

Вулкан Шивелуч: 60 лет со дня катастрофического извержения в 1964 г.

Гирина О.А.

The Sheveluch volcano: 60 years since the catastrophic eruption in 1964

Girina O.A.

Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский;

e-mail: girina@kscnet.ru

В работе показано развитие катастрофического извержения вулкана Шивелуч в ноябре 1964 г. и его последствия.

Введение

Шивелуч (<http://www.kscnet.ru/ivs/kvert/volc?name=Sheveluch>) расположен в северной части Центральной Камчатской депрессии, в 50 км от п. Ключи и в 450 км от г. Петропавловск-Камчатский. Активный Молодой Шивелуч (2800 м) (далее Шивелуч) располагается на дне древней кальдеры, ближе к ее северо-западному краю. Он образован множеством слившихся между собой андезитовых экструзивных куполов, их агломератовых мантий и коротких лавовых потоков. До извержения 1964 г. четыре купола (Центральный, Суелич и др.) находились в привершинной части вулкана. Для Шивелуча известны два типа извержений: катастрофические направленные взрывы с выносом эруптивных продуктов до 2.5 км³ (1854 и 1964 гг.) и умеренные по силе экструзивно-эксплозивно-эффузивные, связанные с ростом лавовых куполов (1790-1810 гг., 1879-1883 гг., 1896-1897 гг., 1925-1930 гг., 1944-1950 гг., 1980 г. – наст. вр.), сопровождаемые пароксизмальными эксплозивными событиями с объемом изверженного материала до 0.5 км³ [1-3, 5-7]. Состав пород вулкана – преимущественно от андезитов до дацитов [5-7].

В 1946-1958 гг. на Камчатской вулканологической станции имелась только одна сейсмическая станция. Ретроспективный анализ данных за этот период выявил многочисленные слабые сейсмические события в районе Шивелуча, которые остались незамеченными [11]. К 1964 г. была создана региональная сеть сейсмостанций [10, 16], позволившая достоверно фиксировать события в районе вулкана и определить, что подготовка ноябрьского извержения Шивелуча началась 24 января 1964 г. с одиночных вулканических землетрясений, в мае была зафиксирована серия таких землетрясений на глубине 0-5 км под вулканом. Исходя из этой информации, П.И. Токарев опубликовал прогноз: извержение вулкана будет в 1964 г. [11].

Катастрофическое извержение вулкана Шивелуч в ноябре 1964 г.

До середины октября 1964 г. землетрясения под Шивелучем отмечались с интервалом 2-25 дней; с 21 октября начал формироваться рой землетрясений; с 10 ноября скорость и мощность сейсмических процессов в районе вулкана резко возросли.

Главное сдвиговое землетрясение произошло 11 ноября в 19:06 UTC, глубина землетрясений во время извержения составляла 0-5 км [16]. Извержение продолжалось с 19:07 до 20:19 UTC 11 ноября, с 19:20 до 20:22 UTC оно сопровождалось вулканическим дрожанием [5, 10]. По мнению Г.С. Горшкова и Ю.М. Дубика [5], кроме основного взрыва 11 ноября в 19:07 UTC, мог произойти второй взрыв в 19:13 UTC; возможно, слабые эксплозии начались ночью: на микробарограммах между 13:00 и 19:00 UTC зафиксировано 10 событий, которые можно отнести либо к небольшим взрывам, либо к поверхностным волнам, связанным с более сильными вулканическими землетрясениями [5].

Катастрофическое извержение Шивелуча продолжалось 1 ч 12 мин [5, 10]. В результате извержения на месте группы экструзивных куполов вулкана образовался двойной эксплозивный кратер размером 1.5×3.0 км, открытый на юг: северная его часть с десятью воронками была овальной формы размером 1.5×1.0 км, южная – трапецевидной формы размером 2×2 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 км^3 [5].

Хотя извержение вулкана происходило ранним ноябрьским утром до рассвета, многие наблюдатели отмечали, что в 19:15 UTC в левой стороне кратера вулкана «пробивался узкий столб пламени с небольшим отблеском по кратеру направо» [9, 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. На всем интервале высот от 300 до 15 000 м дул устойчивый ветер западного и северо-западного направления, поэтому туча перемещалась на восток и юго-восток от вулкана [5, 15, 17].

