

## Динамика извержения вулкана Алаид в 2012 и 2015-2016 гг. по данным методов дистанционного зондирования

*Д.В. Мельников, А.Г. Маневич, О.А. Гирина*

*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, e-mail: [dvm@kscnet.ru](mailto:dvm@kscnet.ru)*

Вулкан Алаид (о. Атласова), самый высокий в Курильской гряде, расположен в 30 км к северо-западу от о. Парамушир и 70 км к юго-западу от полуострова Камчатка. Он представляет собой сложный стратовулкан (рис. 1), на его склонах расположены 32 побочных шлаковых конуса, 10 из которых имеют лавовые потоки [2, 4]. Большинство конусов приурочено к линии северо-западного простирания. Типами извержений вулкана, по данным из работы [4], являются этно-стромболианский, вулканский, вулканско-стромболианский, субплинианский. Исторические терминальные извержения наблюдались в 1793, 1854, 1860, 1894, 1981 гг., даты извержений побочных конусов известны для Такетоми (1933-1934 гг.) и Олимпийского прорыва (1972 г.) [2, 4]. Самые свежие извержения (терминальные) произошли в 2012 и 2015-2016 гг. [1, 3].

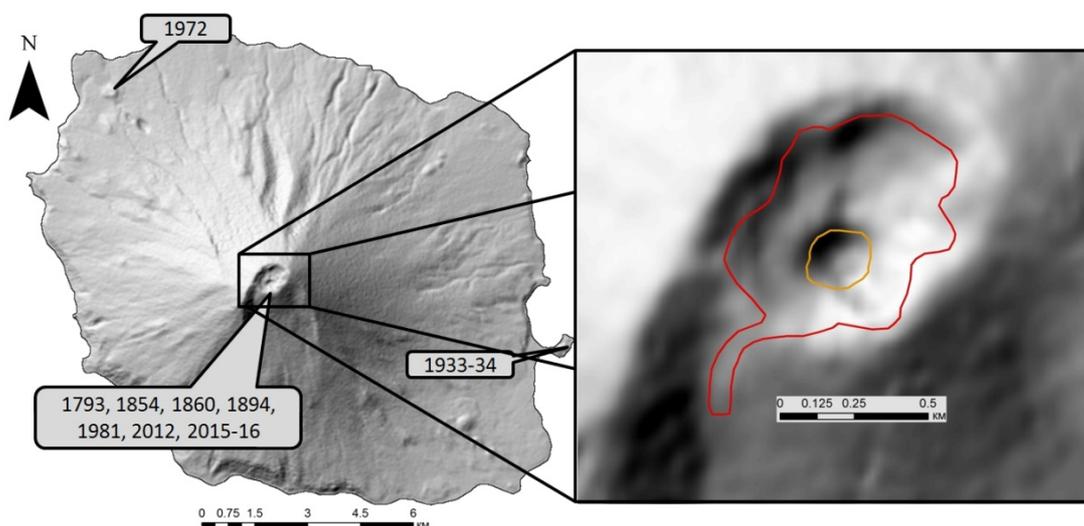


Рис. 1. Вулкан Алаид, цифровая модель рельефа SRTM 1arc. Отмечены даты и локализации исторических извержений. На увеличенном фрагменте показан участок кратера вулкана. Оранжевым цветом показан контур накопления пирокластического материала извержения 2012 г.; красным цветом - контур лавовых потоков извержения 2015-2016 гг.

### Методы

Мониторинг и анализ динамики этих извержений успешно проводился при помощи дистанционных методов исследований. В качестве одного из методов исследований использовался алгоритм глобального мониторинга вулканической активности - MODVOLC [7, 8]. Он основан на поиске высокотемпературных аномалий в 21 (4 мкм) и 32 (12 мкм) каналах сенсора MODIS (спутники Terra и Aqua). Для этого рассчитывается нормализованный термальный индекс (НТИ), как соотношение между разницей и суммой указанных яркостей. Пороговое значение НТИ (-0,80) используется для определения аномально горячих пикселей, т.е. величина НТИ, превышающая пороговое значение, определяется как «горячая точка». Как правило, высокими значениями НТИ характеризуются высокотемпературные проявления открытых вулканических систем – стромболианская активность, лавовые потоки, свежие экзтрузии. Алгоритм также позволяет определять тепловую мощность вулканического

излучения. Для высокотемпературных пикселей (с пороговым значением НТИ > -0,8) тепловой поток определяется согласно методу [6]:

$$VRP=18,9 \times A_{pix} \times (L_{4alert} - L_{4bk}) \quad (1)$$

где  $A_{pix}$  – площадь пикселя, 1,89 постоянная,  $L_{4alert}$  энергетическая яркость в спектральном диапазоне 4 мкм (3,95 мкм для данных MODIS) высокотемпературного пикселя с НТИ > -0,8,  $L_{4bk}$  энергетическая яркость для пикселя с фоновым значением. Согласно [6], интегрированное значение температур для формулы (1) составляет 600-1500 К.

