



УДК 551.21

Н. А. Малик, А. П. Максимов, В. В. Ананьев

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

## Извержение вулкана Кизимен в 2010–2012 гг. и его продукты

В работе даны краткая характеристика динамики извержения вулкана Кизимен от начала активизации до апреля 2012 г. и первые результаты петрохимического и минералогического изучения твёрдых продуктов извержения в 2011 г.

### Ход извержения

Извержение вулкана Кизимен началось в октябре 2010 г. и продолжается до настоящего времени. Извержение началось после 1,5-годовой сейсмической подготовки с образования в привершинной части вулкана 2-х газовых выходов, из которых периодически происходили парогазовые выбросы с небольшим содержанием пепла. С 10 декабря 2010 г. извержение перешло в активную эксплозивную стадию: практически непрерывно отмечались пепловые шлейфы разной длины и насыщенности, частые выбросы пирокластики различной мощности с формированием пирокластических потоков, преимущественно в юго-восточном секторе вулкана, что привело к формированию мощного лахара в долине ручья Поперечного 13 декабря 2010 г. В конце февраля 2011 г. на восточном склоне вулкана был замечен лавовый поток длиной около 300 м, при этом интенсивность эксплозивной деятельности несколько снизилась [1]. В результате регулярных полевых работ с начала декабря по конец марта, пеплы этой наиболее активной эксплозивной стадии были отобраны примерно в 100 точках, всего более 200 проб [1].

В дальнейшем по сейсмическим данным КФ ГС РАН были отмечены эксплозивные активизации в марте и начале мая 2011 г., последняя была, вероятно, наиболее мощной и сопровождалась прохождением пирокластического потока по руслу руч. Поперечного на расстояние 7 км в северо-восточном направлении от вулкана. После этого активность снизилась (по данным КФ ГС), и с середины июня перестали регистрироваться пепловые шлейфы [2].

Последняя эксплозивная активизация отмечалась 14 декабря 2011 г., выразившаяся в формировании 16 крупных и 10 более мелких пирокластических потоков [3] на северо-восточном склоне вулкана.

В дальнейшем наблюдались преимущественно эффузивная активность с выжиманием лавового потока, раскалёнными лавинами и камнепадами на его фронте и реже в других частях, ночью — свечение



**Рис. 1.** Вулкан Кизимен, вид с севера, 23 декабря 2011 г. Фото В. В. Ящука.

из кратера и на лавовом потоке, а также парогазовая деятельность вершинного кратера (рис. 1).

**Лавовый поток.** Появление лавового потока достоверно было отмечено в конце февраля 2011 г., когда его длина составила уже около 300 м. В феврале вулкан практически постоянно был закрыт либо из-за низкой облачности, либо вследствие непрерывной паро-газовой деятельности.

14 сентября фронт лавового потока на восточном склоне вулкана находился на высоте 1300 м н. у. м., а его длина составила около 2,5 км. В нижней части потока наиболее активным являлся его северный борт, отличающийся более тёмным цветом, где наблюдались многочисленные раскалённые лавины, ночью светящиеся<sup>1</sup>. Именно в этом месте, как показали последующие наблюдения, образовалось ответвление лавового потока.

По данным сотрудников КФ ГС, находившихся в районе Верхнецапинских источников 23–26 декабря 2011 г., и сотрудников ИВиС, проводивших полевые работы в районе вулкана 2–4 и 17–25 марта 2012 г., лавовый поток был весьма активен, судя

<sup>1</sup>[www.ivs.kscnet.ru/ivs/volcanoes/inform\\_messages](http://www.ivs.kscnet.ru/ivs/volcanoes/inform_messages)



**Рис. 2.** Лавовый поток, разделившийся на 2 рукава, по состоянию на 30 апреля 2012 г., 1 — фронт потока (рис. 3), 2 — бортовой вал (рис. 4а), 3 — свежая лава (рис. 4б). Фото Н. А. Малик.



**Рис. 3.** Фронт лавового потока длиной 1,4 км, вид с востока, 23 марта 2012 г. Фото Н. А. Малик.

по частым камнепадам и обрушениям. К концу марта 2012 г. максимальная длина его составила около 3,1 км. Он разделился на 2 рукава, ответвление начинается приблизительно с высоты 1400 м н. у. м. (рис. 2). К концу марта 2012 г. 2 рукава лавового потока достигли долины ручья Поперечного на высоте 1100–1200 м н. у. м., образовав единый фронт, протяжённостью около 1,4 км (рис. 3). Приблизительная мощность лавового потока на фронте — 50–100 м. По всему фронту почти непрерывно отмечались обрушения. Над ним практически постоянно стояло пылевое облако, иногда образуя многокилометровый шлейф, прослой пыли отмечались в снегу на расстоянии до 20 км от вулкана.

