

## **Применение записей непрерывной видеосъемки для определения некоторых параметров эксплозивных извержений на примере вулкана Шивелуч (Камчатка)**

***Н.А. Жаринов, И.А. Борисов***

*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, 683006; e-mail: [nzhar@kscnet.ru](mailto:nzhar@kscnet.ru)*

Рассматривается актуальность и необходимость непрерывных видеонаблюдений для определения некоторых параметров эксплозивных извержений на примере вулкана Шивелуч и его активность в 2001-2019 гг. Приводятся результаты оценки скоростей подъема эруптивных колонн и их высот, скорости пирокластических потоков, полученные на основании записей непрерывных видеонаблюдений. Обсуждаются возможные перспективы развития сети камер непрерывных видеонаблюдений.

### **Введение**

Вулкан Шивелуч (рис. 1) расположен в центральной части полуострова Камчатка ( $56^{\circ}6'$  с.ш. и  $161^{\circ}4'$  в.д.) и, со средним расходом 36 млн. т в год, занимает второе место на Камчатке по объему продуктов извержения.

Основные события последние 10 тыс. лет и в историческое время происходили внутри кальдеры вулкана Молодой Шивелуч. Это были катастрофические эксплозивные извержения типа направленных взрывов и слабые извержения, сопровождаемые ростом экструзивных куполов внутри кальдеры.

Последние два катастрофических извержения с интервалом 110 лет произошли 01-02.03.1854 г. и 12.11.1964 г. В ходе этих извержений выбрасывалось от 1.0-1.5 до 5.0-6.0 км<sup>3</sup> материала. Отложения взрывов и пирокластических потоков покрывали площади близкие 100-150 км<sup>2</sup>. В эруптивных центрах (центрах взрывов) возникали кратеры диаметром 1-3 км в поперечнике.



Рис. 1. Вулкан Шивелуч, 08.02.2019 г. Вид с юго-запада, расстояние до экструзивного купола 30 км. Фото Ю.В. Демянчука.

### **Динамика извержений вулкана в 2001-2019 гг.**

В предыдущих исследованиях отмечены три этапа формирования новых экструзивных образований на вулкане: I этап – начало формирования новых экструзий (август 1980 г. – конец 1981 г.); II – этап (апрель 1993 г. – январь 1995 г.), мощное эксплозивное извержение с последующей интенсивной экструзивной деятельностью; III этап, самый продолжительный, происходит с мая 2001 г. по настоящее время, февраль 2020 г. [2, 4]. Отметим основные особенности этого этапа.

Непрерывное формирование экструзивного купола сопровождалось мощными эксплозивными извержениями. Значительные эксплозивные события происходили в 2001, 2004, 2005, 2010, 2013, 2018 и 2019 гг. После усиленной эксплозивной деятельности в 2001, 2005, 2010, 2013 гг. наблюдался частичный развал вершины купола. По геодезическим данным, уже к маю 2004 г. объем внутрикратерного купола достиг  $0.30 \cdot 10^9 \text{ м}^3$  [4]. Такой объем имел купол Суелич перед катастрофическим извержением в 1964 г. Рост купола Суелич происходил в 1944-1950 гг. в этом же кратере.

Максимальный объем купол имел перед крупным эксплозивным извержением 27 октября 2010 г. ( $0.49 \text{ км}^3$ ) [2], в ходе которого произошел частичный развал купола. Объем разрушенной части купола по данным аэросъемки составил  $0.27 \text{ км}^3$  [1].

