



УДК 551.21.

О. А. Гирина, Ю. В. Демянчук, Д. В. Мельников, А. Г. Маневич,  
Т. М. Маневич, А. А. Нуждаев, Я. Д. Муравьёв

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

## Извержение вулкана Ключевской в 2015 г. и его опасность для авиации

Вулкан Ключевской — один из самых молодых и активных вулканов Камчатки. Имеются достоверные сведения о 48 эксплозивных и эксплозивно-эффузивных его извержениях (<http://www.kscnet.ru/ivs/kvert/volc.php?name=Klyuchevskoy&lang=en>). Каждое эруптивное событие уникально (характер извержения, его продолжительность, изменение состава ювенильного вещества в течение извержения и т. д.) и даёт новые данные о вулкане и эволюции его магматической системы. В работе показан ход извержения вулкана в 2015 г., приведён состав его вещества.

Предыдущее извержение вулкана Ключевской происходило с 15 августа по 15 декабря 2013 г. [2]. Информация об извержениях вулкана размещена на сайте Камчатской группы реагирования на вулканические извержения (KVERT — Kamchatkan Volcanic Eruption Response Team):<sup>1</sup> и Геопортале ИВиС ДВО РАН.<sup>2</sup>

После окончания эксплозивно-эффузивного извержения Ключевского в 2013 г., в районе вулкана продолжали отмечаться сейсмические события, связанные в основном, по нашему мнению, с оттоком магмы по каналу вулкана и обрушением пирокластического материала в его кратер. В результате нескольких последних эксплозивно-эффузивных извержений в западной части вершинного кратера вулкана был сформирован шлако-лавовый конус высотой до 150 м, вулcano-тектонический желоб Крестовский на западном склоне вулкана полностью заполнен лавовым материалом.

Согласно данным с сайта Камчатского филиала геофизической службы (КФ ГС) РАН<sup>3</sup>, сейсмическая активность вулкана начала повышаться с 19–20 декабря 2014 г.: увеличилось количество и величина поверхностных землетрясений; начало постоянно фиксироваться вулканическое дрожание, 31 декабря его величина достигла 5,7 мкм/с. В конце года на протяжении недели (исключая 30–31 декабря, когда вулкан был закрыт облаками) наблюдалась повышенная парогозовая активность Ключевского; 1 января 2015 г. сотрудниками KVERT на спутниковых снимках в районе кратера вулкана впервые была отмечена термальная аномалия.

С появлением яркой термальной аномалии в районе вулкана стало ясно, что началось его очередное

эксплозивное извержение [1]. Известно [1], что активность вулкана Ключевской в начале эксплозивного извержения невысокая — происходит деятельность Стромболианского типа, пепловые шлейфы не отмечаются. В связи с вышеуказанным, Авиационный цветовой код вулкана 1 января был изменен с Зелёного на Желтый, в прогнозе опасности вулкана для авиации указывалось, что «существует опасность пепловых выбросов до 6 км над уровнем моря (н. у. м.), аэрозольные и пепловые шлейфы могут представлять опасность для полётов по местным авиалиниям»<sup>4</sup>.

В течение всего извержения вулкана в тёмное время суток наблюдалось свечение над кратером, то есть происходила активность Стромболианского типа — фонтанирование лавы в кратере, выбросы вулканических бомб достигали 200–300 м над кромкой кратера, на спутниковых снимках в районе вершины вулкана постоянно отмечалась термальная аномалия (рис. 1). Судя по наземным и спутниковым снимкам, если в первые дни извержения вулканические бомбы выбрасывались из кратера шлакового конуса, образовавшегося на вершине Ключевского в предыдущие извержения, то позднее пепловые выбросы происходили восточнее шлакового конуса, вероятно, из его бочки, появившейся в течение этого извержения на его юго-восточном склоне (рис. 2).