Во время посещения вулкана 29–30 апреля 2012 г. была обследована средняя часть лавового потока на высоте около 1600 м н. у. м. В русле потока отмечена порция более свежей, горячей, покрытой возгонами лавы, имеющей глыбовый облик и отли-

чающейся более тёмным цветом, ограниченной бортовыми валами (рис. 4а,б). Здесь мощность свежего лавового потока в его центральной части составила ~25 м, высота бортовых валов ~30 м с внешней стороны, ~40 м — с внутренней. В это время было отмечено ослабление эффузивной деятельности, судя по отсутствию частых обрушений и камнепадов на фронте и в других частях потока.

Средняя скорость продвижения фронта потока с конца февраля по 14 сентября 2011 г. составила около 350 м/мес (или 12 м/день). С сентября 2011 г. по конец марта 2012 г. фронт основной ветви потока продвинулся на 700 м, что соответствует средней скорости ~110 м/мес, при этом за это время сформировался 2-ой рукав длиной 700–800 м, но меньшей мощности.

**Пирокластические потоки.** Отложения пирокластических потоков на юго-восточном склоне вулкана активно формировались с декабря 2010 г. по март



(a)



(б)

**Рис. 4.** Средняя часть лавового потока на высоте 1600 м н. у. м.: а — вид с бортового вала на лаву в центральной части потока, б — лаву в центральной части потока; 29 апреля 2012. Фото Н. А. Малик

2011 г. Ко времени их обследования 29 апреля 2012 г. они были покрыты слоем пылеватых пеплов, а в нижней части перебиты талыми водами (рис. 5).

В северо-восточном секторе вулкана в долине ручья Поперечного на высоте 1100 м н. у. м., где удалось провести наблюдения в сентябре 2011 г., отмечены свежие отложения пирокластических потоков (рис. 6). Наиболее протяженные из них, достигшие отметки 530 м н. у. м. сформировались 3 мая 2011 г. Мощность этих отложений, размытых ручьем, можно приблизительно оценить в 3 м. При обследовании в марте 2012 г. они ещё сохраняли высокую тем-

пературу, о чём свидетельствовало отсутствие или небольшое количество снега на их поверхности.

Не вызывает сомнения, что наблюдаемая в долине ручья Поперечного картина — последствия прохождения пирокластического потока, а не какого-либо вида лавин: пирокластический материал прошёл по достаточно пологонаклонной (в среднем —  $5^\circ$ , в нижней части  $\sim 3^\circ$ ) долине ручья более 5 км, повсеместно отмечаются выходы вторичных фумарол, местами их значительные скопления, а также возгоны возле газовых выходов и на крупных глыбах. Потоки сопровождалась пирокластическими волна-



**Рис. 5.** Отложения пирокластических потоков на юго-восточном склоне вулкана, на заднем плане — лавовый поток, 29 апреля 2012 г. Фото Н. А. Малик



**Рис. 6.** Отложения пирокластического потока (активизация 14 декабря 2011 г.) в долине руч. Поперечного, на заднем плане — лавовый поток, 23 марта 2012 г. Фото Н. А. Малик

ми, последствия, которых хорошо видны: деревья на склонах долины ручья повреждены (ободраны, присыпаны). Отложения пирокластических волн — относительно хорошо сортированные, песчанистые, имеют холмистую поверхность (рис. 7).

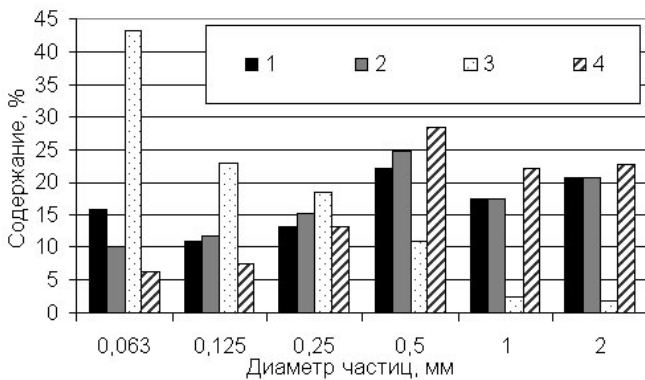
Продукты эксплозивной активизации 14 декабря 2011 г. были отмечены спустя 10 дней В. В. Ящук в долине ручья Поперечного — это были ещё тёплые, свободные от снега, рыхлые, сильно газонасыщенные отложения, спустившиеся по долине до отметки ~800 м н. у. м.