Весь последующий год происходило обрушение стенок полуразрушенной юго-восточной части кратера. Прироста объема купола практически отмечено не было до конца октября 2011 г. В дальнейшем, с конца 2011 г. до конца августа 2013 г., вновь происходит увеличение объема купола, продолжается непрерывный экструзивный процесс. И вновь после крупного эксплозивного события 03.12.2013 г. происходит незначительное разрушение вершины купола. С января 2015 г. вновь наблюдается прирост высоты и объема купола. К концу 2018 г. купол достиг отметки 590 м, при объеме близком  $0.25 \text{ км}^3$ . К маю 2019 года высота купола достигла отметки 576 метров. В первой половине года активность вулкана проявлялась редкими пепловыми выбросами, сходом раскаленных лавин и свечением купола в темное время суток. К июлю активность вулкана снизилась, но уже к августу стала увеличиваться, и 29 августа 2019 года произошло мощное эксплозивное событие, сопровождавшееся сходом пирокластического потока протяженностью около 10-12 км и частичным разрушением восточной и юго-восточной части купола. Высота купола после этого извержения не изменилась. До октября активность вулкана не изменялась и в последние три месяца года пошла на убыль.

### **Видеонаблюдения**

Скорость протекания процессов на андезитовых вулканах различна. Так, например, эксплозивное извержение, вызвавшее разрушение купола или распространение пирокластического потока, происходит очень быстро, а экструзивный рост купола – событие, протекающее достаточно медленно. Поэтому для определения параметров происходящих на вулкане процессов необходимы наблюдения с различной дискретностью. Чем быстрее протекает процесс, тем более непрерывным должен быть процесс наблюдения.

Одним из дистанционных методов исследований, позволяющих выполнять наблюдение с заданной дискретностью, является видеонаблюдение.

С 2011 года и по настоящее время на Камчатской вулканологической станции им. Ф.Ю. Левинсона-Лессинга ведутся непрерывные видеонаблюдения за вулканами Ключевской и Шивелуч. На станции размещены пять видеокамер, из них три направлены на вулкан Шивелуч и две на вулкан Ключевской. Камеры производят запись в оптическом и инфракрасном диапазонах с частотой 1 кадр в секунду. Используемые камеры имеют различное разрешение кадра –  $1024 \times 768$  пикселей и  $800 \times 600$  пикселей. Записи с первых камер позволяют исследовать видимые разрушения на куполе и анализировать крупномасштабные изменения его морфологии. По записям

с последних производится расчет высот эруптивных колонн, скорости их подъема и скорости распространения пирокластических потоков.

Необходимо отметить, что годовая видимость наблюдаемого объекта, по результатам видеонаблюдений за 2015-2019 гг., составляет примерно 48-50% от всех дней в году, поэтому некоторые события могли быть не зафиксированы.

На станции создан видеоархив событий, произошедших на в. Ключевской и в. Шивелуч с 2015 г. по сегодняшний день. Создание видеоархива позволит в будущем производить более подробный ретроспективный анализ событий, происходящих на вулкане, что, несомненно, будет полезным для будущих ученых.

Авторы настоящей работы считают ведение непрерывных видеонаблюдений и создание на их основе видеоархивов одной из важнейших задач станции. В связи с этим необходимо развивать и расширять существующую сеть непрерывной видеофиксации в районах наиболее активных вулканов.

### Результаты

В настоящее время в результате ретроспективного анализа видеозаписей авторами работы выполнена количественная оценка высот эруптивных колонн, их скоростей подъема и скоростей пирокластических потоков наиболее мощных взрывных событий, произошедших на в. Шивелуч.

### Методика определения параметров взрывных извержений

На основе фотоснимка вулкана для определения высот эруптивных колонн и их скоростей подъема была создана шкала (рис. 2).



Рис. 2. Шкала для определения высот эруптивных колонн

Для ее создания использовались известные параметры объектива при известном фокусном расстоянии и расстоянии до объекта. После этого путем наложения видеок кадров на созданную шкалу определялись высоты эруптивных колонн. При частоте видеосъемки 1 кадр/с можно с большой точностью определять скорости подъема эруптивных колонн и аналогичным образом скорости распространения пирокластических потоков, зная их протяженность.

