



УДК 551.21.

О. А. Гирина, А. Г. Маневич, Д. В. Мельников, А. А. Нуждаев,
Ю. В. Демянчук

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

Извержения вулкана Ключевской в 2012–2013 гг.

Описана динамика двух извержений вулкана Ключевской, происходивших с 1 сентября 2012 г. по 10 января 2013 г. и с 15 августа по 15 декабря 2013 г.

Введение

Вулкан Ключевской — самый высокий действующий вулкан Евразии и один из наиболее активных и продуктивных вулканов мира. Например, за последние 20 лет (1993–2013 гг.) произошло 12 извержений Ключевского: с 15 марта 1993 г. по 2 октября 1994 г.; с февраля по апрель 1995 г.; с января по сентябрь 1997 г.; с февраля по сентябрь 1998 г.; с мая по декабрь 1999 г.; с 22 марта 2003 г. по 3 марта 2004 г.; с 10 января по 3 апреля 2005 г.; с 15 февраля по 26 июля 2007 г.; с 16 октября 2008 г. по 29 января 2009 г.; с 18 сентября 2009 г. по 4 ноября 2010 г.; с 1 сентября 2012 г. по 10 января 2013 г.; с 15 августа по 15 декабря 2013 г. [1].

Извержение 2012–2013 гг.

Начиная с 1 сентября 2012 г. в районе кратера вулкана отмечалась слабая термальная аномалия, что указывало на поступление нового магматического вещества в его постройку (рис. 1). С 14 октября в тёмное время суток над кратером вулкана начало наблюдаться яркое свечение, то есть лава достигла кратера и началась стромболианская фаза извержения. Термальная аномалия увеличилась в размере, температура её повысилась. Фонтанирование лавы в кратере продолжалось до 7 января 2013 г., но пепловые шлейфы в районе вулкана на спутниковых снимках не наблюдались. С 7 до 19 января район вулкана был закрыт облачностью; после улучшения погоды, начиная с 20 января, свечения над его кратером больше не наблюдалось, то есть извержение закончилось. Судя по сейсмичности вулкана (согласно данным КФ ГС РАН:¹ с 9 января резко уменьшилось количество вулканических землетрясений 4-го типа, и перестали регистрироваться слабые землетрясения этого типа ($A/T < 0,5$, где A — амплитуда и T — период), хотя величина вулканического дрожания не изменилась. Вероятно, окончанием этого извержения Ключевского можно считать 10 января 2013 г.

В период с 20 января по 14 августа 2013 г. вулкан Ключевской находился в состоянии относительного

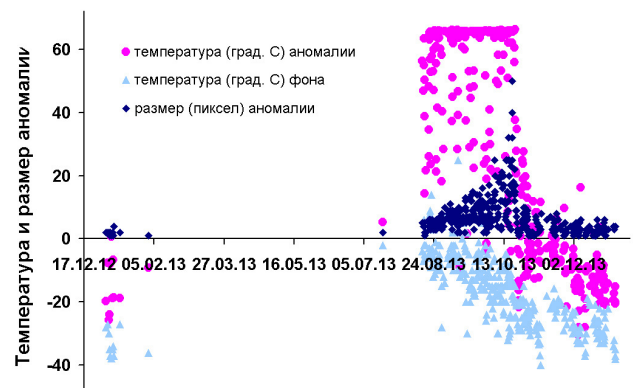


Рис. 1. Изменение температуры и размера термальной аномалии в районе вулкана Ключевской в 2013 г. Обработка спутниковых данных выполнена сотрудниками группы KVERT.

покоя, поэтому Авиационный цветовой код вулкана был Зелёный. Сейсмичность вулкана в это время характеризовалась повышенным количеством вулканических землетрясений на глубине около 30–40 км и редкими поверхностными событиями².

Извержение 2013 г.

