

УДК 551.21

ПЕМЗОВЫЕ БОМБЫ ИЗВЕРЖЕНИЯ В КАЛЬДЕРЕ АКАДЕМИИ НАУК В ЯНВАРЕ 1996 г.: ОСОБЕННОСТИ ИХ СОСТАВА И ГЕНЕЗИСА

©2005 Е. Н. Гриб¹, А. Г. Маневич¹, О. В. Соболевская^{1,2}

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

² Камчатский Государственный Университет, Петропавловск-Камчатский, 683032

Адрес для переписки: 683006, Петропавловск-Камчатский, бульвар Пийна, 9, Институт вулканологии и сейсмологии; тел. (415-22)5-94-05; факс: (415)5-94-05, e-mail gen@kcs.iks.ru

Приведены составы минеральных фаз пемзовых бомб, полученные методом микронзондового анализа, проведено их сравнение с составом пирокластических отложений, связанных с формированием четвертичных кальдер района, рассмотрены причины повышения калиевого содержания отдельных пемзовых бомб, рассчитаны профили температур в зоне контакта «дайка-вмещающие породы» для различных моментов времени и при различных начальных условиях.

Извержения базальтовой магмы часто сопровождаются выбросом включений (ксенолитов), которые несут информацию о составе среды, через которую идет транспорт магмы, а также о процессах эволюции расплавов, происходящих в магматических очагах, расположенных на разных уровнях в земной коре (Включения в вулканических породах..., 1978). Среди них часто наблюдаются включения пемзовидного облика. В зависимости от геолого-структурной обстановки, в которой происходит извержение, генезис их будет различен. Так, в лавах современных извержений вулканов Тятя, Алаид, Ключевской, Большого трещинного Толбачинского извержения и др. подобные включения представлены обычно в различной степени вспененными апокремнистыми «песчаноподобными» разностями, состав и строение которых свидетельствует о их вулканогенно-осадочной природе (Флеров и др., 1978). В зависимости от размеров включения отмечаются переходы от участков полного расплавления до участков, не испытавших плавления. Ниже мы рассмотрим особенности состава и строения пемзовых бомб, связанных с ареальным извержением базальтовой тефры, произошедшим в пределах сложной кальдерной структуры южного сектора Карымского вулканического центра, заполненной в настоящее время озером Карымское (Федотов, 1997; Гриб, 1997). Это особенно актуально, так как большая часть пемзовых бомб в течение двух лет была разрушена, замята, вынесена за пределы района, и в настоящее время

они сохранились только в коллекции. Приведены результаты новых дополнительных исследований.

2-3 января 1996 г. у северного берега озера Карымское произошло фреато-магматическое взрывное субаэральное извержение, в результате которого была выброшена пирокластическая базальтового состава. Тефра представлена не спекшимися или слабоспекшимися вулканическими бомбами, шлаковыми лапилли, вулканическим гравием и песком. На заключительном этапе этого извержения были выброшены пемзовые бомбы, объем которых не превышал 2% от общего объема ювенильной пирокластической. Пемзовые бомбы по содержанию кремнекислоты варьируют от андезитов до риолитов. Преобладают пемзы риодацитового состава, две имеют дацитовый состав. Размер бомб менялся от 10-50 см до 1-1.5 м, цвет - в основном серый разных оттенков, реже бежевый (Гриб, 1997).

МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ И ТЕКСТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПЕМЗОВЫХ БОМБ

По степени пористости пемзовых бомб можно выделить три группы: слабо-, умеренно- и повышенной пористости (рис. 1 на второй странице обложки). Большая часть их относится к умеренно пористым (35-45 об. %) разностям (рис. 1 б-ж). На фоне относительно однородной массы выделяются участки, где размер пор достигает 1.5 см. Они обычно имеют изометричную

форму. Степень пористости возрастает к центральной части бомб. В некоторых бомбах поры имеют выраженную вытянутую форму, что указывает на существование сжимающих напряжений в канале в процессе извержения (рис. 1 г). Поверхности крупных пор иногда выстланы коркой коллоидного опаловидного кварца (рис. 1 е), он выполняет также контракционные трещины в более плотных зонах пемз.

