

УДК 551.21

ИЗВЕРЖЕНИЯ ВУЛКАНОВ КАМЧАТКИ И СЕВЕРНЫХ КУРИЛ в 2016 г. И ИХ ОПАСНОСТЬ ДЛЯ АВИАЦИИ

© 2019 г. О. А. Гирина^{1, *}, А. Г. Маневич¹, Д. В. Мельников¹,
А. А. Нуждаев¹, Е. Г. Петрова²

¹Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН
683006 Петропавловск-Камчатский, бульвар Пийна, 9

²Географический факультет
Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова
119991 Москва, Ленинские горы, 1

*e-mail: girina@kscnet.ru

Поступила в редакцию 26.03.2018 г.

Сильные эксплозивные извержения вулканов наиболее опасны для современной реактивной авиации, так как во время таких извержений в течение нескольких часов или дней в атмосферу и стратосферу может поступать до нескольких кубических километров вулканических пеплов и аэрозолей. В 2016 г. извергались пять из 30 активных вулканов Камчатки (Шивелуч, Ключевской, Безымянный, Карымский и Жупановский) и три из 6 активных вулканов Северных Курил (Алаид, Эбеко, Чикурачки). Эффузивная деятельность отмечалась на Шивелуче, Ключевском, Безымянном и Алаиде. Все вулканы проявляли эксплозивную активность. Сильные эксплозивные события происходили в основном с сентября до декабря на Шивелуче, умеренная эмиссия пеплов сопровождала все извержение Ключевского в марте–ноябре, эксплозивная активность вулканов Карымский, Жупановский, Алаид и Чикурачки наблюдалась преимущественно в первой половине года. Общая площадь территории, покрытой пеплом в 2016 г. оценивается в 600 000 км², из которых 460 000 км² связаны с извержениями камчатских вулканов и 140 000 км² – с извержениями северокурильских вулканов. Активность вулканов Шивелуч, Ключевской и Жупановский была опасна для международных и местных авиаперевозок, так как эксплозии поднимали пепел до 10–12 км над уровнем моря, вулканов Безымянный, Карымский, Алаид, Эбеко и Чикурачки – для местных авиаперевозок (пепел при эксплозиях поднимался до 5 км над уровнем моря).

Ключевые слова: вулкан, эксплозивное извержение, Камчатка, Курилы.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0203-03062019334-48>

ВВЕДЕНИЕ

Опасность сильных эксплозивных извержений вулканов для современной реактивной авиации связана с тем, что во время таких извержений в течение нескольких часов или дней в атмосферу и стратосферу может поступать до нескольких кубических километров вулканических пеплов и аэрозолей [Gordeev, Girina, 2014; Kirianov, 1992; Miller, Casadevall, 2000; Neal et al., 2009]. В зависимости от мощности извержения, силы и скорости ветра пепловые облака и шлейфы могут распространяться на тысячи километров от вулкана, оставаясь опасными для самолетов в течение нескольких дней, так как температура плавления тонких частиц пепла ниже рабочей температуры реактивных двигателей [Gordeev, Girina, 2014; Miller, Casadevall, 2000].

На Камчатке и Северных Курилах 36 действующих вулканов, несколько из них находят-

ся в постоянной активности. Ежегодно от двух до восьми вулканов продолжительно извергают тонны пеплов, вулканических газов и аэрозолей в атмосферу, кроме того, происходят отдельные мощные эксплозивные события, при которых пеплы поднимаются до 8–15 км над уровнем моря (н.у.м.), представляя серьезную опасность для современных авиалайнеров [Гирина, Гордеев, 2007; Girina, 2012; Gordeev, Girina, 2014; Neal et al., 2009].

Для повышения безопасности авиаполетов во время эксплозивных извержений вулканов в 1993 г. было принято решение о создании Камчатской группы реагирования на вулканические извержения (KVERT – Kamchatkan Volcanic Eruption Response Team, <http://www.kscnet.ru/ivs/kvert/>) в г. Петропавловск-Камчатский. KVERT в составе Института вулканологии и сейсмологии (ИВиС) ДВО РАН с 2010 г. выполняет

обязанности Вулканологической обсерватории Российской Федерации (WOVO № 290111-3000001), предоставляя информацию о вулканической деятельности международному авиационному сообществу [Igarashi et al., 2017; Girina, 2012; Gordeev, Girina, 2014; Kiriyanov, 1992; Miller, Casadevall, 2000; Neal et al., 2009]. Как известно, современные реактивные авиалайнеры летают на высотах 8–13 км н.у.м., другие самолеты и вертолеты – до 6–7 км н.у.м. Различные виды вулканической деятельности оказывают разное влияние на международные и местные авиаперевозки. Целью этого исследования является анализ эксплозивной активности вулканов Камчатки и Северных Курил в 2016 г., основанный на данных их ежедневного мониторинга, и оценка опасности вулканов для авиации. Данные в статье приводятся по Гринвичскому времени (UTC).

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Сотрудники KVERT ежедневно проводят видео-визуальный и спутниковый мониторинг вулканов Камчатки и Северных Курил. Визуальные данные по вулканам поступают из разных источников, включая собственные полевые исследования, наблюдения других вулканологов, метеорологов, пилотов, туристов, альпинистов и др. В 2016 г. ученые располагали данными с 16 видеокамер, направленных на одиннадцать вулканов (Шивелуч, Ключевской, Безымянный, Толбачик, Кизимен, Жупановский, Авачинский, Корякский, Горелый, Мутновский и Эбеко).

Спутниковый мониторинг вулканов KVERT выполняет с 2002 г., с 2014 г. для этого применяется информационная система (ИС) “Дистанционный мониторинг активности вулканов Камчатки и Курил” (VolSatView, <http://volcanoes.smislab.ru>) [Гирина и др., 2017; Гордеев и др., 2016; Лупян и др., 2015; Girina, 2012; Gordeev, Girina, 2014; Gordeev et al., 2016].

ИС VolSatView позволяет проводить мониторинг вулканов в режиме реального времени, обнаруживать объекты и определять их параметры: пепловые облака и шлейфы (параметры – высота, длина, площадь, скорость и азимут распространения); термальные аномалии в районах вулканов (параметры – размер и температуры аномалии и фона) [Гирина и др., 2017; Gordeev et al., 2016]. Основываясь на данных мониторинга вулканов в реальном времени, ученые выпускают оперативные сообщения (Volcano Observatory Notice for Aviation, VONA) о пепловых облаках или шлейфах в районах вулканов и/или прогноз эксплозивного извержения, которое может представлять угрозу для населения и авиации. Данные из сообщений VONA размещаются в базе данных

ИС KVERT (“Активность вулканов на Камчатке и Курилах”) [Романова и др., 2016] и в ИС “Вулканы Курило-Камчатской островной дуги” (Volcanoes of the Kurile–Kamchatka Islands Arc, VOKKIA) в геопортале ИВиС ДВО РАН (<http://geoportal.kscnet.ru/volcanoes/van/>) [Романова, 2013; Gordeev et al., 2016]. Основываясь на параметрах пеплового облака или шлейфа, опубликованных в VONA, и текущей метеорологической обстановке в районе Камчатки и Курил, в ИС “Сигнал” Вычислительного центра ДВО РАН в автоматическом режиме производится расчет траектории распространения пеплового облака или шлейфа по модели PUFF [Sorokin et al., 2017], и результат моделирования размещается на сайте KVERT ИВиС ДВО РАН (<http://www.kscnet.ru/ivs/kvert/>).

КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА АКТИВНОСТИ ВУЛКАНОВ в 2016 г.

В 2016 г. извергались пять вулканов Камчатки (Шивелуч, Ключевской, Безымянный, Карымский и Жупановский) и три – Северных Курил (Алаид, Эбеко, Чикурачки) (рис. 1, рис. 2, таблица). Кизимен, Авачинский, Корякский, Горелый, Мутновский и другие вулканы находились в состоянии умеренной парогазовой активности.

Шивелуч – самый северный действующий вулкан Камчатки (см. рис. 1, 2а). Современная структура вулкана включает в себя три основных объекта: вулкан Старый Шивелуч (3283 м), кальдера и активный андезитовый вулкан Молодой Шивелуч (~ 2500 м) [Меняйлов, 1955; Melekestsev et al., 1991]. С 1980 г. до настоящего

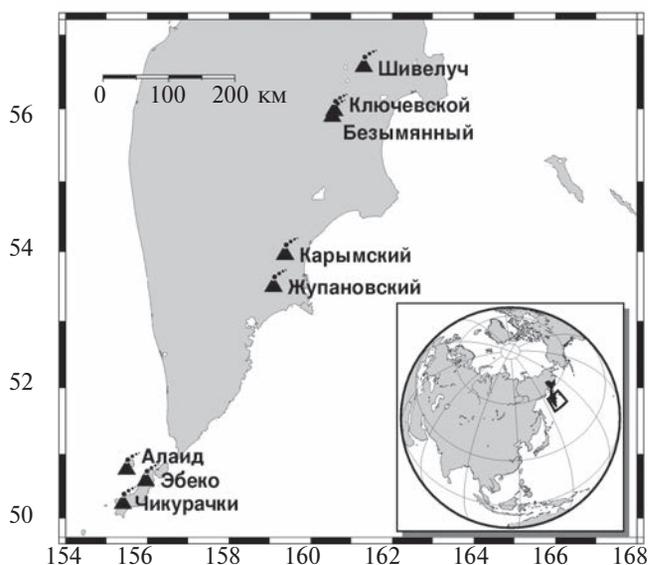


Рис. 1. Расположение вулканов Камчатки и Северных Курил, извергавшихся в 2016 г.