В 20:20 UTC 11 ноября в п. Усть-Камчатск начался пеплопад: на поверхность земли из тучи выпадал крупный вулканический песок; в 20:30 UTC пеплопад усилился, в 22:00 UTC стала выпадать вулканическая пыль [9]. Пеплопад продолжался в течение 3 ч, пепел отложился слоем 3 см, его количество составило 28 кг/м^2 [5]. К 01:00 UTC 12 ноября эруптивная туча надвинулась на Командорские острова, в п. Никольское пеплопад продолжался до 05:30 UTC (4.5 ч). Пепел отложился слоем 0.25 см, его количество составило 2 кг/м^2 . Общая площадь территории суши и моря, покрытой пеплом, превышала 100 тыс. км^2 [5]. Вблизи вулкана площадь порядка 90 км^2 была покрыта тефрой, состоящей из крупных обломков пемзовидного андезита; в 30-40 км от вулкана тефра была представлена крупным вулканическим песком с небольшим количеством пемзовых лапилли. Общий объем тефры определен в 0.3 км^3 [5].

Моделирование распространения эруптивной тучи извержения 1964 г.

Хотя начало космической эры человечества датируется 4 октября 1957 г., доступных для изучения спутниковых снимков Земли в 1964 г. не существовало. Поток свободно распространяемых спутниковых данных начал расти с конца 1990-х гг. В это же время интенсивное развитие получили математические и алгоритмические программные продукты, предназначенные для моделирования распространения вулканического пепла в атмосфере. В 2000-х гг. в открытом доступе появились метеорологические данные проекта ERA-40 Европейского центра среднесрочных прогнозов погоды на период с сентября 1957 г. до августа 2002 г. В работе [15] авторы впервые промоделировали (с помощью FALL3D и PUFF) и проанализировали развитие и перемещение пепловой тучи катастрофического извержения вулкана Шивелуч в ноябре 1964 г. Это позволило восстановить последовательность событий извержения:

– в 19:07 UTC 11 ноября высокотемпературный ювенильный материал устремился на дневную поверхность, вызвав разрушение экструзивных куполов в северной части кратера вулкана мощными взрывами, направленными на юго-запад (извержение направленного взрыва) [5, 15];

– материал разрушенных экструзивных куполов образовал на южном склоне Шивелуча отложения направленного взрыва, имеющие форму широкого веера [5, 15];

– высокотемпературное ювенильное вещество (его содержание в отложениях тефры достигает 95 % [13]) начало выходить по открывшемуся каналу и формировать эруптивную колонну, подымающуюся до 15 км н.у.м.; этот процесс сопровождался вулканическим дрожанием, продолжавшимся с 19:20 до 20:22 UTC 11 ноября [5, 10];

– высота тропопаузы над Камчаткой обычно меняется в пределах 8-11 км н.у.м. в течение года [17]. Эруптивная колонна поднялась над тропопаузой и трансформировалась в грибовидное облако с многочисленными молниями, это облако начало двигаться на восток-юго-восток от вулкана;

– одновременно из краевых частей эруптивной колонны обрушивались большие объемы пирокластического материала, которые в виде пирокластических потоков перемещались вдоль центральной части южного склона вулкана (отложения пирокластических потоков располагались на отложениях направленного взрыва [5]);

– над движущимися пирокластическими потоками образовалось коигнимбритовое облако, в котором в турбулентном режиме перемешивались частицы пепла и песка, а также мелкие обломки горных пород. Это облако было слишком тяжелым («свинцового цвета» [9, стр. 30]) и поднималось лишь до 6-12 км н.у.м. В связи с разными направлениями ветра в нижних и высоких слоях атмосферы, коигнимбритовое облако перемещалось на юго-юго-восток от вулкана, в отличие от основного эруптивного облака;

