

**Характеристика активности вулкана Шивелуч в 2018-2019 гг.  
по данным наземных и спутниковых наблюдений**

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

*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский  
e-mail: dvm@kscnet.ru*

Вулкан Шивелуч один из наиболее активных вулканов Камчатки и Курильских островов. KVERT (Kamchatkan Volcanic Eruption Response Team) Института вулканологии и сейсмологии (ИВиС) ДВО РАН проводит оперативный видео-визуальный и спутниковый мониторинг активности вулкана с 1993 г. Эксплозивные события наблюдались на вулкане в первой декаде января 2018 г., с февраля до конца октября он находился в состоянии фумарольной активности, с ноября и по настоящее время (март 2019 г.) происходит мощное экстрезивное извержение вулкана, сопровождаемое эксплозивными событиями.

**Методы исследований**

*Видео наблюдения.* Web-камеры продуктивно используются для наблюдений за многими действующими вулканами мира, однако в большинстве случаев они применяются лишь для качественного мониторинга вулканов, позволяя выявлять пепловые шлейфы и термальные аномалии. В ряде публикаций [4, 5] были продемонстрированы алгоритмы обработки изображений, полученных с web-камер, для количественного анализа вулканических событий. Описанный выше алгоритм был локализован для работы с web-камерами ИВиС ДВО РАН, установленными на Камчатской вулканологической станции им. Ф.Ю. Левинсона-Лессинга в п. Ключи для непрерывной съемки вулкана Шивелуч. Для обработки данных использовались только ночные снимки, на которых было зафиксировано свечение экстрезивного материала в инфракрасном диапазоне (от 700 до 1000 нм). Частота съемки вулкана камерами составляет 1 кадр/мин. Разработанный авторами компьютерный алгоритм автоматически выбирает ночные снимки, конвертирует их в 256 градаций серого цвета, или яркости (значение 0 представляет черный цвет, значение 255 — белый). Основой для анализа данных являются методы статистической обработки изображений. Для каждого снимка определялось среднеквадратичное отклонение (градаций серого) – показатель рассеивания значений случайной величины относительно ее математического ожидания, которое позволяет оценить насколько значения во множестве могут отличаться от среднего значения. В результате мы можем получить количественные характеристики интенсивности свечения термальной аномалии в пределах активной части вулкана.

*Спутниковые наблюдения.* Используются несколько спутниковых систем и алгоритмов обработки их данных.

1. В информационной системе (ИС) “Дистанционный мониторинг активности вулканов Камчатки и Курил (VolSatView)” [1] сотрудниками KVERT проводится обработка спутниковых снимков MODIS, AVHRR, VIIRS: определяется температура термальной аномалии вулкана и фона, все данные заносятся в базу данных.

2. Алгоритм глобального мониторинга вулканической активности - MODVOLC [7] основан на поиске высокотемпературных аномалий в 21 (4 мкм) и 32 (12 мкм) спектральных каналах спутникового сенсора MODIS. Для этого рассчитывается нормализованный тепловой индекс (НТИ) как соотношение между разницей и суммой указанных яркостей. Порогом обнаружения термальных аномалий является значение  $НТИ \Rightarrow -0,8$  для ночных снимков MODIS. Авторами реализован алгоритм автоматической обработки снимков MODIS, принимаемых на приемной станции Унискан-36 в ИВиС ДВО РАН, для обнаружения и количественной оценки термальных

аномалий на действующих вулканах Камчатки и Курил. Алгоритм позволяет: 1) для каждого действующего вулкана производить автоматический поиск термальных аномалий на основе НТИ, 2) для каждого пикселя аномалий, имеющих пороговое значение  $\text{НТИ} \Rightarrow -0,8$  определять мощность излучения [6].

