

**Первые результаты применения портативных автоматических камер  
покадровой съёмки для изучения динамики вулканических процессов  
(Толбачик, Жупановский, Долина Гейзеров).**

***А.Б.Белоусов, М.Г.Белоусова***

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

Описывается метод мониторинга вулканических процессов с помощью портативных бюджетных автоматических камер покадровой съёмки. Приводятся первые результаты применения этого метода на вулканах и гейзерах Камчатки.

**Введение**

Визуальные наблюдения служат важнейшим источником информации о динамике вулканических процессов. Понимание этого обстоятельства привело к организации первых постоянных вулканологических обсерваторий: в 1841 г. на Везувии, в 1912 г. на Гавайях и в 1935 г. в посёлке Ключи на Камчатке. Позднее были организованы обсерватории на многих других вулканах мира. Развитие науки вулканологии во многом обеспечено данными визуальных наблюдений, полученными этими обсерваториями.

Многие вулканы, в том числе на Камчатке, расположены в труднодоступных районах, и часто даже не видны из ближайших населённых пунктов. Организация наблюдений в таких местах представляет большие трудности, и практически единственным источником визуальной информации в этом случае служат космические снимки. Обладая многочисленными достоинствами, наблюдения со спутников имеют ряд существенных недостатков, это прежде всего большая скважность и низкое разрешение получаемых изображений. Быстрое развитие радиоэлектроники в последние десятилетия позволило начать использовать для наблюдений вулканов разнообразные стационарные автоматические камеры (такие камеры поставлены КФГС на вулканах Безымянный и Кизимен). Однако, установка и поддержание работы этих камер требуют больших финансовых затрат и времени.

В последние годы в продаже появилось множество моделей малогабаритных, недорогих автоматических камер, которые созданы для "любительской" покадровой (с заданным интервалом) съёмки природы. В то же время эти камеры обладают техническими характеристиками (надёжность, малый вес, низкое энергопотребление, высокое разрешение снимков, водонепроницаемость), которые делают возможным их применение для изучения вулканических процессов. Низкая стоимость камер позволяет применять их массово. Авторы используют такие камеры для изучения вулканов Камчатки, начиная с 2013 г., и в этом сообщении мы обобщаем полученный опыт и приводим первые результаты выполненных исследований.

**Аппаратура**

Основная камера, которую мы использовали - Brinno TLC-100 Тайваньского производства. Камера абсолютно герметична, размер 93 x 192 x 53 мм, вес 260 г., имеет штатное внутреннее питание 6 вольт от 4 элементов АА, которого хватает на несколько суток - несколько недель работы в зависимости от выбранного интервала съёмки (можно выбирать от 5 сек до 24 ч). Разрешение съёмки 1080 x 1024 пикс, объектив 49,5°, запись изображения на внутреннюю память (стандартную "флэшку" объёмом до 8 Гб), размер одного снимка около 150 Кб. В кадре присутствует индикация времени съёмки. По окончании съёмки, камера автоматически создаёт видеофайл. Стоимость одной камеры составляла в момент закупки 1500 рублей

(около 30 US \$). Было приобретено 10 камер. Камеры использовались как в заводском исполнении, так и в переделанном под внешнее питание 12 вольт. В последнем случае использовались кислотные свинцово-цинковые аккумуляторы 17 Ач (увеличивал время работы камеры до 4 месяцев), или 50 Ач (время работы до 1 года). Иногда применялась солнечная батарея 20 Вт с буферным аккумулятором 12 Ач которой время работы камеры превышало 1 год, и было ограничено только ёмкостью памяти. Камеры устанавливались или на металлический фотоштатив, который обкладывался камнями, или крепились к камню или дереву металлическим уголком. Рядом с камерами оставлялась табличка с указанием владельца, назначением камеры и просьбой её не трогать. За 4 года использования случаев вандализма не было. Две камеры были повреждены медведями, которые представляют наиболее серьёзную проблему их эксплуатации на Камчатке. Камеры с питанием 12 вольт применялись для продолжительного (от месяца до нескольких лет) документирования процесса извержения в целом. В этом случае объектом наблюдения являлся весь вулкан или его кратер. Интервал съёмки был, как правило, большим: от 1 до 30 мин. Этими камерами получены длительные съёмки извержений вулканов Шивелуч, Ключевской, Безымянный, Толбачик, Жупановский и Камбальный. Камеры со штатным питанием 6 вольт устанавливались на срок менее месяца и применялись для изучения деталей динамики отдельных вулканических явлений: измерения скорости движения лавовых потоков (Толбачик), роста минеральных образований (Толбачик, Эбеко), периодичности извержений гейзеров (Долина Гейзеров, Узон, вулкан Академии Наук) и др. Интервал съёмки в этом случае был, как правило, коротким: от 5 до 30 с.

