловые шлейфы протягивались до 85 км на запад-юго-запад от вулкана (<http://www.kscnet.ru/ivs/kvert/van/?n=2024-43>).

Согласно данным со спутника Himawari-9, эксплозивное извержение вулкана Безымянный с выносом пепла до 12 км н.у.м. началось в 15:10 UTC 24 июля (VONA: <http://www.kscnet.ru/ivs/kvert/van/?n=2024-44>), т.е. спустя 39 ч 40 мин прогноз извержения был реализован.

По спутниковым данным из ИС VolSatView наибольшая величина РТАФ, равная 92 °С, была отмечена в 16:18 UTC — когда купол немного очистился от пепловых облаков, стало лучше проявляться выжимание на купол свежих порций лавы. Спутниковые снимки Himawari-9 позволили проследить изменение размера, конфигурации и направления перемещения пеплового облака, появившегося во время первых эксплозий вулкана (рис. 3, см. с. 392). Площадь облака с 15:10 до 16:00 UTC 24 июля увеличилась с 348 до 24 538 км² (рис. 4, см. с. 392), т.е. средняя скорость приращения облака составляла в среднем 58 км²/мин. Средняя скорость движения пеплового облака была 40–50 км/ч. Направление его перемещения за 50 мин изменилось с северо-восточного на юго-восточное (см. рис. 3). Такое быстрое увеличение размера эруптивного облака связано с резким высвобождением при взрывах водяного пара и магматического газа, содержавшихся в пористых лавах андезитового состава.

Оперативное моделирование распространения эруптивного облака от вулкана Безымянный, выполненное по модели PUFF в Автоматизированной ИС (АИС) «Сигнал» (Sorokin et al., 2017a), показало, что через 5 ч оно поднялось до 13–15 км н.у.м. и к 03:20 UTC 25 июля на этой высоте пересекало все международные авиатрассы северо-западной части Тихого океана (рис. 5, см. с. 393) (красный контур показывает зону ответственности Анкориджа). В связи с извержением зарубежные перевозчики, выполнявшие транзитные полёты из Северной Америки в Юго-Восточную Азию, 25–26 июля использовали обходные маршруты, чтобы не столкнуться с эруптивными облаками вулкана Безымянный (<https://www.vedomosti.ru/society/news/2024/07/25/1052081-zarubezhnie-izmenili>; <https://t.me/korenyako/369>). По сообщению представителя Росавиации, например, 25 июля пилоты 307 авиалайнеров воспользовались обходными маршрутами.