3. Сенсор АНИ, установленный на геостационарном спутнике Himawari-8, позволяет проводить съемку поверхности Земли каждые 10 мин, что значительно повышает информативность наблюдений за активными вулканами. В России данные Himawari-8 получает и обрабатывает ДЦ НИЦ Планета (Хабаровск). С использованием возможностей объединенной системы работы с данными НИЦ Планета и Центра коллективного пользования “ИКИ-Мониторинг”, информация, получаемая на основе данных Himawari-8, интегрирована в ИС VolSatView [1, 2, 3], в которой: для каждого действующего вулкана автоматически определяется яркостная температура (в диапазоне 3,9 мкм) и НТИ.

### Результаты наблюдений

Согласно постоянным спутниковым наблюдениям, для вулкана Шивелуч повышенная температура термальной аномалии и высокая интенсивность эксплозивных событий отмечалась в первой декаде января 2018 г. и затем с ноября 2018 г. до настоящего времени (рис. 1). Все остальное время термальная аномалия в районе вулкана была слабо выражена – он проявлял лишь умеренную фумарольную активность. В июле единожды наблюдался ресуспендированный пепловый шлейф, обусловленный золовыми процессами. С 27 декабря 2018 г. температура термальной аномалии резко начала расти, что отразилось и в увеличении интенсивности свечения лавового купола на видеоизображениях вулкана в темное время суток, все это указывало на усиление экструзивного извержения вулкана, связанного с поступлением на поверхность земли свежего магматического вещества. Активизация роста лавового купола сопровождалась частыми мощными эксплозиями пепла (рис. 1).

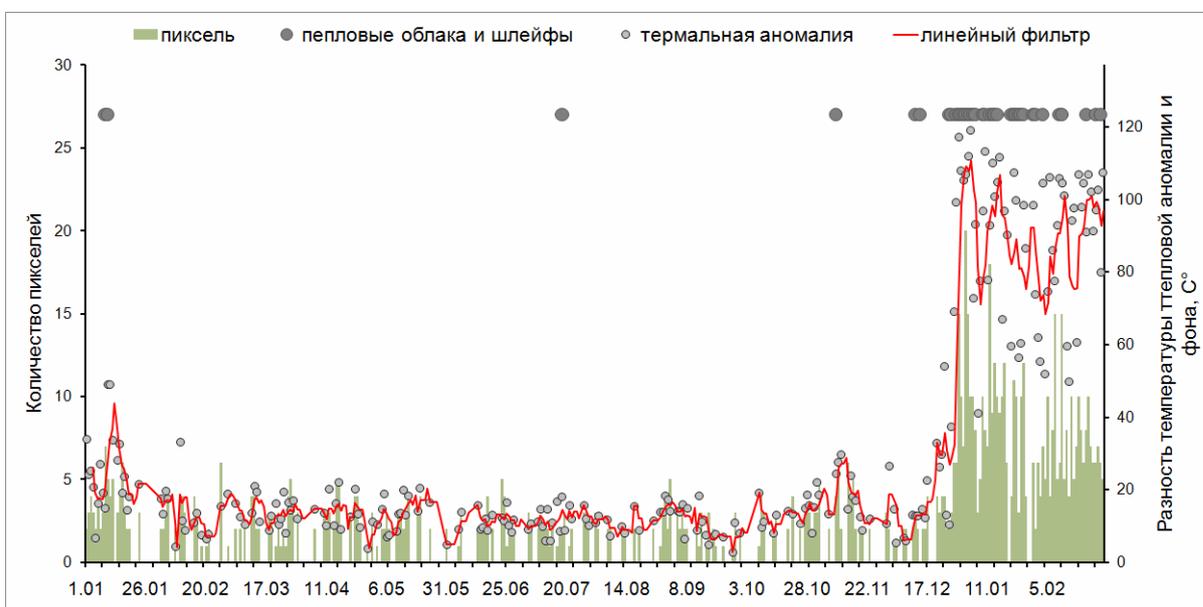


Рис. 1. Вулкан Шивелуч: среднесуточные значения разности температуры термальной аномалии и фона, размер аномалии (количество пикселей), даты эксплозий, рождавших пепловые облака и шлейфы по данным спутниковых спектрометров MODIS и VIIRS за период с 1 января 2018 г. по 4 марта 2019 г.