15 августа 2013 г. в 06:30 UTC (согласно данным КФ ГС РАН) сейсмичность вулкана резко повысилась — величина вулканического дрожания увеличилась с 0,22 до 3,36 мкм/с; с этого дня в тёмное время суток над кратером визуально наблюдалось мощное свечение, что указывало на стромболианскую активность вулкана (фонтанирование лавы в кратере); в районе вулкана на спутниковых снимках начала постоянно отмечаться термальная аномалия (рис. 1). Сразу же, согласно видеоданным, с 15 августа начали наблюдаться парогазовые шлейфы, содержавшие небольшое количество пепла, которые на высоте до 5,5 км над уровнем моря (н. у. м.) распространялись на северо-восток от вулкана. 17 августа Авиационный цветовой код вулкана был изменен с Зелёного на Жёлтый³. С 26 августа на запад-

¹<http://www.emsd.ru/~ssl/monitoring/main.htm>

²<http://www.emsd.ru>

³<http://www.kscnet.ru/ivs/kvert/van/index.php?n = 2013-05>

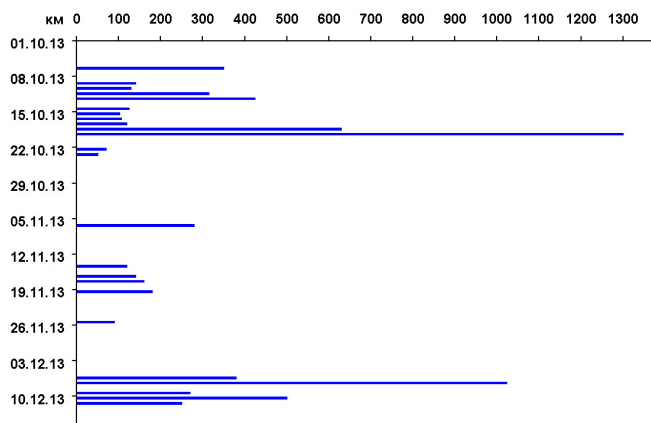


Рис. 2. Пепловые шлейфы от вулкана Ключевской при извержении 15 августа — 15 декабря 2013 г. Обработка спутниковых данных выполнена сотрудниками группы KVERT.

но-юго-западном склоне вулкана появился первый лавовый поток, 13 сентября другой поток появился в Крестовском жёлобе, к 27 сентября изливались уже четыре лавовых потока по западным и юго-восточному склонам вулкана — термальная аномалия в районе кратера вулкана постепенно увеличивалась в размерах (рис. 1). Извержение усиливалось, росло количество вулканических землетрясений в районе вулкана⁴, постепенно увеличивалось содержание пепла в парогазовых шлейфах, поэтому 14 сентября Авиационный цветовой код вулкана был изменен на Оранжевый⁵.

С 3 октября величина вулканического дрожания начала быстро расти, резкое увеличение дрожания было отмечено с 6 по 11 октября⁴. 9–10 октября выбросы пепла из вершинного кратера Ключевского достигали 6 км н. у. м. Небольшой пеплопад прошёл в п. Ключи 9 октября. Согласно спутниковым данным, 6 и 9–10 октября отмечались пепловые шлейфы, которые протягивались на расстояния до 300 км на восток-юго-восток от вулкана (рис. 2).

11 октября с 08:16 до 08:24 UTC с юго-западного склона Ключевского произошла серия мощных выбросов пепла до 9 км н. у. м., в облаке которого сияли огромные молнии (рис. 3). В дальнейшем, на видеокамерах, работающих в инфракрасном режиме, было видно, как из-за склона вулкана время от времени появлялись клубы, по яркости окраски сравнимые с фонтанирующей лавой в кратере вулкана. Вероятно, в это время на юго-западном склоне вулкана Ключевской, ближе к перевалу между ним и вулканом Камень, образовалась трещина — произошёл побочный прорыв Ключевского. В дальнейшем над местом прорыва постоянно наблюдался парогазовый с содержанием пепла столб, который в тёмное время суток ярко светился (рис. 4). Из трещины прорыва сразу же началось изливание лаво-

⁴<http://www.emsd.ru>

⁵<http://www.kscnet.ru/ivs/kvert/van/index.php?n = 2013-09>



(a)



(б)

Рис. 3. Образование бокового прорыва на юго-западном склоне вулкана Ключевской в 08:16–08:24 UTC 11 октября 2013 г.: фото Ю. Демянчука (а), видеоданные ИВиС ДВО РАН, KVERT and Weathernews (б).

