

УДК 551.21

## ИЗВЕРЖЕНИЕ ВУЛКАНА БЕЗЫМЯННЫЙ 24 ДЕКАБРЯ 2006 г., КАМЧАТКА

© 2011 г. Н. А. Малик

*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН  
683006 Петропавловск-Камчатский, бульвар Пийна, 9,  
e-mail: malik@kscnet.ru*

Поступила в редакцию 15.11.2010 г.

24 декабря 2006 г. произошло эксплозивное извержение вулкана Безымянный. Изучено распределение отложений пеплопада на территории полуострова. Исследованы химический, минеральный, гранулометрический составы тефры, ее водорастворимый комплекс. На площади более 8000 км<sup>2</sup> в окружающую среду вместе с 7 млн т пепла поступило около 30 тыс. т водорастворимых веществ. Приведены сведения об извержении из различных источников и выполнена оценка его геологического эффекта. Общий объем изверженной пирокластике составил 0.01–0.014 км<sup>3</sup>: пепла – 0.004 км<sup>3</sup>, отложений пирокластического потока – 0.006–0.01 км<sup>3</sup>.

### ВВЕДЕНИЕ

Вулкан Безымянный после возобновления его активности в октябре 1955 г. является одним из наиболее активных вулканов Камчатки. В результате пароксизмального извержения 30 марта 1956 г. образовался большой взрывной кратер, в котором по настоящее время происходит рост экструзивного купола и связанные с ним эксплозивные извержения. С 1977 г., наряду с жесткими блоками, начали выжиматься вязкие лавовые потоки [Богоявленская и др., 1981]. С этого времени на вулкане ежегодно происходят 1–2 кратковременных эксплозивных извержений, которые характеризуются подъемом эруптивной колонны до 6–15 км над уровнем моря (н.у.м.) и формированием пирокластических потоков длиной до 12.5 км.

В 2006 г. произошло два межпароксизмальных эксплозивных извержения вулкана: 9 мая [Гирина и др., 2006] и 24 декабря. Продукты последнего изучались во время полевых работ в декабре 2006–марте 2007 гг.

**Общая характеристика и ход извержения 24 декабря 2006 г.** По данным Камчатского филиала Геофизической службы (КФ ГС) РАН, сейсмическая подготовка этого извержения началась в конце ноября 2006 г. [Гирина и др., 2006]. 23 декабря по видеоснимкам впервые были отмечены раскаленные лавины, сопровождавшиеся подъемом облаков пепла до 600 м над вулканом (3.5 км н.у.м.). 24 декабря с 11:50 (здесь и далее местное время) по видео и визуальным данным наблюдались крупные лавины и эксплозии с подъемом пепла до 6.5 км н.у.м. и распространением шлейфов в северо-восточном направлении. Согласно сейсмическим данным кульминационная фаза извержения происходила 24 декабря с 21:17 до 22:10. Пепловая колонна в форме гриба поднялась до 13 км н.у.м., в колонне наблюда-

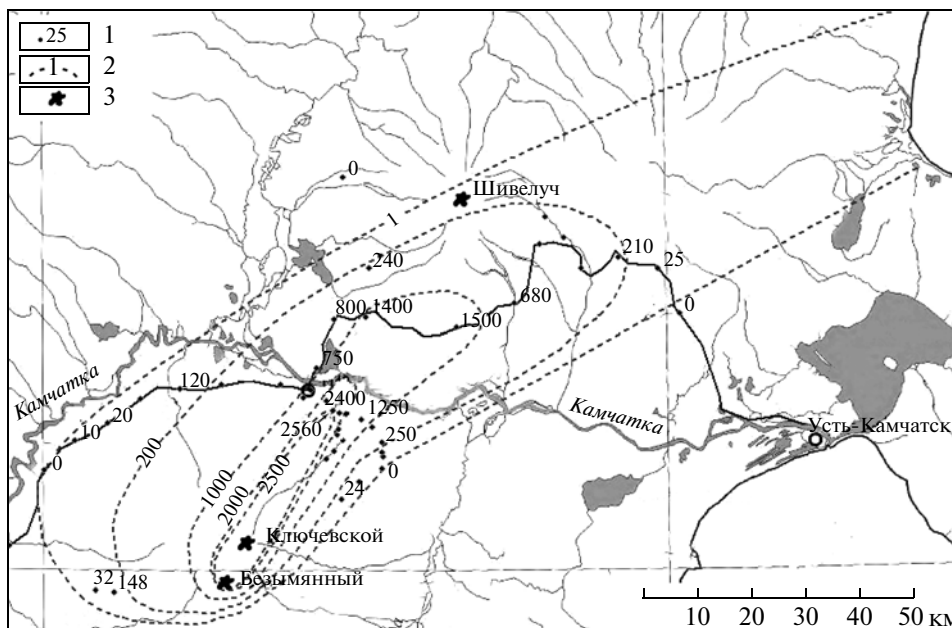
лись вспышки молний (из сообщения сотрудников сейсмостанции “Козыревск”).

По данным сотрудников Камчатской вулканологической станции в ночь с 24 на 25 декабря в п. Ключи выпало около 1 см пепла со снегом (во время и после пеплопада в воздухе ощущался резкий запах серы).

По спутниковым данным пепловое облако на высоте 9–10 км перемещалось в начале на северо-восток (азимут около 40°), постепенно меняя направление на восточное (в 150 км от вулкана – азимут 58°, в 740 км – 83°), и отмечалось на расстоянии до 850 км от вулкана. Наиболее четко пепловое облако размером 45 × 25 км зафиксировано на спутниковом снимке NOAA18 (25 декабря 2:54), когда оно находилось на расстоянии 150 км на северо-восток от вулкана, т.е. перемещалось со скоростью около 8 м/с.

При изучении проб пепла было отмечено неравномерное распределение его по обе стороны от оси пеплопада (рис. 1). Результаты зондирования атмосферы в районе п. Ключи (ЗГМО “Ключи”) показали, что во время извержения на высотах 1–2.5 км отмечался ветер юго-восточных румбов (115–175°) со скоростью 9–14 м/с, а на высотах 2.7–13 км преобладал юго-западный ветер (215–245°) со скоростью 3–25 м/с. Этим объясняется смещение облака пепла и выпадение более крупной фракции к северо-северо-западу от основной оси пеплопада.