Обработка видеоизображений вулкана в автоматическом режиме с помощью вышеуказанного алгоритма определения НТИ демонстрирует уверенное определение интенсивности свечения лавового купола при условии отсутствия облачности в районе вулкана (рис. 2). Сравнение величин интенсивности свечения лавового купола, определенных по видео и спутниковым данным, показывает хорошую сопоставимость полученных результатов (рис. 3).

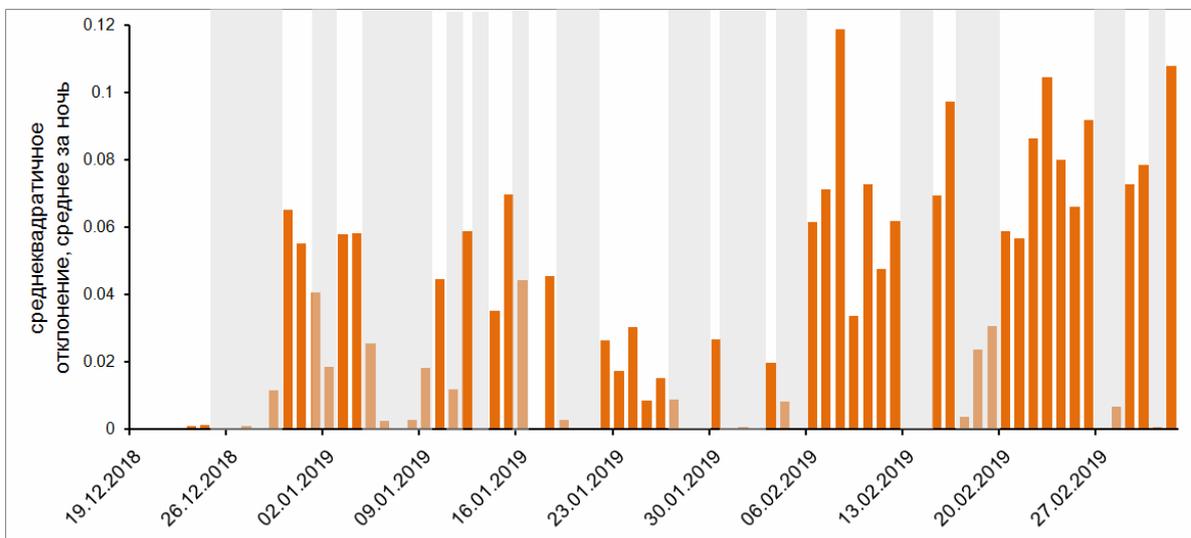


Рис. 2. Интенсивность свечения экструзивного купола вулкана Шивелуч по данным наблюдений с видеокамеры в течение темного времени суток с декабря 2018 г. по март 2019 г. Серым цветом показаны даты с частичной либо сплошной облачностью в районе вулкана.