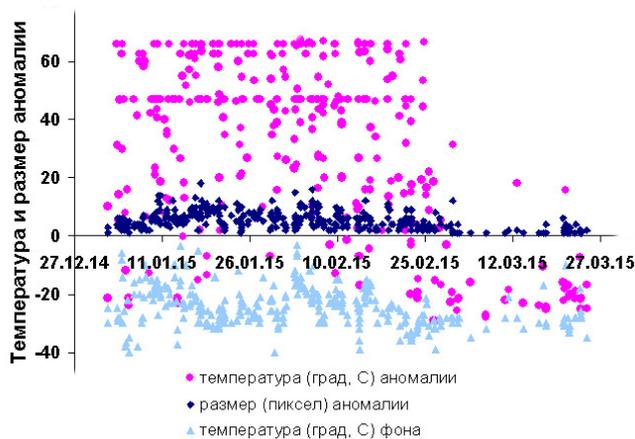
4 января на северо-западном склоне вулкана были замечены умеренные фреатические взрывы и узкий грязевой поток, возможно, связанные с небольшим лавовым потоком или крупным выбросом тефры на этот склон. Сейсмическая активность вулкана постепенно росла, например, величина вулкани-

<sup>1</sup><http://www.kscnet.ru/ivs/kvert/>

<sup>2</sup><http://geoportal.kscnet.ru/volcanoes/>.

<sup>3</sup><http://www.emsd.ru>

<sup>4</sup><http://www.kscnet.ru/ivs/kvert/van/index.php?n=2015-01>



**Рис. 1.** Температура и размер термальной аномалии в районе вулкана Ключевской в 2015 г. (по спутниковым данным KVERT).

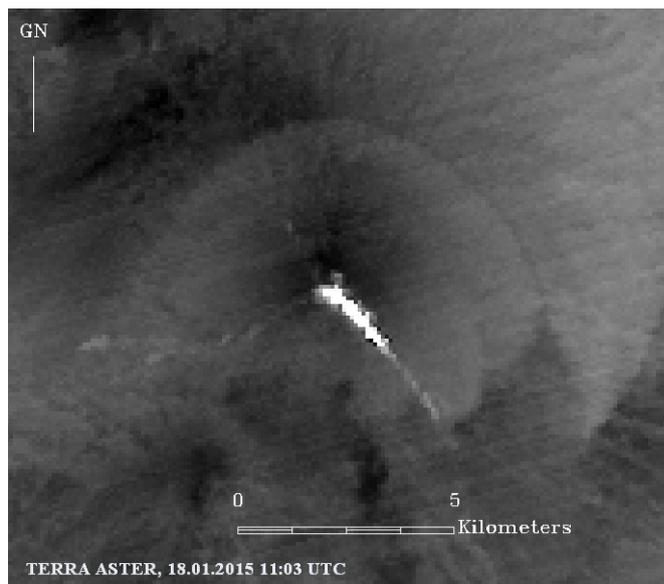


**Рис. 2.** Выбросы вулканических бомб из бокки на юго-восточном склоне шлако-лавого конуса на вершине вулкана Ключевской. Фото Ю. Демянчука 19 января 2015 г.

ческого дрожания к 7 января повысилась с 6 до 13 мкм/с<sup>5</sup>.

Согласно видео и спутниковым данным, 8–9 января из бокки в вершинном шлаковом конусе начал изливаться лавовый поток. Он переливался через кромку старого кратера Ключевского и двигался по Апахончичскому жёлобу на юго-юго-восточном склоне вулкана, к 18 января его длина превысила 2,5 км (рис. 3).

10 января в парогазовых шлейфах, постоянно наблюдавшихся над вулканом, появился пепел, то есть степень опасности вулкана для авиации повысилась, поэтому в этот день его Авиационный цветовой код был изменен с Жёлтого на Оранжевый, в прогнозе было указано: «существует опасность пепловых выбросов до 8–10 км н. у. м., аэрозольные и пепловые шлейфы могут представлять опасность для полётов



**Рис. 3.** Лавовый поток на юго-восточном склоне вулкана Ключевской 18 января 2015 г. на спутниковом снимке Terra Aster.