Геологический эффект декабрьского извержения складывается из отложений тефры, лавового и пирокластического потоков. Судя по данным, приведенным в работе [Carter et al., 2008], пирокластический поток с южного склона купола прошел 6.5 км в юго-восточном направлении. На расстоянии около 5 км от кратера он повернул на восток-юго-восток. Отложения потока заполнили долину шириной 425 м и включали несколько языков, отклонившихся от ос-



**Рис. 1.** Схема распределения отложений пепла извержения вулкана Безымянный 24 декабря 2006 г.  
 1 – точки отбора проб, масса пепла на единицу площади, г/м<sup>2</sup>; 2 – изолинии массы пепла на единицу площади, г/м<sup>2</sup>;  
 3 – активные вулканы.

нового русла. Общая площадь потока была оценена по термальной аномалии (территория с температурой на 10°С выше фона) в 2.04 км<sup>2</sup> [Carter et al., 2008]. Обследовать эти отложения сразу после извержения не удалось. В результате последующего извержения 12 мая 2007 г. они были частично перекрыты новым пирокластическим потоком.

По спутниковым изображениям в видимом и инфракрасном диапазоне на юго-восточном склоне купола был обнаружен лавовый поток длиной 625 м, шириной 200 м и площадью около 97200 м<sup>2</sup> [Carter et al., 2008].

Отложений грязевых потоков не было отмечено, что связано, вероятно, с небольшой мощностью снежного покрова на склонах вулкана в начале зимы.

Отложение пепла происходило на снег, что позволило во время полевых работ в январе-марте 2007 г. отобрать около 40 образцов пеплов из шурфов, расположенных на расстоянии 23–80 км от вулкана, по оси пеплопада и поперек нее; описание восьми из них представлено в табл. 1. Подобные работы впервые описаны в [Овсянников и др., 1992]. Так как с декабря 2006 г. также происходило извержение вулкана Шивелуч, часть отложений тефры вулкана Безымянный, не перекрытых снегом, перемешалась с пеплом Шивелуча, усиление активности которого отмечалось 26–27 декабря с распространением пеплопадов в восточных направлениях. В настоящей работе рассматриваются только чистые пробы пепла

**Таблица 1.** Расположение и количественные характеристики проб пепла вулкана Безымянный извержения 24.12.2006 г.

Номер пробы	Расстояние от вулкана, км	Расстояние от оси пеплопада, км	Масса пепла на единицу площади, г/м <sup>2</sup>	Количество водорастворимых веществ на 100 г пепла, мг
Б-11	31	4	1300	315
Б-4	40	0	2560	–
Б-6	40	1	2400	360
Б-3	41.5	12	250	440
Б-5	42	6	1250	370
Б-8	42	6	1140	–
Б-55	56	14	800	460
Б-22	59	3	1400	440

**Таблица 2.** Химический состав продуктов извержения 24.12.2006 г., мас. %

Компоненты	Пепел					Бомбы	
	Б-930	Б-11	Б-3	Б-54/3	ср.	Б-932/1	Б-932/2
SiO <sub>2</sub>	59.57	59.90	61.50	60.67	60.58	58.18	57.44
TiO <sub>2</sub>	0.72	0.73	0.68	0.75	0.73	0.75	0.74
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17.80	17.43	16.89	16.91	17.21	18.47	18.98
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.69	3.35	3.49	3.16	3.17	2.51	2.69
FeO	3.21	3.65	3.77	3.87	3.82	4.71	4.65
MnO	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.13	0.13
CaO	7.07	6.96	6.44	6.32	6.71	7.77	7.83
MgO	2.67	2.71	2.03	2.84	2.47	2.49	2.57
Na <sub>2</sub> O	3.67	3.66	3.63	3.74	3.71	3.66	3.67
K <sub>2</sub> O	1.32	1.33	1.29	1.46	1.32	1.18	1.14
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.16	0.16	0.14	0.17	0.15	0.15	0.15

Примечание. Б-930, Б-11, Б-3, Б-54/3 – пробы пепла, отобранные, соответственно, на расстояниях 23, 31, 41.5 и 68 км от вулкана; ср. – среднее арифметическое из результатов анализа 20 проб пепла; Б-932/1 – бомба из темного пористого андезита, Б-932/2 – бомба из более плотного серого андезита. Химический анализ выполнен в Аналитическом центре ИВиС ДВО РАН на рентгенофлуоресцентном спектрометре “S4 PIONEER”. Аналитики: Карташева Е.В., Чеброва Н.И., Рагулина В.М., Садовникова А.О. Результаты пересчитаны на безводную основу.

вулкана Безымянный, без примеси материала Ши-велуча.

Также были изучены обломки вулканических бомб, отобранные А.А. Овсянниковым на седловине между вулканами Камень и Безымянный. Бомбы размером 5–10 см были впаяны в снег и окружены корочкой льда, что говорит об их высокой температуре во время падения на снег. Один из обломков представлен темным пористым, другой – плотным серым андезитом.

**Геологический эффект извержения.** На основании изучения пепла в 40 точках, а также спутниковых снимков, составлена схема распространения отложений тефры (см. рис. 1). Форма изолиний массы тефры (г/м<sup>2</sup>) была принята эллиптической. Общая масса тефры оценивалась по формулам В.А. Широкова (1985) и составила около 7 млн т или 0.004 км<sup>3</sup> (в пересчете на объемный вес уплотненного пепла<sup>1</sup> 1.75 г/см<sup>3</sup>). Пеплопадом было охвачено более 8000 км<sup>2</sup> территории полуострова. Близкие оценки получены по формулам [Федотов, 1982] (5 млн т) и по методам расчета [Fierstein et al., 1992; Legros, 2000] (4–5 млн т).

