

© *Гирина О.А., Лупян Е.И., Сорокин А.А., Романова И.М., Маневич А.Г., Мельников Д.В., Крамарева Л.С., Королев С.П., Нуждаев А.А., Уваров И.А., 2023*

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ И АНАЛИЗА ТЕРМАЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ ВУЛКАНОВ КАМЧАТКИ И КУРИЛЬСКИХ ОСТРОВОВ В 2021-2022 гг.

Гирина О.А. – канд. г.-м. наук, в.н.с. Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, e-mail: girina@kscnet.ru;

Лупян Е.А. – д-р техн. наук, зав. отделом, Институт космических исследований РАН, e-mail: evgeny@d902.iki.rssi.ru;

Сорокин А.А. – канд. техн. наук, директор, ВЦ ДВО РАН, e-mail: alsor@febras.net;

Романова И.М. – в.п., Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, e-mail: roman@kscnet.ru;

Маневич А.Г. – н.с., Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, e-mail: mag@kscnet.ru;

Мельников Д.В. – с.н.с., Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, e-mail: dvm@kscnet.ru;

Крамарева Л.С. – директор, Дальневосточный центр НИЦ «Планета», e-mail: kramareva@dvtcpod.ru;

Королев С.П. – н.с., ВЦ ДВО РАН, e-mail: serejk@febras.net;

Нуждаев А.А. – канд. г.-м. наук, с.н.с., Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, e-mail: envi@kscnet.ru;

Уваров И.А. – канд. техн. наук, Институт космических исследований РАН, e-mail: uvarov@d902.iki.rssi.ru

Представлен анализ термальной активности вулканов Камчатки и Курильских островов в 2021-2022 гг. на основе обработки данных ежедневного спутникового мониторинга, проводимого с использованием информационной системы «Дистанционный мониторинг активности вулканов Камчатки и Курильских островов (VolSatView)».

Based on the processing of data from daily satellite monitoring carried out using the information system "Remote monitoring of the activity of volcanoes in Kamchatka and the Kuril Islands (VolSatView)", an analysis of the 2021-2022 thermal activity of Kamchatka and the Kuril Islands volcanoes is presented.

Ключевые слова: VolSatView, спутниковые данные, вулкан, извержение, термальная активность, Камчатка, Курилы.

Введение. Эксплозивные извержения вулканов представляют наибольшую опасность для населения и авиации из-за высокой энергетики вулканического процесса. На Камчатке и Курильских островах расположено 68 действующих вулканов, ежегодно здесь происходят извержения 4-6 вулканов, во время которых на поверхность Земли поступают тонны вулканогенных продуктов в виде лавы, пирокластики, вулканических газов и аэрозолей. Ежедневный мониторинг вулканов Дальнего Востока с 1993 г. осуществляет KVERT (Камчатская группа реагирования на вулканические извержения). В 2011-2014 гг. ученые из KVERT Института вулканологии и сейсмологии (ИВиС) ДВО РАН, Института космических исследований (ИКИ) РАН, Вычислительного центра (ВЦ) ДВО РАН и Дальневосточного центра НИЦ «Планета» создали и продолжают развивать информационную систему (ИС) «Дистанционный мониторинг активности вулканов Камчатки и Курильских островов (VolSatView)», предназначенную для комплексного оперативного и ретроспективного анализа активности вулканов с использованием спутниковых и видеоданных [1-3].

ИС VolSatView. Ориентированная на свободно распространяемую некоммерческую спутниковую продукцию, ИС VolSatView осуществляет автоматизированный сбор различных спутниковых данных низкого, среднего и высокого разрешения с максимальной частотой ввода их в систему [1-3]. VolSatView реализует широкий набор инструментов для работы со спутниковой информацией, например, непосредственно в веб-интерфейсе системы доступны инструменты выделения и определения параметров: термальных аномалий в районах вулканов;

пепловых облаков и шлейфов на любых расстояниях от вулканов и т.п., что существенно повышает эффективность мониторинга вулканов. VolSatView позволяет проводить совместный анализ спутниковых и других инструментальных научных данных (метео-, видео, результатов математического моделирования и т.п.), поступающих из других ИС, в частности: KVERT и VOKKIA («Вулканы Курило-Камчатской островной дуги») ИВиС ДВО РАН и АИС «Сигнал» ВЦ ДВО РАН [1]. Для мониторинга вулканов VolSatView оперативно обновляются данные среднего разрешения следующих спутниковых приборов: AVHRR — Advanced Very-High-Resolution Radiometer (NOAA-N-Prime), MODIS – Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (Terra и Aqua), VIIRS- Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (Suomi NPP (National Polar Orbiting Partnership) и JPSS-1 (Joint Polar Satellite System)), MSU-MR – Multispectral scanner low-resolution (Meteor M-2) [1].