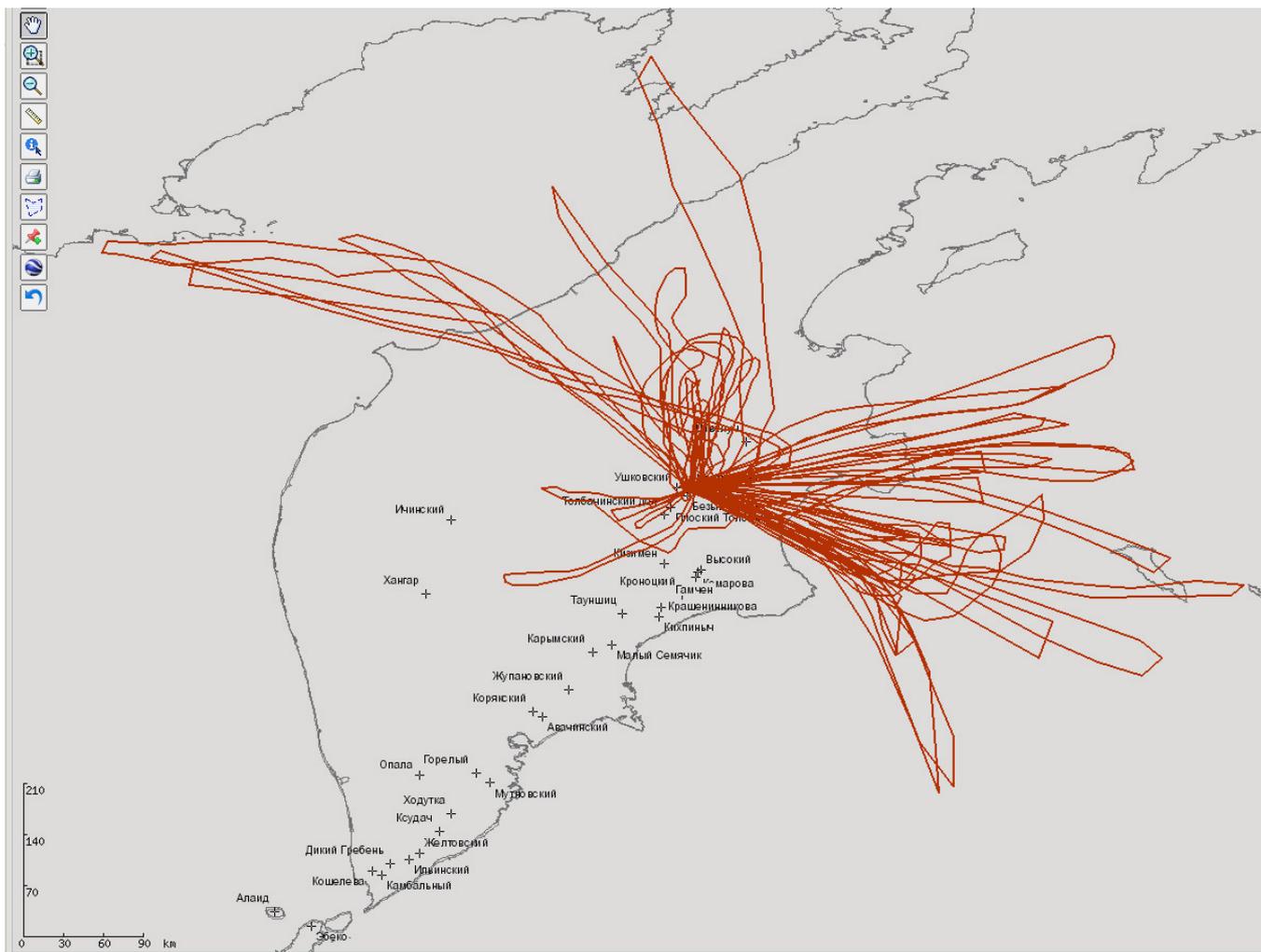
по международным и местным авиалиниям»<sup>6</sup>. 10–14 января пепел при эксплозиях поднимался порой до 6,5–7,0 км н. у. м., 11 января в п. Козыревск отмечался пеплопад. Известно, что распространение пепловых шлейфов зависит от направления ветра. Например, 11–15 и 17–22 января пепловые шлейфы на высоте 5,0–5,5 км н. у. м. распространялись до 210 км на юго-запад и северо-восток от Ключевского, 4–5 февраля шлейфы на высоте 5,5–6,0 км н. у. м. — до 1000 км на северо-запад от вулкана (рис. 4–5). 21 января, 05, 11 и 13–16 февраля в п. Ключи отмечались пеплопады.