Объем отложений пирокластического потока при длине 6.5 км, ширине до 425 м и площади более 2 км<sup>2</sup> оценивается в 0.006–0.01 км<sup>3</sup> при предположении, что его средняя мощность по аналогии с потоками предыдущих извержений [Белоусов и др., 1998;

Гирина и др., 2006; Малышев, 2000; Федотов и др., 1985] составляет 3–4 м.

Общий объем пирокластического материала извержения составил 0.01–0.014 км<sup>3</sup>, что соответствует извержениям средней силы, характерным для периода активности вулкана Безымянный после 1956 г.

**Петрохимические особенности тефры.** Тефра декабрьского извержения, как и все изверженные вулканом породы с 1955 г., относится к андезитам нормального щелочного ряда известково-щелочной серии. Пепел, отобранный на расстояниях 23–70 км, в результате эоловой гравитационной дифференциации имеет более кислый состав, чем бомбы того же извержения (табл. 2).

При сравнении химического состава бомб с составом пород извержений 1956–1989 гг. [Малышев, 2000] и извержений 1956–1991 гг. [Озеров и др., 1997] (рис. 2, табл. 2) значительные отличия наблюдались только для оксида магния, для которого в 2006 г. отмечены низкие значения, что не укладывается в выявленную тенденцию роста его содержания в ходе исторического эруптивного цикла [Малышев, 2000]. Можно отметить также сравнительно высокое содержание и преобладающую роль закисного железа в продуктах данного извержения относительно исторических (см. рис. 2). На вариационных диаграммах (см. рис. 2) не учитывались результаты химических анализов пеплов, так как состав пепла обладает большой изменчивостью, зависящей от условий перемещения и отложения.

**Минеральный состав изверженных пород.** Частицы пепла представлены кристаллами плагиоклаза

<sup>1</sup> Вычислен автором по результатам замеров объема и массы сухого уплотненного пепла данного извержения в лабораторных условиях.

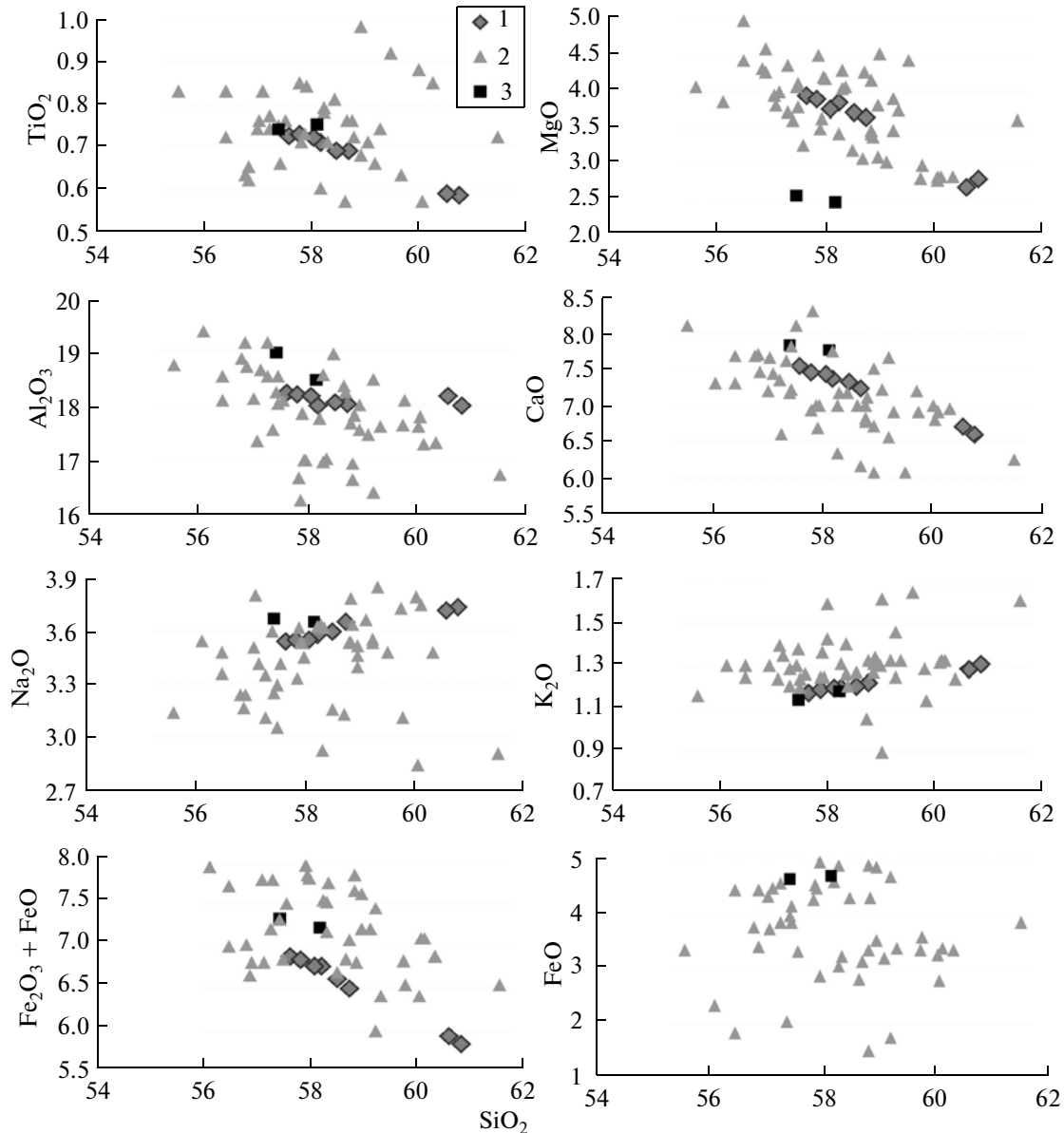


Рис. 2. Вариационные диаграммы для андезитов извержений вулкана Безымянный (мас. %).

1 – 1956–1991 гг. [Озеров и др., 1997]; 2 – 1956–1989 гг. [Мылышев, 2000]; 3 – 24 декабря 2006 г. Химический анализ выполнен в Аналитическом центре ИВиС ДВО РАН, результаты пересчитаны на безводную основу.