К слабо пористым (10-15%) относится наиболее крупная (1.5 м) бомба (Гриб, 1997), состоящая из причудливо перемятых слоев шлакоподобных базальтов и субафировых риолитовых пемз. Последние имеют сравнительно плотную однородно-мелкопористую, мелкозернистую текстуру (рис. 1 а (фрагмент)). В слабо пористых пемзовых бомбах небольшого размера наблюдается поверхность типа «хлебной корки», что указывает на их повышенную вязкость. Наконец, одна из бомб отличается повышенной пористостью (рис. 1 з) и состоит из участков в различной степени вспененного стекла. Пористость варьирует от 35-45% в относительно плотных зонах до 60-70% - в наиболее вспененных. В участках вспенивания расплава поры сближены, имеют тонкие занозистые, игольчатые перегородки, часто соединены между собой.

Отличительной особенностью всех бомб является присутствие в них округлых включений шлакоподобных свежих базальтов черного цвета, размер которых достигает 3-4 см (рис. 1 в). Чаше поры инкрустированы базальтовым стеклом, образующим тонкую пленку на их поверхности и придающим пемзам «очковый» облик (рис. 1 г, е, ж). Большой частью границы между контрастными фазами резкие, однако, иногда они размыты и просматриваются «теневые» следы дезинтегрированных, смятых пленок базальтового состава при сплющивании пор. Замечено, что более плотные пемзовые бомбы не содержат округлых включений шлаков базальта.

Существует две пемзовые бомбы дацитового (к-29-97, рис. 1, д) и андезидацитового (к-3-96) состава. В них, помимо включений базальта, аналогичных по составу основному объему выброшенной при извержении тефры, встречаются тонкозернистые включения андезибазальтового состава (Гриб, 1997), имеющие осветленный облик. В то же время бомбы окружены

оболочкой из свежих базальтов, местами имеют поверхность типа «хлебной корки».

Большая часть пемзовых бомб была разбита тонкой сетью контракционных трещин (рис. 1 б), они легко раскалывались на мелкие угловатые (клиновидные) обломки (рис. 1 а). Это их свойство является основной причиной, что уже через год-два после извержения на шлаковом поле сохранились остатки только двух наиболее крупных бомб, большая их часть распалась на мелкие обломки, которые сносились тальми водами в озеро Карымское или выносились рекой Карымской за пределы новообразованного полуострова.

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПЕМЗОВЫХ БОМБ

По классификационным признакам (Классификация и номенклатура...1981) пемзы относятся к нормальному (общая щелочность 6-8.3%) типу и калий-натриевому подтипу (рис. 2 а, табл. 1). По отношению K_2O/Na_2O они делятся на две группы. Первая, наиболее распространенная, – с нормальным распределением щелочей и их отношением в пределах 0.4-0.9. Концентрация двуокиси калия в этой группе (рис. 2 б) изменяется от 2.07% для дацитов до 3.9% для риолитов (умеренно калиевые по (Gill, 1981)). Такое соотношение щелочей обычно в кислых вулканитах Восточной Камчатки (Пополитов, Волюнец, 1981) и характерно для более ранних кислых лав вулкана Академии Наук и пирокластических отложений, связанных с формированием кальдер южного сектора Карымского вулканического центра (Леонов, Гриб, 2004). В двух пемзовых бомбах (образцы к-9-96 и к-10-96) отношение щелочей больше единицы, при этом содержание двуокиси калия в них варьирует от 4.0% до 4.8% в разных участках этих бомб, что является необычным для кислых вулканических пород фронтальной зоны Курило-Камчатской островной дуги.

Рис. 2. Классификационные диаграммы: а – общая щелочность, верхняя кривая представляет границу между породами нормальной щелочности и субщелочными (Классификация ..., 1981); б – границы между породами: НК – низкокалиевыми, УК – умереннокалиевыми, ВК – высококалиевыми (Gill, 1981). Полые кружки – пемзовые бомбы извержения 1996 г., залитые кружки – пирокластические отложения, связанные с формированием кальдер южного сектора Карымского вулканического центра (Гриб, Леонов, 2004, а, б), полые квадраты – базальты извержения 1996 г. и шлаковые включения в пемзовых бомбах (Гриб, 1997).