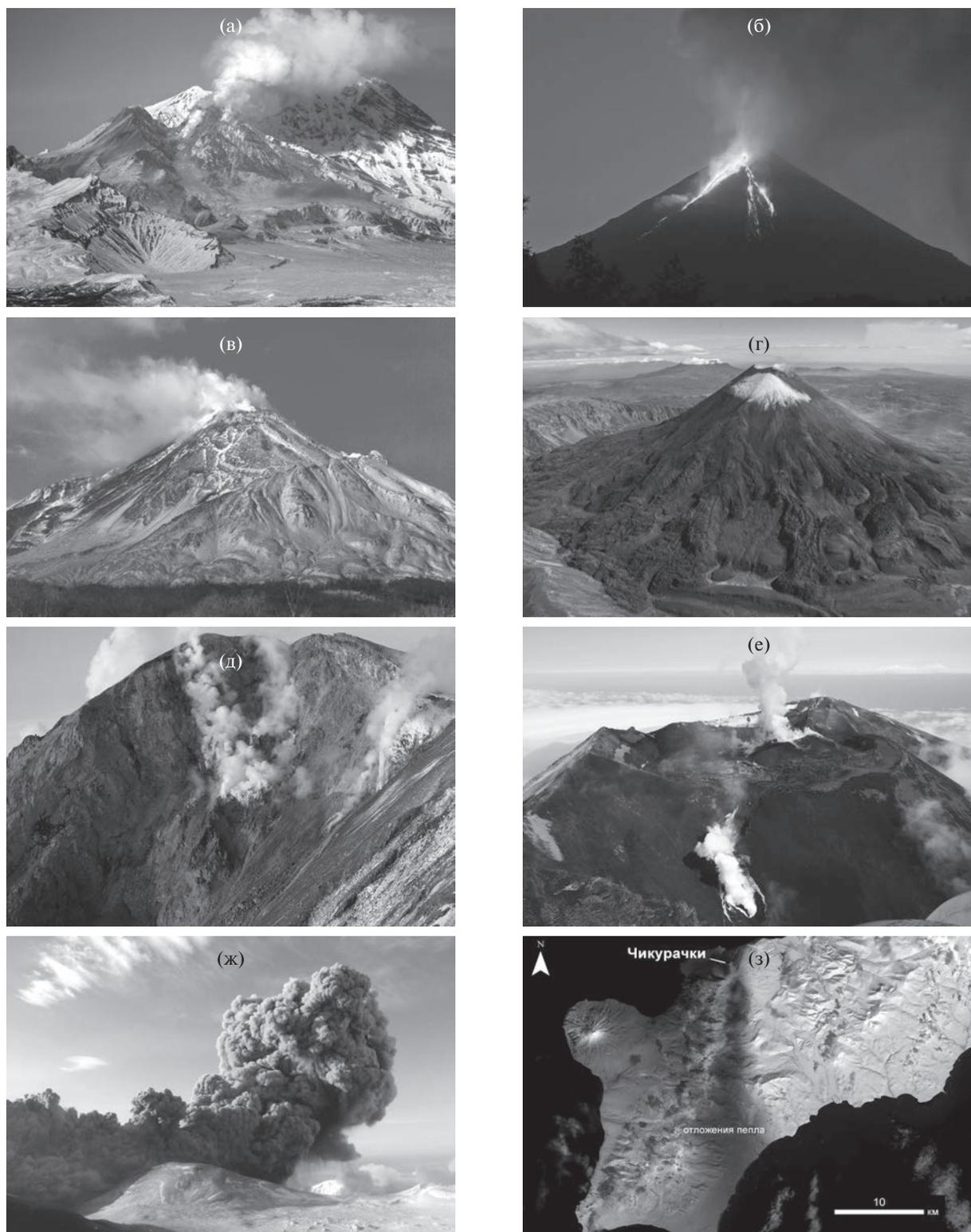


Рис. 2. Активные вулканы Камчатки и Северных Курил в 2016 г.

а – Шивелуч 16 марта, фото Ю. Демянчука, б – Ключевской 7 июля, фото Ю. Демянчука, в – Безымянный 9 октября, фото Е. Сафоновой, г – Карымский 26 сентября, фото R.C. Lopez, д – Жупановский (активный кратер конуса Приемыш) 23 января, фото С. Чиркова, е – Алаид 28 апреля (шлаковый конус, пирокластика и лава внутри кратера 1981 г., лавовый поток на юго-западном склоне вулкана), фото Л. Фигура, ж – Эбеко 10 декабря, фото Л. Котенко, з – Чикурачки 4 апреля (отложения пепла на о. Парамушир), Landsat-8 OLI (первичные данные из ресурса: <https://earthexplorer.usgs.gov/>).

времени в эксплозивном кратере, образовавшемся во время катастрофического извержения вулкана 12 ноября 1964 г., растет экструзивный купол. С 1984 г. до настоящего времени происходят связанные с ростом купола пароксизмальные извер-

жения продолжительностью до нескольких часов и отдельные эксплозии в течение 10–30 мин с выносом пепла до 15 км н.у.м. [Гирина и др., 2007, 2017б; Овсянников, Маневич, 2010; Озеров, Демянчук, 2004; Федотов и др., 1985 и др. авторы].

Извержения вулканов Камчатки и Северных Курил в 2000–2016 гг. по данным KVERT

Вулкан	Дата извержения
Шивелуч	2000–2016; сильные эксплозивные события: 19.05.2001; 09.05.2004; 27.02.2005; 22.09.2005; 29.03.2007; 27.10.2010
Ключевской	22.03.2003–03.03.2004; 15.01–10.04.2005; 15.02–26.07.2007; 08.10.2008–28.01.2009; 17.09.2009–12.12.2010; 01.09.2012–10.01.2013; 15.08–15.12.2013; 01.01–24.03.2015; 03.04–06.11.2016
Безымянный	2000–2016; сильные эксплозивные события: 13.03.2000; 01.11.2000; 06.08.2001; 16.12.2001; 25.12.2002; 26.07.2003; 13.01.2004; 18.06.2004; 11.01.2005; 30.11.2005; 09.05.2006; 24.12.2006; 11.05.2007; 14–15.10.2007; 05.11.2007; 19.08.2008; 16–17.12.2009; 31.05.2010; 13.04.2011; 08.03.2012; 01.09.2012; 15.12.2016
Толбачинский дол	27.11.2012–15.09.2013
Кизимен	09.12.2010–09.12.2013
Карымский	2000–2016, сильное эксплозивное событие: 13–14.05.2006
Жупановский	22–24.10.2013; 06.06.2014–24.03.2016; 20.11.2016
Авачинский	05.10.2001
Корякский	20.12.2008–26.08.2009
Горелый	07.2010–07.2014
Мутновский	17.03.2000; 29.06.2000; 17.04.2007; 03.07.2013
Алаид	06.10–12.12.2012; 01.10.2015–10.08.2016
Эбеко	02–04.2005; 29.01–18.06.2009; 19.10–31.12.2016
Чикурачки	25.01–31.04.2002; 17.04–16.06.2003; 10.03–07.04.2005; 19.03–07.04.2007; 19.08–20.10.2007; 29.07–15.08.2008; 15–19.02.2015; 28–31.03.2016; 27.07.2016; 18–30.08.2016

В 2016 г. продолжался рост лавового купола (выжимание вязкой лавы в его северной части), фумарольная активность и раскаленные лавины сопровождали этот процесс. Весь год в районе вулкана регистрировалась термальная аномалия (рис. 3а).

Активность вулкана в течение года была следующей: с января по апрель наблюдались одиночные пепловые выбросы до 7 км н.у.м. (до 4.5 км над куполом) с распространением пепловых шлейфов до 190 км на запад, север и северо-восток от вулкана (рис. 4а); в мае–августе отмечалась только парогазовая активность, сопровождавшая процесс выжимания экструзии; с середины сентября активность вулкана усилилась: почти еженедельно до конца декабря эксплозии поднимали пепел до 12 км н.у.м. (до 9.5 км над куполом). Сильные эксплозивные события с выносом пепла до 10–12 км н.у.м. (до 7.5–9.5 км над куполом) произошли 10 и 29 января, 18 и 27 февраля, 23 марта, 02 апреля, 02 мая, 18 сентября, 9 и 19 декабря. 18 сентября во время эксплозивной деятельности вулкана в юго-западной части лавового купола обрушились крупные блоки лавы, в результате этого в центральной части его южного склона

и вдоль русла р. Байдарная были сформированы отложения пирокластических потоков протяженностью до 10 км [Горбач и др., 2017]. В течение 9–10 декабря произошло самое сильное эксплозивное событие с выносом пепла до 12 км н.у.м. (до 9.5 км над куполом) и пепловым шлейфом, протянувшимся на более чем 880 км на северо–северо-восток от вулкана. 16–20 декабря, после нескольких взрывов, пепловые шлейфы дрейфовали до 400 км к западу, северу и северо-востоку от вулкана. 17 декабря в п. Ключи был отмечен пеплопад.