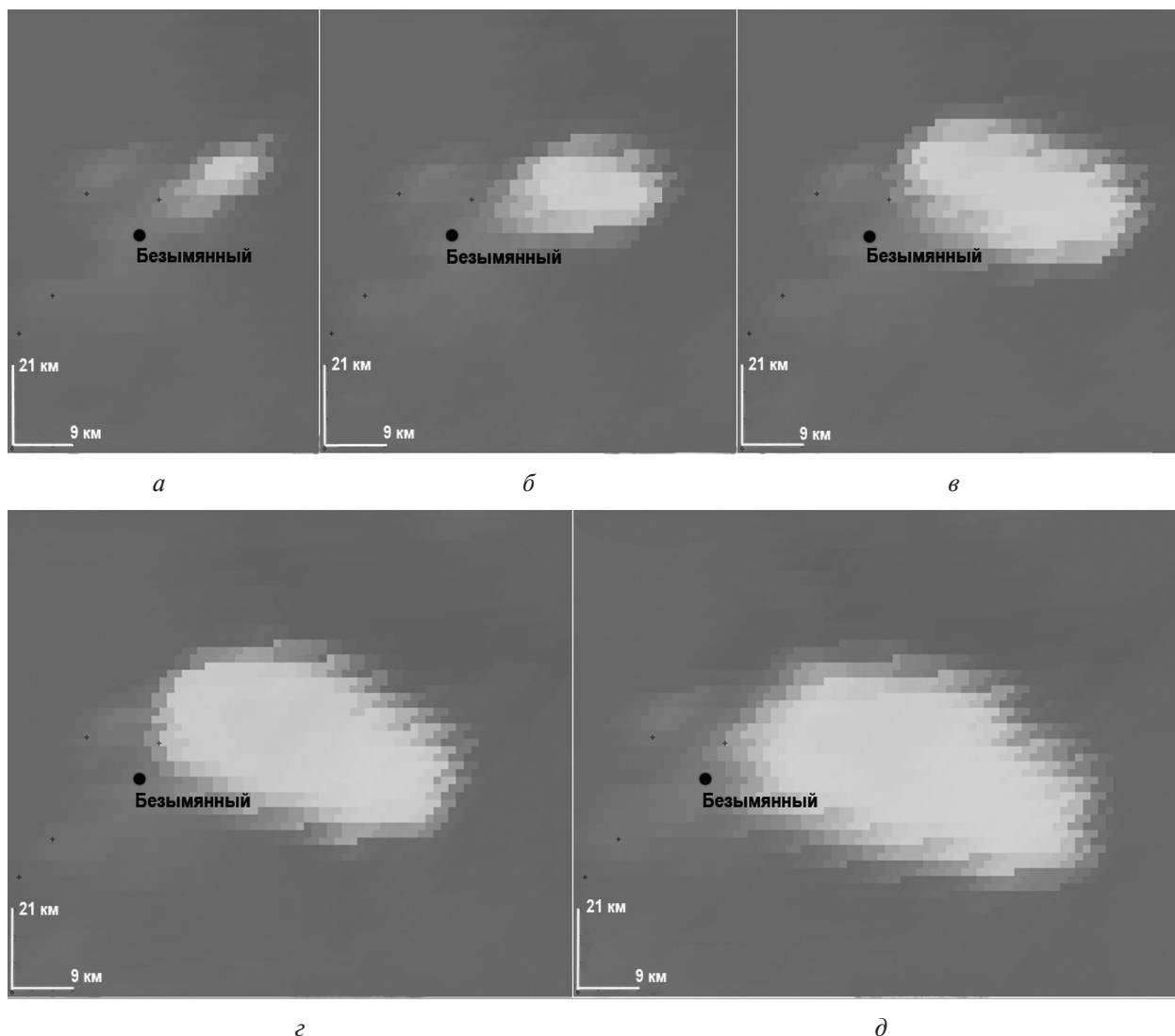


Рис. 3. Изменение конфигурации и азимута распространения эруптивного облака вулкана Безымянный на снимках спутника Himawari-9 в 14-м канале в 15:10 UTC (а), 15:20 UTC (б), 15:30 UTC (в), 15:40 UTC (г) 16:00 UTC (д) 24 июля 2024 г. Данные из ИС VolSatView

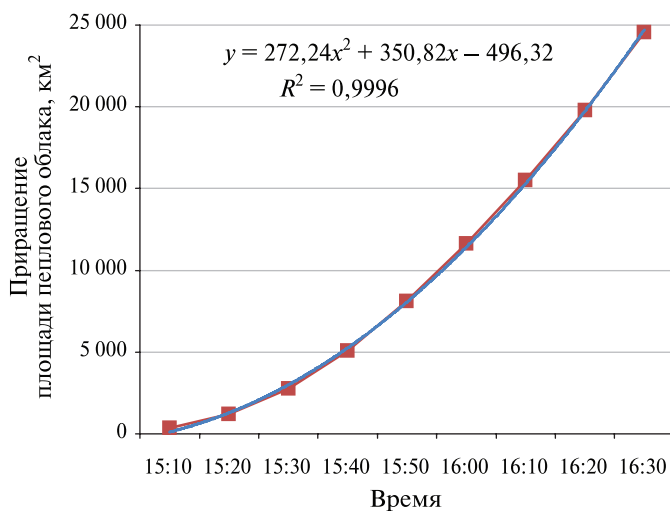


Рис. 4. Изменение площади эруптивного облака вулкана Безымянный с 15:10 до 16:30 UTC 24 июля 2024 г. Данные из ИС VolSatView