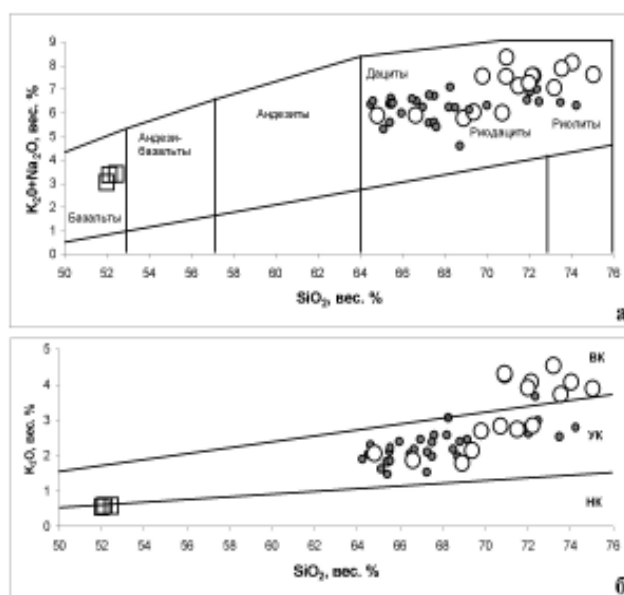


Таблица 1. Составы пемзовых бомб извержения 2-3 января 1996 года, вес. %

Окислы	к2-96	к8-96	к12-96	к6-96	к30-97	к15-96	к4-96	к7-96	к29-97	к3-96	к9-96	к
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
SiO ₂	75.05	73.54	72.00	71.80	70.72	69.79	69.38	67.68	66.62	64.80	74.04	
TiO ₂	0.04	0.24	0.48	0.23	0.45	0.55	0.63	0.70	0.54	0.88	0.06	
Al ₂ O ₃	13.1	14.54	12.68	14.34	13.46	14.68	14.81	15.52	15.21	16.15	13.94	
Fe ₂ O ₃	0.44	0.72	2.19	0.86	1.83	1.03	1.73	1.80	2.63	0.42	0.94	
FeO	1.29	1.09	1.67	1.35	2.01	1.97	2.45	2.52	2.36	4.85	1.44	
MnO	0.1	0.01	0.13	0.14	0.08	0.08	0.06	0.06	0.05	0.05	0.10	
MgO	0.25	0.16	0.88	0.56	0.99	0.92	1.58	1.68	1.40	1.70	0.31	
CaO	1.09	1.58	1.76	2.09	2.76	2.22	2.84	3.24	3.38	3.60	0.76	
Na ₂ O	3.72	4.15	3.35	4.73	3.17	4.85	3.88	4.00	4.03	3.81	4.05	
K ₂ O	3.90	3.73	3.91	3.30	2.83	2.70	2.14	2.16	1.87	2.07	4.08	
P ₂ O ₅	0	0.03	0	0.06	0.16	0.12	0.15	0.12	0.18	0.17	0	
ппп	0.64	0.25	0.70	0.23	1.44	0.64	0.14	0.24	1.52	1.01	0.56	
Сумма	99.62	100.09	99.75	99.69	99.90	99.55	99.79	99.72	99.79	99.51	100.28	
Na ₂ O+K ₂ O	7.62	7.88	7.26	8.03	6.00	7.55	6.02	6.16	5.90	5.88	8.13	
K ₂ O/Na ₂ O	1.05	0.90	1.16	0.70	0.89	0.57	0.55	0.54	0.46	0.54	1.01	

Примечание. 1-10 – пемзовые бомбы нормальной щелочности, 11-14 – с повышенным содержанием калия, к2-96 - к10¹-96 - номера образцов. Анализы выпол ДВО РАН, аналитики В.В. Дунина-Барковская. Л.А. Карташова. Г.В. Лец.

По общей щелочности пемзы с повышенным содержанием калия близки к субщелочному типу.

ПЕТРОГРАФИЯ И СОСТАВ МИНЕРАЛОВ

По степени кристалличности бомбы подразделяются на субафировые разности (к-2-96) с содержанием кристаллической фазы не более 2-3 об.% и пемзы порфирового облика с повышенным содержанием кристаллов (10-15, реже до 25 об.%). Дацитовые пемзы бомбы к-29-97 имеют порфировидную структуру и отличаются повышенной раскристаллизацией межзернового расплава, что увеличивает степень их кристалличности до 55-60 об. %. Остаточное стекло присутствует в виде тонких пленок (рис. 3).