Для примера расчета скоростей подъема эруптивных колонн рассматривались события, произошедшие 19 июня и 5 декабря 2017 года. Высоты колонн достигали 12000 м над у.м. и 11500 м над у.м., соответственно. Ранее были определены тепловые мощности этих событий, и они составляли  $\ln Q=8.83$  кВт для первого и  $\ln Q=8.75$  кВт для второго.

Для определения скоростей пирокластических потоков рассматривались извержения, произошедшие на вулкане 3 декабря 2013 года и 16 мая 2017 года. Пирокластические потоки во время этих событий распространялись в одинаковом направлении от

вулкана и по одинаковой траектории, поэтому были выбраны для определения скоростей распространения. Скорости подъемов эруптивных колонн рассчитывались до высоты 7000 м над уровнем моря. Скорости пирокластических потоков рассчитывались в их нижнем течении, и полученные величины могут значительно отличаться от скоростей в верхнем течении потока, но рассчитать скорости потоков на большей высоте не представляется возможным. Результаты расчетов скоростей подъема эруптивных колонн и скоростей распространения пирокластических потоков представлены в (таблица), где  $\ln Q$ , кВт – тепловая мощность эруптивных колонн;  $v$ , м/с – скорость распространения.

Таблица. Скорости движения пирокластических потоков и эруптивных колонн.

	Пирокластические потоки		Эруптивные колонны	
	03.12.2013	16.05.2017	19.06.2017	05.12.2017
ln Q, кВт	8.34	8.25	8.83	8.75
v, м/с	18	16	98	78

Все рассматриваемые выше события по шкале мощности (интенсивности) эксплозивной и фумарольной деятельности вулканов, представленной в [3], относятся к семибалльным извержениям, а значит можно предположить, что пирокластические потоки и эруптивные колонны имеют одинаковые условия распространения. Однако будет справедливым отметить, что события происходили в разные времена года и, возможно, метеорологические параметры, такие как температура воздуха и вертикальный температурный градиент, могли влиять на рассчитанные величины.

### Выводы

Новый эруптивный цикл в Шивелуч продолжается и сопровождается эксплозивными событиями, экструзивным ростом купола и периодическим его разрушением.

Непрерывные видеонаблюдения позволяют с большой точностью определять некоторые параметры эксплозивных извержений: скорости пирокластических потоков, скорости подъема эруптивных колонн, а при детальном рассмотрении и изменение морфологии купола, производить ретроспективный анализ произошедших событий.

Необходимо расширять существующую сеть непрерывной видеофиксации и размещать видеокамеры в районах наиболее активных вулканов: Ключевской, Шивелуч, Безымянный и др., устанавливая их на максимально безопасном и близком расстоянии от вулканов, что, несомненно, приведет к улучшению качества получаемого изображения и повышению точности рассчитываемых величин.

### Список литературы

1. Двигало В.Н., Свирид И.Ю., Шевченко А.В. и др. Состояние активных вулканов Камчатки по данным аэросъемочных облетов и фотограмметрической обработки снимков 2010 г. // Материалы региональной конференции, «Вулканизм и связанные с ним процессы», посвященной Дню вулканолога 30 марта – 1 апреля 2011 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2011. С. 26-36.
2. Жаринов Н.А., Демянчук Ю.В. Крупные эксплозивные извержения вулкана Шивелуч (Камчатка) с частичным разрушением экструзивного купола 28 февраля 2005 г. и 27 октября 2010 г. // Вулканология и сейсмология. 2013. № 2. С. 1-15.
3. Федотов С.А. Оценка выноса тепла и пирокластике вулканическими извержениями и фумаролами по высоте их струй и облаков // Вулканология и сейсмология. 1982. № 4. С. 3-28.
4. Федотов С.А., Жаринов Н.А., Двигало В.Н. и др. Эруптивный цикл вулкана Шивелуч в 2001-2004 гг. // Вулканология и сейсмология. 2004. № 6. С. 3-14.