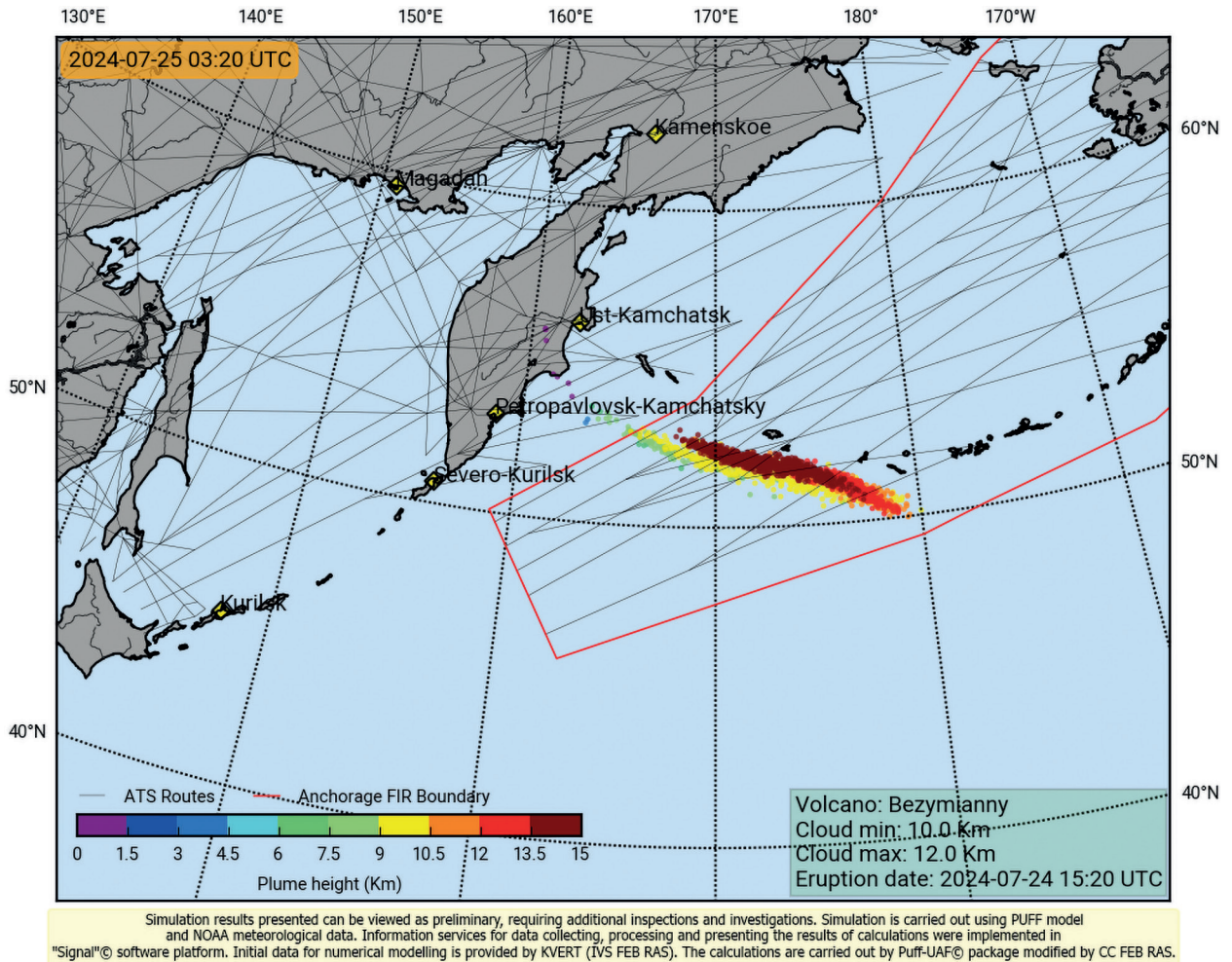


Рис. 5. Результат моделирования распространения эруптивного облака от вулкана Безымянный, выполненного по модели PUFF в АИС «Сигнал»: в 03:20 UTC 25 июля облако пересекает все международные авиатрассы (серые линии) в северо-западной части Тихого океана. Цветовая шкала показывает высоту облака (в км н. у. м.)