По составу темноцветных минералов выделяются двупироксеновые, пироксен-роговообманковые и роговообманковые пемзовые бомбы. В бомбе дацитового состава к-29-97 темноцветный минерал представлен редкими реликтовыми фазами биотита, окруженного продуктами распада. Минеральный состав всех пемзовых бомб представлен собственными кристаллическими фазами (натриевый плагиоклаз, орто- и клинопироксен, роговая обманка, рудные минералы, реже кварц, биотит), а также минералами, неравновесными с кислым расплавом. К последним относятся клинопироксен повышенной магнезиальности и хромистости, умеренно магнезиальный оливин и высококальциевый плагиоклаз, состав которых

аналогичен составу вкрапленников в базальтах тефры и их включениях в пемзовых бомбах (Гриб, 1997). Рассмотрим минеральный состав пемзовых бомб в группах, отличающихся по содержанию калия.

Плагиоклаз. Фенокристаллы плагиоклаза преобладают во всех типах бомб. В разностях с повышенной степенью кристалличности размер их достигает 2.5 мм. Часто вкрапленники трещиноватые, мутные, слабозональные. Наряду с хорошо ограненными кристаллами, встречаются оплавленные зерна. В бомбах риодацитового состава с повышенным содержанием калия среди фенокристаллов преобладают слабо зональные олигоклаз-андезины 24-36 An (рис. 4 а, табл. 2). Величина ортоклазового минала в краевых зонах при этом варьирует от 2.9 до 8.9 об. %. Иногда отмечается чередование зон с высоким и низким содержанием калия. Олигоклаз-андезины содержат редкие пойкилитовые включения кварца. В меньшей степени среди вкрапленников представлены андезины (44-51 An, 1.6-3.5 Or). Для них характерна осциллярная и обратная зональность. Встречаются немногочисленные фено- и субфенокристаллы с высококальциевыми ядрами (75-88An), обрастающими в краевых зонах лабрадором. В пемзовой бомбе к-9-96 по краям фенокристаллов иногда наблюдаются невыдержанные зонки и пятна альбита, имеющие, по видимому, вторичную природу.

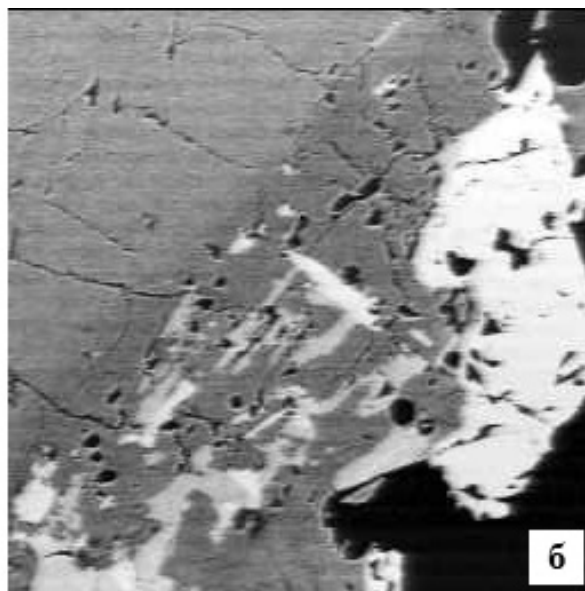
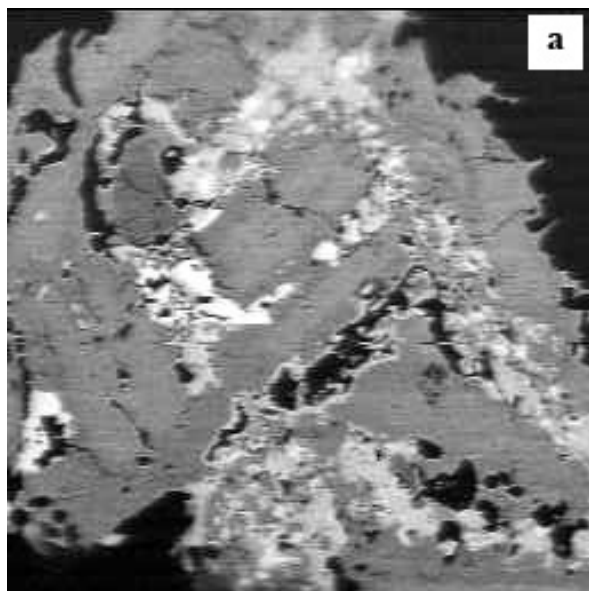
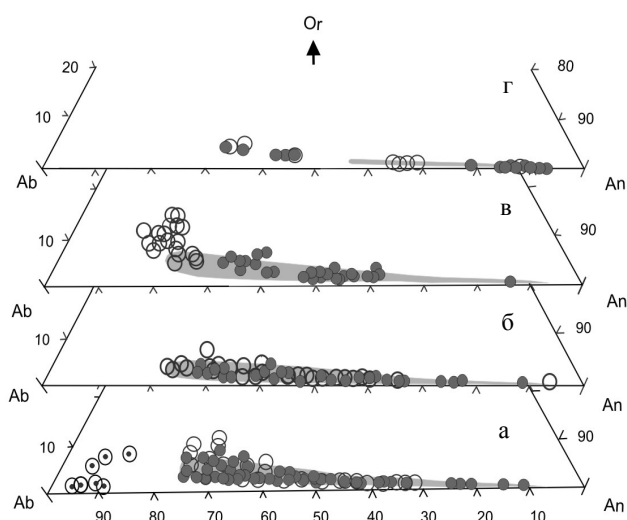