вого потока, и свечение юго-западного склона Ключевского значительно усилилось. Изливание лавы на ледник Богдановича вызвало быстрое его таяние, по р. Студеная пошли лахары.

Активность вулкана росла, ежедневно наблюдались пепловые шлейфы, количество пепла в них увеличивалось. 13 октября в п. Ключи наблюдался пеплопад. В связи с ростом эксплозивной активности вулкана — пепловая колонна поднялась до 7–8 км н. у. м., начали наблюдаться фреатические взрывы на его юго-западном склоне, вероятно, в связи с обильным изливанием лавы из бокового прорыва, Авиационный цветовой код вулкана был изменен в 01:11 UTC 15 октября на Красный⁶. В течение нескольких часов 15 октября активность вулкана продолжала усиливаться — пепловая колонна поднялась до 10 км н. у. м., пепел при фреатических взрывах на фронтальных частях лавовых потоков, внедрившихся в ледники на юго-западном склоне вулкана, поднимался до 4,5 км н. у. м.; пепловые шлейфы распространялись на сотни километров в различных направлениях от вулкана в связи с высокой циклонической активностью в этом районе. В 08:56 UTC

⁶<http://www.kscnet.ru/ivs/kvert/van/index.php?n = 2013-10>



Рис. 4. Парогазовый с содержанием пепла столб над прорывом ниже перевала между вулканами Ключевской и Камень 12 октября 2013 г. в дневное (а) и ночное время (б). Видеоданные КФ ГС РАН

15 октября, в связи с некоторым ослаблением извержения — пепловая колонна снизилась до 8 км н. у. м., Авиационный цветовой код вулкана был изменен на Оранжевый⁷, но в 23:43 UTC 15 октября Авиационный цветовой код вулкана был вновь изменен на Красный⁸, и оставался таким до 07:02 UTC 16 октября, в связи со снижением эруптивной колонны

до 7–7,5 км н. у. м.⁹. Предполагалось, что активность вулкана пойдет на спад, но этого не произошло. Пепловая колонна вновь поднялась до 9 км н. у. м. (рис. 5), поэтому в 23:15 UTC 17 октября для вулкана вновь был установлен Красный Авиационный цветовой код¹⁰. В п. Майское 16 октября прошёл пеплопад. 17 октября активность вулкана не ослабевала.

⁷<http://www.kscnet.ru/ivs/kvert/van/index.php?n = 2013-13>

⁸<http://www.kscnet.ru/ivs/kvert/van/index.php?n = 2013-14>

⁹<http://www.kscnet.ru/ivs/kvert/van/index.php?n = 2013-15>

¹⁰<http://www.kscnet.ru/ivs/kvert/van/index.php?n = 2013-16>



Рис. 5. Вулканская активность Ключевского 17 октября 2013 г.: пепловая колонна поднимается до 9 км н. у. м. Фото Richard Roscoe.

18 октября средняя величина вулканического дрожания достигла $91,3 \text{ мкм/с}^{11}$. По визуальным данным, наблюдалась мощная стромболианская (высота фонтанов лавы в кратере вулкана достигала 800 м) и вулканская деятельность Ключевского (пепловая колонна поднималась до 8–10 км н. у. м.), несколько лавовых потоков продолжали изливаться по его западным и юго-восточным склонам. При мощных взрывах вулканические бомбы падали на середину склона вулкана — на высоты 2,5 км н. у. м. — и скатывались ниже (рис. 6). Вершина вулкана была объята пламенем, гул от выбросов разносился на десятки километров от вулкана. Согласно спутниковым данным, пепловые шлейфы протягивались на расстоянии до 2500 км преимущественно на юго-восток, и восток от вулкана, кроме пепловых облаков отмечались облака аэрозолей (рис. 2, 7). Одновременно с извержением Ключевского, 18 октября на Шивелуче произошло 22 эксплозивных события¹², пепловые шлейфы протягивались на юго-восток от вулкана (рис. 7).