Гранулометрический состав заполнителей этих потоков (рис. 8) сходен и близок таковому заполнителя отложений пирокластических потоков вулкана Безымянного [4]. Отложения пирокластической волны, отобранные на высоте около 10 м в долине ручья, отличаются более выраженным максимумом, так же приходящимся на фракцию (0,25–0,5 мм), в 2 раза меньшим содержанием фракции <0,064 и практически отсутствием обломков крупнее 10 мм.

Химический анализ воды из ручья Поперечного, отобранной в начале и конце декабря 2011 г., по-



**Рис. 7.** Отложения пирокластической волны на склоне долины руч. Поперечного, 19 марта 2012 г. Фото Н. А. Малик

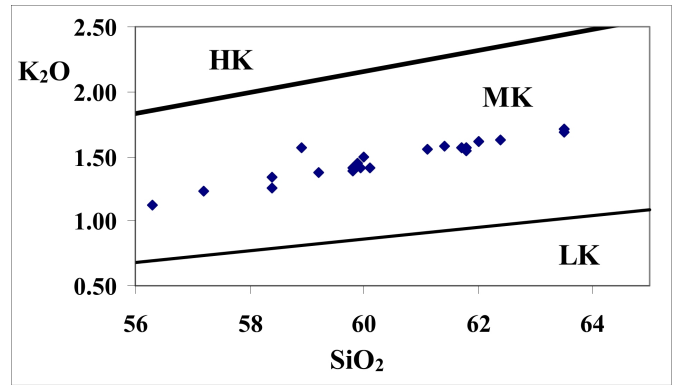


**Рис. 8.** Гранулометрический состав: 1 — заполнителя отложений пирокластических потоков в долине руч. Поперечного, отобран в сентябре 2011 г., 2 — отобран после активизации в декабре 2011 г.; 3 — пеплов облаков потоков и лавин, 4 — отложений пирокластических волн.

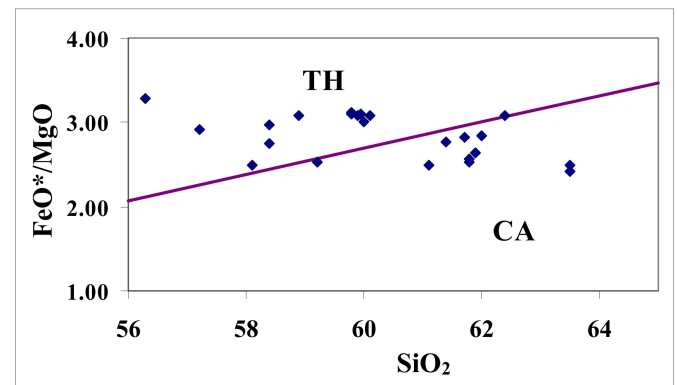
казал увеличение содержания в ней хлорид-иона в 1,5 раза, сульфат-иона в 2,5 раза после активизации 14 декабря. В целом, содержание сульфат-иона (115 мг/л) значительно превышает показатели для рек Камчатки, что указывает на значительную газонасыщенность пирокластических отложений и существенную роль  $SO_2$  в составе газов.

**Продукты извержения**

Исследованные образцы представляют различные вулканические фации: лапилли (образцы января), различные обломки на пирокластических отложениях в долине ручья Поперечного (июль), породы и заполнитель пирокластического потока (сентябрь), а также образцы лавового потока, отобранные у подножия конуса вулкана вблизи и на фронте лавового



(а)

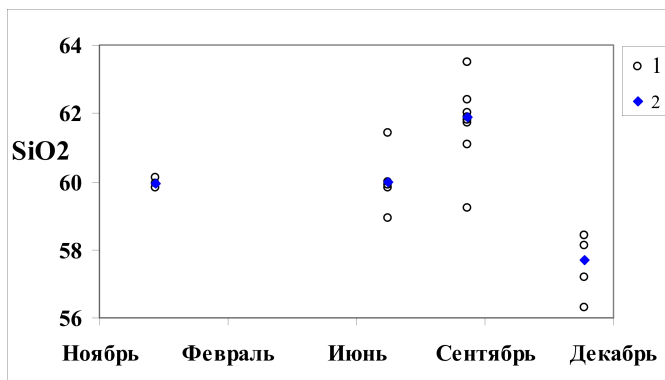


(б)