(преобладает), орто- и клинопироксена, рудных минералов, обломками пород.

Для химического анализа минералов и стекол на рентгеноспектральном микроанализаторе “Самбах” были использованы пробы пеплов Б-11 и Б-12, отобранные недалеко от оси пеплопада, на расстояниях 31 и 33.5 км от вулкана, соответственно. После отмывания мелких частиц из оставшейся фракции (0.1–1 мм) каждой пробы в шашку были заложены по 10–20 частиц пепла, представленных кристаллами плагиоклазов, темноцветных минералов, рудных минералов и обломками пород – всего 92 частицы.

Обломки пород представлены основной массой с включением субфенокристаллов плагиоклаза, пироксена, титаномагнетита. Структура основной массы – гиалопилитовая, местами интерсертальная, представляющая смесь из стекла, микролитов и кристаллитов. В таких частицах производился выборочно анализ состава субфенокристаллов, микролитов, стекла, а также анализ методом сканирования участков основной массы размерами 400–2500 мкм<sup>2</sup>.

**Плагиоклаз.** Кристаллы плагиоклаза (An<sub>42–89</sub>) размером 0.3–0.7 мм по химическому составу соответствуют лабрадору, реже битовниту и андезину (рис. 3а), средний состав – An<sub>65</sub>. В большинстве зе-

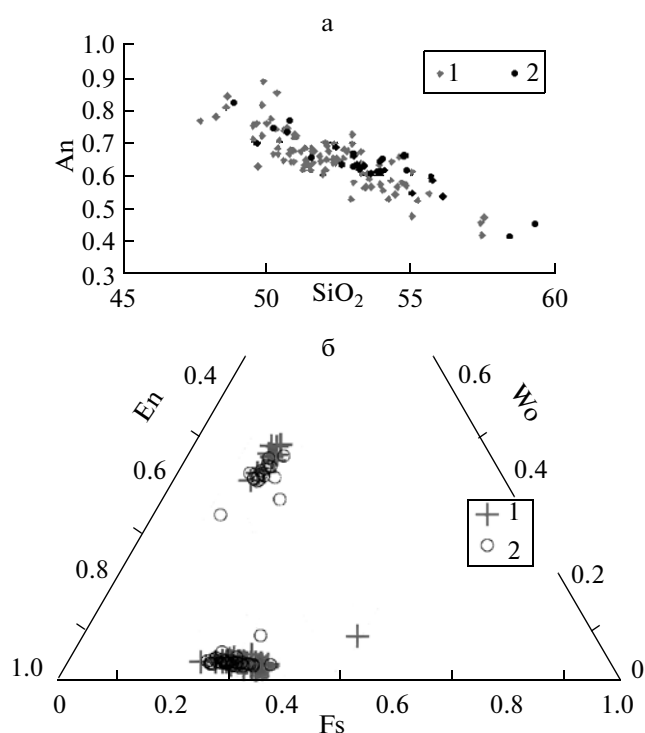


Рис. 3. Распределение плагиоклазов (а) и пироксенов (б) в пеплах вулкана Безмянный, декабрь 2006 г.: на обоих диаграммах: 1 – фенокристаллы; 2 – субфенокристаллы и микролиты.

рен наблюдается зональность, причем различия в составе достигают 22%An, в среднем составляя 10% An. Характер зональности в большинстве случаев определить сложно, так как частицы пеплов представляют собой обломки кристаллов, в некоторых случаях явно различима ритмическая зональность. Иногда в них отмечались включения стекла (табл. 3).

Состав микролитов и субфенокристаллов (размером менее 0.3 мм) в основной массе породы варьирует в пределах An<sub>41–76</sub> (см. рис. 3а), за исключением одного субфенокристалла, имеющего наиболее основной состав – An<sub>82</sub>; средний – соответствует An<sub>63</sub>. Как и фенокристаллы, большая часть субфенокристаллов и микролитов по химическому составу соответствуют лабрадору, намного реже встречается битовнит и андезин.

**Пироксен** представлен ромбической и моноклинной разновидностями (см. рис. 3б).

**Ортопироксен** преобладает над клинопироксеном. По химическому составу частицы тефры размером 0.3–0.6 мм, многие, имеющие удлиненную форму, соответствуют гиперстену (En<sub>61–73</sub>), средний состав – Wo<sub>3</sub>En<sub>65</sub>Fs<sub>32</sub>. Явно выраженной зональности не наблюдается.

Субфенокристаллы и микролиты (50–300 мк) также по химическому составу соответствуют гиперстену (En<sub>61–72</sub>), в редких случаях – бронзиту

(En<sub>79</sub>), но средний состав их более магнезиальный (Wo<sub>3</sub>En<sub>68</sub>Fs<sub>29</sub>).

**Клинопироксен** встречается как в виде отдельных кристаллов размером 0.3–0.7 мм, так и в сростках с ортопироксеном, представлен авгитом и салитом состава Wo<sub>40–47.5</sub>En<sub>36.5–46</sub>Fs<sub>14–16</sub>, средний – Wo<sub>45</sub>En<sub>40</sub>Fs<sub>15</sub>.

Химический состав субфенокристаллов и микролитов клинопироксена по сравнению с фенокристаллами более магнезиальный, соответствует авгиту (Wo<sub>33–45</sub>En<sub>37–54</sub>Fs<sub>13–22</sub>). Состав большинства минералов близок к среднему Wo<sub>41</sub>En<sub>43</sub>Fs<sub>16</sub>, за исключением двух микровкрапленников, один из которых (Wo<sub>33</sub>En<sub>54</sub>Fs<sub>13</sub>) определен рядом с роговой обманкой (?) и возможно являлся ее частичным замещением, другой (Wo<sub>36</sub>En<sub>42</sub>Fs<sub>22</sub>) расположен на краю частицы пепла.

В двух анализах был определен пижонит: один – в сростке с ортопироксеном (Wo<sub>8</sub>En<sub>43</sub>Fs<sub>49</sub>), другой – микролит (Wo<sub>8</sub>En<sub>60</sub>Fs<sub>32</sub>).

