

**Термальная активность вулканов Северной группы Камчатки в 2015-2022 гг.**

*Гирин О.А.<sup>1</sup>, Маневич А.Г.<sup>1</sup>, Лупян Е.А.<sup>2</sup>, Уваров И.А.<sup>2</sup>, Романова И.М.<sup>1</sup>, Сорокин А.А.<sup>3</sup>, Королев С.П.<sup>3</sup>, Крамарева Л.С.<sup>4</sup>*

**Thermal activity of the Kamchatka Northern group volcanoes in 2015-2022**

*Girina O.A., Manevich A.G., Loupian E.A., Uvarov I.A., Romanova I.M., Sorokin A.A., Korolev S.P., Kramareva L.S.*

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

<sup>2</sup> *Институт космических исследований РАН, г. Москва*

<sup>3</sup> *Вычислительный центр ДВО РАН, г. Хабаровск*

<sup>4</sup> *Дальневосточный центр НИЦ «Планета», г. Хабаровск*

Исходя из анализа Величины Разницы Температур термальной Аномалии и Фона (ВРТАФ) в информационной системе VolSatView определен «фон активности» вулканов Шивелуч, Ключевской и Безымянный для периода 2015-2022 гг. Совместный анализ динамики извержения каждого вулкана и изменения его термальной активности позволил установить диапазон ВРТАФ для разных фаз извержения вулкана.

### **Введение**

Ежедневный мониторинг вулканов Камчатки с 1993 г. осуществляет Камчатская группа реагирования на вулканические извержения (KVERT – Kamchatkan Volcanic Eruption Response Team, <http://www.kscnet.ru/ivs/kvert/>) Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН [3]. С 2002 г. KVERT выполняет спутниковый мониторинг вулканов Камчатки, с 2014 г. он проводится с помощью информационной системы (ИС) «Дистанционный мониторинг активности вулканов Камчатки и Курил» (VolSatView), работа которой осуществляется благодаря ресурсам Дальневосточного центра «НИЦ Планета», Центра коллективного пользования (ЦКП) «ИКИ-Мониторинг» (Институт космических исследований РАН) и ЦКП «Центр данных ДВО РАН» (Вычислительный центр ДВО РАН) [2-8]. Для мониторинга термальной активности вулканов в ИС VolSatView имеются оперативно обновляемые данные среднего разрешения спутниковых систем: NOAA-18/19 (прибор AVHRR – Advanced Very-High-Resolution Radiometer), Terra и Aqua (MODIS – Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), Suomi NPP (National Polar-orbiting Partnership) и JPSS-1 (Joint Polar Satellite System) (VIIRS – Visible Infrared Imaging Radiometer Suite), Sentinel 3A/3B (SLSTR – Sea and Land Surface Temperature Radiometer), Метеор М-2 (MSU-MR– Multispectral scanner low-resolution) [2-7]. Сбор данных и их обработка выполняются в ИС KVERT [3, 5].

В работе [5] детально описана деятельность вулканов Северной группы Камчатки в течение 2015-2022 гг. и их термальная активность, оцененная по спутниковым данным. Основной характеристикой термальной активности вулканов является Величина Разницы Температур термальной Аномалии и Фона (ВРТАФ), полученная при обработке вручную спутниковых данных AVHRR, MODIS, VIIRS и MSU-MR в ИС VolSatView.

### **Фон активности вулканов Северной группы Камчатки**

Эруптивная активность любого действующего вулкана Камчатки уникальна. Для каждого из них существуют периоды бурной деятельности и периоды относительного покоя. Величину разницы между максимальной температурой аномалии в районе вулкана и средней температурой фона вблизи аномалии в периоды его относительного покоя можно принять за «фон активности вулкана». Следует уточнить, что наше определение «фона активности вулкана» основано на ВРТАФ и отличается от приведенного в [9]. Рассмотрим изменения состояния вулканов Шивелуч, Безымянный и Ключевской в 2015-2022 гг.

Вулкан Шивелуч был относительно спокоен с 10 февраля по 1 ноября 2018 г., наблюдалась только его фумарольная активность. ВРТАФ изменялась от 1.9 до 22.4 °С; ее среднее значение составляло 10.1 °С; однако только 4 % ВРТАФ имели температуру более 20 °С [5]. Можно считать, что ВРТАФ 20 °С является фоном активности вулкана Шивелуч. Самая высокая температура термальной аномалии Шивелуча связана с эксплозивной деятельностью вулканского типа и интенсивным ростом лавового купола (выжиманием лавовых блоков и лавовых потоков), сопровождающимся обрушениями раскаленных лавин.

На Безымянном отмечалась преимущественно фумарольная активность с 4 января 2015 г. по 1 октября 2016 г. ВРТАФ варьировалась от 1.7 до 27.4 °С, ее среднее значение в диапазоне от 16 до 27.4 °С составляло 20 °С, при этом только 5 % ВРТАФ превышало 20 °С. Можно считать, что ВРТАФ 20 °С является фоном активности вулкана Безымянный. Наиболее высокая температура термальной аномалии вулкана связана с эксплозивной деятельностью вулканского типа и выжиманием лавовых потоков на склоны лавового купола, сопровождающимся обрушениями раскаленных лавин.