27–28 января на фронте лавового потока в Апахончичском желобе наблюдались сильные фреатические взрывы — парогазовые облака с небольшим содержанием пепла поднимались до 6–7 км н. у. м. 27 января в п. Ключи и в р-не р. Хапица, 28 января в п. Козыревск отмечались пеплопады. В следующие дни пепловые шлейфы на высоте 5,5–7,0 км н. у. м. продолжали распространяться до 400 км в различных направлениях от вулкана. 7 февраля в п. Козыревск произошёл пеплопад.

15 февраля проявилась пароксизмальная фаза извержения Ключевского. Эксплозивная деятельность вулкана усилилась: пепловая колонна поднялась до 8 км н. у. м. и оставалась на таком уровне в течение почти 5 ч, по всем склонам вулкана скатывались раскалённые вулканические бомбы (рис. 6). В связи с высокой активностью вулкана, его Авиационный цветовой код 15 января был изменен с Оранжевого на Красный, в прогнозе опасности вулкана для авиации указывалось: «пепловые выбросы до 10 км н. у. м. могут появиться в любое время, такая активность может быть опасна для

<sup>5</sup><http://www.emsd.ru>

<sup>6</sup><http://www.kscnet.ru/ivs/kvert/van/index.php?n = 2015-03>



**Рис. 4.** Распространение пепловых шлейфов вулкана Ключевской в январе-феврале 2015 г. по данным Информационного сервиса VolSatView ([6–7].

полётов по международным и местным авиалиниям»<sup>7</sup>. После некоторого снижения эруптивной активности вулкана его Авиационный цветовой код был изменен с Красного на Оранжевый<sup>8</sup>. 16 февраля эксплозии поднимали пепел до 6 км н. у. м., но в следующие дни пепловые шлейфы распространялись преимущественно на высотах 5,0–5,5 км н. у. м. 23 февраля очень сильный ветер на вершине вулкана не позволял пепловому шлейфу подниматься над кратером: шлейф спускался по северо-восточному склону Ключевского до 3,0–3,5 км н. у. м. и затем уже перемещался на юго-запад от вулкана. В связи с циклонической активностью в районе вулкана, достаточно часто наблюдалось в течение одних суток изменение направления перемещения пепловых шлейфов, например, с северо-западного на восточное (23 января), с северо-восточного на юго-восточное (18 февраля) и наоборот (23 февраля) (рис. 4). В последнюю неделю февраля активность вулкана немного снизилась — пепло-

вые шлейфы не поднимались выше 5 км н. у. м., дальность их распространения также уменьшилась (рис. 5). С 25 февраля температура и размер термальной аномалии в районе кратера вулкана стали снижаться (рис. 1).

Последний раз пепловые шлейфы отмечались 10 марта, но парогазовые шлейфы, содержащие небольшое количество пепла, наблюдались 16–17 и 22–23 марта. Согласно спутниковым данным, температура аномалии с начала марта имела отрицательные значения (рис. 1).

В связи со значительным снижением активности вулкана, его Авиационный цветовой код 25 марта был изменен с Оранжевого на Желтый<sup>9</sup>, и 6 апреля с Жёлтого на Зелёный<sup>10</sup>. Считаем 24 марта днем окончания эксплозивного извержения Ключевского (продолжительность 83 дня).