**Рудный минерал** образует включения размером менее 100 мкм в пироксене или приурочен к его краям, часто встречается в основной массе в виде микролитов и субфенокристаллов размером до 300 мкм. По составу отвечает титаномагнетиту и магнетиту с примесью магнезиоферрита MgFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> (до 12%) и шпинели MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> (до 16%).

В двух кристаллах, приуроченных к краям пироксенов, наблюдался переход от магнетита в центре кристалла к ильмениту в краевой части.

Количество чистого *стекла* невелико, большая часть основной массы раскристаллизована и представляет собой смесь микролитов и кристаллитов плагиоклаза, пироксена и рудного минерала, погруженных в стекло, состав которого варьирует от 66 до 78% SiO<sub>2</sub> (среднее содержание – 73%) (см. табл. 3).

Породы извержения 2006 г. относятся к двупироксеновым андезитам. Несмотря на то, что были изучены в минералогическом отношении только пеплы, не дающие полного представления о размерах кристаллов, можно выделить несколько генераций плагиоклаза и пироксена, т.е. порода является серийнопорфировой.

Сравнивая состав минералов пеплов этого извержения с минеральным составом пород пирокластического потока 1985 г. [Алидибирова и др., 1988], можно отметить некоторое повышение содержания An в плагиоклазах и уменьшение магнезиальности ортопироксенов. При сравнении с результатами анализов минералов андезитов 1956–1990 гг. [Толстых и др., 1999] также заметно увеличение аноритовой составляющей в плагиоклазах, средние составы пироксенов мало отличаются, за исключением титана, содержание которого меньше в пироксенах 2006 г.

**Гранулометрический состав тефры.** В пеплах Безмянного пылевая фракция (менее 0.056 мм) на расстоянии 30–40 км от вулкана составила около

Таблица 3. Химический состав стекла тефры извержения 24.12.2006 г., мас. %

Ком- поненты	Включения в плагиоклазе			Стекло основной массы породы			Сканирование участков (400-2500 мкм <sup>2</sup> ) основной массы		
	1–8	1–9	ср. (5)	6–42	6–49	ср. (21)	3–3	6–5	ср. (22)
SiO <sub>2</sub>	70.7	62.8	$\frac{68.8}{62.8-72.6}$	76.9	69.9	$\frac{73.2}{65.9-78.3}$	72.6	66.5	$\frac{69.5}{61.3-76.9}$
TiO <sub>2</sub>	0.78	0.64	$\frac{0.55}{0.34-0.78}$	0.59	0.79	$\frac{0.46}{0.04-0.79}$	0.48	0.91	$\frac{0.59}{0.27-1.32}$
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13.2	17.1	$\frac{15.0}{13.2-17.9}$	11.8	12.5	$\frac{13}{10.6-19.5}$	14.7	17.2	$\frac{14.7}{10.9-19.3}$
FeO	3.33	4.68	$\frac{3.07}{1.62-4.68}$	1.62	3.57	$\frac{2.23}{0.36-4.11}$	2.59	4.99	$\frac{3.18}{1.28-6.42}$
MgO	0.61	1.45	$\frac{0.60}{0.03-1.45}$	0.02	0.4	$\frac{0.21}{0.00-0.59}$	0.22	0.87	$\frac{0.44}{0-1.42}$
CaO	2.37	5.86	$\frac{3.70}{1.9-5.92}$	0.38	1.63	$\frac{1.70}{0.0-4.68}$	2.91	5.02	$\frac{3.09}{0.2-6.29}$
Na <sub>2</sub> O	0.58	1.36	$\frac{1.22}{0.46-2.1}$	0.04	0.23	$\frac{1.16}{0.00-4.18}$	5.39	3.09	$\frac{3.57}{2.19-5.75}$
K <sub>2</sub> O	2.79	2.01	$\frac{2.70}{1.73-3.95}$	3.54	4.67	$\frac{3.49}{2.14-4.67}$	1.98	2.09	$\frac{2.76}{0.63-5.2}$
Сумма	94.3	96.0	$\frac{95.6}{94.3-96.1}$	94.8	93.6	$\frac{95.5}{90.3-99.6}$	100.9	100.7	$\frac{97.8}{90.9-100.9}$

Примечание. Приведены по два результата анализов в каждой группе и среднее (ср.) из общего числа анализов (указано в скобках); в числителе – среднее значение, в знаменателе – предельные значения. Анализ выполнен в ИВиС ДВО РАН на рентгено-спектральном микроанализаторе “Camebax”. Аналитик Философова Т.М.

50%, крупнозернистая (0.25–0.5 мм) – 5–25%. В пробах, отобранных в 31–34 км от вулкана, максимальный размер частиц достигал 1 мм. На расстоянии 40–70 км содержание пылеватой фракции составило 60–80%, крупнозернистой (0.25–0.5 мм) – менее 1% (рис. 4а).

На лазерном дифракционном анализаторе “analysette-22 СОМРАСТ” был сделан более детальный гранулометрический анализ трех проб пепла (см. рис. 4б). Как видно по кумулятивным кривым, распределение по фракциям частиц диаметром менее 0.05 мм на разных расстояниях от вулкана не отличается.

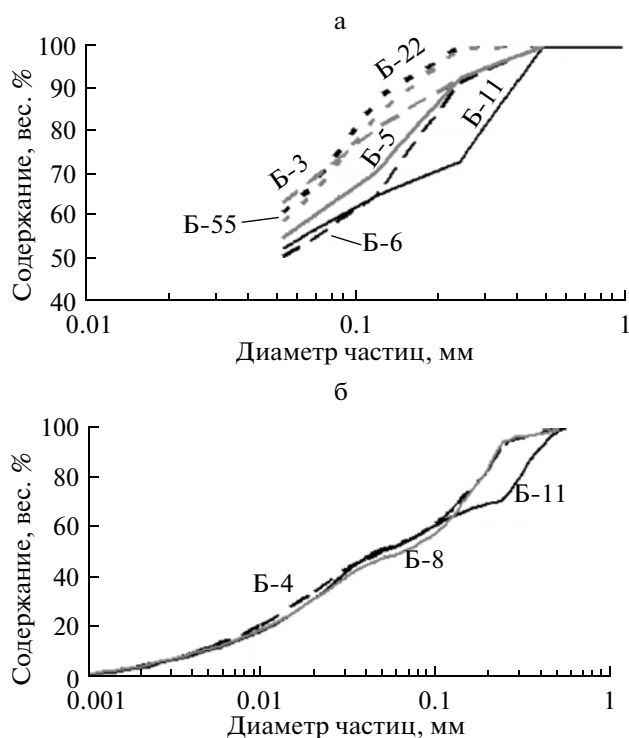
**Состав водорастворимого комплекса пеплов и экологический эффект извержения.** Пробы пепла отбирались вместе с вмещающим их снегом. Пробы, после таяния в них снега при комнатной температуре, фильтровались. Общий химический состав полученных водных вытяжек из пепла определялся в Аналитическом центре ИВиС ДВО РАН, результаты пересчитывались на 100 г пепла.