17–18 октября вода р. Студеная начала размывать федеральную дорогу (Петропавловск-Камчатский — Усть-Камчатск) в районе поселка Козыревск. 18 октября вода пошла поверх полотна дороги, но сотрудники МЧС быстро отреагировали: очистили трубу, проложенную под дорогой, и вода ушла, движение по трассе было восстановлено.

Кульминационная фаза извержения, непрерывно продолжавшаяся 15–20 октября, во время которой пепловая колонна поднималась до 10 км н. у. м., закончилась в 13:00 UTC 20 октября — величина вулканического дрожания резко снизилась до 3 мкм/с^{13} . В связи со снижением активности вулкана, его Авиационный цветовой код в 21:40 UTC 20 октября был изменен на Оранжевый¹⁴.

Но извержение вулкана не закончилось, продолжала отмечаться стромболианская активность вулкана и изливание лавовых потоков по юго-западному, западному и юго-восточному склонам вулкана. По спутниковым данным, две термальных аномалии постоянно наблюдались в районе кратера вулкана и ниже перевала между Ключевским и Камнем, где сосредоточилось главное поле лавовых потоков. По состоянию на 23 декабря 2013 г. (снимок Landsat от 00:16 UTC, данные из геосервиса VolSatView [5]), площадь лавового потока составила $0,95\text{--}1,0 \text{ км}^2$ (рис. 8). 20–24 октября аэрозольные облака, сопровождавшие пепловые шлейфы во время кульминационной фазы извержения вулкана, продолжали регистрироваться над Тихим океаном и над северной частью Канады.

30 октября в 23:22 UTC, в связи с прекращением вулканической активности Ключевского, его Авиационный цветовой код был изменен на Жёлтый¹⁵, но

¹¹<http://www.emsd.ru>

¹²<http://www.kscnet.ru/ivs/kvert/van/index.php?n = 2013-17>

¹³<http://www.emsd.ru>

¹⁴<http://www.kscnet.ru/ivs/kvert/van/index.php?n = 2013-24>

¹⁵<http://www.kscnet.ru/ivs/kvert/van/index.php?n = 2013-28>



Рис. 6. Кульминационная фаза извержения вулкана Ключевской 18 октября 2013 г., стромболианская и вулканская активность: фото А. Коневской (а); видеоданные ИВиС ДВО РАН, KVERT and Weathernews (б).

его стромболианская активность и изливание лавовых потоков по юго-западному и юго-восточному склонам продолжалось. По спутниковым данным, термальная аномалия постоянно наблюдалась в районе кратера вулкана и ниже перевала между Ключевским и Камнем, но её размер стал понемногу уменьшаться (рис. 1).

5 и 6 ноября отмечались слабые пепловые шлейфы, протягивавшиеся на расстоянии до 280 км на юго-восток от вулкана, 14 ноября — до 120 км на северо-восток от вулкана. В связи с возобновлением пепловых выбросов из кратера вулкана, с подъёмом эруптивной колонны до 7 км н. у. м., в 02:42 UTC

17 ноября его Авиационный цветовой код был изменен на Оранжевый¹⁶. Эксплозивная активность вулкана происходила на фоне снижения с 16 по 22 ноября величины вулканического дрожания с 1,7 до 0,5 мкм/с¹⁷. 18 ноября активность вулкана существенно снизилась — пепловые выбросы не отмечались в течение нескольких часов, поэтому его Авиационный цветовой код был изменен на Жёлтый¹⁸, но с 02:16 UTC 19 ноября эксплозивная активность вулкана возобновилась, пепловая колонна