– в Усть-Камчатске пеплопад имел две фазы: с 20:20 до 22:00 UTC 11 ноября пепел выпадал из основного эруптивного облака (крупные пепловые частицы – вулканический песок [9]), которое двигалось с большей скоростью; начиная с 22:00 UTC пепел выпадал из коигнимбритового облака (вулканическая пыль [9]); на фотографии, сделанной в Усть-Камчатске в момент извержения, хорошо выражены кромки этих двух облаков, находящихся на разных высотах [15];

– в п. Никольское пепел выпал только из коигнимбритового облака, траектория основного эруптивного облака проходила к северу от Командорских островов [15];

– благодаря турбулентной диффузии в атмосфере, фронтальная часть главного эруптивного облака медленно поднималась: к 21:37 UTC 11 ноября она была на 16 км н.у.м., к 04:07 UTC 12 ноября – на 16.5 км н.у.м. Через 24 ч после начала извержения эруптивное облако на высоте 16.8 км н.у.м. достигло Аляски; в течение трех дней после начала извержения пепловое облако растянулось на 3000 км и накрыло территории России, Канады, США и Мексики, а также Берингово море и Тихий океан. Общая площадь суши и моря, над которой прошли пеплопады в период с 19:07 UTC 11 ноября по 07:07 UTC 12 ноября, составляла в $147\,686\text{ км}^2$, в том числе $10\,200\text{ км}^2$ на суше [15].

В работе [15] впервые была показана опасность эруптивного облака Шивелуча в ноябре 1964 г. для авиации. В течение 9 часов после начала извержения на всех эшелонах авиаполетов к востоку от Камчатки образовалась обширная «бесполетная зона». Не исключено, что пепловые облака Шивелуча продолжали представлять опасность для авиации в районах Канады, США и Мексики в течение 3-5 дней после окончания извержения.

Рост лавового купола в кратере вулкана Шивелуч

Спустя почти 16 лет после катастрофического извержения в эксплозивном кратере вулкана с августа 1980 г. начал расти новый экструзивный купол, рост которого продолжается и поныне [2, 3, 6]. Хотя характер извержения с течением времени менялся (с 1984 г. в районе лавового купола начали происходить отдельные мощные эксплозии, с 2001 г. – выжиматься вязкие лавовые потоки [14]), процесс выноса магматического вещества на дневную поверхность в районе Шивелуча был почти непрерывным. Наиболее мощные пароксизмальные эксплозивные извержения вулкана, связанные с ростом купола, с выносом пепла до 20 км н.у.м. и объемом продуктов до 0.5 км^3 , наблюдались в 2001, 2004, 2005, 2010 и 2023 гг. [1, 3, 4, 8, 12].

Заключение

Благодаря впервые выполненной учеными ИВиС ДВО РАН, Вычислительного Центра ДВО РАН и Института космических исследований РАН реконструкции динамики движения эруптивного облака катастрофического извержения вулкана Шивелуч в ноябре 1964 г. [15] было определено распределение пепла в эруптивной колонне, а также восстановлен сценарий процесса извержения. Впервые был прослежен перенос тонкой фракции пепла на протяжении трех суток от начала извержения, в частности, описана опасность эруптивного облака для авиации и показано его распространение над территорией России, Канады, США, Мексики, над Беринговым морем и Тихим океаном [15]. Полученные в работе результаты хорошо согласуются с геологическими данными о времени начала и окончания пеплопадов в населенных пунктах, о мощности слоев пеплов в разных точках наблюдений и др.

Вероятно, быстрое освобождение магматической камеры Шивелуча в процессе извержения привело к обрушению части ее кровли и, как следствие, к образованию поперечных ступеней высотой 100 м по южному краю кратера.

Предполагается, что известное многолетнее снижение интенсивности солнечной радиации в северных широтах с 1963 по 1966 гг., установленное по актинометрическим станциям СССР и мира, было связано с распространением аэрозольных облаков, образовавшихся не только после извержения вулкана Агунг в марте 1963 г., но и после извержения вулкана Шивелуч в ноябре 1964 г. [15].

