

УДК 552.21

Ретроспективный анализ распространения эруптивной тучи во время катастрофического извержения вулкана Шивелуч в ноябре 1964 г.

О.А. Гирина¹, С.И. Мальковский², А.А. Сорокин², Е.А. Луян³

¹ *Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, 683006, e-mail: girina@kscnet.ru*

² *Вычислительный центр ДВО РАН, Хабаровск,*

³ *Институт космических исследований РАН, Москва,*

К 55-летию катастрофического извержения вулкана Шивелуч в 1964 г.

Вулкан Молодой Шивелуч (56°38'10" с.ш. 161°18'54" в.д., абс. высота 2500 м) относится к Северной группе вулканов Камчатки, он расположен в 50 км от п. Ключи на левом берегу р. Камчатка в и 450 км от г. Петропавловск-Камчатский.

Это самый северный действующий вулкан полуострова и наиболее активный вулкан мира.

Молодой Шивелуч (далее Шивелуч) располагается в северо-западной части древней кальдеры. Он образован множеством слившихся между собой андезитовых экструзивных куполов, их агломератовых мантий и коротких лавовых потоков. До извержения 1964 г. привершинную часть вулкана занимали куполы Центральный, Суелич и др. [5]. Состав пород вулкана – преимущественно от андезитов до дацитов.

Извержение вулкана в 1964 г.

Катастрофическое извержение вулкана Шивелуч началось 11 ноября 1964 г. в 19:07 GMT и продолжалось 1 ч 15 мин [3]. В результате извержения на месте группы экструзивных куполов вулкана появился двойной эксплозивный кратер размером 1,5x3,0 км, открытый на юг: северная его часть овальной формы размером 1,5x1,0 км, южная – трапециевидной формы размером 2,0x2,0 км. В отложениях у нижней границы кратера образовалось несколько ступеней, наибольшая из которых была высотой до 100 м. Общий объем изверженного и перемещенного материала (образования агломерата направленного взрыва, пирокластических потоков, тефры) составил 2,3 км³ [3].

Хотя извержение вулкана происходило ранним ноябрьским утром до рассвета, многие наблюдатели отмечали, что в 19:15 GMT в левой стороне кратера вулкана «пробивался узкий столб пламени с небольшим отблеском по кратеру направо» [6, стр. 29], а над вулканом уже поднялась до 12-15 км над уровнем моря (н.у.м.) огромная пепловая туча, в которой сверкали широкие молнии, но верхняя ее часть была белой. Белое клубящееся облако над Шивелучем было отмечено в 19:05 GMT из п. Усть-Камчатск [6]. На всем интервале высот от 300 до 15 000 м дул устойчивый ветер западного и северо-западного направления, поэтому туча стала перемещаться на восток и юго-восток от вулкана.

В 20:20 GMT 11 ноября в п. Усть-Камчатск начался пеплопад – на поверхность земли из тучи выпадал крупный вулканический песок. В 20:30 GMT пеплопад усилился, в 22:00 GMT крупный вулканический песок сменился вулканической пылью [6]. Пеплопад продолжался в течение 3 ч, пепел отложился слоем 3 см, его количество составило 28 кг/м² [3]. К 01:00 GMT 12 ноября эруптивная туча надвинулась на Командорские острова, в п. Никольское пеплопад продолжался до 05:30 GMT (4,5 ч). Пепел отложился слоем 0,25 см, его количество составило 2 кг/м². Общая площадь территории суши и моря, покрытой пеплом, превышала 100 тыс. км² [3].

Вблизи вулкана площадь порядка 90 км² была покрыта тефрой, состоящей из крупных обломков пемзовидного андезита; в 30-40 км от вулкана тефра представлена крупным вулканическим песком с небольшим количеством пемзовых лапилли. Общий объем тефры определен в 0,3 км³ [3].