Кроме этого, под влиянием сильных ветров, господствовавших в районе Шивелуча, были сформированы шлейфы ресуспендированных пеплов, которые 4 июля перемещались до 65 км на юго-восток, 28–29 сентября – до 100 км на восток, 3–4 октября – до 280 км на юго-восток и юг, 3–4 ноября – до 143 км на восток от вулкана.

В связи с тем, что эксплозии поднимали пепел до 12 км н.у.м., деятельность вулкана Шивелуч в 2016 г. была опасна для международных и местных авиоперевозок.

Ключевской (4750 м) является самым активным и мощным базальтовым вулканом Курило-

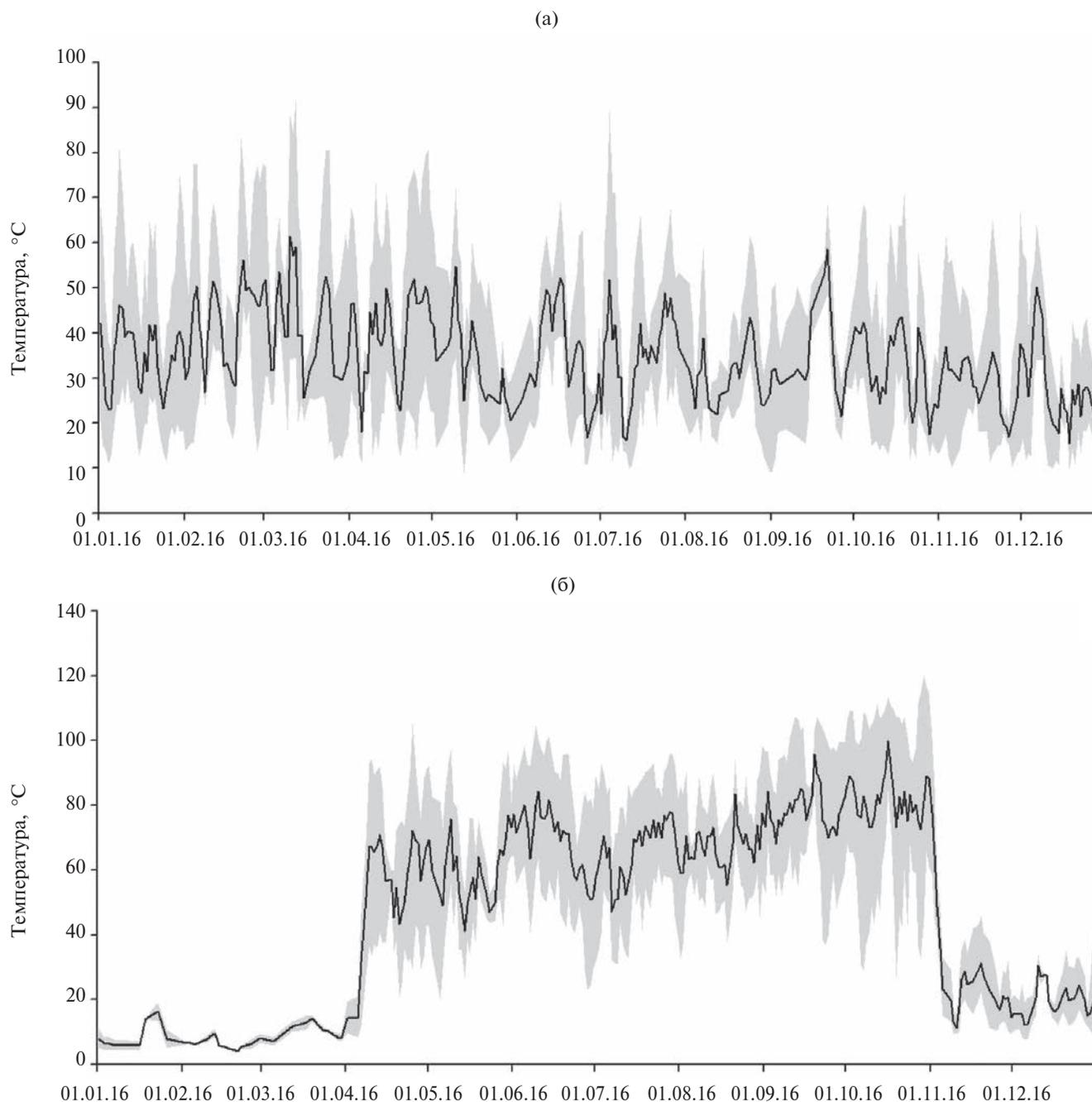


Рис. 3. Изменение температуры термальных аномалий в 2016 г. в районах вулканов.

а — Шивелуч, б — Ключевской, в — Безымянный, г — Алаид. Данные ночных спутниковых снимков приборов MODIS, AVHRR и VIIRS с шагом в два дня обработаны с использованием ИС VolSatView. Черная линия представляет собой среднюю величину разницы между максимальной температурой термальной аномалии и температурой фона спутникового снимка. Серый фон показывает величины максимума и минимума разницы между максимальной температурой термальной аномалии и температурой фона спутникового снимка.

Камчатского вулканического района [Khrenov et al., 1991]. Он расположен в северной части Ключевской группы вулканов Камчатки, примерно в 360 км на северо-восток от г. Петропавловск-Камчатский (см. рис. 1, рис. 26).

В 2016 г. эксплозивно-эффузивное извержение вулкана продолжалось с 3 апреля по 6 нояб-

ря [Гирина и др., 2017в]. Согласно видеоданным KVERT, единичные эпизоды Стромболианской активности отмечались 14, 18 и 19 марта, но температура аномалии в районе вулкана имела отрицательные значения. Следует сказать, что вулкан был закрыт плотной облачностью 16–17 марта, в конце марта свечения над кратером

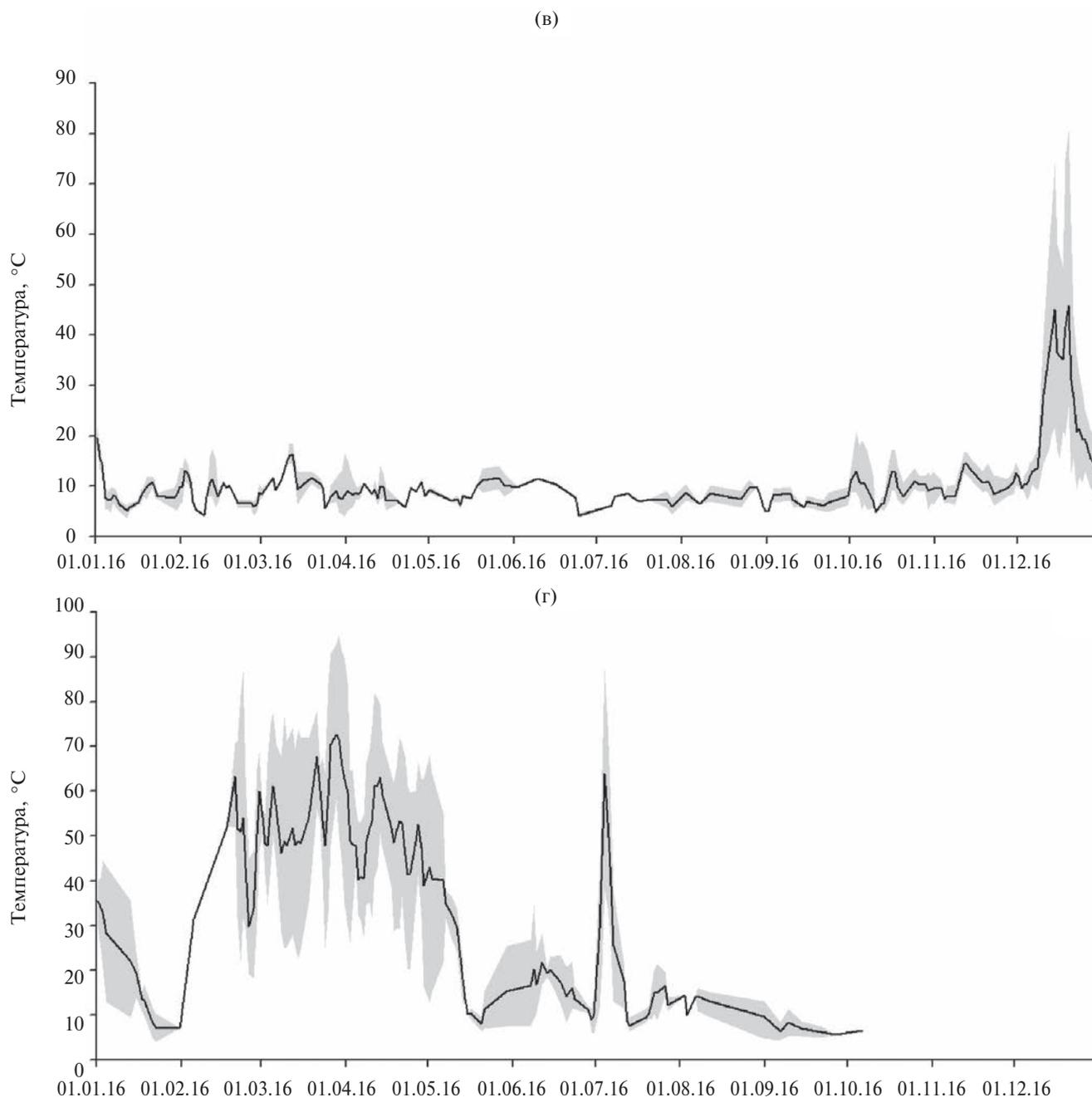


Рис. 3. Окончание

не наблюдалось. Стромболианская фаза эксплозивного извержения началась с 3 апреля — наблюдалось непрерывное свечение над кратером при выбросах вулканических бомб и шлака, термальная аномалия в районе вулкана постоянно регистрировалась с этого времени до конца извержения (см. рис. 3б). Вулканская фаза извержения началась с 14:35 UTC 23 апреля: эксплозии поднимали пепел до 8 км н.у.м. (до 3.3 км над кратером); по спутниковым данным KVERT, в 02:28 UTC 24 апреля фронт пеплового шлейфа был на расстоянии около 460 км к юго-западу