Инструменты для анализа температурных полей доступны непосредственно в веб-интерфейсе VolSatView, что позволяет определять значения температуры (в градусах Цельсия или Кельвина) в каждой точке спутникового изображения. Ученые из KVERT в интерактивном режиме обрабатывают спутниковые снимки в ИС VolSatView, и характеристики термальных аномалий вводят в базу данных ИС KVERT, в которой созданы онлайн-инструменты для их анализа.

Термальная активность вулканов Камчатки и Курильских островов в 2021-2022 гг. В течение двух лет произошло 16 извержений девяти вулканов Камчатки и Курильских островов. На Камчатке извергались вулканы Шивелуч, Ключевской, Безымянный и Карымский (рис. 1), на Курильских островах – вулканы Алаид, Эбеко, Чиккурачки, Чиринкотан и пик Сарычева (рис.2).

Вулкан Шивелуч, Камчатка. Рост лавового купола в эксплозивном кратере, образованном в 1964 г., продолжается с августа 1980 г. до настоящего времени. В течение 2021-2022 гг. рост купола сопровождался эксплозиями с выносом пепла до 12 км над уровнем моря (н.у.м.) и обрушениями раскаленных лавин [4, 5]. Термальная активность вулкана была высокой: с 5 мая 2021 г. по 23 января 2022 г. и с 7 июля по 31 декабря 2022 г. величина разности температур термальной аномалии и фона (ВРТАФ) была выше 75 °С, кроме того, 10 мая, 6 июня и с 21 октября по 31 декабря ВРТАФ превышала 100 °С и достигала 114.4 °С (10 декабря), т.е. в это время на поверхность Земли поступало ювенильное вещество (рис. 1). Визуально это проявлялось в интенсивном выжимании лавовых блоков, обрушениях раскаленных лавин и эксплозиях. Отметим, что во время роста на куполе пластичного блока лавы «Дельфин-2» с 14 февраля до 23 июня 2021 г. эксплозивных событий не наблюдалось, ВРТАФ достигала 105 °С (рис. 1).

Вулкан Ключевской, Камчатка. Вершинное эксплозивно-эффузивное извержение происходило с 30 сентября 2020 г. по 8 февраля 2021 г. с выносом пепла до 7.5 км н.у.м. [4, 6]. Лавовые потоки из вершинного кратера вулкана изливались по Козыревскому и Апахончичскому желобам, ВРТАФ при этом достигала 127 °С, т.е. на поверхность Земли поступало ювенильное вещество (рис. 1). С 17 февраля по 20 марта 2021 г. на северо-западном склоне вулкана на высоте 2.8 км н.у.м. наблюдался прорыв им. Г.С. Горшкова [6], ВРТАФ также составляла 127 °С (рис. 1). С 16 по 26 ноября 2022 г. регистрировалось вершинное эксплозивное извержение стромболианского типа, ВРТАФ достигала 87.8 °С [5].

Вулкан Безымянный, Камчатка. В течение 2021 г. вулкан был относительно спокоен, но ВРТАФ в районе лавового купола иногда превышала 50 °С (рис. 1). В 2022 г. произошло три пароксизмальных эксплозивных извержения вулкана: 14–15 марта, 28 мая и 23–24 октября [5, 7]. С 11 марта 2022 г. ВРТАФ начала расти, 14 марта достигла 87.5 °С. Визуально наблюдалось непрерывное выжимание свежей лавы из кратера вулкана и обрушения на склоны купола раскаленных лавин. 15 марта в 12:53 UTC эксплозии подняли пепел до 11 км н.у.м., ВРТАФ достигала 110 °С [7] (рис. 1). С 15 марта отмечалось выжимание лавовых потоков на склоны купола, вплоть до середины мая ВРТАФ превышала 75 °С (рис. 1). 20 мая на склоне купола появились раскаленные лавины, ВРТАФ достигала 90.2 °С (рис. 1). 28 мая в 08:15 UTC эксплозии подняли пепел до 15 км н.у.м. [7], ВРТАФ достигла 101 °С (рис. 1). Выжимание

лавового потока на склон купола продолжалось в течение нескольких месяцев, к концу сентября ВРТАФ снизилась до 10-15 °С. С 21 октября ВРТАФ постепенно стала расти. 23 октября в 11:40 UTC эксплозии подняли пепел до 10 км н.у.м. [7], ВРТАФ достигла 110 °С (рис. 1). До конца ноября выжимался лавовый поток на склоны купола, ВРТАФ превышала 75 °С (рис. 1). На основании наблюдений за термальной активностью вулкана, извержения 15 марта и 23 октября были предсказаны учеными KVERT, соответственно, за 19 ч и 8.5 ч до их начала [7].