¹⁶<http://www.kscnet.ru/ivs/kvert/van/index.php?n=2013-29>

¹⁷<http://www.emsd.ru>

¹⁸<http://www.kscnet.ru/ivs/kvert/van/index.php?n=2013-30>

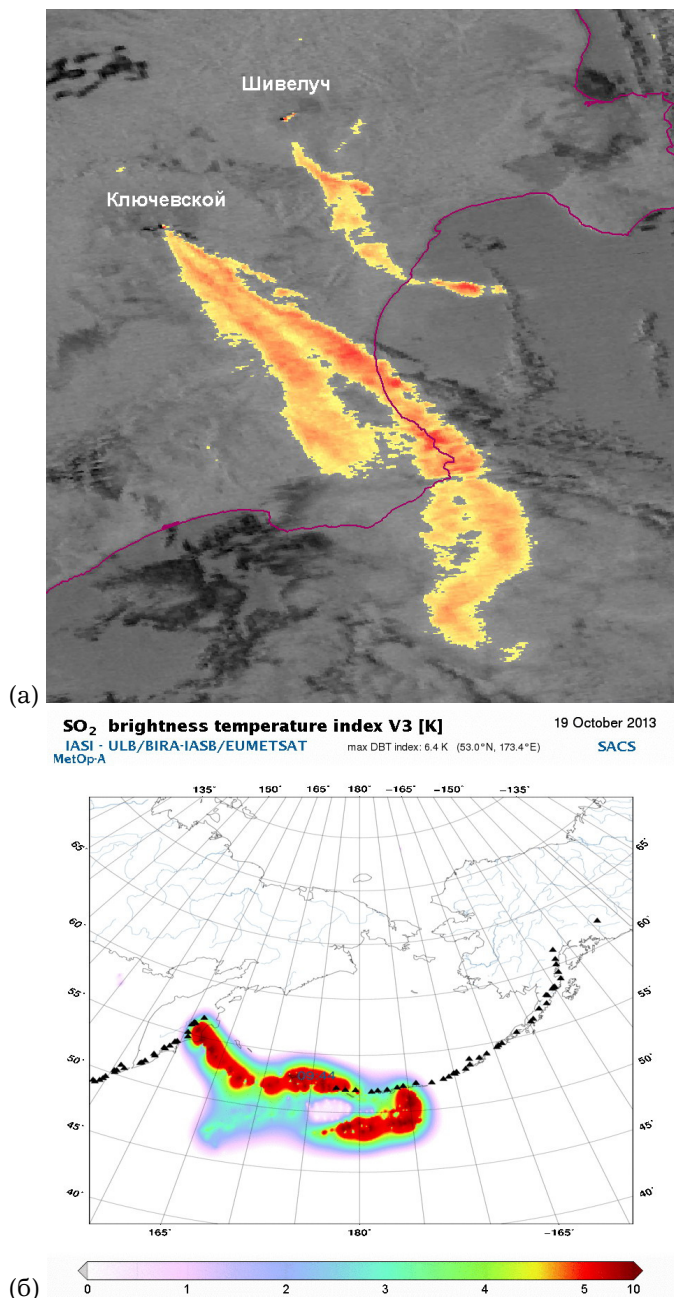


Рис. 7. Пепловые шлейфы от вулканов Ключевской и Шивелуч в 11:05 UTC 18 октября 2013 г. (Terra Modis), данные из геопортала VolSatView [5] (а); аэрозольный шлейф от вулкана Ключевской в 09:44 UTC 19 октября 2013 г., данные с сайта <http://sacs.aeronomie.be> (б).

поднималась до 10–12 км н. у. м., пепловый шлейф протягивался на юго-восток от вулкана, поэтому в 02:48 UTC 19 ноября Авиационный цветовой код вулкана был изменен на Красный¹⁹. 14–19 ноября пепловые шлейфы протягивались на расстояния до 200 км на юго-восток, восток и северо-восток от вулкана (рис. 2). Постепенно высота пеплового шлейфа снизилась до 5,0–5,5 км н. у. м., и когда та-