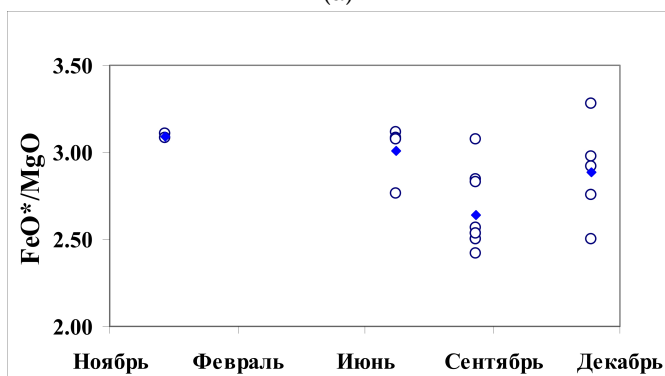
**Рис. 9.** Составы пород извержения в координатах  $K_2O - SiO_2$  (а) и  $FeO^*/MgO - SiO_2$  (б). ЛК, МК, НК — поля низко-, средне- и высококальциевых андезитов, соответственно. ТН — и СА — поля пород толеитовой и известково-щелочной серий, соответственно.

потока (сентябрь и декабрь). Все породы хорошо раскристаллизованы, от светло-серого (пирокластический поток) до тёмно-серого (лавы) цвета, в различной степени пористые. Характерно присутствие в порах пирокластических пород нитевидных тяжелей бесцветного стекла и отсутствие таковых в образцах лавового потока.

**Химический состав продуктов извержения.** Петрохимически образцы относятся к андезитам, охватывая интервал  $SiO_2$  от 56,3 до 63,5%. На графике  $K_2O - SiO_2$  они образуют единый тренд в центре поля среднекальциевой серии (рис. 9а). По соотношению  $FeO^*/MgO$  составы пород слабо варьируют с изменением  $SiO_2$ , переходя из области толеитовой серии для более основных составов в область известково-щелочной серии с повышением кислотности (рис. 9б). Следует отметить, что со временем, в течение 2011 г., наблюдается закономерное изменение кислотности пород. Образцы, отобранные в январе и июле, содержат 60%  $SiO_2$ . Породы пирокластического и лавового потока, взятые в сентябре, отличаются наиболее высокой кислотностью: 59,2–63,5%  $SiO_2$ . В пирокластике и лаве декабрьской порции произошло существенное повышение основности (56,5–59%  $SiO_2$ ) (рис. 10а). Примечательно, что повы-



(а)



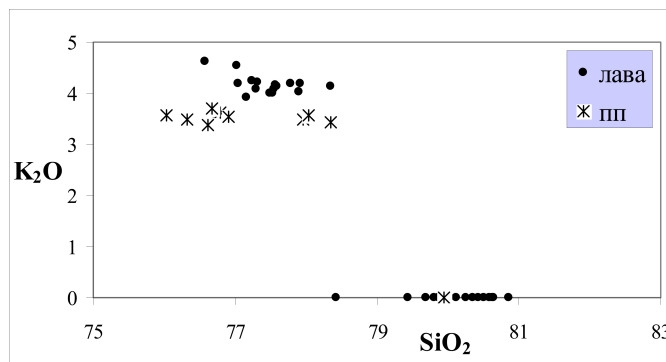
(б)

Рис. 10. Вариации кислотности (а) и отношения FeO\*/MgO (б) в ходе извержения в течение 2011 г.: 1 — по отдельным породам, 2 — средние.

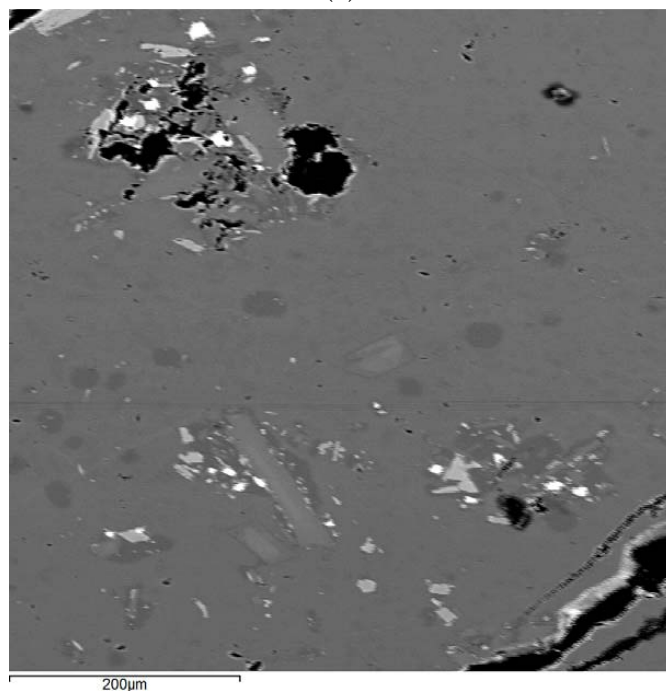
шение основности не сопровождается увеличением соотношения FeO\*/MgO (рис. 10б). Породы пирокластического потока по сравнению с лавами заметно менее окислены, судя по соотношению закисного и окисного железа.