Хотя извержение происходило ночью, согласно видеоданным Камчатского филиала Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба» РАН (<https://kam.emsd.ru/>), вслед за эксплозиями последовало образование раскалённых пирокластических потоков в долине Восточная. Пепловые облака, поднявшиеся над потоками до 5 км н. у. м., сформировали отдельное коигнимбритовое облако, перемещавшееся от вулкана иначе, чем эруптивное. На анимированном изображении движения пепловых облаков от вулкана, выполненном по серии снимков Himawari-9 в ИС VolSatView (<http://kamchatka.volcanoes.smis-lab.ru/animation/1721855961.webm>), наблюдается быстрое перемещение эруптивного облака на юго-восток от него и медленное движение коигнимбритового облака на юго-запад от вулкана. Эруптивное облако отмечалось на спутниковых снимках до 12:00 UTC 25 июля на расстоянии до 2500 км от Безымянного в восточной части Тихого океана. Коигнимбритовое облако полосой постепенно перемещалось от вулкана вдоль Восточного хребта Камчатки, в южной части полуострова длинное облако медленно сместилось на юг, прошло над островом Парамушир Северных Курил и в дальнейшем двигалось на юго-запад почти параллельно Курильской гряде. Коигнимбритовое облако регистрировалось до 17:00 UTC 27 июля на расстоянии до 1800 км от вулкана. Следует отметить, что пеплопады, связанные с эруптивным облаком, прошли в Кроноцком заповеднике (<https://kronoki.ru/ru/news/newswire/3433.html>), мощность пепла в разных местах заповедника составляла от 0,1 до 0,5 см. Например, пеплопад на побережье Тихого океана в бухте Ольга Кроноцкого залива длился около двух

часов, пепла выпало до 0,2–0,3 см. В районе вулкана Толбачик пепел выпадал из эруптивного и коигнимбритового облаков. Например, в районе кордона Клешня (Толбачинский дол) в Ключевском парке мощность пепла достигала местами 1–3 см (<https://www.vulkanika-mchatki.ru/novosti/>). Пеплопад, связанный только с коигнимбритовым облаком, был отмечен 26 июля в Петропавловске-Камчатском, мощность пепла не превышала долей 0,1 см. Основная площадь территории, над которой 24–27 июля 2024 г. отмечались пепловые облака вулкана Безымянный, согласно измерениям на спутниковых снимках Himawari-9 в ИС VolSatView, составила более 462 тыс. км², в том числе на суше — около 105 тыс. км².

Во время эксплозивных извержений вулканов в атмосфере формируются не только пепловые, но и аэрозольные облака. По данным Системы оповещения о вулканическом пепле и диоксиде серы (SO₂) в рамках Службы поддержки авиации SACS (*англ.* Support Aviation Control Service, <http://sacs.aeronomie.be/>), например, 25 июля в 01:09 UTC количество SO₂ в пеплово-аэрозольном облаке площадью 97 756 км² составляло 26,9 DU (*англ.* Dobson Unit — единица Добсона) (*рис. 6*).