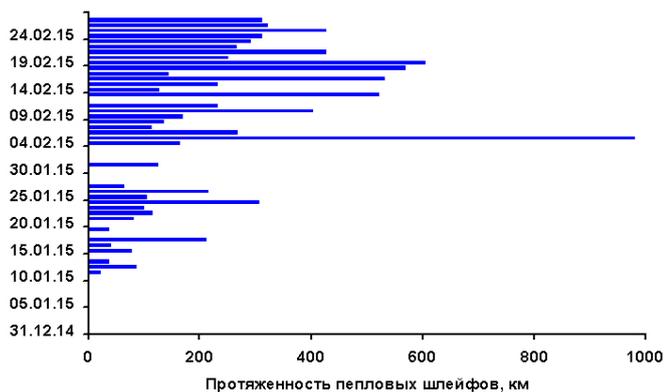
По состоянию на конец апреля 2015 г., высокая фумарольная активность вулкана сохраняется. Сейсмичность вулкана в течение апреля была неста-

<sup>7</sup><http://www.kscnet.ru/ivs/kvert/van/index.php?n=2015-57>

<sup>8</sup><http://www.kscnet.ru/ivs/kvert/van/index.php?n=2015-59>

<sup>9</sup><http://www.kscnet.ru/ivs/kvert/van/index.php?n=2015-135>

<sup>10</sup><http://www.kscnet.ru/ivs/kvert/van/index.php?n=2015-146>



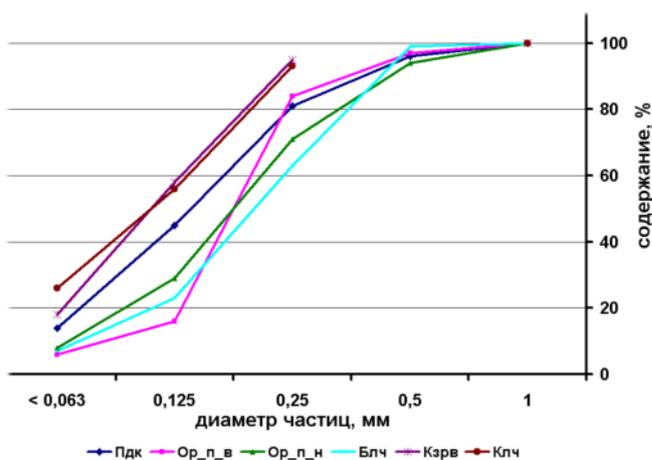
**Рис. 5.** Протяжённость пепловых шлейфов вулкана Ключевской в январе-феврале 2015 г. по данным Информационного сервиса VolSatView ([6–7]).



**Рис. 6.** Пароксизмальная фаза извержения вулкана Ключевской 15 февраля 2015 г.

бильной: отмечались периоды резкого увеличения величины вулканического дрожания до 6 мкм/с и снижения до 0,1 мкм/с. Вероятно, такие перепады в его сейсмической активности связаны теперь не с извержением, а оттоком магмы вглубь канала вулкана. Возможно, что этот процесс будет усиливаться в связи с формированием на вершине вулкана глубокого кратера, каким он был в 50–60-е годы 20 века. На это может указывать высокая фумарольная активность, начавшая развиваться по кромке старого кратера вулкана (4750 м н. у. м.).

Из продуктов извержения вулкана были проанализированы только пеплы, отобранные 14–16 февраля 2015 г. Я. Д. Муравьёвым по стандартным методикам в районах: ст. Подкова (15 км от кратера вулкана), фронт ледника Бильченок (24 км), п. Ключи (30 км), Орлиное поле (32 км) недалеко от п. Ключи (две пробы по разрезу — нижняя и верхняя), п. Козыревск (47 км). Наиболее весомая из отобранных проб пепла была взята возле фронта ледника Бильченок — 348 г/м<sup>2</sup>, как видно из рис. 4, над этим местом достаточно часто наблюдались пепловые шлейфы. Самая легкая проба 8 г/м<sup>2</sup> —



**Рис. 7.** Кумулятивные кривые гранулометрического состава пеплов извержения вулкана Ключевской в 2015 г. Обозначения: Пдк — ст. Подкова; Ор\_п\_в — Орлиное поле, пепел верхний; Ор\_п\_н — Орлиное поле, пепел нижний; Блч — фронт ледника Бильченок; Кзрв — п. Козыревск, Клч — п. Ключи.