Рис. 3. Пемзовая бомба к-29-97, фото в отраженных электродах, микронзонд «Самебах»: а - серое – микровкрапленники плагиоклаза (200-300 мкм), зональные, кайма сложена высококальциевым олигоклазом; темносерое – зерно кварца. В межзерновом пространстве: серое – ортопироксен, светлое – титаномагнетит (продукты распада биотита), белое – сульфиды. По периферии – тонкие пористые пленки стекла. Размер кадра 500 мкм; б – край вкрапленника плагиоклаза (серое); высококальциевая кайма (темносерое) переходит в грубопористое стекло плагиоклазового состава – низкокремнистое, высококальциевое; серое – ортопироксен, белые игольчатые фазы – титано-магнетит (продукты распада биотита), белые крупные фазы – сульфид. Размер кадра 300 мкм.



В бомбах риодацитового состава нормальной щелочности отмечаются те же группы фенокристаллов, что и в бомбах повышенной щелочности, однако, в натриевых плагиоклазах содержание ортоклаза ниже и находится в пределах 3-4.5, реже до 7.8 об. % (рис. 4 б). В пемзах дацитового состава преобладают фенокристаллы андезин-лабрадора (40-63An), возрастает роль высококальциевых плагиоклазов. В бомбе дацитового состава к-29-97 (рис. 3, 4 в), содержащей реликты биотита, по краям кристаллов андезин-лабрадора отмечаются узкие зоны высококальциевого олигоклаза (5-12, реже 15Or).

Во включениях шлака в пемзовых бомбах, наряду с высококальциевыми плагиоклазами, аналогичными по составу фенокристаллам в базальтах, встречаются редкие вкрапленники натриевых плагиоклазов (рис. 4 г), которые попадают во включения в процессе механического смешивания расплавов.

Ортопироксен наиболее распространен среди темноцветных минералов в пемзовых бомбах, независимо от их щелочности (исключение составляет

Рис. 4. Диаграмма соотношения Ab-An-Or в плагиоклазах: а – пемзовых бомб с повышенным содержанием калия (к-9-96, к-10-96), б – пемзовых бомб нормальной щелочности (к-12-96 к-30-97), в – пемзовой бомбы к-29-97, г – во включениях шлака в пемзовых бомбах. Залитые кружки – ядерные и промежуточные зоны вкрапленников плагиоклаза, полые кружки – краевые зоны, полые кружки с точкой внутри – зоны и пятна альбита в плагиоклазах пемзовой бомбы к-9-96. На «а», «б», «в» серое поле – ареал составов вкрапленников плагиоклаза из пирокластических отложений кальдер южного сектора Карымского вулканического центра (Гриб, Леонов, 2004); на «г» – серое поле – ареал составов вкрапленников плагиоклаза в базальтах извержения 1996 г. (Гриб, 1997). Обозначение минералов плагиоклазов: Ab – альбит, An – анортит, Or – ортоклаз.