**Минералогические особенности продуктов извержения.** На микрозонде были изучены минеральные составы образцов пирокластического и лавового потоков, отобранные в сентябре. Среди вкрапленников в изученных породах преобладают плагиоклаз (An<sub>50-85</sub>) и амфибол (F/FM — 0,25–0,40). Состав амфибола в целом отвечает магниальной роговой обманке. Роговая обманка в образцах, отобранных в сентябре, имеет однородный оливковый цвет и свежий облик без следов разложения и реакции с расплавом.

Кроме того, во вкрапленниках присутствуют Орх (En 64–78), Aug (En 43–48,5 Fs 13–18 Woll 34,5–42), Ol (Fo 72–76,5), Mt (6–14% TiO<sub>2</sub>), и Ilm. В основной массе помимо микролитов плагиоклаза, пироксенов и магнетита имеются чистые от микролитов области кислого стекла (76–80% SiO<sub>2</sub>). Примечательной чертой основной массы породы лавового потока является, обнаруженное на микрозонде, наличие двух стёкол, различающихся по содержанию K<sub>2</sub>O (0 и ~ 4%) и SiO<sub>2</sub> (~ 80% и ~ 77 + 0,5%) (рис. 11).



(а)



(б)

Рис. 11. Составы стёкол в основной массе пирокластического потока (ПП) и лавы (образцы отобраны 14 сентября 2011 г.) на диаграмме K<sub>2</sub>O — SiO<sub>2</sub> (а) и микрофото шлифа образца лавы (б). Более тёмные овальные зоны соответствуют стёклам без K<sub>2</sub>O.

Текстурные и химические особенности пород пирокластических потоков (наличие нитей стекла, высокая доля стекла в основной массе, меньшая окисленность по сравнению с лавами) указывает на их быстрое извержение с резкой дегазацией и закалкой по сравнению с породами лавовых потоков. Образование двух стёкол в основной массе лав является результатом ликвационного расслоения расплава, вероятно, в ходе медленного охлаждения лавового потока.

В лаве и пирокластике, взятых после декабрьской активизации вулкана, роговая обманка сильно, практически цело, разложена, часто представляя полностью чёрные зёрна с хорошо сохранившимися первоначальными формами кристалла. В этих

породах стали встречаться мелкозернистые Pl-Rх-Mt-гомеогенные включения. Это говорит о резком замедлении поступления магмы на поверхность, что и отразилось в переходе извержения в экструзивно-эффузивный режим — пульсационное выжимание лавового потока.

Высокая степень кристалличности и крайне высокие содержания  $\text{SiO}_2$  в остаточном стекле говорят о чрезвычайно большой вязкости извергающейся магмы. Вещество с такой вязкостью должно обладать высоким значением предела текучести, что в свою очередь объясняет особенность поверхностной сейсмичности, сопровождающей извержение, так называемой «барабанной дроби» [3].

Авторы выражают благодарность за предоставленные образцы А. А. Овсянникову, С. Б. Самойленко, В. В. Яцуку, за помощь в отборе образцов в процессе полевых работ Я. Д. Муравьеву, А. В. Соколенко, С. А. Чиркову.

Работа выполнена при поддержке гранта ДВО № 12-III-08-172.

#### Список литературы

1. Овсянников А. А., Малик Н. А. Тейфра извержение вулкана Кизимен в декабре 2010 г. — феврале 2011 г. // Материалы конференции, посвящённой Дню вулканолога «Вулканизм и связанные с ним процессы», 30 марта — 1 апреля 2011 г. — Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2011. С. 57–61.
2. Мельников Д. В., Двигало В. Н., Мелекесцев И. В. Извержение 2010–2011 гг. Камчатского вулкана Кизимен: динамика эруптивной активности и геолого-геоморфологический эффект (на основе данных дистанционного зондирования) // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. № 2. Вып. 18. С. 87–101.
3. Фирстов П. П., Шакирова А. А. Сейсмические явления, сопровождавшие извержение вулкана Кизимен в 2011 г. // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. № 2. Вып. 18. С. 7–13.
4. Гирина О. А. Пирокластические отложения современных извержений андезитовых вулканов Камчатки и их инженерно-геологические особенности / Институт вулканической геологии и геохимии ДВО РАН. Владивосток: Дальнаука, 1998. 174 с.