Далее мы приводим первые результаты изучения динамики вулканических процессов с использованием малогабаритных, недорогих автоматических камер.

### **Результаты**

*Вулкан Толбачик.* Камеры использовались для изучения динамики течения лавовых потоков и закономерностей формирования лавовых полей извержения 2012 - 2013 гг. Камеры устанавливались на расстоянии от нескольких метров до нескольких сотен метров от фронта потока, оптическая ось объектива ориентировалась перпендикулярно направлению движения лавы, перед фронтом потока в кадр устанавливался масштаб (два каменных тура на известном расстоянии). Время съёмки каждого потока составляло несколько часов. Интервал съёмки был 5 с. Полученный видео файл обрабатывался программой LoggerPro. При этом на каждом кадре вручную отмечалось положение выбранной точки на фронте или поверхности потока, и программа вычисляла скорость движения лавы. Скорость, определённая для фронта 'а' лавы составляла от 2 до 25 мм/с, и для пахойхой лавы от 0.5 до 6 мм/с. При этом скорость движения на поверхности потока была в несколько раз выше (рис.1). Эта методика позволила впервые открыть квазипериодические флуктуации скорости движения потоков 'а' лавы [2]. Данные о скорости течения лавы были использованы для вычисления её вязкости, которая составила для 'а' лавы от  $1.3 \times 10^5$  до  $3.3 \times 10^7$  Па·с, и для пахойхой лавы от  $5 \times 10^3$  до  $5 \times 10^4$  Па·с.

*Вулкан Жупановский.* Вулкан не виден из населённых пунктов. В 2013 - 2017 гг. вулкан находился в состоянии длительного извержения вулканического типа. Для слежения за его активностью использовалось несколько камер, которые устанавливались на расстояниях 4,5; 20; 25 и 43 км от вершины вулкана на высотах соответственно 1350; 400; 200 и 1200 м над уровнем моря. Интервал съёмки составлял от 1 до 15 мин. Применение камер позволило провести почти непрерывные (исключая периоды отсутствия видимости по погодным условиям) наблюдения активности вулкана в течение одного года. Обработка изображений дала возможность определить время и высоту пепловых выбросов вулкана (рис. 2).

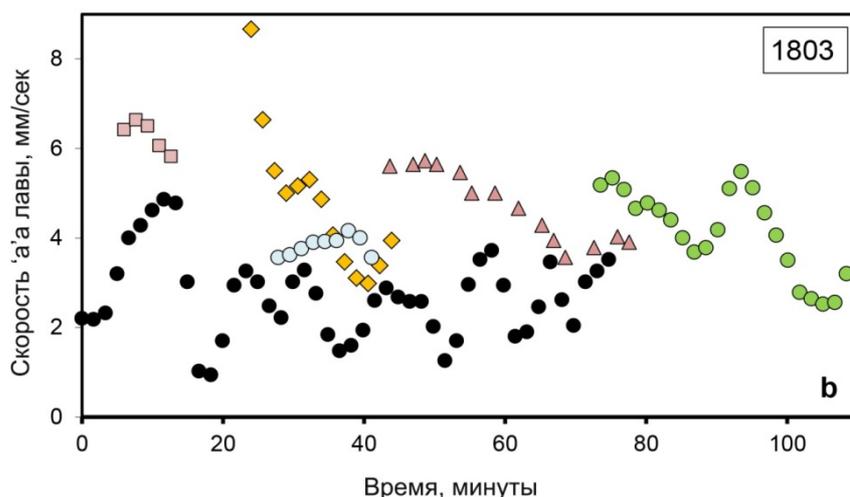


Рис.1. Периодические изменения скорости течения на разных участках поверхности (цветные точки) и на фронте (чёрные кружки) потока типа 'а' вулкана Толбачик, зарегистрированные камерой покадровой съемки 18 марта 2013 г.