Методы восстановления динамики извержения 1964 г. вулкана Шивелуч

Компьютерное моделирование распространения эруптивной тучи во время извержения Шивелуча 11-12 ноября 1964 г. выполнялось с помощью модели PUFF [10] и ее программной реализации Puff-UAF [9], которая была модифицирована сотрудниками ВЦ ДВО РАН [8]. Параметры для модели PUFF были подобраны максимально близко к известным параметрам эруптивной тучи извержения: модель источника - линейный над центром вулкана; минимальная высота подъема пеплового облака – 2 500 м; максимальная – 15 000 м; распределение частиц пепла по высоте – Пуассона с максимальной концентрацией массы пепла в верхних пяти километрах облака. В модельном облаке преобладали частицы размером порядка 100 мкм, их распределение – нормальное; коэффициент горизонтальной диффузии – 10 000 м²/с; коэффициент вертикальной диффузии – 50 м²/с; длительность моделирования - 12 ч, шаг сохранения результатов – 15 мин. Число модельных частиц составляло 15 000 (визуализация пепла во взвешенном состоянии в атмосфере).

Метеорологические данные для моделирования были взяты из архива проекта реанализа ERA-40 Европейского центра среднесрочных прогнозов погоды (ECMWF – European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) [12], содержащего ряды метеорологических полей с сентября 1957 г. по август 2002 г. Эти данные имеют глобальное покрытие с пространственным разрешением в 1,125° × 1,125° и 23 уровнями давления (от 1000 до 1 мбар); шаг по времени составляет 6 ч. В расчетах использовались метеорологические поля зональной и меридиональной составляющих ветра, а также поля температуры, относящиеся к уровням давления, на 18:00 GMT 11 ноября 1964 г. и 00:00, 06:00 и 12:00 GMT 12 ноября 1964 г. Опорными точками для оценки параметров модельной эруптивной тучи были координаты п. Усть-Камчатск (Камчатка) и п. Никольское (о. Беринга, Командоры).

Результаты моделирования распространения эруптивной тучи 1964 г.

Анализ результатов проведенного моделирования распространения эруптивной тучи во время извержения Шивелуча 11 ноября 1964 г., показал следующее:

1) начало пеплопада в п. Усть-Камчатск в 20:20 GMT 11 ноября практически совпадает с началом (20:22 GMT) прохождения над поселком модельного облака пепловых частиц на высоте до 8-11 км н.у.м.; время окончания пеплопада в п. Усть-Камчатск (длительность пеплопада 3 ч) по опубликованным и модельным (23:22 GMT 11 ноября) данным также примерно совпадают; 2) начало пеплопада в п. Никольское (о. Беринга) было отмечено в 01:20 GMT 12 ноября [6], оно близко с моментом времени, полученным при моделировании - 01:22 GMT; времена окончания пеплопада в п. Никольское по опубликованным и модельным данным также совпадают – 05:30 и 05:37 GMT, соответственно.

Реанализ событий извержения Шивелуча в 1964 г. с использованием метеорологических данных за ноябрь 1964 г., а также проверенной на многих извержениях вулканов модели PUFF, позволил получить хорошее совпадение наблюдаемых и модельных временных характеристик движения эруптивной тучи.

Визуализация результатов моделирования эруптивной тучи 1964 г. в VolSatView [2], позволила определить дополнительные характеристики пепловых облаков этого извержения, например:

- подъем пепловой тучи 11 ноября к 20:52 GMS до 17 км н.у.м. и к 22:37 GMS до 18 км н.у.м.; 12 ноября к 02:37 GMS - до 19 км н.у.м. и к 06:52 GMS - до 20 км н.у.м.;
- разделение эруптивной тучи на две и перемещение ее частей по разным траекториям от вулкана: нижней (< 1.5-6.0 км н.у.м.) преимущественно на юго-восток и далее на восток, с изменением азимута от 108° до 90°, со средней скоростью 70 км/ч; верхней (10,5-20 км н.у.м.) преимущественно на восток, с изменением азимута от 95° до 87° со

средней скоростью 96 км/ч (рис. 1); выпадение пепла в п. Усть-Камчатск происходило из всей эруптивной тучи, в п. Никольское – из ее нижней части;
 - общая площадь территории, подвергшейся пеплопадам на суше и на море с 19:07 GMS 11 ноября до 07:07 GMS 12 ноября, оценивается в 303 300 км² (рис. 2), в том числе 9 000 км² на суше (на Камчатке и о-вах Беринга и Медном).