### Результаты

Согласно спутниковым данным MODIS, интенсивная термальная аномалия в районе вершины вулкана Алаид наблюдалась с 04.10.2012 по 13.11.2012 г. Средняя мощность вулканического излучения составила 41 МВт, а общая энергия излучения -  $1.25^{14}$  Дж. В ходе вертолётного облёта вершины вулкана 27 октября 2012 г [3] было отмечено, что жерло вулкана заполнено свежим вулканическим шлаком. По данным тепловизионной съёмки, выделились участки кратера с высокими значениями температур. На основе анализа спутниковых снимков высокого разрешения до извержения (28.08.2011 г.) и после (06.04.2013 г.) установлено, что произошло заполнение свежим вулканическим материалом жерла, расположенного в юго-восточной части кратера вулкана. Именно над этим жерлом были сформированы шлаковые конусы в период извержений 1894 и 1981 гг. Однако в 2012 г. материал лишь заполнил жерло до краёв, без формирования полноценного конуса. Для определения объёма вулканического материала, который заполнил жерло, использовалась цифровая модель рельефа (ЦМР) SRTM 1arc, с пространственным разрешением 30 м с вертикальной точностью 5,6-9 м. Данная ЦМР была построена на основе спутниковой радиолокационной съёмки в 2000 г., т.е. до извержения. Примерный объём свежего материала, заполнившего жерло вулкана в 2012 г., составил 0,00149 км<sup>3</sup>. Эти данные согласуются и с объёмом материала, рассчитанным по другому методу. Согласно эмпирической реологической модели [5], на основе установленных значений мощности вулканического излучения (по алгоритму MODVOLC) можно определить объём изверженного материала (точность модели  $\pm 50\%$ ). Для этой модели необходимы значения содержания SiO<sub>2</sub> в изверженных породах. Содержание SiO<sub>2</sub> в вулканических бомбах извержения 2012 г. находилось в пределах 51,2-52,3 вес. % [4]. Рассчитанный объём по данной методике составил  $\sim 0,00144$  км<sup>3</sup>. В ходе извержения не происходило сильных взрывных событий, парогазовые шлейфы с небольшим содержанием пепла поднимались до максимальной высоты 100-200 м над уровнем кратера.

Извержение 2015-2016 гг. состояло из трёх основных импульсов. Интенсивная термальная аномалия по данным MODIS фиксировалась в периоды: 1) 05.10.2015-04.01.2016, 2) 23.02.2016-03.05.2016 и 3) 03-07.07.2016 (рис. 2).

В первый период началось интенсивное поступление лавы из жерла вулкана [1]. Лавовые потоки начали заполнять дно всего кратера вулкана Алаид. По спутниковому снимку EO-1 ALI от 21.10.2015, площадь лавовых потоков на дне кратера составляла  $\sim 0,18$  км<sup>2</sup>. Над жерлом начал формироваться шлаковый конус. Средний расход лавы составлял  $\sim 0,7$  м<sup>3</sup>/с (по данным реологической модели).

Практически весь январь и февраль 2016 г., вулкан не проявлял взрывной и эффузивной активности. Второй период извержения по своему характеру повторял первый - продолжилось излияние лавовых потоков и слабая взрывная активность шлакового конуса. Согласно спутниковому снимку 22 марта 2016 г. (Ресурс-П, Геотон, пространственное разрешение 1 м), диаметр основания шлакового конуса был 250 м, диаметр его кратера  $\sim 75$  м. Площадь лавовых потоков составляла 0,38 км<sup>2</sup>, практически

лава перекрыла дно кратера вулкана. К концу апреля кратер был заполнен лавой, через его наиболее низкий южный борт на склон вулкана излился короткий лавовый поток протяжённостью 400 м. За второй период извержения средний расход лавы составлял  $0,75 \text{ м}^3/\text{с}$ . Значительных пепловых выбросов не наблюдалось. В начале мая эффузивная деятельность прекратилась. На спутниковом снимке SENTINEL-2 от 11.05.2016 хорошо видны сформировавшиеся по периферии лавового покрова, заполнившего кратер вулкана, глубокие трещины. Вероятно, их появление связано с некоторым понижением уровня магмы в канале вулкана, что привело к осадке свежего изверженного материала. Также произошли изменения в морфологии шлакового конуса - диаметр его кратера увеличился до 140 м.

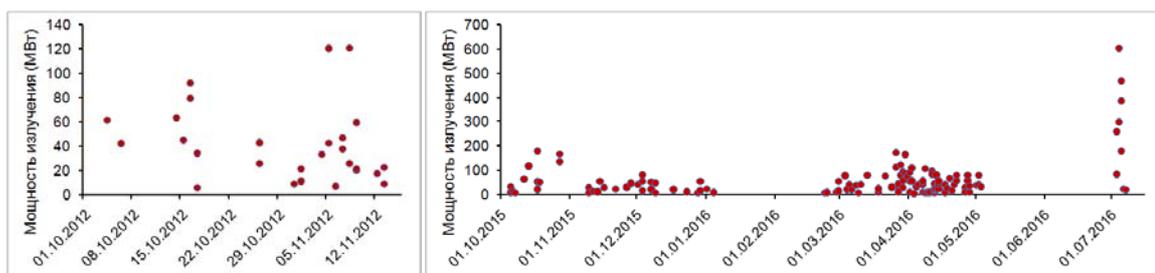


Рис. 2. Мощность вулканического излучения извержения вулкана Алаид в 2012 и 2015-2016 гг. по данным сенсора MODIS, алгоритм обработки MODVOLC