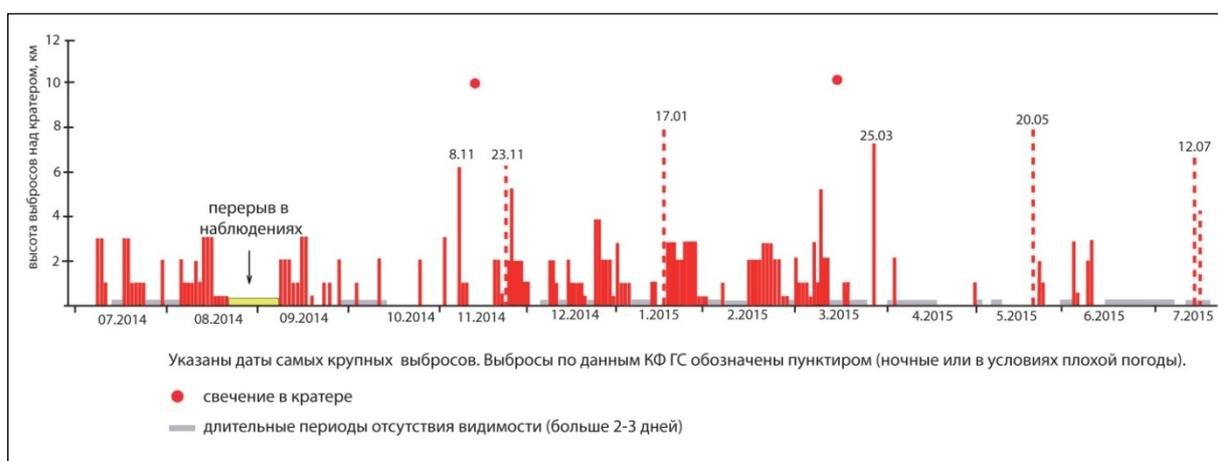


Рис. 2. Время и высота пепловых выбросов вулкана Жупановский в период с июля 2014 г. по июль 2015 г. по результатам обработки данных камер покадровой съёмки. Данные: 2-7 июля и 8 сентября - 22 октября 2014 г. - съёмка с запада, расстояние до вулкана 4,5 км; 5 июля - 19 августа 2014 г. - с юга, 43 км; 13 - 14 сентября 2014 г. - с юго-запада, 25 км, интервал съёмки 1 мин; и 23 октября 2014 г. - 18 июля 2015 г.- с юга, 20 км, интервал съёмки 5 мин.

*Долина Гейзеров.* Измерение периодов извержений гейзеров и продолжительности их отдельных фаз по классической методике производится визуальными наблюдениями с секундомером. Это трудоёмкий процесс, который не позволяет проводить измерения в течение длительных временных отрезков. Применение автоматических камер существенно упростило получение этих данных и впервые позволило почти синхронно измерять периодичность деятельности всех активных гейзеров Долины [1]. Этот метод также позволил впервые увидеть постепенные изменения периода отдельных гейзеров (рис.3), которые пока не имеют объяснения. Они могут быть вызваны внешними факторами, такими как изменения температуры воздуха, или атмосферного давления.

### Выводы

1. Малогабаритные, автоматические камеры покадровой съёмки являются простым, удобным и бюджетным инструментом для мониторинга вулканов.
2. Применение покадровой съёмки позволяет визуализировать и количественно измерять динамику медленно протекающих вулканических процессов.

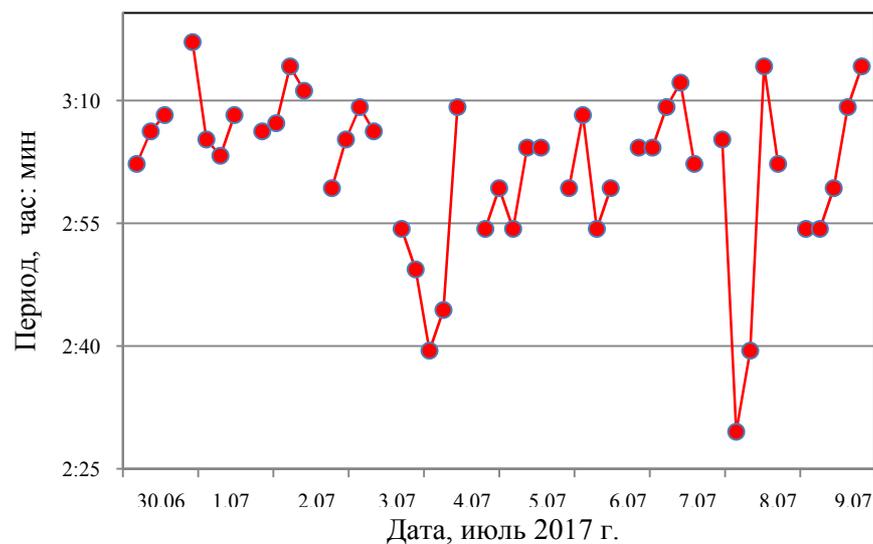


Рис. 3. Изменения периода гейзера Жемчужный в июле 2017 г. Период гейзера закономерно меняется от 2 час 30 мин до 3 час 15 мин. Пропуски в графике связаны с отсутствием видимости в ночное время.

#### Список литературы

1. Белоусов А.Б., Белоусова М. Роль оползней в формировании гейзеров Долины Гейзеров, Камчатка // Конференция "Вулканизм и связанные с ним процессы". Петропавловск-Камчатский. 2017. С. 155-157.
2. Belousov A., Belousova M. Dynamics and viscosity of 'a'a and pahoehoe lava flows of the 2012-13 eruption of Tolbachik volcano, Kamchatka, Russia // Bulletin of Volcanology. 2018. V.806.