от вулкана. 23–24 апреля началась эффузивная фаза извержения — лавовый поток начал изливаться из вершинного кратера Ключевского вдоль Апахончичского желоба на юго-восточном склоне вулкана, 25 апреля длина его составляла около 0.5 км; размер термальной аномалии начал расти. 26 апреля на склоне вулкана наблюдались грязевые потоки, начинавшиеся от фронта лавового потока.

26 апреля на высоте 4.3–4.4 км н.у.м. произошел прорыв в Апахончичском желобе, отмеченный резким всплеском интенсивности термаль-

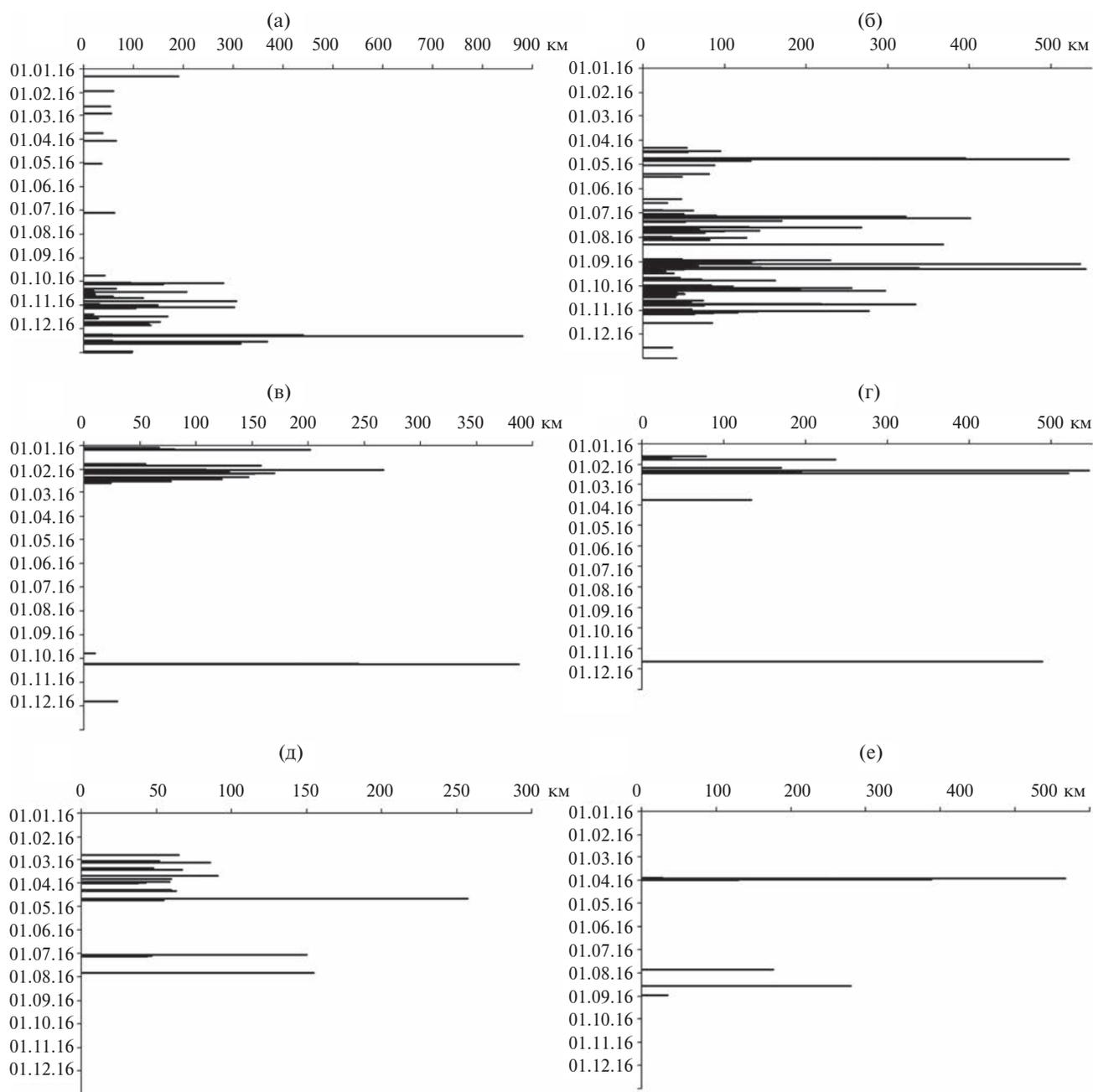


Рис. 4. Протяженность распространения пепловых облаков и шлейфов при извержениях вулканов Камчатки и Северных Курил в 2016 г. по данным из ИС VolSatView.

а – Шивелуч, б – Ключевской, в – Карымский, г – Жупановский, д – Алаид, е – Чикурачки.

ной аномалии в районе вулкана (см. рис. 3б). Начался рост шлакового конуса в месте прорыва и излияния из него лавовых потоков.

3 мая отмечено уникальное событие: образование обвального цирка в верхней части Апахончичского желоба, похожее на произошедшее в Крестовском желобе в 1945 г. [Пийп, 1956] (рис. 5). Отличие этих цирков в том, что в 1945 г. в Крестовский желоб обрушились породы, слабые стенки вершинного кратера, на долгие годы сделав его открытым в желоб; в 2016 г. верхняя кромка обвального цирка находилась на

200 м ниже кромки кратера вулкана, т.е. формирование обвального цирка напрямую было связано с прорывом лавы в Апахончичский желоб, проплавлением захороненных ледников и заполнением образованных полостей материалом обрушений. Обвалы с бортов цирка продолжались в течение нескольких месяцев, один из сильных наблюдался, например, 18 июля, пыль от лавин обломков породы поднималась до 0.5–1 км над склоном вулкана.

Излияние лавовых потоков из разных бокк шлакового конуса прорыва продолжалось

(а)

(б)

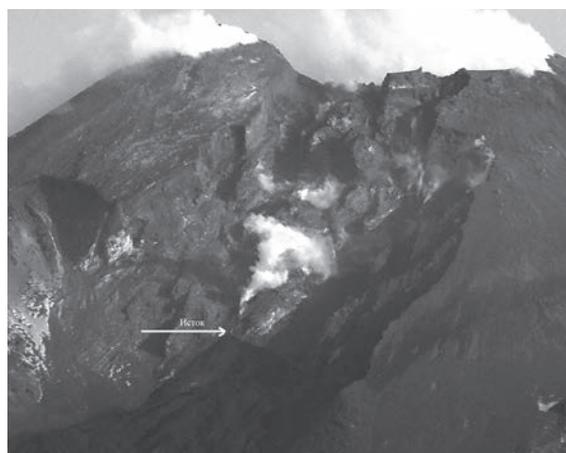


Рис. 5. Обвальный цирк в верхней части Апахончичского желоба вулкана Ключевской.

а – образование цирка в результате серий обрушений пород в желобе с подъемом пепловых облаков до 5.5 км н.у.м. 3 мая 2016 г. по видео данным KVERT; б – фото от 25 мая 2016 г. Ю. Демянчука. Стрелкой указан конус прорыва.

до 6 ноября (рис. 6). Лава заполнила ложе Апахончичского желоба и переливалась через его борта. Время от времени наблюдалось увеличение парогазовой активности и пепловых выбросов из вершинного кратера вулкана, например, 2–4, 13 и 16 мая пепловые шлейфы на высоте до 5–6 км н.у.м. (0.3–1.3 км над кратером) протягивались до 90 км на юг и юго-восток от вулкана. Во второй половине года пепел выбрасывался из кратера почти постоянно, высота его подъема достигала 7–8 км н.у.м. (2.3–3.3 км над кратером), протяженность – более 500 км (см. рис. 4б). С середины августа начал изливаться лавовый поток на юго-западный склон вулкана, причем исток его был на уровне кромки старого кратера Ключевского, т.е. из бокки шлакового конуса, сформировавшегося

на вершине вулкана за последние 10–15 лет. Излияние этого потока наблюдалось в течение месяца – в 20-х числах сентября он уже не отмечался.