Список литературы

1. *Гирина О.А., Демянчук Ю.В., Мельников Д.В. и др.* Пароксизмальная фаза извержения вулкана Молодой Шивелуч, Камчатка, 27 февраля 2005 г. (предварительное сообщение) // Вулканология и сейсмология. 2006. № 1. С. 16-23.
2. *Гирина О.А., Лупян Е.А., Сорокин А.А. и др.* Комплексный мониторинг эксплозивных извержений вулканов Камчатки / Отв. ред. О.А. Гирина. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2018. 192 с.
3. *Гирина О.А., Лупян Е.А., Хорват А. и др.* Анализ развития пароксизмального извержения вулкана Шивелуч 10-13 апреля 2023 года на основе данных различных спутниковых систем // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2023. Т. 20. № 2. С. 283-291. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2023-20-2-283-291>
4. *Гирина О.А., Ушаков С.В., Демянчук Ю.В.* Пароксизмальное извержение вулкана Молодой Шивелуч, Камчатка, 9 мая 2004 г. // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2007. № 2. Вып. 10. С. 65-73.
5. *Горшков Г.С., Дубик Ю.М.* Направленный взрыв на вулкане Шивелуч. В кн.: Вулканы и извержения / Отв. ред. Г.С. Горшков. М.: Наука, 1969. С. 3-37.
6. *Мелекесцев И.В., Вольнец О.Н., Ермаков В.А. и др.* Вулкан Шивелуч / Действующие вулканы Камчатки. В 2-х т. / Отв. ред. С.А. Федотов, Ю.П. Масуренков. М.: Наука, 1991. Т. 1. С. 84-103.
7. *Меняйлов А.А.* Вулкан Шивелуч – его геологическое строение, состав и извержения / Труды лаборатории вулканологии АН СССР. Вып. 9 / Отв. ред. В.И. Влодавец. М.: АН СССР, 1955. 264 с.
8. *Овсянников А.А., Маневич А.Г.* Извержение вулкана Шивелуч в октябре 2010 г. // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2010. № 2. Вып. 16. С. 7-9.
9. *Пийп Б.И., Мархинин Е.К.* Гигантское извержение вулкана Шивелуч 12 ноября 1964 г. (предварительное сообщение) // Бюллетень вулканологических станций. 1965. № 39. С. 3-28.
10. *Токарев П.И.* Вулканические землетрясения Камчатки / Отв. ред. И.А. Резанов. М.: Наука, 1981. 164 с.
11. *Токарев П.И.* Рой землетрясений вулкана Шивелуч в мае 1964 г. // Бюллетень вулканологических станций. 1964. № 38. С. 41-44.
12. *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.
13. *Vogoyavlenskaya G.E., Braitseva O.A., Melekestsev I.V. et al.* Catastrophic eruptions of the directed-blast type at Mount St. Helens, Bezymianny and Shiveluch volcanoes // Journal of geodynamics. 1985. V. 3. P. 189-218. [https://doi.org/10.1016/0264-3707\(85\)90035-3](https://doi.org/10.1016/0264-3707(85)90035-3)
14. *Girina O.A., Chubarova O.S., Senyukov S.L.* The recent activity of Sheveluch volcano // Abstracts of the 3rd Biennial workshop on subduction processes emphasizing the Kurile-Kamchatka-Aleutian Arcs (JKASP-3). June 9-15, 2002. Fairbanks. 2002. P. 121-122.
15. *Girina O.A., Malkovsky S.I., Sorokin A.A. et al.* Numerical modeling of the ash cloud movement from the catastrophic eruption of the Sheveluch volcano in November 1964 // Remote sensing. 2022. V. 14. № 14. Art. 3449. <https://doi.org/10.3390/rs14143449>
16. *Gorelchik V.I.; Shirokov V.A.; Firstov P.P.; Chubarova O.S.* Shiveluch volcano: seismicity, deep structure and forecasting eruptions (Kamchatka) // Journal of Volcanology and Geothermal Research. 1997. V. 78. P. 121-137. [https://doi.org/10.1016/S0377-0273\(96\)00108-4](https://doi.org/10.1016/S0377-0273(96)00108-4)
17. *Kirianov V.Y.* Assessment of Kamchatkan ash hazard to airlines // Volcanology and seismology. 1993. V. 14. P. 246-269.