¹⁹<http://www.kscnet.ru/ivs/kvert/van/index.php?n = 2013-31>

кая активность была отмечена в течение нескольких часов, в 23:41 UTC 19 ноября Авиационный цветовой код вулкана был изменен на Оранжевый²⁰. В течение следующих двух недель активность вулкана была умеренной; величина вулканического дрожания продолжала снижаться; 25 ноября парогазовые с небольшим содержанием пепла шлейфы протягивались на расстояния до 90 км на юго-восток от вулкана; термальная аномалия в районе вершины вулкана постепенно теряла яркость, то есть извержение постепенно заканчивалось. Авиационный цветовой код вулкана был изменен на Жёлтый в 00:20 UTC 3 декабря²¹, но 6 декабря активность вулкана вновь резко повысилась — началось извержение пепла из вершинного кратера, пепловые шлейфы поднимались до 6 км н. у. м. и протягивались на 212 км на северо-восток от вулкана. В 21:54 UTC 6 декабря Авиационный цветовой код вулкана был изменен с Жёлтого на Красный²², потому что предполагалось возможное усиление активности вулкана. Когда содержание пепла в эруптивной колонне постепенно понизилось, а высота её не увеличилась, в 23:14 UTC 7 декабря Авиационный цветовой код вулкана был изменен на Оранжевый. По видеоданным, 6–11 декабря пепловая колонна поднималась до 5–6 км н. у. м. По спутниковым данным, пепловые шлейфы протягивались на восток (06–08 декабря), северо-запад (09–10 декабря) и на восток и юго-восток (10–11 декабря) от вулкана на расстояния более 1020 км (рис. 2). В районе кратера вулкана отмечалась очень слабая термальная аномалия, более яркая — в районе лавового потока на юго-западном склоне вулкана (рис. 1), возможно, излияние лавы из бокового прорыва продолжалось. В дальнейшем наблюдалась парогазовая активность вулкана различной интенсивности — порой парогазовый столб поднимался на 500 м над кратером вулкана. В связи со значительным снижением деятельности вулкана, в 22:40 UTC 26 декабря его Авиационный цветовой код был изменен на Жёлтый²³, а так как изменений в его активности не произошло, в 05:06 UTC 2 января 2014 г. его Авиационный цветовой код был изменен на Зелёный²⁴. Извержение, начавшееся 15 августа, закончилось, днем его окончания мы называем 15 декабря. Международные и местные авиаперевозки подвергались реальному риску во время извержения вулкана. Мощная парогазовая активность Ключевского продолжается.

Заключение

В Курило-Камчатском регионе в современное время не так много активных вулканов, извергающих продукты базальтового состава. Не исследуя в этой работе глубокие причинно-следственные связи одновременной активности таких вулканов,

²⁰<http://www.kscnet.ru/ivs/kvert/van/index.php?n = 2013-32>

²¹<http://www.kscnet.ru/ivs/kvert/van/index.php?n = 2013-33>

²²<http://www.kscnet.ru/ivs/kvert/van/index.php?n = 2013-36>

²³<http://www.kscnet.ru/ivs/kvert/van/index.php?n = 2013-39>

²⁴<http://www.kscnet.ru/ivs/kvert/van/index.php?n = 2014-01>



Рис. 8. Лавовый поток, изливавшийся из бокового прорыва на юго-западном склоне вулкана Ключевской с 11 октября 2013 г., на спутниковом снимке ASTER от 00:44 UTC 26 октября 2013 г., the Geo Grid Data, Japan.

посмотрим, как они работали в 2012–2013 гг. Стромболианское извержение Ключевского 1 сентября 2012 г. — 10 января 2013 г. происходило одновременно с извержением вулкана Алаид (Северные Курилы) и Трещинным Толбачинским извержением им. 50-летия ИВиС ДВО РАН [2–4, 6]. Стромболианское с выносом небольшого количества пепла извержение вулкана Алаид продолжалось, ориентировочно, с 6 октября до 15 декабря 2012 г.; Трещинное Толбачинское извержение — с 27 ноября 2012 г. по октябрь 2013 г. [2–4, 6]. Если Алаид, вероятно, не оказывал влияния на деятельность Ключевского, то Ключевской и Трещинное Толбачинское извержение, напротив, вероятно, были в какой-то мере взаимозависимы, располагаясь в едином массиве Ключевской группы вулканов. Например, первое извержение Ключевского продолжалось примерно 90 дней, Трещинное Толбачинское извержение началось посередине извержения Ключевского — спустя 45 дней после его начала. С 15 августа до 15 декабря 2013 г. происходило очень сильное извержение вулкана Ключевской, а 24 августа резко снизилась величина вулканического дрожания в районе Толбачинского дола²⁵, в начале сентября температура аномалии в зоне лавовых полей Трещинного Толбачинского извержения резко понизилась [3]. Вероятно, в недрах Ключевской группы вулканов происходило перераспределение магмы. Возможно, в связи с высоким расходом магмы в районах вулкана Ключевской и Толбачинского дола, в 2013 г. не было извержения вулкана Безымянный.