Количество выносимых водорастворимых веществ зависит от гранулометрического состава пепла: относительно более крупнозернистые пеплы,

выпавшие на расстояниях 30–40 км от вулкана вблизи оси пеплопада, выносят меньше сорбированных веществ на единицу веса, чем более тонкие, пылеватые, выпавшие дальше и на периферии пеплопада (расстояние 40–70 км) (см. табл. 1 и 4, рис. 4а и 5). Значительный разброс точек на графике (см. рис. 5), не позволяющий точно аппроксимировать их одной функцией, обусловлен разной скоростью изменения гранулометрического состава и связанных с ним сорбционных свойств пеплов с удалением от вулкана по оси пеплопада и вкrest его оси.

В работах [Башарина, 1958; Дубик и др., 1969] сравнивались пеплы извержений вулкана Безымянный 30 марта 1956 г. и 9–10 марта 1965 г., отобранные на разных расстояниях от вулкана. Установлено уменьшение минерализации вытяжек по мере удаления от вулкана, хотя на графиках [Дубик и др., 1969], начиная с расстояния 15–30 км, заметно увеличение содержания ионов Cl<sup>-</sup>, F<sup>-</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>. Полученные в нашей работе результаты не противоречат приведенным данным, а дополняют их (для более дальних расстояний).

Значение pH проб снега, загрязненного пеплом, варьирует от 4.35 до 5.35, что ниже фоновых

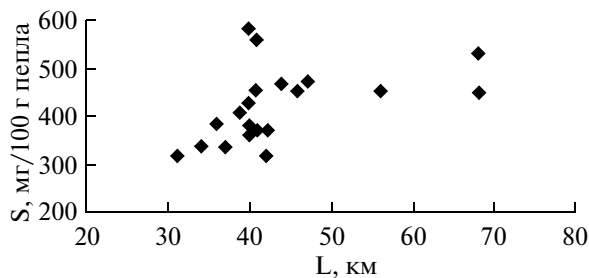


**Рис. 4.** Кумулятивные кривые гранулометрического состава пеплов извержения вулкана Безымянный 24.12.2006 г.

Анализ выполнен ситовым методом (а), ситовым методом и на лазерном дифракционном анализаторе (б). Характеристику образцов пеплов см. табл. 1.

величин, и, в целом, понижается с ростом минерализации. Данная зависимость с одинаковой точностью аппроксимируется логарифмической ( $pH = 0.15 \cdot \ln(M) + 5.6$ ) и степенной ( $pH = 5.7 \cdot M^{0.03}$ ) функциями, графики которых на диаграмме сливаются в одну линию (рис. 6).

Количество вынесенных пеплами водорастворимых веществ данного извержения сопоставлено



**Рис. 5.** Изменение содержания водорастворимых компонентов пеплов (S) извержения 24.12.2006 г. с увеличением расстояния (L) от вулкана Безымянный.

с результатами исследования пеплов извержений 1955 г., 30 марта 1956 г. [Башарина, 1958] и 26 марта 1961 г. [Мархинин и др., 1963]. Для извержения 26 марта 1961 г. приведены два момента времени (14:00 и 18:00), в 18:00 отмечалось увеличение интенсивности пеплопада и абсолютной высоты пепловых выбросов. Площадь поверхности 1 г пепла ( $m^2/g$ ) всех сравниваемых извержений вычислена по единой методике с использованием программы "A\_22" к дифракционному анализатору размера частиц "analysette-22 COMPACT". Результаты анализов водных вытяжек из пеплов, выпавших на одинаковом расстоянии от вулкана, пересчитаны на  $1 m^2$  поверхности каждого образца (табл. 5).

Содержание ионов фтора и хлора, а также отношения  $S/Cl$  в вытяжках из пеплов извержения 2006 г. наиболее близко составу вытяжек из пеплов, выпавших во время взрыва 30 марта 1956 г. (см. табл. 5), а содержание сульфат-иона – вытяжкам из пеплов начала активизации вулкана в 1955 г. Как известно, анионный состав водных вытяжек из пеплов отражает качественный состав и количественные соотношения эруптивных газов. Вероятно, газы, адсорбированные пеплами в 1955 г., содержали хлора значительно больше, чем последующие. Отношение серы к хлору стало максимальным во время и непо-

**Таблица 4.** Состав водорастворимого комплекса пеплов извержения 24.12.2006 г., в мг на 100 г пепла

Компоненты	Номера проб						Среднее	Всего за извержение, т
	Б-11	Б-6	Б-22	Б-5	Б-3	Б-55		
$F^-$	6	5	11	11	10	16	10	700
$Cl^-$	45	62	78	58	75	74	65	4550
$SO_4^{2-}$	164	185	218	192	231	225	200	14000
$Na^+$	28	29	32	26	32	39	30	2100
$K^+$	7	6	8	5	12	12	8	560
$Ca^{2+}$	55	67	87	69	76	80	70	4900
$Mg^{2+}$	7	8	8	7	8	10	8	560
Сумма	312	362	442	368	444	456	391	27370

Примечание. Характеристику проб пепла см. табл. 1. Среднее – среднее арифметическое из результатов 16 анализов. Химический анализ выполнен в Аналитическом центре ИВиС ДВО РАН. Аналитики: Гарцева Л.Н., Кузьмина А.А., Сергеева С.В.