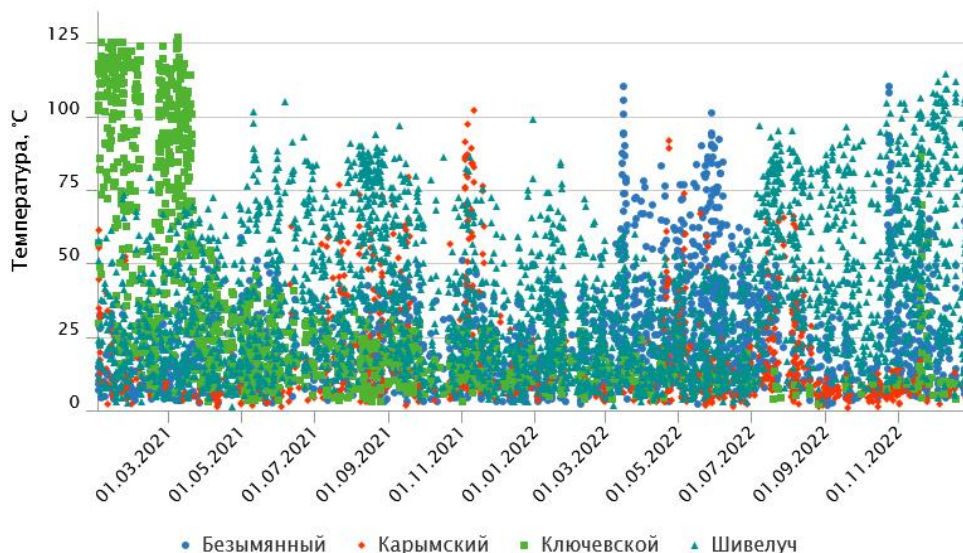


Рис. 1 Термальная активность вулканов Камчатки в 2021-2022 гг. согласно величине разности температур термальной аномалии и фона по спутниковым данным среднего разрешения из ИС VolSatView

Вулкан Карымский, Камчатка. Активность вулкана в течение 2021-2022гг. была неравномерной [4, 5]. Эксплозии поднимали пепел до 11 км н.у.м. 3 ноября 2021 г., 19 апреля и 13июля 2022 г. [4, 5]. 10 ноября 2021 г. ВРТАФ достигала 102 °С (рис. 1). Полагаем, в ноябре 2021 г. и в июле 2022 г. были разрушены лавовые куполы, выросшие в кратере вулкана. С 20 августа 2022 г. ВРТАФ снизилась до уровня фона. Извержение, продолжавшееся с некоторыми перерывами с января 1996 г., в августе 2022 г. закончилось.

Вулкан Алаид, о. Атласова, Северные Курилы. С 15 сентября наблюдалось эксплозивное извержение стромболианского типа, ВРТАФ достигла 95° С (рис. 2). С 26–27 сентября по 20 ноября лавовый поток спускался по центральной части эрозионного желоба на южном склоне вулкана, ВРТАФ достигла 98° С. Новый лавовый поток с 25 ноября по 1 декабря двигался вдоль западного борта этого желоба, ВРТАФ достигла 113°С (рис. 2). 1 декабря ВРТАФ снизилась до уровня фона, извержение закончилось [5].

Вулкан Эбеко, о. Парамушир, Северные Курилы. С 18 октября 2016 г. до 19 ноября 2021 г. и с 11 июня до конца 2022 г. происходило эксплозивное извержение вулкана с выносом пепла до 5 км н.у.м. [4, 5]. С 5 мая по 25 августа 2021 г. и с 5 апреля по 16 декабря 2022 г. в районе вулкана наблюдалась термальная аномалия, ВРТАФ варьировалась от 1.4 до 51.2 °С, т.е. ювенильного вещества не было (рис. 2).