бомба к-30-97). Он относится к магнезиально-железистому (Fm 30-38) и магнезиальному (Fm 24-28) гиперстену (рис. 5, 6, табл. 3). Первый отличается пониженным содержанием кальция и высоким (1.1-2.0 об. %) – марганца, второй – повышенным содержанием кальция и умеренным марганца (0.6-0.9 об. %). Магнезиально-железистый гиперстен встречается также среди продуктов распада биотита в пемзовой бомбе к-29-97 (рис. 3). Магнезиальные разности редки, встречаются в виде мелких округлых зерен и представляют собой неравновесные фазы, ассоциирующие с базальтовым расплавом.

Клинопироксен представлен вкрапленниками, равновесными с исходным кислым расплавом и неравновесными с ним. Собственный клинопироксен имеет обычно состав железистого авгита (Fm 29-38) (рис. 5, табл. 3). В бомбах с повышенным содержанием калия встречаются редкие мелкие зерна ферроавгита (45-55Fm) с высокой для клинопироксенов (0.6-1.1 об. %) концентрацией марганца, что подтверждает кристаллизацию их из кислого расплава. Вкрапленники (субфенокристаллы), неравновесные с кислым расплавом, представлены

Таблица 2. Составы вкрапленников плагиоклаза в пемзовых бомбах (представительные анализы), вес. %

Компоненты	к9-96					к30-97		к29-97	
	ц	ц	кр	ц	кр	ц	кр	ц	кр
SiO ₂	46.64	53.67	59.59	61.67	60.24	56.37	59.61	54.82	65.91
Al ₂ O ₃	33.87	29.75	25.49	24.76	25.38	26.95	24.35	27.39	20.80
FeO	0.70	0.31	0.41	0.25	0.28	0.29	0.09	0.65	0.31
CaO	17.09	11.86	7.12	6.11	6.78	9.74	6.60	10.20	2.47
Na ₂ O	1.64	4.82	6.52	6.15	5.26	5.96	6.95	5.20	8.28
K ₂ O	0.0	0.29	0.28	0.60	1.07	0.31	0.55	0.36	1.98
сумма	100.0	100.71	99.45	99.24	99.01	99.68	98.56	98.68	99.75
An	85.21	56.58	36.98	34.06	38.58	46.64	33.29	50.60	12.47
Ab	14.79	41.69	61.26	61.99	54.16	51.61	63.44	46.97	75.65
Or	0.0	1.64	1.76	3.95	7.25	1.75	3.28	2.13	11.88

Примечание. Здесь и далее в таблицах отнесение образцов пемзовых бомб по типу щелочности см. в таблице 1. FeO – здесь и далее в таблицах общее содержание железа в минералах. Здесь и далее в таблицах фазы минералов: ц – центр вкрапленника, кр – край вкрапленника. к9-96 – к29-97 – номера образцов. Анализы минералов выполнены на микроанализаторе "Самбах" Института вулканологии ДВО РАН. Операторы Т.М. Философова, В.М. Чубаров.