**Таблица 5.** Водные вытяжки из пеплов вулкана Безымянный, в мг на м<sup>2</sup> удельной поверхности пепл

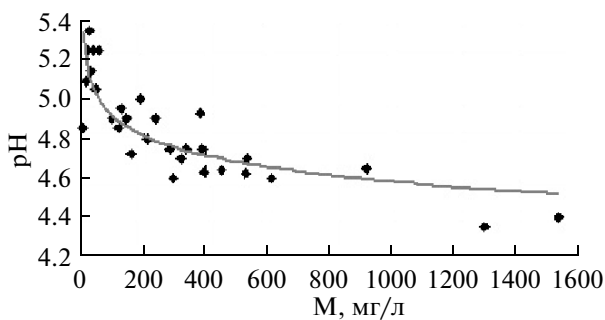
Компоненты	Дата и время пеплопада				
	17.11.1955	30.03.1956	26.03.1961 14:00	26.03.1961 18:00	24.12.2006*
F <sup>-</sup>	0.15	0.32	н/о	н/о	0.39
Cl <sup>-</sup>	6.99	3.99	4.19	6.80	2.06
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	10.61	15.01	1.09	1.32	6.86
Na <sup>+</sup>	0.62	1.84	0.92	0.51	0.93
K <sup>+</sup>	0.25	0.68	0.19	0.37	0.18
Ca <sup>2+</sup>	6.31	5.35	1.51	2.06	2.46
Mg <sup>2+</sup>	0.95	1.26	0.63	0.89	0.25
Сумма	25.88	28.45	8.53	11.95	13.13
S/Cl	0.51	1.27	0.09	0.07	1.13
Удельная поверхность 1 г пепла, м <sup>2</sup>	0.27	0.19	0.22	0.16	0.28

Примечание. Н/о – не определялись; \* - взяты результаты для пробы Б-5 (см. табл. 1).

средственно после пароксимального извержения, а в последующие годы (первое десятилетие постпароксимальной активности) стало снижаться за счет роста содержания галогенных и уменьшения серосодержащих газов [Малышев, 2000]. При извержении в декабре 2006 г. отмечается обратная тенденция.

Различия в концентрации сульфат-иона в вытяжках из пеплов 1956, 1961 (14:00 и 18:00 26 марта), 2006 гг. (см. табл. 5) можно объяснить отмеченной прямой связью между силой извержения и содержанием SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> [Гущенко, 1965]. Так, извержение 30 марта 1956 г. было наиболее мощным, а извержение 1961 г. [Мархинин и др., 1963] по объему изверженного материала и высоте эруптивной колонны было слабее извержения декабря 2006 г.

Количество катионов, которые частично являются вытесненными из породы, в вытяжках 2006 г. сходно с результатами для 1961 г. (за исключением ионов магния, содержание которых в 2006 г. в 2.5–3.5 раза меньше).



**Рис. 6.** Соотношение pH и минерализации (M) вытяжек из пеплов вулкана Безымянный извержения 24.12.2006 г.

По среднему значению из результатов анализов водных вытяжек был подсчитан экологический эффект извержения. На территории пеплопада, составившей более 8000 км<sup>2</sup>, в окружающую среду вместе с 7 млн т пепла было выброшено около 30 тыс. т водорастворимых веществ, из которых: SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> – 14, Cl<sup>-</sup> – 4.6, F<sup>-</sup> – 0.7, Ca<sup>2+</sup> – 4.9, Na<sup>+</sup> – 2.1, K<sup>+</sup> – 0.6, Mg<sup>2+</sup> – 0.6 тыс. т (см. табл. 4).

В целом, в течение часа извержения вулкана Безымянный 24 декабря 2006 г. в снежный покров поступило столько же диоксида серы, сколько от всех антропогенных источников Камчатского края в атмосферу за год<sup>2</sup>, а соляной кислоты столько, сколько выбрасывает ежегодно расчетный город с миллионным населением [Прокачева и др., 1989].

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Извержение в декабре 2006 г. является типичным для активности вулкана Безымянный за последние три десятилетия. Характерна эксплозивная активность с пеплопадами и образованием пирокластических потоков, а также излияние лавового потока на завершающей стадии.

Геологический эффект извержения: пеплопад, которым было охвачено более 8000 км<sup>2</sup> территории полуострова, масса выпавшего пепла составила ~7 млн т (0.004 км<sup>3</sup>); пирокластический по-

<sup>2</sup> Государственный доклад “О состоянии и об охране окружающей среды Камчатской области и Корякского автономного округа в 2003 году”. Петропавловск-Камчатский: Управление природных ресурсов и охраны окружающей среды МПР России по Камчатской области и Корякскому автономному округу, 2004. 206 с. Архив администрации Камчатского края.



ток длиной 6.5 км и площадью более 2 км<sup>2</sup>, объем которого оценен в 0.006–0.01 км<sup>3</sup>; лавовый поток размером 625 × 200 м. Исходя из оценки общего объема пирокластического материала извержения, оно соответствует извержениям средней силы, характерным для периода активности вулкана после пароксизма 1956 г.

Продукты извержения по химическому составу относятся к андезитам нормального щелочного ряда известково-щелочной серии и являются типичными для исторических извержений вулкана. В то же время в породах этого извержения отмечено относительно высокое содержание и преобладающая роль (относительно Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) закисного железа, а также необычно низкое содержание магния. Последний факт наблюдается также в химическом составе ортопироксенов и водных вытяжек из пеплов.

По минеральному составу породы данного извержения относятся к двупироксеновым андезитам, характерным для извержений вулкана после 1961 г. В плагиоклазах отмечено повышенное содержание анортитовой составляющей.

На площадь, охваченную пеплопадом, вместе с пеплом поступило более 30 тыс. т водорастворимых веществ, в том числе: SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> – 14, Cl<sup>-</sup> – 4.6, F<sup>-</sup> – 0.7, Ca<sup>2+</sup> – 4.9, Na<sup>+</sup> – 2.1, K<sup>+</sup> – 0.6, Mg<sup>2+</sup> – 0.6 тыс. т. Экологический эффект декабрьского извержения следует признать незначительным, вследствие того, что водорастворимый комплекс пеплов был вымыт с талым стоком в течение длительного периода весенне-летнего снеготаяния.