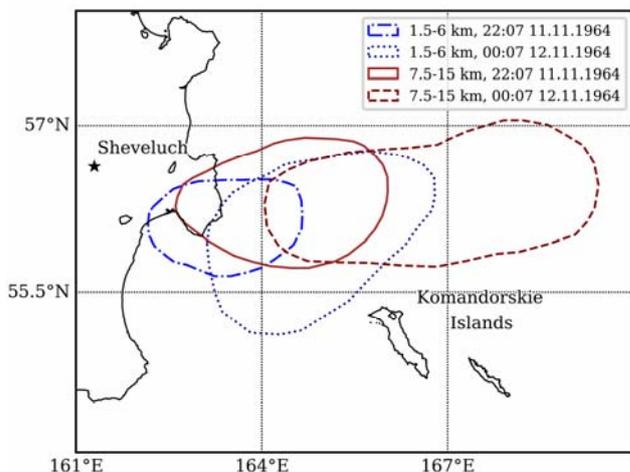


Рис. 1. Разделение эруптивной тучи на нижнюю и верхнюю и движение их по разным траекториям от влк. Шивелуч во время извержения 1964 г.

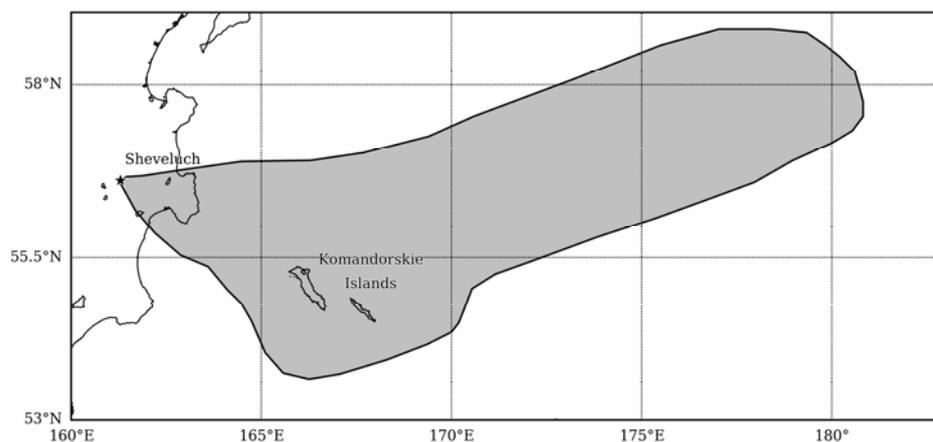


Рис. 2. Общая площадь территории, подвергшейся пеплопадам с 19:07 GMS 11 ноября до 07:07 GMS 12 ноября во время извержения влк. Шивелуч в 1964 г.

Обсуждение полученных результатов

Результаты моделирования развития и распространения эруптивной тучи извержения Шивелуча подтвердили наблюдаемые в ноябре 1964 г. временные характеристики ее движения; кроме этого, позволили определить дополнительные ее параметры: разделение эруптивной тучи на верхнюю и нижнюю части и движение их по разным траекториям и с разной скоростью; подъем верхней части тучи в течение 12 ч до 20 км н.у.м. Полученные характеристики эруптивной тучи позволили уточнить события извержения 1964 г.

В 19:07 GMT 11 ноября поступившее на поверхность земли глубинное высокотемпературное вещество стало причиной разрушения в северной части кратера мощными направленными на юго-запад взрывами построек экструзивных куполов вулкана, материал которых начал формировать отложения направленного взрыва. Эруптивная колонна, насыщенная ювенильным высокотемпературным веществом (в отложениях тefры содержится 95 % ювенильного вещества [1]), поднявшись из кратера до 16 км н.у.м., начала трансформироваться в облако, прорезаемое многочисленными молниями, и перемещаться на восток-юго-восток (азимут 95°) от вулкана. Одновременно с этим с краевых частей эруптивной колонны на поверхность движущихся образований направленного взрыва обрушивались и двигались в виде потоков большие объемы пирокластического материала. Над этими движущимися

образованиями клубились и смешивались пеплы, пески, мелкие обломки пород, нагруженная этим материалом туча поднималась до 6-10 км н.у.м., подпитывала главное эруптивное облако, но была слишком тяжелой и смещалась несколько южнее (азимут 108°), чем облако, в котором преобладал ювенильный материал.