Вулкан Чикурачки, о. Парамушир, Северные Курилы. В 2022 г. наблюдалось пять эпизодов эксплозивного извержения вулкана с 30 января по 15-16 октября [5]. ВРТАФ варьировалась от 5.9 °С до 11.6 °С (рис. 2). Во время события 15-16 октября ВРТАФ достигала 81 °С, что говорит о поступлении на поверхность Земли ювенильного вещества.

Вулкан Чиринкотан, о. Чиринкотан, Северные Курилы. Эксплозивные события с выносом пепла до 4.5 км н.у.м. наблюдались с 8 по 23 августа 2021 г. и 22 марта 2022 г. [4, 5], ВРТАФ изменялась от 2.2 до 6.5 °С; 20 мая 2021 г. ВРТАФ достигала 11.1 °С. Вероятно, термальная активность вулкана отражала его парогазовую деятельность.

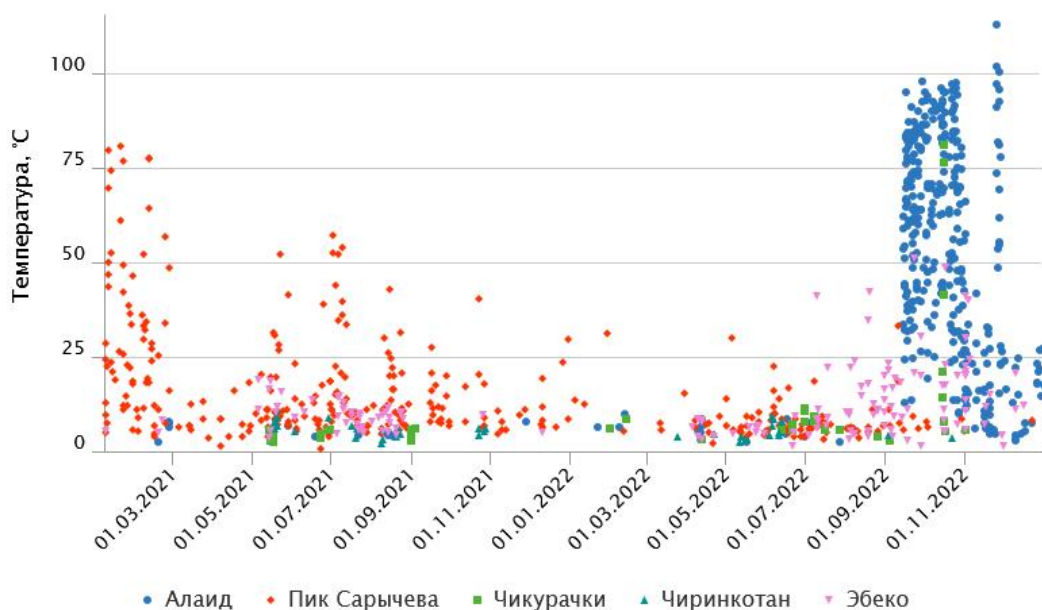


Рис. 2 Термальная активность вулканов Курильских островов в 2021-2022 гг. согласно величине разности температур термальной аномалии и фона по спутниковым данным среднего разрешения из ИС VolSatView

Вулкан Пик Сарычева, о. Матуа, Центральные Курилы. Эффузивное магматическое извержение вулкана продолжалось с 7 января по 17 февраля 2021 г. 19 января ВРТАФ достигала 80.6 °С (рис. 2). Лавовый поток спустился на 2 км по северо-западному склону вулкана [4]. С 18 февраля 2021 г. и в течение 2022 г. наблюдалось постепенное остывание лавового потока, ВРТАФ варьировалась от 2.2 до 57.2 °С (рис. 2).

Анализ термальной активности вулканов Камчатки и Курильских островов в 2021-2022 гг. Согласно полученным данным, термальная активность вулканов Камчатки в этот период времени была на порядок выше активности вулканов Курил, хотя на Камчатке извергались 4 вулкана, а на Курилах 5 (рис. 1, 2).

В течение всех извержений вулканов Камчатки на поверхность Земли поступало ювенильное вещество (магматические извержения), ВРТАФ для базальтового вулкана Ключевской достигала 127 °С, для андезитовых вулканов, соответственно: Шивелуч – 114.4 °С, Безымянный – 110 °С, Карымский – 102 °С (рис. 1). Максимальная ВРТАФ для Ключевского вулкана была связана с эффузивными извержениями, для других вулканов – с эксплозивными извержениями.