Высокая концентрация ионов сульфата и отношение серы к хлору в водных вытяжках указывают на то, что извержение 24 декабря 2006 г. было сравнительно мощным относительно, например, извержения 1961 г. (см. табл. 5), вследствие большего количества ювенильного вещества в изверженных продуктах.

Автор выражает благодарность за участие в сборе фактического материала в процессе полевых работ сотрудникам ИВиС ДВО РАН Ю.В. Демянчуку, Т.М. Маневич, А.В. Сокоренко, С.В. Ушакову; за помощь в обработке и обсуждении материала О.А. Пириной, Я.Д. Муравьеву, А.А. Овсянникову, Т.М. Философовой; за выполнение химических анализов сотрудникам Аналитического центра Е.В. Карташевой, Н.И. Чебровой, В.М. Рагулиной, А.О. Садовниковой, Н.А. Соловьевой, А.А. Кузьминой, Л.Н. Гарцевой, С.В. Сергеевой.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алидибиров М.А., Богоявленская Г.Е., Кирсанов И.Т. и др. Извержение вулкана Безымянный в 1985 г. // Вулканология и сейсмология. 1988. № 6. С. 3–17.
- Башарина Л.А. Водные вытяжки пепла и газы пепловой тучи вулкана Безымянного // Бюлл. вулканол. станций. 1958. № 27. С. 38–42.
- Белоусов А.Б., Фирстов П.П., Жданова Е.Ю. Извержение вулкана Безымянный в 1993–1995 гг. // Вулканология и сейсмология. 1998. № 3. С. 60–71.
- Богоявленская Г.Е., Кирсанов И.Т. Двадцать пять лет вулканической активности вулкана Безымянного // Вулканология и сейсмология. 1981. № 2. С. 3–13.
- Гирина О.А., Горбач Н.В. Извержение вулкана Безымянный 11 января 2005 г. // Материалы международного симпозиума “Проблемы эксплозивного вулканизма (к 50-летию катастрофического извержения вулкана Безымянный)”. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2006. С. 87–97.
- Гирина О.А., Сеньюков С.Л., Малик Н.А. и др. Изучение активности вулканов Камчатки и о. Парамушир (Северные Курилы) в 2006 г. в рамках проекта KVERT // Вестник КРАУНЦ. Серия Науки о Земле. 2006. № 2. (8). С. 151–157.
- Гущенко И.И. Пеплы Северной Камчатки. М.: Наука, 1965. 144 с.
- Дубик Ю.М., Меняйлов И.А. Новый этап эруптивной деятельности вулкана Безымянного // Вулканы и извержения. М: Наука, 1969. С. 38–77.
- Мальшев А.И. Жизнь вулкана. Екатеринбург: УрО РАН, 2000. 262 с.
- Мархинин Е.К., Токарев П.И., Пугач В.Б., Дубик Ю.М. Извержение вулкана Безымянный весной 1961 г. // Бюлл. вулканол. станций. 1963. № 34. С. 12–35.
- Овсянников А.А., Муравьев Я.Д. Извержение вулкана Чикурачки в 1986 г. // Вулканология и сейсмология. 1992. № 5/6. С. 3–20.
- Озеров А.Ю., Арискин А.А., Кайл Ф. и др. Петролого-геохимическая модель генетического родства базальтового и андезитового магматизма вулканов Ключевской и Безымянный, Камчатка // Петрология. 1997. Т. 5. № 6. С. 614–635.
- Прокчева В.Г., Усачев В.Ф. Снежный покров в сфере влияния города. Л.: Гидрометеиздат, 1989. 176 с.
- Толстых М.Л., Наумов В.Б., Богоявленская Г.Е., Конюкова Н.Н. Андезит-дацит-риолитовые расплавы при кристаллизации вкрапленников андезитов вулкана Безымянный, Камчатка // Геохимия. 1999. № 1. С. 14–24.
- Федотов С.А. Оценка выноса пепла и пирокластиков вулканическими извержениями и фумаролами по высоте их струй и облаков // Вулканология и сейсмология. 1982. № 4. С. 3–29.
- 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. 3–24.
- Широков В.А. Оценка массы и объема тefры при вулканических извержениях // Вулканология и сейсмология. 1985. № 5. С. 24–34.
- Carter A.J., Girina O.A., Ramsey M.S., Demyanchuk Y.V. ASTER and field observations of the 24 December 2006 eruption of Bezymianny Volcano, Russia // Remote Sensing of Environment. 2008. V. 112. P. 2569–2577.
- Fierstein J., Nathenson M. Another look at the calculation of fallout tephra volumes // Bull. Volcanol. 1992. V. 54. P. 156–167.
- Legros F. Minimum volume of a tephra fallout deposit estimated from a single isopach // J. Volcan. Geotherm. Res. 2000. V. 96. P. 25–32.

**The December 24, 2006 Eruption of Bezymyanni Volcano, Kamchatka****N. A. Malik**

*Institute of Volcanology and Seismology, Far East Branch, Russian Academy of Sciences,  
Petropavlovsk-Kamchatskii, bul'var Piipa 9, 683006 Russia  
e-mail: malik@kscnet.ru*

**Abstract**—An explosive eruption occurred on Bezymyanni Volcano December 24, 2006. The distribution of ashfall deposits over the peninsula was studied. The tephra was investigated for its chemical, mineral, and grain-size composition, its water-soluble complex was studied. About 30000 tons of water-soluble substances along with 7 million tons of ash entered the environment over an area of over 8000 km<sup>2</sup>. Information is supplied for this eruption from various sources and its geological impact has been estimated. The total volume of erupted pyroclastics was 0.01–0.014 km<sup>3</sup>, of which 0.004 km<sup>3</sup> consisted of ash and 0.006–0.01 km<sup>3</sup> were pyroclastic flow deposits.