Третий период извержения был скоротечным. 3 июля 2016 г. была зафиксирована мощная термальная аномалия в районе кратера вулкана, её мощность составляла 260 МВт (рис. 2). Максимум активности приходится на 4-5 июля с мощностью вулканического излучения до 600 МВт, но уже 6 и 7 июля мощность излучения резко понизилась до 20 МВт. По данным KVERT, 3-4 июля наблюдались пепловые шлейфы, которые на высоте 2,5 км н.у.м. распространялись до 150 км в юго-западном направлении от вулкана. Более сильных взрывных событий не наблюдалось. В этот период на южном и юго-западном склоне шлакового конуса образовались (по данным спутника SENTINEL-2 от 07.07.2016) два взрывных центра с диаметрами кратеров 75 и 37 м. В результате деятельности этих кратеров, на южный склон вулкана был извергнут свежий пирокластический материал (площадь отложений  $\sim 0,5 \text{ км}^2$ ).

Для определения объёма излившейся лавы использовался такой же подход, как и для извержения 2012 г. Контур границ лавы, заполнившей кратер вулкана, принимался за верхний уровень (за вычетом объёма изверженного материала 2012 г.) для расчёта по ЦМР SRTM 1 агс. Примерный объём лавовых продуктов составил  $0,015 \text{ км}^3$ . Данные по составу лав извержения 2015-2016 гг. в настоящее время отсутствуют, поэтому для реологической модели использовались величины содержания  $\text{SiO}_2$  для пород извержения 2012 г. При значениях  $\text{SiO}_2$  52,3 вес. % (вулканическая бомба) и 53,2 вес. % (пепел) объём лавы составил 0,0077 и 0,0092  $\text{км}^3$ , соответственно. По сравнению с объёмом пород, рассчитанным по ЦМР SRTM, эти значения меньше практически в два раза. Вероятно, ошибка определения связана с изменением состава продуктов извержения 2015-2016 г. Например, если допустить, что содержание  $\text{SiO}_2$  в лавах 2015-2016 гг. составляет 54-54,3 вес. %, объём изверженного материала последнего извержения вулкана, рассчитанный по реологической модели, будет  $0,011 \text{ км}^3$ , что в пределах погрешности соответствует данным, полученным по ЦМР SRTM.

## Выводы

Извержение вулкан Алаид в 2012-2015 гг. является уникальным, т.к. излияний лавовых потоков из его кратера в историческое время не наблюдалось [2, 4]. Используя данные дистанционного зондирования, удалось детально охарактеризовать динамику

извержения, а также предварительно оценить объёмы изверженного в 2012 и 2015-2016 гг. материала.

### Список литературы

1. *Гирина О.А., Маневич А.Г., Мельников Д.В. и др.* Активность вулканов Камчатки и Северных Курил в 2016 г. по данным KVERT // Вулканизм и связанные с ним процессы. Материалы XX региональной научной конференции, посвящённой Дню вулканолога, 30-31 марта 2017 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН. 2017. С. 7-10.
2. *Горшков Г.С.* Вулканизм Курильской островной дуги / Отв. ред. Рудич К.Н. 1967. 288 с.
3. *Рашидов В.А., Малик Н.А., Фирстов П.П. и др.* Активизация вулкана Алаид (Курильские острова) в 2012 году // Вестник КРАУНЦ. Серия: Науки о Земле. 2012. Вып. 20. № 2. С. 9-15.
4. *Федотов С.А., Иванов Б.В., Флеров Г.Б. и др.* Изучение извержения вулкана Алаид в 1981 году // Вулканология и сейсмология. 1982. № 6. С. 9-27.
5. *Coppola D., Laiolo M., Piscopo D., Cigolini C.* Rheological control on the radiant density of active lava flows and domes// Journal of Volcanology and Geothermal Research. 2013. Vol. 249. P. 39-48. doi: 10.1016/j.jvolgeores.2012.09.005.
6. *Wooster M.J., Zhukov B., Oertel D.* Fire radiative energy for quantitative study of biomass burning: derivation from the BIRD experimental satellite and comparison to MODIS fire products// Remote Sensing of Environment. 2003. Vol. 86. Issue 1. P. 83-107. doi: 10.1016/S0034-4257(03)00070-1
7. *Wright, R., Flynn, LP, Garbeil, H, et al.* Automated volcanic eruption detection using MODIS// Remote Sensing of Environment. 2002. Vol. 82. P. 135-155.
8. *Wright, R., Flynn, LP, Garbeil, H, et al.* MODVOLC: near-real-time thermal monitoring of global volcanism// Journal of Volcanology and Geothermal Research. 2004. Vol. 135. P. 29-49.