Ключевской вулкан находился в состоянии межэруптивной активности с 16 июня 2018 г. по 13 июня 2019 г. ВРТАФ в этот период менялась от 3 до 16.5 °С, среднее ее значение составляло 12 °С, при этом только 5 % ВРТАФ превышало 12 °С. Можно считать, что ВРТАФ 12 °С является фоном активности вулкана Ключевской. Наиболее высокая температура термальной аномалии вулкана связана с вершинными и боковыми эффузивными извержениями и эксплозивной деятельностью стромболианского типа.

#### **Величина разности температур термальной аномалии и фона как отражение фаз активности вулканов Камчатки в 2015-2022 гг.**

Экструзивно-эффузивное извержение вулкана Шивелуч продолжалось с 2015 по 2022 гг. с перерывом с 10 февраля по 1 ноября 2018 г. (почти 9 месяцев). ВРТАФ во время извержения преимущественно превышала 80 °С. Возобновлению экструзивного процесса предшествовали мощные эксплозии с выносом пепла до 12 км над уровнем моря (н.у.м.), при этом ВРТАФ достигала 119.1 °С. Кроме того, интенсивный рост купола сопровождался обрушениями раскаленных лавин, во время таких явлений ВРТАФ достигала 117 °С [5].

Известно, что для вулкана Безымянный характерны три фазы эруптивной активности: экструзивная, эксплозивная и эффузивная. В 2015-2022 гг. экструзивные извержения продолжались до 6 месяцев с постепенным увеличением ВРТАФ от уровня фона вулкана (20 °С) до 50 °С. При пароксизмальных эксплозивных извержениях длительностью до 6 ч ВРТАФ превышала 100 °С и достигала 117 °С. Излияние вязких потоков лавы на склоны купола продолжалось от 2 месяцев до 1.5 лет, ВРТАФ при этом изменялась от 30 до 80 °С [5]. Можно отметить постоянно высокую ВРТАФ с октября 2020 г. до конца 2022 г. (с тенденцией к постепенному увеличению): вероятно, лавовые потоки выжимались на склоны лавового купола практически непрерывно. На фоне выжимания лавовых потоков произошли эксплозивные извержения, которые удалили остывшую лаву из канала вулкана и открыли путь новым порциям ювенильного магматического вещества [5].

В 2015-2022 гг. произошло пять вершинных извержений вулкана Ключевской и два боковых прорыва, завершившихся 20 марта 2021 г. [5]. Вершинные извержения вулкана были представлены четырьмя эксплозивно-эффузивными извержениями и одним эксплозивным извержением. Все эксплозивно-эффузивные извержения вулкана начинались с эксплозий стромболианского типа. Эксплозии вулканского типа появлялись через 8-149 дней (в 2020-2021 и 2015 гг., соответственно) после начала извержений. Излияние лавовых потоков отмечалось через 4-170 дней (в 2020-2021 гг. и

2019-2020 гг., соответственно) после начала извержений. Во время эксплозивных извержений стромболианского типа ВРТАФ достигала 80-106 °С; при движении лавовых потоков по склонам вулканов во время вершинных извержений или боковых прорывов ВРТАФ возрастала до 132 °С [5]. Эксплозивные извержения вулканского типа поднимали пепел до 8 км н.у.м., ВРТАФ не превышала 45 °С [5]. Отметим, что подъем пепла до 10.5 км н.у.м. 14 мая 2018 г. связан с обвалом старой пирокластики с бортов Апахончичского желоба, а не с извержением вулкана – температура термальной аномалии не повышалась во время этого события.

### **Взаимосвязь активности вулканов Северной группы Камчатки в 2015-2022 гг.**

Закономерного влияния друг на друга извержений вулканов Северной группы Камчатки в 2015-2022 гг. не наблюдается. Однако можно отметить следующее:

1. Яркая реакция вулканов на эксплозивные события друг друга наблюдалась в июне 2017 г. [1]. На фоне умеренной эксплозивной деятельности вулкана Ключевской 12-20 июня с выносом пепла до 7-8 км н.у.м., сильные эксплозии вулкана Шивелуч 14 июня подняли пепел на 12 км н.у.м., затем сильные эксплозии вулкана Безымянный 16 июня также подняли пепел на 12 км н.у.м., затем эксплозии вулкана Шивелуч 18 июня подняли пепел на 10 км н.у.м. [1, 5]. Подобные события наблюдались и в декабре 2017 г.: эксплозии вулкана Безымянный 20 декабря подняли пепел до 15 км н.у.м., Ключевской вулкан 21 декабря выбросил пепел на 7 км н.у.м., а эксплозии вулкана Шивелуч 26 декабря подняли пепел до 8 км н.у.м. [5].