7 сентября активность вулкана усилилась, эруптивная колонна поднималась до 7.5 км н.у.м. (2.8 км над кратером), плотный пепловый шлейф протягивался на восток–юго-восток от вулкана. 8 сентября пепловый шлейф вулкана Ключевской наблюдался над вулканами Авачинский и Корякский на высоте около 4 км н.у.м., он сместился в сторону Авачинского залива и там рассеялся.

Постепенно активность вулкана начала снижаться, например, 3–4 ноября пепловые шлейфы последний раз протягивались до 120 км на восток от вулкана. 3 ноября излияние лаво-

(а)

(б)

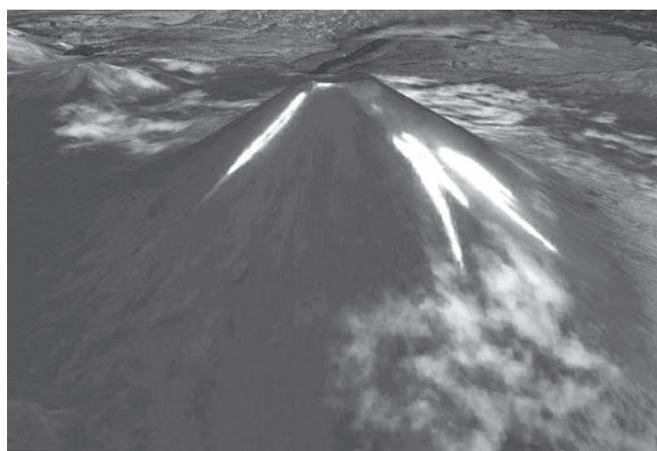
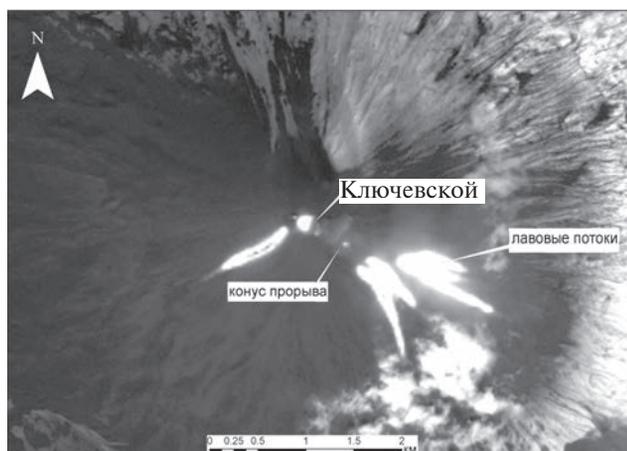


Рис. 6. Излияние лавовых потоков из вершинного кратера Ключевского на западный склон вулкана и из различных бокк шлакового конуса прорыва в Апахончичском желобе на восточном склоне в 00:14 UTC 10 сентября 2016 г.:

а – по данным спутника Landsat-8, б – в 3D-проекции.

вых потоков прекратилось, 4 ноября температура аномалии резко понизилась, хотя в вершинном кратере Ключевского 3–4 ноября наблюдалась Стромболианская деятельность. 6 ноября извержение вулкана закончилось.

Несмотря на то, что 16 ноября, 17 и 31 декабря были зарегистрированы отдельные пепловые выбросы и даже серии пепловых выбросов, связаны они, вероятно, с оттоком магмы по каналу вулкана и обрушением в него пирокластики с бортов кратера.

Во время эксплозивной активности вулкана Ключевской пепел поднимался до 8 км н.у.м., поэтому его деятельность была опасна для международной и местной авиации.

Безымянный (2882 м) является одним из самых активных вулканов Камчатки и мира [Girina, 2013]. Этот андезитовый вулкан расположен в центральной части Ключевской группы вулканов Камчатки, примерно в 315 км к северо-востоку от г. Петропавловск-Камчатский (см. рис. 1, рис. 2в). Предыдущее его эксплозивное извержение произошло 1 сентября 2012 г. [Гирина и др., 2014].

В течение января–ноября 2016 г. наблюдалась умеренная фумарольная активность вулкана, согласно спутниковым данным, слабая термальная аномалия почти постоянно регистрировалась в районе его вершины (см. рис. 3в).

26 августа в северо-восточной части кратера лавового купола было обнаружено экструзивное тело, выжимание которого продолжалось [Гирина и др., 2017а]. С 5 декабря температура аномалии начала расти, предполагалось, что увеличилась интенсивность роста экструзии. 12 декабря было зарегистрировано яркое свечение вершины вулкана, вероятно, начал выжиматься лавовый поток на западный склон купола. Анализ спутниковых данных высокого разрешения подтвердил это предположение. Вероятно, умеренное эксплозивное событие произошло 15 декабря – на спутниковых снимках был отмечен парогазовый шлейф, содержащий некоторое количество пепла, который на высоте 4 км н.у.м. протягивался до 118 км на запад от вулкана. Эффузивное извержение вулкана продолжалось до конца года.

Весь период наблюдений отмечалась умеренная (порой мощная) парогазовая деятельность вулкана Безымянный, 15 декабря пепел поднимался до 4 км н.у.м., в связи с этим его активность была опасна для местных авиоперевозок.

Карымский (1486 м) является одним из наиболее активных вулканов Камчатки [Ivanov et al., 1991]. Он расположен в центральной части Восточной вулканической зоны полуострова, примерно в 115 км к северо-востоку от г. Петропавловск-Камчатский (см. рис. 1, рис. 2г).

Этот андезитовый вулкан находился в состоянии эксплозивного извержения с 1 января 1996 г. по 10 октября 2016 г. Согласно спутниковым и редким визуальным данным, наиболее интенсивная активность вулкана с выносом пепла до 4–5 км н.у.м. (2.5–3.5 км над кратером) и пепловыми шлейфами до 300 км, распространявшимися в восточных направлениях от вулкана, наблюдалась в январе–феврале 2016 г. (см. рис. 4в). В районе кратера вулкана изредка регистрировалась термальная аномалия, температура которой неуклонно снижалась.

7–8 октября на спутниковых снимках были отмечены шлейфы ресупендированных пеплов, которые на высоте до 2.5 км н.у.м. протягивались до 400 км к юго-востоку от вулкана.

Так как пепловые шлейфы вулкана Карымский поднимались до 5 км н.у.м., его деятельность была опасна для местных авиалиний.

Жупановский (2958 м) расположен в юго-восточной зоне Камчатки, в 40 км к северо-востоку от Авачинско-Корякской группы вулканов и в 70 км к северо-востоку от г. Петропавловск-Камчатский (см. рис. 1, рис. 2д). Андезитовый вулкан представляет собой хребет, состоящий из четырех слившихся конусов стратовулканов [Masurenkov et al., 1991]. Активный конус Приемыш (2773 м) с кратером диаметром 450 м примыкает ко второму конусу Жупановского с запада. Предыдущее извержение вулкана произошло в октябре 2013 г. Новое эксплозивное извержение вулкана началось 6 июня 2014 г. и завершилось 20 ноября 2016 г. [Girina et al., 2018].

В 2016 г. отдельные значительные эксплозивные события были зарегистрированы: 19 января (начало события в 04:36 UTC, выбросы пепла до 7.5 км н.у.м. – до 4.5 км над кратером), 21 января (в 05:46 UTC, до 7–8 км н.у.м. – до 4–5 км над кратером), 24 января (в 00:17 UTC, до 8 км н.у.м. – до 5 км над кратером), 5 февраля (в 16:40 UTC, до 7 км н.у.м. – до 4 км над кратером), 7 февраля (в 13:20 UTC, до 5 км н.у.м. – до 2 км над кратером), 9 февраля (в 07:20 UTC, до 7 км н.у.м. – до 4 км над кратером), 12 февраля (в 20:22 UTC, до 10 км н.у.м. – до 7 км над кратером); 24 марта (в 13:50 UTC, до 8.5 км н.у.м. – до 5.5 км над кратером) и 20 ноября (в 02:29 UTC, до 7–8 км н.у.м. – до 4–5 км над кратером) [Гирина и др., 2016; Girina et al., 2018]. Пепловые шлейфы протягивались до 550 км в основном в восточных направлениях от вулкана (см. рис. 4г). Все эксплозивные события были внезапными, без каких-либо предвестников и подготовки.

Крупнейшее эксплозивное событие 2016 г. произошло 12 февраля: пепел был поднят на 10 км н.у.м. (на 7 км над кратером), завершилось

разрушение южной стенки кратера Приемыш [Гирина и др., 2016б; Girina et al., 2018]. Согласно спутниковым данным из ИС VolSatView, фронт пеплового шлейфа находился на расстоянии 195 км от вулкана в 23:40 UTC 12 февраля и на 520 км в 09:30 UTC 13 февраля. Следует отметить, что в районе Приемыша до этого эксплозивного события регистрировалась слабая термальная аномалия.

После перерыва в деятельности вулкана, продолжавшегося 40 дней, 24 марта эксплозии подняли пепел до 8.5 км н.у.м. (до 5.5 км над кратером), у подножия Приемыша были сформированы небольшие отложения пирокластических потоков и обвала части конуса; пепел отложился на площади не менее 200 км² [Гордеев и др., 2016]. В завершение извержения Жупановского в 2014–2016 гг. 20 ноября 2016 г. эксплозии подняли пепел до 7 км н.у.м. (до 4 км над кратером), пепловый шлейф протянулся до 500 км к востоку от вулкана (см. рис. 4г).