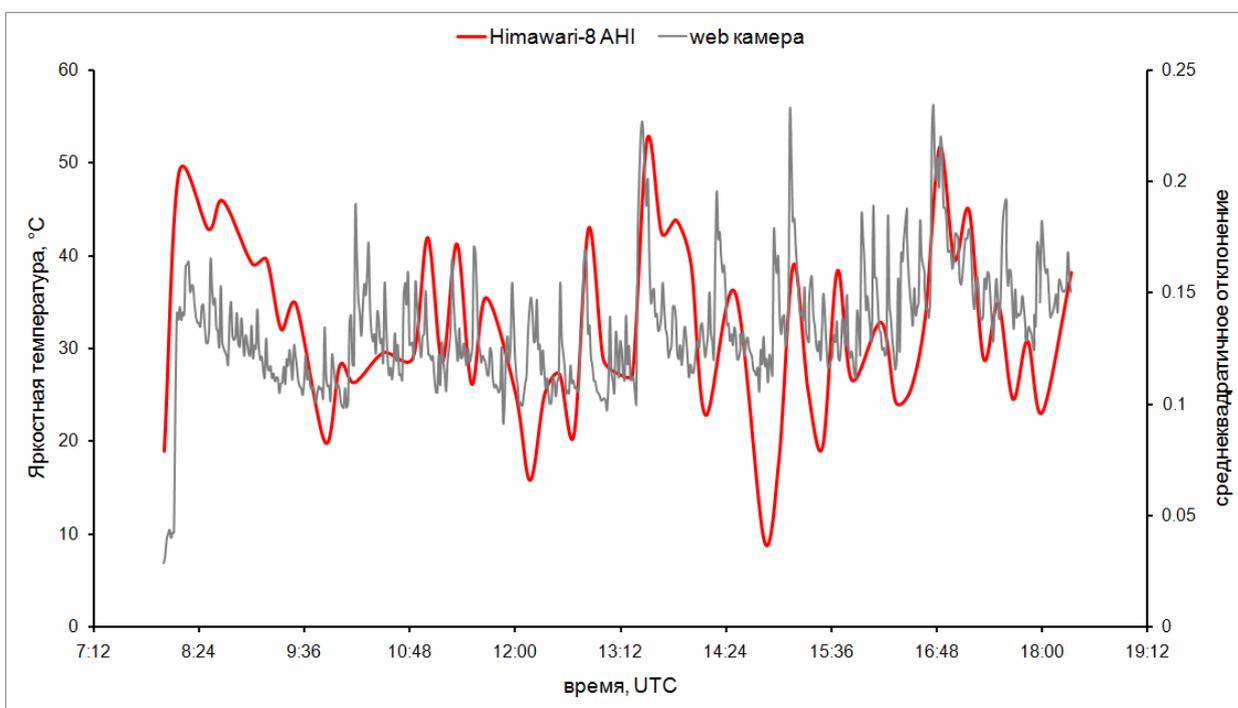


Рис. 3. Сопоставление данных с видеокамеры (среднеквадратичное отклонение - интенсивность свечения) и со спутника Himawari-8 (яркость температура) за ночной период времени 14 марта 2019 г.

Проведенные исследования ясно показывают, что увеличение временного ряда анализируемых спутниковых и видео данных позволяет детализировать эруптивный процесс (выделять его этапы подготовки и развития), повысить информативность оперативного мониторинга текущих извержений вулканов.

Представленные методы обработки и анализа дистанционных данных (спутниковых и web-камер) могут использоваться как самостоятельно, так и совместно, дополняя друг друга.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект № 16-17-00042).

### Список литературы

1. Гордеев Е.И., Гирина О.А., Лупян Е.А. и др. Информационная система VolSatView для решения задач мониторинга вулканической активности Камчатки и Курил // Вулканология и сейсмология. 2016. № 6. С. 1-16.
2. Лупян Е.А., Милехин О.Е., Антонов В.Н. и др. Система работы с объединенными информационными ресурсами, получаемыми на основе спутниковых данных в центрах НИЦ “Планета” // Метеорология и гидрология. 2014. № 12. С. 89-97.
3. Лупян Е.А., Прошин А.А., Бурцев М.А. и др. Центр коллективного пользования системами архивации, обработки и анализа спутниковых данных ИКИ РАН для решения задач изучения и мониторинга окружающей среды // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2015. Т. 12. № 5. С. 263-284.
4. Lovick, J., Lawlor, O., Dean, K., Dehn, J. Observation of volcanoes through webcams: Tools and techniques. In AGU Fall Meeting Abstracts. 2008.
5. Patrick M. R., Kauahikaua J. P., Antolik, L. MATLAB tools for improved characterization and quantification of volcanic incandescence in Webcam imagery: Applications at Kilauea Volcano, Hawaii. US Geol. Surv. Tech. Methods. 2010. Vol. 13. P. 1-16.
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. Is. 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.