Главное эруптивное облако Шивелуча, высокоэнергетическое, как несущее высокотемпературное магматическое вещество, поднялось выше тропопаузы и двигалось с большей скоростью, чем нижнее, и через 12 ч достигло 20 км н.у.м.

По данным [7] магматическая камера Шивелуча находится на глубине около 5-6 км. Вероятно, быстрое освобождение ее в процессе извержения привело к обрушению части ее кровли. Вероятно, с этим событием связано образование двух протяженных поперечных ступеней высотой 100 м по южному краю кратера.

Все описанные события ноября 1964 г. были настолько сближены во времени, что восстановить их последовательность стало возможно только благодаря моделированию (PUFF) распространения эруптивной тучи во время извержения и анализу этих данных в ИС VolSatView. Главной движущей силой событий 1964 г. было глубинное вещество, исходя из этого, генезис извержения вулкана - магматическое эксплозивное извержение.

Обработка данных производилась с использованием ресурсов Центров коллективного пользования “Центр данных ДВО РАН” (ВЦ ДВО РАН) [11] и “ИКИ-Мониторинг” (Институт космических исследований РАН) [4].

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

Список литературы

1. *Богоявленская Г.Е., Брайцева О.А., Мелекесцев И.В. и др.* Катастрофические извержения типа направленных взрывов на вулканах Сент-Хеленс, Безымянный, Шивелуч // Вулканология и сейсмология. 1985. № 2. С. 3-26.
2. *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. 62-77. doi: 10.7868/S0203030616060043
3. *Горшков Г.С., Дубик Ю.М.* Направленный взрыв на вулкане Шивелуч. В книге: Вулканы и извержения / Отв. ред. Г.С. Горшков. М.: Наука. 1969. С. 3-37.
4. *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.
5. *Меняйлов А.А.* Основные этапы развития вулкана Шивелуча // Труды Лаборатории вулканологии АН СССР. 1954. № 8. С. 115-124.
6. *Пийн Б.И., Мархинин Е.К.* Гигантское извержение вулкана Шивелуч 12 ноября 1964 г. (предварительное сообщение) // Бюл. вулканол. станций. 1965. № 39. С. 3-28.
7. *Dirksen O., Humphreys M.C.S., Pletchev P. et al.* The 2001–2004 dome-forming eruption of Shiveluch volcano, Kamchatka: Observation, petrological investigation and numerical modeling. J. Volcanol. Geoth. Res. 2006. V. 155. P. 201–226. doi: 10.1016/j.jvolgeores.2006.03.029.
8. *Malkovsky S.I., Sorokin A.A., Korolev S.P.* Improving the system of numerical simulation of volcanic ash propagation using the PUFF model. Russian J. of Earth Sciences. 2017. Vol. 17. No. 5. ES5003. P. 1-6.
9. *Peterson R.A.* Puff UAF User's Manual. 2003. Available at: <http://web.archive.org/web/20121119195411/http://puff.images.alaska.edu/doc.shtml> (accessed on 23.03.2016).
10. *Searcy C., Dean K., Stringer W.* PUFF: a high-resolution volcanic ash tracking model, J. of Volcanol. Geotherm. Res. 1998. Vol. 80. No. ½. P. 1–16.
11. *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. Vol. 4. P. 302-304.
12. *Uppala S.M., Kallberg P.W., Simmons A.J. et al.* The Era-40 Re-analysis, Quarterly J. of Royal Meteor. Soc. 2005. Vol. 131. No. 612. P. 2961-3012. doi: 10.1256/qj.04.176