Подтверждением образования бокового прорыва на склоне Ключевского являются два главных факта: 1) мощная пепловая туча, поднимавшаяся до 9 км н. у. м., в которой блистали молнии; 2) значительное поле лавовых потоков площадью 0,95–1,0 км² большой мощности, компактно расположенное на юго-западном склоне вулкана (рис. 8). Например, в парогазовых облаках фреатических выбросов молнии не наблюдаются. Нет ни одного примера из истории развития Ключевского, чтобы лавовый поток, истекающий из его вершины, сформировал поле

отложенный площадью до 1–4 км² у его подножия. Обычно компактные толщи лавовых продуктов формируются при трещинных прорывах. Такие прорывы на Ключевском вулкане (на его юго-западном и юго-восточном склонах) в предыдущий раз образовались в 1989 г. [7].

Работа выполнена при поддержке Программы фундаментальных научных исследований государственных академий наук, Целевой комплексной программы «Спутниковый мониторинг Дальнего Востока для проведения фундаментальных научных исследований Дальневосточного отделения РАН» и РФФИ (проекты 11–07–12026–офи_м, 13–07–12180–офи_м).

Список литературы

1. Гирина О. А. Камчатской группе реагирования на вулканические извержения (KVERT) — 20 лет // Вулканизм и связанные с ним процессы. Материалы региональной конференции, посвящённой Дню вулканолога, 28–29 марта 2013 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2014. С. 36–41.²⁶
2. Гирина О. А. Некоторые события Трещинного Толбачинского извержения имени 50-летия ИВиС ДВО РАН в 2012–2013 гг. // Сборник материалов Седьмой международной научной конференции «Вулканизм, биосфера и экологические проблемы». Майкоп-Туапсе: Адыгейский ГУ. 2013. С. 26–29.
3. Гирина О. А., Маневич А. Г., Мельников Д. В. и др. Активность вулканов Камчатки в 2013 г. // Вулканизм и связанные с ним процессы. Материалы региональной конференции, посвящённой Дню вулканолога, 27–28 марта 2014 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2014. С. 38–45.
4. Гирина О. А., Мельников Д. В., Маневич А. Г., Нуждаев А. А. Спутниковый мониторинг Трещинного Толбачинского извержения им. 50-летия ИВиС ДВО РАН в 2012–2013 гг. // Вулканизм и связанные с ним процессы. Материалы региональной конференции, посвящённой Дню вулканолога, 28–29 марта 2013 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2014. С. 50–56.²⁷
5. Ефремов В. Ю., Гирина О. А., Крамарева Л. С. и др. Создание информационного сервиса «Дистанционный мониторинг активности вулканов Камчатки и Курил» // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Том. 9 (5). С. 155–170.
6. Маневич А. Г., Гирина О. А., Мельников Д. В. и др. Активность вулканов Камчатки и Северных Курил в 2012 г. // Вулканизм и связанные с ним процессы. Тезисы докладов традиционной региональной научной конференции, посвящённой Дню вулканолога, 28–29 марта 2013 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2013. С. 35.²⁸
7. Хренов А. П., Маханова Т. М., Богатилов О. А., Плате А. Н. Результаты аэрокосмических исследований вулканов Камчатки (Ключевская группа вулканов) // Вулканогеология и сейсмология. 2002. № 2. С. 3–20.

²⁶http://www.kscnet.ru/ivs/publication/volc_day/2013/art6.pdf

²⁷http://www.kscnet.ru/ivs/publication/volc_day/2013/art8.pdf

²⁸http://www.kscnet.ru/ivs/conferences/volc_day/abstracts_volcday2013.pdf

²⁵<http://www.emsd.ru>