В связи с тем, что пепел при эксплозиях вулкана Жупановский поднимался до 10 км н.у.м., его активность была опасна для международной и местной авиации.

Алаид (2339 м), самый северный действующий вулкан Курильской островной гряды, находится на о. Атласова в Охотском море в 320 км к юго-западу от г. Петропавловск-Камчатский (см. рис. 1, рис. 2е). На склонах этого базальтового вулкана расположено более 30 шлаковых конусов, последние из которых образовались в 1972 г. Предыдущее вершинное извержение Алаида происходило с 6 октября до 12 декабря 2012 г. [Рашидов и др., 2012].

Извержение вулкана продолжалось с 1 октября 2015 г. до 10 августа 2016 г. Термальная аномалия в районе кратера вулкана отмечалась на спутниковых снимках с 1 января по 18 августа 2016 г. (см. рис. 3г). 20 февраля был зарегистрирован первый пепловый шлейф, протянувшийся на высоте 3 км н.у.м. (0.7 км над кратером) на 50 км на восток от вулкана (см. рис. 4д). Активность Алаида росла, температура аномалии повышалась, стали чаще наблюдаться пепловые шлейфы, например, в феврале–апреле пепловые шлейфы протягивались до 300 км от вулкана. 22 марта в южной части большого шлакового конуса, образованного во время извержения 1981 г. и заполненного пирокластикой при извержениях в 2012 и 2015 гг., был обнаружен новый шлаковый конус с диаметром основания около 250 м и диаметром кратера 75 м. Дно кратера вулкана Алаид (включая кратер конуса 1981 г.) было заполнено свежими пирокластическими и лавовыми образованиями (рис. 7).

Эксплозивная активность вулкана повысилась во время эксплозивного извержения вул-

кана Чикурачки на о. Парамушир 28–31 марта: с 29 марта по 1 апреля пепловые шлейфы Алаида перемещались от него до 60 км к востоку, югу и юго-западу. 10 мая на спутниковом снимке Landsat-8 был обнаружен лавовый поток, спустившийся из вершинного кратера вулкана по юго-западному склону примерно на 300 м. Шлаковый конус и лавовый поток наблюдались 28 апреля с вертолета (см. рис. 2е). 3–4 июля отмечались пепловые шлейфы, которые на высоте 2.5 км н.у.м. протягивались до 150 км на юго-запад от вулкана.

7 июля на спутниковых снимках наблюдались уже три слившихся шлаковых конуса — два с диаметрами кратеров 75 м и 37 м выросли на южном и юго-западном склонах первого шлакового конуса. В результате деятельности этих конусов на южный склон вулкана был извергнут свежий пирокластический материал, площадь отложений которого составила ~ 0.5 км² [Мельников и др., 2018]. С середины июля активность вулкана постепенно ослабела, и 10 августа 2016 г. извержение закончилось.

Пепел при эксплозиях вулкана Алаид поднимался до 3 км н.у.м., поэтому его активность была опасна для местных авиалиний.

Эбеко (1156 м), самый северный вулкан хребта Вернадского о. Парамушир Северных Курил, расположен в 7 км к западу–северо-западу от г. Северо-Курильск и в 320 км к юго-западу



Рис. 7. Новый шлаковый конус в южной части кратера 1981 г. вулкана Алаид на спутниковом снимке Ресурс-П от 22 марта 2016 г. Кратер 1981 г. заполнен отложениями пирокластики и лавы извержения 2015–2016 гг.

от г. Петропавловск-Камчатский (см. рис. 1, рис. 2ж). Предыдущее извержение этого андезитового вулкана происходило с 29 января по 18 июня 2009 г. [Котенко и др., 2010].

Эксплозивное извержение вулкана началось 19 октября и продолжалось до конца года. По словам наблюдателей из г. Северо-Курильск, в 22:30 и 22:45 по UTC 19 октября и в 02:10 и 02:56 UTC 20 октября из Активного кратера вулкана происходили выбросы пепла до 1.5 км н.у.м. (до 0.4 км над кратером), пепловые шлейфы протягивались до 15 км к востоку–северо-востоку от вулкана. С 8 ноября, согласно визуальным данным, выбросы пепла до 2.6 км н.у.м. (до 1.5 км над кратером) возобновились, пепловые шлейфы перемещались до 15–20 км на восток и северо-восток от вулкана. По спутниковым данным KVERT, термальная аномалия в районе вулкана в эти дни не наблюдалась. С 8 декабря активность вулкана повысилась, выбросы пепла происходили из двух кратеров – Активного и Среднего. Согласно спутниковым данным KVERT, 8–9 и 12 декабря в районе вулкана была отмечена слабая термальная аномалия. Выбросы пепла до 3 км н.у.м. (до 1.9 км над кратером) наблюдались 8–10, 12–14, 17, 19–27 и 31 декабря. В эти дни также отмечались пеплопады в г. Северо-Курильск.

В связи с выбросами пепла до 3 км н.у.м. и пеплопадами в г. Северо-Курильск, деятельность Эбеко была опасна для местных авиаперевозок.

Чикурачки (1816 м), самый северный вулкан хребта Карпинского о. Парамушир Северных Курил, расположен в 375 км к юго-западу от г. Петропавловск-Камчатский (см. рис. 1, рис. 2з). Предыдущее извержение этого андезитового вулкана происходило 15–19 февраля 2015 г. [Гирина и др., 2016а].

Извержение вулкана Чикурачки в 2016 г. наблюдалось в период с 28 марта по 30 августа.

Первое эксплозивное событие продолжалось с 28 по 31 марта. Парогазовый шлейф, содержащий небольшое количество пепла, протянувшийся на 30 км от вулкана, впервые был отмечен на спутниковом снимке в 19:34 UTC 28 марта, тогда же единственный раз за время извержения наблюдалась термальная аномалия в районе его кратера [Гирина и др., 2016в]. Наибольшая высота пеплового шлейфа (4 км н.у.м. – 2.2 км над кратером) зарегистрирована в 16:32 UTC 29 марта. 30 марта пепловые шлейфы перемещались в основном на юго–юго-восток и юго-запад от вулкана, после 17:00 UTC 31 марта пепловый шлейф рассеялся (см. рис. 4е) [Гирина и др., 2016в].

Следующее событие произошло 27 июля: в 05:48 UTC на спутниковых снимках был об-

наружен пепловый шлейф, который на высоте 4–5 км н.у.м. (2.2–3.2 км над кратером) дрейфовал на северо-восток от вулкана; в 15:28 UTC фронт шлейфа находился на расстоянии 180 км от вулкана, небольшой пеплопад наблюдался в г. Северо-Курильск.

Третий эксплозивный эпизод был отмечен 17–18 августа. С 23:32 UTC 17 августа по 05:00 UTC 18 августа на спутниковых снимках регистрировалась мощная парогазовая активность вулкана; с 05:20 UTC 18 августа в парогазовых выбросах начал отмечаться пепел. В 06:30 UTC 18 августа эксплозии поднимали пепел до 2.5 км н.у.м. (0.7 км над кратером), шлейф протягивался до 140 км на северо-восток от вулкана. С 11:30 UTC 19 августа пепел на спутниковых снимках не регистрировался.

Последний эпизод эксплозивной активности вулкана произошел 30 августа: на спутниковых снимках был зарегистрирован пепловый шлейф, протянувшийся до 35 км на юго-восток от вулкана. С 31 августа до конца года вулкан был спокойным.

В связи с тем, что во время эксплозивной активности вулкана Чикурачки пепел поднимался до 5 км н.у.м., его деятельность была опасна для местной авиации.

ОБСУЖДЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ И ВЫВОДЫ

Ежедневная оценка степени опасности для населения и авиации каждого из 36 действующих вулканов на основании их видео-визуального и спутникового мониторинга в течение 25 лет, опыт исследований различных типов извержений в полевых условиях, анализ опубликованных материалов о вулканической деятельности на Камчатке и Курильских островах, составление сводок ежегодной активности вулканов, анализ динамики развития отдельных извержений и изменения деятельности каждого из вулканов с течением времени, сопоставление поведения вулканов, поставляющих на поверхность земли эруптивные продукты сходного и контрастного составов в течение года и на протяжении десятилетий, позволяет лучше понимать деятельность вулканов Камчатки и Северных Курил.

Ежегодная активность камчатских вулканов очень высока, например, в 2010 г. работало 6 вулканов, в 2011 г. – 5, в 2012 г. – 7, в 2013 г. – 7, в 2014 г. – 4, в 2015 г. – 4, в 2016 г. – 5 (см. таблицу) [Гирина и др., 2017б]. В XXI веке (2000–2016 гг.) пять вулканов Камчатки извергались после длительного периода покоя (от 30 до 80 лет): Корякский (2008–2009 гг.), Горелый (2010–2014 гг.), Кизимен (2010–2013 гг.), Толбачинский Дол (2012–2013 гг.), Жупановский (2013–2016 гг.) (<http://www.kscnet.ru/ivs/kvert/>).