На вулканах Курильских островов ювенильное вещество поступало во время эффузивных извержений базальтового вулкана Алаид и андезибазальтового вулкана Пик Сарычева, ВРТАФ которых достигала 113 °С и 80.6 °С, соответственно; а также во время эксплозивного извержения андезибазальтового вулкана Чикурачки – его ВРТАФ поднималась до 81 °С (рис. 2). Вероятно, характер эксплозивных извержений андезитовых вулканов Эбеко и Чиринкотан был фреатическим, т.к. их максимальные ВРТАФ составляли 51.2 и 11.1 °С, соответственно.

Заключение. Современные информационные технологии позволяют не только оперативно выявлять термальные аномалии в районах вулканов Камчатки и Курильских островов, но и выполнять анализ термальной активности вулканов, который, в свою очередь, помогает в определении характера извержений вулканов и степени их опасности для населения и авиаперевозок. Например, наиболее опасными являются магматические эксплозивные извержения с выносом пепла до 15-20 км н.у.м.

Благодарности. Исследования проведены с помощью ИС VolSatView, работающей на базе ресурсов Дальневосточного центра НИЦ «Планета», Центра коллективного пользования (ЦКП) «ИКИ-Мониторинг» (при поддержке Минобрнауки РФ, Институт космических

исследований РАН, тема "Мониторинг", госрегистрация № 122042500031-8) и ЦКП "Центр данных ДВО РАН" (ВЦ ДВО РАН).

Список литературы:

1. Гирина О.А., Лупян Е.А., Сорокин А.А., Мельников Д.В., Романова И.М., Кашницкий А.В., Уваров И.А., Мальковский С.И., Королев С.П., Маневич А.Г., Крамарева Л.С. Комплексный мониторинг эксплозивных извержений вулканов Камчатки / Отв. ред. Гирина О.А. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН. 2018. 192 с. <https://elibrary.ru/item.asp?id=37061627>
2. Lupyayn E.A., Milekhin O.E., Antonov V.N., Kramareva L.S., Burtsev M.A., Balashov I.V., Tolpin V.A., Solovev V.I. 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.P. 847–853. <https://doi.org/10.3103/S1068373914120103>
3. Лупян Е.А., Прошин А.А., Бурцев М.А., Кашницкий А.В., Балашов И.В., Барталев С.А., Константинова А.М., Кобец Д.А., Мазуров А.А., Марченков В.В., Матвеев А.М., Радченко М.В., Сычугов И.Г., Толпин В.А., Уваров И.А. 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>
4. Гирина О.А., Маневич А.Г., Мельников Д.В., Нурдаев А.А., Романова И.М., Лупян Е.А., Сорокин А.А., Крамарева Л.С., Демянчук Ю.В. Активность вулканов Камчатки и Курильских островов в 2021 г. и их опасность для авиации // Вулканизм и связанные с ним процессы. Материалы XXV ежегодной научной конференции, посвящённой Дню вулканолога, 30-31 марта 2022 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН. 2022. С. 26-29.
5. Гирина О.А., Мельников Д.В., Маневич А.Г., Романова И.М., Лупян Е.А., Сорокин А.А., Крамарева Л.С., Цветков В.А., Демянчук Ю.В. Активность вулканов Камчатки и Курильских островов в 2022 г. и их опасность для авиации // Вулканизм и связанные с ним процессы. Материалы XXVI ежегодной научной конференции, посвящённой Дню вулканолога, 30-31 марта 2023 г., Петропавловск-Камчатский. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН. 2023. С. 38-41.
6. Гирина О.А., Лупян Е.А., Маневич А.Г., Мельников Д.В., Сорокин А.А., Крамарева Л.С., Романова И.М., Нурдаев А.А., Уваров И.А., Мальковский С.И., Королев С.П. Дистанционный мониторинг вершинного и побочного извержений вулкана Ключевской (Камчатка) в 2020–2021 гг. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2022. Т. 19. № 3. С. 153-161. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2022-19-3-153-161>.
7. Гирина О.А., Мельников Д.В., Маневич А.Г., Романова И.М., Лупян Е.А., Сорокин А.А., Крамарева Л.С., Цветков В.А., Демянчук Ю.В. Пароксизмальные эксплозивные извержения вулкана Безымянный в 2022 г. и их опасность для авиации // Вулканизм и связанные с ним процессы. Материалы XXVI ежегодной научной конференции, посвящённой Дню вулканолога, 30-31 марта 2023 г., Петропавловск-Камчатский. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН. 2023. С. 42-45.