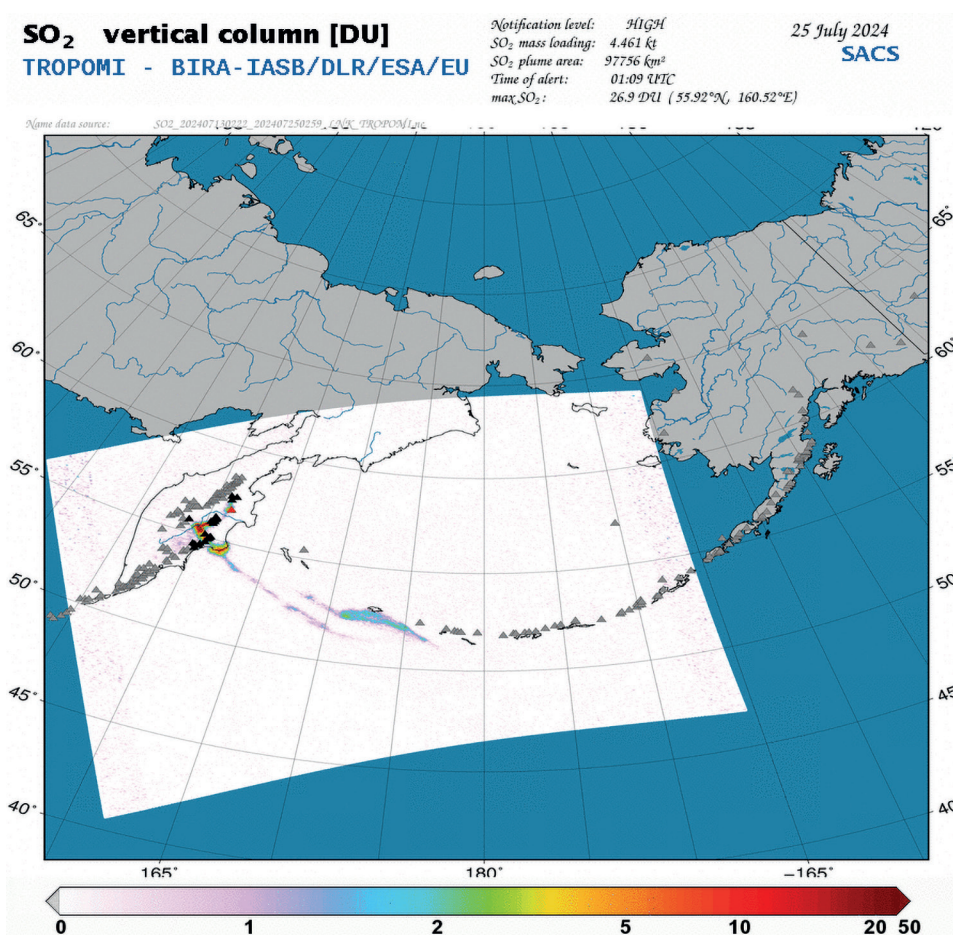


Рис. 6. Содержание SO₂ в аэрозольном шлейфе вулкана Безымянный по состоянию на 01:09 UTC 25 июля 2024 г. по данным SACS (<http://sacs.aeronomie.be/>)

После окончания эксплозивного извержения выжимание вязкого лавового потока на склон купола продолжилось. На спутниковых снимках отмечалась яркая термальная аномалия в районе купола вулкана и менее яркая вытянутая аномалия над отложениями пирокластического потока. Величина РТАФ до 13 августа превышала 60 °С (см. *рис. 2*). Согласно измерениям на спутниковых снимках Sentinel-2A/2B и Landsat-9 в ИС VolSatView, длина отложений пирокластического потока составила 7,5 км, наибольшая ширина — 650 м, их площадь — 3 км² (см. *рис. 1*).

Заключение

Пароксизмальное извержение вулкана Безымянный 24 июля 2024 г. с выносом пепла до 12 км н. у. м. произошло спустя 280 дней после предыдущего извержения, наблюдавшегося 18 октября 2023 г.

Эксплозивное извержение вулкана было предсказано учёными KVERT за 39 ч 40 мин до его начала.

Основная площадь территории, над которой 24–27 июля 2024 г. отмечались пепловые облака вулкана Безымянный, составила около 462 тыс. км², в том числе на суше — около 105 тыс. км². Длина отложений пирокластического потока достигает 7,5 км, их площадь — 3 км². Для этого извержения VEI = 2.

Представленный в работе анализ наблюдений за извержением вулкана Безымянный 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 мониторинга вулкана, обеспечивалась с использованием ресурсов, предоставленных: Дальневосточным центром НИЦ «Планета» (Лурия et al., 2014); Центром коллективного пользования (ЦКП) «ИКИ-Мониторинг» (Лурия и др., 2019); ЦКП научным оборудованием «Центр обработки и хранения научных данных ДВО РАН» (Sorokin et al., 2017b), чья работа поддерживается Вычислительным центром ДВО РАН в рамках соглашения № 075-15-2021-663 с Минобрнауки РФ; ИВиС ДВО РАН (Гирина и др., 2018).