За 16 лет XXI века произошло 65 извержений 11-ти вулканов продолжительностью от нескольких часов до трех лет на Камчатке (Шивелуч, Ключевской, Безымянный, Толбачик, Кизимен, Карымский, Жупановский, Авачинский, Корякский, Горелый, Мутновский) и 15 извержений трех вулканов Северных Курил, продолжавшихся от нескольких дней до одиннадцати месяцев (Алаид, Эбеко и Чикурачки) (см. таблицу).

Анализ данных видео-визуального и спутникового мониторинга вулканов за 2016 г. показал следующее.

1. В течение 2016 г. извергались пять вулканов Камчатки и три вулкана Северных Курил. Извержение Шивелуча продолжалось 365 дней, Ключевского – 218 дней, Безымянного – 26 дней, Карымского – 60 дней, Жупановского – 50 дней, Алаида – 230 дней, Эбеко – 74 дня, Чикурачки – 8 дней. Ежемесячно от трех до пяти вулканов находились в состоянии извержения (Шивелуч, Карымский, Жупановский, Алаид и Чикурачки – в марте; Шивелуч, Ключевской, Карымский, Алаид и Чикурачки – в августе; Шивелуч, Ключевской и Карымский – в сентябре; Шивелуч, Безымянный и Эбеко – в декабре; в каждом из других месяцев работали четыре разных вулкана: например, Шивелуч, Карымский, Жупановский и Алаид – в январе; Шивелуч, Ключевской, Жупановский и Эбеко – в ноябре) (см. таблицу).

2. Впервые за исторический период три вулкана Северных Курил извергались в течение одного года.

3. Для всех извергавшихся вулканов существовала фаза эксплозивной активности (см. рис. 4). Рост лавового купола Шивелуча происходил в течение большей части года, сильные эксплозивные события наблюдались в основном в сентябре–декабре. Выбросы пепла происходили в течение всего извержения вулкана Ключевской. Некоторая синхронность эксплозивных событий отмечалась на вулканах Карымский и Жупановский, а также на вулканах Алаид и Чикурачки (см. рис. 4). Кроме этого, высокая эксплозивная активность вулканов Карымский, Жупановский, Алаид и Чикурачки в основном наблюдалась в первой половине года (см. таблицу).

4. Эксплозивные события с выбросом пепла до 12 км н.у.м. произошли на Шивелуче; до 8–10 км н.у.м. – на Шивелуче, Ключевском и Жупановском; до 3–5 км н.у.м. – на Карымском, Алаиде, Эбеко и Чикурачки. В связи с этим, деятельность вулканов Шивелуч, Ключевской и Жупановский была опасна для международных и местных авиаперевозок, деятельность вулканов Безымянный, Карымский,

Алаид, Эбеко и Чикурачки – для местных авиаперевозок.

5. Общая площадь территории, покрытой пеплом в 2016 г. (с учетом наиболее протяженных пепловых шлейфов длиной до 1 500 км), оценивается в 600 000 км², из которых 460 000 км² связаны с извержениями камчатских вулканов и 140 000 км² – с извержениями вулканов Северных Курил (рис. 8). Для сравнения: в 2015 г. при извержениях пяти вулканов площадь отложений пепла составила 1 360 000 км², из них 1 300 000 км² территории связаны с извержениями камчатских вулканов и 60 000 км² – с извержениями вулканов Северных Курил.

6. В 2016 г. на вулканах Шивелуч и Безымянный продолжался рост лавовых куполов, яркие термальные аномалии в районах этих вулканов прекрасно отражали экструзивные и эффузивные процессы, происходившие в течение всего года на Шивелуче и 5–31 декабря на Безымянном (см. рис. 3).

7. Излияния и выжимания лавы наблюдались при извержениях вулканов Шивелуч, Ключевской, Безымянный и Алаид. В такие периоды средние температуры термальных аномалий (средняя величина разницы между максимальной температурой термальной аномалии и температурой фона на спутниковом снимке) в районах базальтовых вулканов (Ключевской и Алаид) были 54–50°C, андезитовых вулканов (Шивелуч и Безымянный) составляли 35–30°C

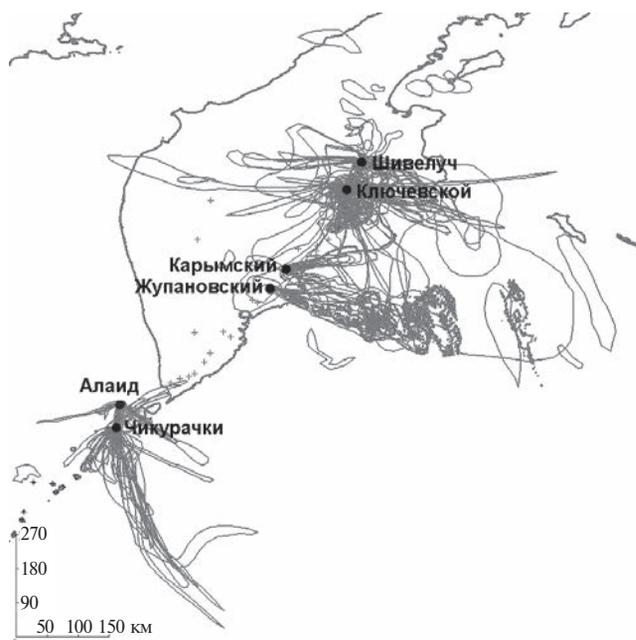


Рис. 8. Визуализация распространения пепловых шлейфов при извержениях вулканов Камчатки и Северных Курил в 2016 г. по данным из ИС VolSatView [Gordeev et al., 2016].

(см. рис. 3). Повышенные температуры аномалий в районах базальтовых вулканов обусловлены относительно малой вязкостью лав базальтового состава и непрерывным быстрым поступлением их на поверхность земли, в отличие от медленно выжимающихся на склоны вулканов вязких андезитовых лав.

8. Во время вершинного извержения вулкана Ключевской в Апахончичском желобе на высоте 4.3–4.4 км н.у.м. 26 апреля произошел боковой прорыв, из которого излилась наибольшая масса лавовых потоков этого извержения. Боковой прорыв спровоцировал образование 3 мая обвального цирка в верхней части Апахончичского желоба, похожего на описанный Б.И. Пийпом [1956] обвальный цирк в Крестовском желобе в 1945 г. По предложению д.г.-м.н. А.Ю. Озерова, этот боковой прорыв назван в честь ученого-вулканолога с мировым именем, автора теории вулканического происхождения земной коры, гидросферы, атмосферы и биосферы, основателя научного направления “биовулканология”, поднимавшегося на вулкан Ключевской во время его извержения в 1961 г., начальника Камчатской вулканологической станции им. Ф.Ю. Левинсона-Лессинга в 1958–1962 гг., д.г.-м.н. Евгения Константиновича Мархина.

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа выполнена при поддержке проекта РНФ (№ 16-17-00042).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Гирин О.А., Гордеев Е.И.* Проект KVERT – снижение вулканической опасности для авиации при эксплозивных извержениях вулканов Камчатки и Северных Курил // Вестник ДВО РАН. 2007. № 2. С. 100–109.
- Гирин О.А., Демянчук Ю.В., Давыдова В.О., Плечов П.Ю.* Извержение вулкана Безымянный 01 сентября 2012 г., его прогноз и продукты // Вулканизм и связанные с ним процессы. Материалы XVI научной конференции, посвященной Дню вулканолога, 28–29 марта 2013 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2014. С. 30–35.
- Гирин О.А., Маневич А.Г., Мельников Д.В. и др.* Активность вулканов Камчатки и Северных Курил в 2015 г. и их опасность для авиации // Вулканизм и связанные с ним процессы. Материалы XIX научной конференции, посвященной Дню вулканолога, 29–30 марта 2016 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2016а. С. 35–45.
- Гирин О.А., Маневич А.Г., Мельников Д.В. и др.* Эксплозивная активность вулкана Жупановский в 2016 г. // Вулканизм и связанные с ним процессы. Материалы XIX научной конференции, посвященной Дню вулканолога, 29–30 марта 2016 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2016б. С. 24–34.
- Гирин О.А., Маневич А.Г., Нурждаев А.А., Сорокин А.А.* Извержение вулкана Чикучаки (о. Парамушир, Северные Курилы) в 2016 г. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2016в. Т. 13. № 2. С. 235–239. doi: 10.21046/2070-7401-2016-13-2-235-239
- Гирин О.А., Мельников Д.В., Демянчук Ю.В., Маневич А.Г.* Извержение вулкана Безымянный в 2016–2017 гг. по данным KVERT // Вулканизм и связанные с ним процессы. Материалы XX научной конференции, посвященной Дню вулканолога, 30–31 марта 2017 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2017а. С. 14–17.
- Гирин О.А., Мельников Д.В., Маневич А.Г.* Спутниковый мониторинг вулканов Камчатки и Северных Курил // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2017б. Т. 14. № 6. С. 194–209. doi: 10.21046/2070-7401-2017-14-6-194-209
- Гирин О.А., Мельников Д.В., Маневич А.Г. и др.* Хронология событий извержения влк. Ключевской в 2016 г. по данным KVERT // Вулканизм и связанные с ним процессы. Материалы XX научной конференции, посвященной Дню вулканолога, 30–31 марта 2017 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2017в. С. 18–21.
- Гирин О.А., Ушаков С.В., Демянчук Ю.В.* Пароксизмальное извержение вулкана Молодой Шивелуч, Камчатка, 9 мая 2004 г. // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2007. Вып. 10. № 2. С. 65–73.
- Горбач Н.В., Гавриленко М.Г., Филозофова Т.М.* Химический и минеральный составы продуктов извержения вулкана Молодой Шивелуч в сентябре 2016 г. // Вулканизм и связанные с ним процессы. Материалы XX научной конференции, посвященной Дню вулканолога, 30–31 марта 2017 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2017. С. 26–29.
- Гордеев Е.И., Гирин О.А., Лупян Е.А. и др.* IS VolSatView: комплексный анализ данных об эксплозивных извержениях вулканов Камчатки // Вестник ДВО РАН. 2016. № 5. С. 120–127.
- Котенко Т.А., Котенко Л.В., Сандимирова Е.И. и др.* Извержение вулкана Эбеко в январе–июне 2009 г. (о. Парамушир, Курильские острова) // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2010. Вып. 15. № 1. С. 56–68.
- 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. 247–267.
- Мельников Д.В., Маневич А.Г., Гирин О.А.* Динамика извержения вулкана Алаид в 2012 и 2015–2016 гг. по данным методов дистанционного зондирования // Вулканизм и связанные с ним процессы. Материалы XXI научной конференции,