свежевыпавший пепел в п. Ключи 15 февраля; следует сказать, что в этот день пепловые шлейфы перемещались на восток-юго-восток от вулкана, то есть в п. Ключи выпадал пепел из расплывшегося над вулканом облака. Остальные пробы имели примерно одинаковый вес: ст. Подкова (46 г/м<sup>2</sup>), Орлиное поле (38 г/м<sup>2</sup> — нижняя), п. Козыревск (43 г/м<sup>2</sup>).

По химическому составу пеплы извержения 2015 г. относятся к глинозёмистым андезибазальтам; по гранулометрическому составу (по классификации песков Е. М. Сергеева) — к пескам мелким. На рис. 7 хорошо видно, что пеплы, отобранные в пп. Ключи и Козыревск, самые мелкозернистые, в районе фронта ледника Бильченок — наиболее крупнозернистые из изученных. Субпараллельность всех кумулятивных кривых гранулометрического состава (кроме одной) пеплов Ключевского подтверждает их принадлежность одному источнику. Кривая гранулометрического состава пепла, отобранного из верхнего слоя на Орлином поле, резко пересекает кривые других пеплов, что указывает на загрязнение рассматриваемой пробы (рис. 7). Действительно, на открытом пространстве Орлиного поля наблюдается постоянное формирование и преобразование золотых отложений, то есть перемешивание свежевыпавших и старых пеплов, переотложенных водой и ветром.

В заключение следует сказать, что извержение вулкана Ключевской в 2015 г. хотя было недолгим (83 дня) и не слишком сильным (VEI — 2–3), по характеру активности (Стромболианский тип деятельности — эффузивный — Вулканский — пароксизмальная фаза — Стромболианский) и степени её нарастания стоит в одном ряду с предыдущими эксплозивно-эффузивными извержениями: например,

15.08 – 15.12.2013 (124 дня); 18.09.2009 – 04.11.2010 (414 дней); 16.10.2008 – 29.01.2009 (106 дней); и т. д. [2–5].

Работа выполнена при поддержке Программы фундаментальных научных исследований государственных академий наук и РФФИ (проекты 11–07–12 026–офи\_м, 13–07–12 180–офи\_м).

### Список литературы

1. *Гирина О. А.* О предвестнике извержений вулканов Камчатки, основанном на данных спутникового мониторинга // *Вулканология и сейсмология*. 2012. № 3. С. 14–22.
2. *Гирина О. А., Маневич А. Г., Мельников Д. В. и др.* Извержения вулкана Ключевской в 2012–2013 гг. // *Вулканизм и связанные с ним процессы*. Материалы региональной конференции, посвящённой Дню вулканолога, 27–28 марта 2014 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2014. С. 46–52.
3. *Гирина О. А., Маневич А. Г., Ушаков С. В. и др.* Активность вулканов Камчатки в 2010 г. // *Вулканизм и связанные с ним процессы*. Материалы региональной научной конференции, посвящённой Дню вулканолога. Петропавловск-Камчатский, 30 марта – 1 апреля 2011 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН. 2011. С. 19–24.
4. *Гирина О. А., Коновалова О. А., Маневич А. Г. и др.* Активность вулканов Камчатки в 2009 г. // *Материалы конференции, посвящённой Дню вулканолога «Современный вулканизм и связанные с ним процессы»*, Петропавловск-Камчатский, 29–30 марта 2010 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН. 2011. С. 41–49.
5. *Гордеев Е. И., Гирина О. А.* Вулканы и их опасность для авиации // *Вестник Российской академии наук*. 2014. Том. 84. № 2. С. 134–142. doi:10.7868/S0869587314020121.
6. *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.
7. *Ефремов В. Ю., Лупян Е. А., Матвеев А. М. и др.* Организация работы со спутниковыми данными для решения задач дистанционного мониторинга активности вулканов Камчатки и Курил на примере спутникового сервиса VolSatView // *Труды Четвертой научно-технической конференции «Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России»*, 30 сентября – 4 октября 2013 г., г. Петропавловск-Камчатский. Обнинск: ГС РАН. 2013. С. 45–48.