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема «Мониторинг», госрегистрация № 122042500031-8).

Литература

1. Гирина О. А., Лурия 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: ИВиС ДВО РАН, 2018. 192 с.
2. Гирина О. А., Лурия Е. А., Мельников Д. В. и др. Создание и развитие информационной системы «Дистанционный мониторинг активности вулканов Камчатки и Курил» // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 3. С. 249–265. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2019-16-3-249-265>.
3. Гирина О. А., Маневич А. Г., Мельников Д. В., Нурдаев А. А., Романова И. М., Лурия Е. А., Сорокин А. А., Крамарева Л. С., Королев С. П., Демянчук Ю. В. Активность вулканов Камчатки и Курил в 2023 г. и их опасность для авиации // Материалы 27-й Ежегод. науч. конф., посвящённой Дню вулканолога, «Вулканизм и связанные с ним процессы». Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2024. С. 56–59.
4. Лурия 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>.
5. Girina O. A. Chronology of Bezymianny Volcano activity, 1956–2010 // J. Volcanology and Geothermal Research. 2013. V. 263. P. 22–41. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2013.05.002>.
6. 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>.
7. Gordeev E. I., Girina O. A. Volcanoes and their hazard to aviation // Herald of the Russian Academy of Sciences. 2014. V. 84. No. 1. P. 1–8. <https://doi.org/10.1134/S1019331614010079>.

8. Gordeev E. I., Girina O. A., Loupian 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>.
9. Lupyán 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>.
10. Miller T. P., Casadevall T. J. Volcanic ash hazards to aviation // *Encyclopedia of Volcanoes* / eds. Sigurdsson H., Houghton B. F., McNutt S. R. et al. L., UK; San Diego, USA: Academic Press, 2000. P. 915–930.
11. Sorokin A. A., Girina O. A., Loupian E. A. et al. (2017a) Satellite observations and numerical simulation results for the comprehensive analysis of ash clouds transport during the explosive eruptions of Kamchatka volcanoes // *Russian Meteorology and Hydrology*. 2017. V. 42. No. 12. P. 759–765. DOI: 10.3103/S1068373917120032.
12. Sorokin A. A., Makogonov S. I., Korolev S. P. (2017b) The information infrastructure for collective scientific work in the Far East of Russia // *Scientific and Technical Information Processing*. 2017. V. 44. Iss. 4. P. 302–304. DOI: 10.3103/S0147688217040153.

Remote monitoring of the explosive eruption of Bezymianny volcano on July 24, 2024

O. A. Girina¹, A. G. Manevich¹, D. V. Melnikov¹, A. M. Konstantinova²,
I. M. Romanova¹, I. A. Uvarov², A. A. Sorokin³, L. S. Kramareva⁴,
S. P. Korolev³, S. I. Malkovsky³

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*

Bezymianny is one of the most active volcanoes in Kamchatka and the world. Its previous eruption occurred on October 18, 2023. Thermal activity of the volcano is shown, a description of the explosive eruption of July 24, 2024, and preceding events is given based on the study of video materials, as well as various satellite data from the information system “Remote Monitoring of the Activity of the Volcanoes of the Kamchatka and the Kuriles” (VolSatView, <http://kamchatka.volcanoes.smislab.ru>). The explosions were followed by the formation of pyroclastic flows in the Vostochnaya Valley, above which a coignimbrite cloud formed. An animated image of the movement of ash clouds from the volcano made from a series of Himawari-9 images in VolSatView (<http://kamchatka.volcanoes.smislab.ru/animation/1721855961.webm>) shows a rapid movement of the eruptive cloud to the southeast from the volcano and a slow movement of the long coignimbrite cloud to the southwest from the volcano. The eruptive cloud was noted in satellite images until 12:00 UTC on July 25, for about 2500 km from the volcano in the eastern part of the Pacific Ocean. The coignimbrite cloud slowly moved in a strip from the volcano along the Eastern Ridge of Kamchatka and then moved southwest along the eastern part of the Kuril Islands. This cloud was noted until 17:00 UTC on July 27, for about 1800 km from the volcano. Ash clouds were dangerous for international aviation: according to a representative of the Federal Air Transport Agency, 307 airliners used alternate routes on July 25. The main area of the territory where ash falls were observed, as of July 27, 2024, was about 462 thousand km², including about 105 thousand km² on land.