- посвященной Дню вулканолога, 2–30 марта 2018 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2018. С. 20–23.
- Меняйлов А.А.* Вулкан Шивелуч – его геологическое строение, состав и извержения // Тр. Лаб. вулканологии АН СССР. М.: Изд-во АН СССР, 1955. Вып. 9. 264 с.
- Овсянников А.А., Маневич А.Г.* Извержение вулкана Шивелуч в октябре 2010 г. // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2010. Вып. 16. № 2. С. 7–9.
- Озеров А.Ю., Демянчук Ю.В.* Пароксизмальное извержение вулкана Молодой Шивелуч 10 мая 2004 г. // Вулканология и сейсмология. 2004. № 5. С. 75–80.
- Пийп Б.И.* Ключевская сопка и ее извержения в 1944–1945 гг. и в прошлом // Тр. Лаб. вулканологии АН СССР. М.: Изд-во АН СССР, 1956. Вып. 11. 312 с.
- Рашидов В.А., Малик Н.А., Фирстов П.П. и др.* Активизация вулкана Алаид (Курильские острова) в 2012 году // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2012. Вып. 20. № 2. С. 9–15.
- Романова И.М.* Геопортал ИВиС ДВО РАН как единая точка доступа к вулканологическим и сейсмологическим данным // Геоинформатика. 2013. № 1. С. 46–54.
- Романова И.М., Гирина О.А., Мельников Д.В. и др.* База данных “Активность вулканов Камчатки и Северных Курил”. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2016620357. 17 марта 2016 г. М., 2016.
- Федотов С.А., Иванов Б.В., Двигало В.Н. и др.* Деятельность вулканов Камчатки и Курильских островов в 1984 г. // Вулканология и сейсмология. 1985. № 5. С. 3–23.
- Girina O.A.* Chronology of Bezymianny Volcano activity, 1956–2010 // J. of Volcanol. and Geoth. Res. 2013. V. 263. P. 22–41. doi: 10.1016/j.jvolgeores.2013.05.002
- Girina O.A.* On precursor of Kamchatkan volcanoes eruptions based on data from satellite monitoring // J. of Volcanol. and Seismol. 2012. V. 6. № 3. P. 14–149. doi: 10.1134/S0742046312030049
- Girina O.A., Loupian E.A., Sorokin A.A. et al.* Satellite and Ground-Based Observations of Explosive Eruptions on Zhupanovsky Volcano, Kamchatka, Russia in 2013 and in 2014–2016 // J. of Volcanol. and Seismol. 2018. V. 12. № 1. P. 1–15. doi: 10.1134/S0742046318010049
- Gordeev E.I., Girina O.A.* Volcanoes and their hazard to aviation // Herald of the Russian Academy of Sciences. 2014. V. 84. № 2. P. 134–142. doi: 10.1134/S1019331614010079
- Gordeev E.I., Girina O.A., Loupian E.A. et al.* The VolSatView information system for monitoring the volcanic activity in Kamchatka and on the Kuril Islands // J. of Volcanol. and Seismol. 2016. № 10. P. 382–394. doi: 10.1134/S074204631606004X
- Igarashi Y., Girina O., Osiensky J., Moore D.* International Coordination in Managing Airborne Ash Hazards: Lessons from the Northern Pacific // Advances in Volcanology / Eds C.J. Fearnley, D.K. Bird, K. Haynes, W.J. McGuire, G. Jolly. IAVCEI, Barcelona: Springer, Cham, 2017. P. 529–547. doi: 10.1007/11157_2016_45.
- Ivanov B.V., Braitseva O.A., Zubin M.I.* Karymsky Volcano // Active volcanoes of Kamchatka / Eds S.A. Fedotov, Yu.P. Masurenkov. M.: Nauka, 1991. V. 2. P. 202–203.
- Kiryanov V.* Volcanic Ash in Kamchatka as a Source of Potential Hazard to Air Traffic. Volcanic Ash and Aviation Safety // Proc. First Intern. Symp. Volcanic Ash and Aviation safety // US Geological Survey Bull. 1992. V. 2047. P. 57–63.
- Khrenov A.P., Dvigalo V.N., Kirsanov I.T.* Klyuchevskoy volcano // Active volcanoes of Kamchatka / Eds S.A. Fedotov, Yu.P. Masurenkov. M.: Nauka, 1991. V. 1. P. 146–153.
- Masurenkov Yu.P., Florensky I.V., Melekestsev I.V.* Zhupanovsky Volcano // Active volcanoes of Kamchatka / Eds S.A. Fedotov, Yu.P. Masurenkov. M.: Nauka, 1991. V. 2. P. 226–227.
- Melekestsev I.V., Volynets O.N., Ermakov V.A. et al.* Sheveluch Volcano // Active volcanoes of Kamchatka / Eds S.A. Fedotov, Yu.P. Masurenkov. M.: Nauka, 1991. V. 1. P. 98–103.
- Miller T., Casadevall T.* Volcanic ash hazards to aviation // Encyclopedia of Volcanoes / Ed. H. Sigurdsson. San Diego, San Francisco, New York, Boston, London, Sydney, Toronto: Academic Press, 2000. P. 915–930.
- Neal Ch., Girina O., Senyukov S. et al.* Russian eruption warning systems for aviation // Natural Hazards. 2009. V. 51. № 2. P. 245–262.
- Sorokin A.A., Girina O.A., Loupian E.A. et al.* Satellite observations and numerical simulation results for the comprehensive analysis of ash cloud transport during the explosive eruptions of Kamchatka volcanoes // Russian Meteorology and Hydrology. 2017. V. 42. № 12. P. 759–765. doi: 10.3103/S1068373917120032.

2016 VOLCANO ERUPTIONS IN KAMCHATKA AND THE NORTHERN KURILES AND THEIR DANGER TO AVIATION

O. A. Girina^{1, *}, A. G. Manevich¹, D. V. Melnikov¹, A. A. Nuzhdaev¹, E. G. Petrova²

¹*Institute of Volcanology and Seismology, Far East Branch, Russian Academy of Sciences, bul'var Piipa 9, Petropavlovsk-Kamchatsky, 683006 Russia*

²*Faculty of Geography Lomonosov State University, Leninskie Gory 1, Moscow, 119991 Russia*

**e-mail: girina@kscnet.ru*

Received March 26, 2018

Strong explosive volcanic eruptions are extremely dangerous to the modern jet aircraft as they can produce several cubic kilometers of volcanic ash and aerosols that can be sent to the atmosphere and the stratosphere in several hours to several days during the eruption. In 2016, five from thirty active volcanoes erupted in Kamchatka (Sheveluch, Klyuchevskoy, Bezymianny, Karymsky, and Zhupanovsky) and three from six active volcanoes in the Northern Kuriles (Alaid, Ebeko, and Chikurachki). Effusive volcanic activity was noted at Sheveluch, Klyuchevskoy, Bezymianny and Alaid. All the volcanoes produced explosive activity. Strong explosive events occurred at Sheveluch mainly from September till December. Moderate ash emission had accompanied of Klyuchevskoy's eruption through March till November. Explosive activity at Karymsky, Zhupanovsky, Alaid, and Chikurachki volcanoes was observed mainly in the first half of the year. The total area covered by ash in 2016 was estimated 600,000 km², from which 460,000 km² were related to the eruptions of Kamchatka volcanoes and 140,000 km² were attributed to the eruption of the North Kuriles volcanoes. The activity at Sheveluch, Klyuchevskoy, and Zhupanovsky was dangerous to international and local airlines as explosions produced ash up to 10-12 km above sea level. The activity at Bezymianny, Karymsky, Alaid, Ebeko, and Chikurachki posed a threat to local aircrafts when explosions sent ash up to 5 km above sea level.

Key words: volcano, explosive eruption, Kamchatka, Kurile.