2. Пароксизмальные эксплозивные извержения вулкана Безымянный чаще происходили на фоне высокой активности вулкана Шивелуч (например, в 2016 и 2019-2020 гг.), но иногда они происходили на фоне снижения его активности (например, 15 и 28 мая 2022 г.) [5]. Эксплозивные события на Безымянном и Шивелуче с выносом пепла до 4 и 7.5 км н.у.м. иногда происходили близко по времени друг к другу: например, 15 и 16 декабря 2016 г., соответственно [5].

3. Эксплозивное извержение вулкана Безымянный иногда начиналось после окончания эксплозивно-эффузивного извержения вулкана Ключевской (например, 15 декабря и 6 ноября 2016 г., соответственно) [5]. Более того, иногда эксплозивное извержение Безымянного (21 октября 2020 г.) происходило на фоне эксплозивно-эффузивного извержения Ключевского (с 30 сентября 2020 г. по 8 февраля 2021 г.) [5]. Зарегистрированы случаи одновременного повышения ВРТАФ для вулканов Безымянный и Ключевской, например: 1 января 2016 г. ВРТАФ составила 27.4 и 40.6 °С, соответственно; 3 января 2018 г. ВРТАФ была 39.2 и 41.4 °С, соответственно; 20 ноября 2022 г. она поднималась до 77.2 и 87.8 °С, соответственно [5].

4. Анализ данных о термальной активности вулканов показал, что во время извержений вулкана Ключевской ВРТАФ вулкана Шивелуч несколько снижалась. У Шивелуча была самая высокая ВРТАФ, когда вулкан Ключевской был спокоен [5].

5. В 2017-2019 гг. вулканы Северной группы Камчатки находились в состоянии относительного покоя: вулкан Шивелуч – с 10 февраля 2018 г. по 1 ноября 2018 г.; вулкан Ключевской с 16 июня 2018 г. по 13 июня 2019 г.; вулкан Безымянный с 20 декабря 2017 г. по 20 января 2019 г. Таким образом, все действующие вулканы Северной группы Камчатки с 16 июня по 1 ноября 2018 г. были спокойны [5].

### **Заключение**

По данным ВРТАФ определен «фон активности вулканов» Северной группы Камчатки для периода 2015-2022 гг.: 20 °С для Шивелуча и Безымянного и 12 °С для Ключевского. Исследования показывают, что наибольшая температура термальной аномалии соответствует поступлению на дневную поверхность ювенильного

магматического вещества: ВРТАФ андезибазальтового вулкана Ключевской достигает 132 °С, андезитового и дацитового вулканов Безымянный и Шивелуч – 119 °С [5].

Совместный анализ динамики извержения каждого вулкана и изменения его термальной активности позволил определить диапазон ВРТАФ для разных фаз извержения вулкана. Например, ВРТАФ вулкана Безымянный для фаз извержения достигает: 50 °С для экструзивной, 117 °С для эксплозивной и 80 °С для эффузивной [5].

Все действующие вулканы Северной группы Камчатки были спокойны в период с 16 июня по 1 ноября 2018 г. [5].

Судя по низким температурам термальной аномалии, наблюдавшейся над вершиной вулкана Ключевской в 2017-2018 гг., вероятно отсутствие ювенильного материала в выбросах пепла в это время. Эксплозивная активность вулкана в 2017-2018 гг. была связана с неравномерным опусканием магмы по каналу вглубь постройки вулкана [5].

Обработка вручную различных современных спутниковых данных (NOAA, Terra, Aqua, Suomi NPP, JPSS-1, Meteor M-2) позволила показать активность камчатских вулканов более детально, чем это делалось ранее с применением автоматизированной обработки таких данных на основе алгоритмов MOD14 и MODVOLC [5].

### Список литературы

1. *Гирина О.А., Лупян Е.А., Мельников Д.В. и др.* Извержения Северной группы вулканов Камчатки 14-18 июня 2017 года // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2017. Т. 14. № 3. С. 317-323. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2017-14-3-317-323>
2. *Гирина О.А., Лупян 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., Лупян Е.А., Сорокин А.А. и др.* Комплексный мониторинг эксплозивных извержений вулканов Камчатки / Отв. ред. О.А. Гирина. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2018. 192 с.
4. *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>
5. *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. № 19. Art. 4775. <https://doi.org/10.3390/rs15194775>
6. *Gordeev E.I., Girina O.A., Lupyan E.A. et al.* The VolSatView information system for monitoring the volcanic activity in Kamchatka and on the Kuril Islands // Journal of Volcanology and Seismology. 2016. V. 10. № 6. P. 382-394. <https://doi.org/10.1134/S074204631606004X>
7. *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. V. 39. P. 847-853. <https://doi.org/10.3103/S1068373914120103>
8. *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 Processing. 2017. V. 4. P. 302-304. <https://doi.org/10.3103/S0147688217040153>
9. *Worden A., Dehn J., Webley P.* Frequency based satellite monitoring of small scale explosive activity at remote North Pacific volcanoes // Journal of Volcanology and Geothermal Research. 2014. V. 286. P. 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2014.08.019>