Keywords: volcano, Bezymianny, explosive eruption, KVERT, forecast, satellite monitoring, VolSatView, Kamchatka

Accepted: 11.12.2024

DOI: 10.21046/2070-7401-2024-21-6-389-397

References

1. Girina O. A., Loupian E. A., Sorokin A. A., Melnikov D. V., Romanova I. M., Kashnitskii A. V., Uvarov I. A., Malkovsky S. I., Korolev S. P., Manevich A. G., Kramareva L. S., *Kompleksnyi monitoring ehksplozivnykh izverzhenii vulkanov Kamchatki* (Comprehensive monitoring of explosive volcanic eruptions of Kamchatka), Petropavlovsk-Kamchatsky: IVS FEB RAS, 2018, 192 p. (in Russian).
2. Girina O. A., Loupian E. A., Melnikov D. V. et al., Creation and development of the information system “Remote Monitoring of Kamchatka and Kuril Islands Volcanic Activity”, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2019, Vol. 16, No. 3, pp. 249–265, <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2019-16-3-249-265> (in Russian).
3. Girina O. A., Manevich A. G., Melnikov D. V., Nuzhdaev A. A., Romanova I. M., Loupian E. A., Sorokin A. A., Kramareva L. S., Korolev S. P., Demyanchuk Yu. V., The 2023 activity of Kamchatka and Kurile volcanoes and their danger to aviation, *Materialy 27-i Ezhegodnoi nauchnoi konferentsii, posvyashchennoi Dnyu vulkanologa*, “Vulkanizm i svyazannye s nim protsessy” (Proc. 27th Scientific Conf. “Volcanism and Associated Processes” Dedicated to the Volcanologist Day), Petropavlovsk-Kamchatsky: IVS FEB RAS, 2024, pp. 56–59 (in Russian).
4. 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 (in Russian), <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2019-16-3-151-170>.
5. Girina O. A., Chronology of Bezymianny Volcano activity, 1956–2010, *J. Volcanology and Geothermal Research*, 2013, Vol. 263, pp. 22–41, <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2013.05.002>.
6. 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>.
7. Gordeev E. I., Girina O. A., Volcanoes and their hazard to aviation, *Herald of the Russian Academy of Sciences*, 2014, Vol. 84, No. 1, pp. 1–8, <https://doi.org/10.1134/S1019331614010079>.
8. Gordeev E. I., Girina O. A., Loupian 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>.
9. Lupyan 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>.
10. Miller T. P., Casadevall T. J., Volcanic ash hazards to aviation, In: *Encyclopedia of Volcanoes*, Sigurdsson H., Houghton B. F., McNutt S. R. et al. (eds.), London, UK; San Diego, USA: Academic Press, 2000, pp. 915–930.
11. Sorokin A. A., Girina O. A., Loupian E. A. et al. (2017a), Satellite observations and numerical simulation results for the comprehensive analysis of ash clouds transport during the explosive eruptions of Kamchatka volcanoes, *Russian Meteorology and Hydrology*, 2017, Vol. 42, No. 12, pp. 759–765, DOI: 10.3103/S1068373917120032.
12. Sorokin A. A., Makogonov S. I., Korolev S. P. (2017b), The information infrastructure for collective scientific work in the Far East of Russia, *Scientific and Technical Information Processing*, 2017, Vol. 44, Iss. 4, pp. 302–304, DOI: 10.3103/S0147688217040153.