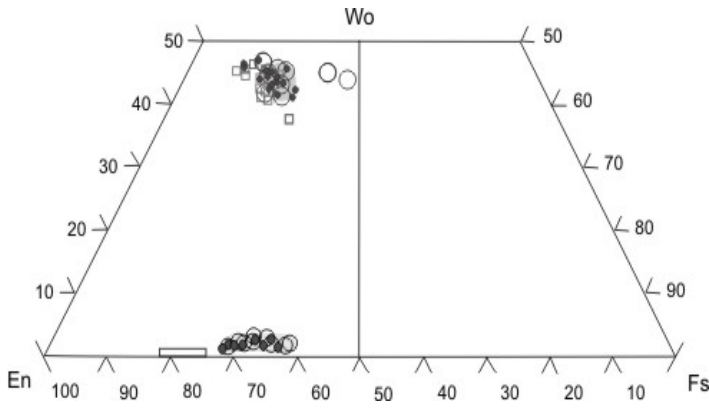


Рис. 5. Диаграмма соотношения En-Wo-Fs в пироксенах пемзовых бомб. Полные кружки – вкрапленники пироксена в пемзовых бомбах с повышенным содержанием калия (к-9-96, к-10-96), заштрихованные кружки – в пемзовых бомбах нормальной щелочности (к-12-96), полные квадраты – во включениях шлака в пемзовых бомбах, полный прямоугольник – состав оливина, количество форстерита (Fo). Серое поле – ареал составов вкрапленников пироксенов в пирокластических отложениях кальдеры Однобокой (Гриб, Леонов, 2004, а, б). Обозначение минералов пироксенов: En – энстатит, Wo – волластонит, Fs – ферросилит.

диопсидом, авгитсаллитом и авгитом повышенной магнезиальности и хромистости (рис. 5) и по составу аналогичны субфенокристаллам из базальтов ювенильной тейфры и округлых включений шлаков в пемзах (Гриб, 1997).

Оливин (72-80Fo), встречающийся в пемзовых бомбах (рис. 5), относится к неравновесным минералам и, также, как высококальциевый плагиоклаз и магнезиальный клинопироксен, является

кристаллическими фрагментами ювенильных базальтов. По составу он аналогичен вкрапленникам из базальтов.

Роговая обманка в пемзовых бомбах распределена крайне неравномерно. Содержание ее варьирует от долей процента в щелочной бомбе с полиминеральным составом (к-10-96) до 3-5% в бомбе к-30-97 с нормальной щелочностью, где она является единственным темно-цветным минералом. Вкрапленники достигают 1.5 мм и представлены бурой разновидностью обыкновенной

Таблица 3. Составы пироксенов в пемзовых бомбах извержения 1996 г. (представительные анализы), вес. %

Компоненты	к9-96					к12-96				
	ц	кр	ц	кр	ц	ц	кр	ц	кр	
SiO ₂	51.10	52.94	53.80	54.11	54.25	54.10	53.58	53.76	53.37	
TiO ₂	0.20	0.06	0.17	0.15	0.28	0.19	0.18	0.06	0.05	
Al ₂ O ₃	1.54	0.24	0.51	0.62	2.19	0.74	0.66	0.40	0.26	
FeO	22.57	22.54	19.26	19.17	17.44	18.14	18.15	22.01	20.62	
MnO	1.42	1.65	0.67	0.57	0.27	0.72	0.72	1.53	1.16	
MgO	21.95	22.06	23.72	24.37	24.57	24.42	24.11	22.25	23.62	
CaO	1.21	0.99	1.77	1.78	1.94	1.20	1.22	0.99	0.94	
сумма	100.01	100.49	99.91	100.77	100.99	99.52	98.63	101.00	100.04	
Fm	36.58	36.44	31.30	30.63	28.48	29.41	29.70	35.69	32.88	
Wo	2.45	2.02	3.56	3.52	3.91	2.44	2.50	2.02	1.86	
En	61.86	62.27	66.25	66.93	68.73	68.87	68.54	63.01	65.86	
Fs	35.69	35.71	30.19	29.55	27.37	28.70	28.96	34.97	32.27	
Компоненты	к9-96					к12-96				
Фаза	ц	кр	ц	кр	ц	ц	кр	ц	кр	
SiO ₂	52.39	52.29	53.69	53.21	52.62	52.54	53.31	53.01	52.86	
TiO ₂	0.10	0.10	0.42	0.44	0.32	0.61	0.53	0.21	0.31	
Al ₂ O ₃	0.60	0.36	1.69	1.42	3.04	2.24	2.02	2.43	2.77	
FeO	11.29	16.38	9.51	9.11	5.99	10.36	8.96	5.87	6.51	
MnO	0.65	0.52	0.36	0.38	0.0	0.24	0.22	0.0	0.02	
MgO	12.99	10.82	14.31	14.99	15.33	14.10	15.05	15.69	15.62	
CaO	20.78	19.56	21.24	21.07	22.50	20.48	20.42	22.27	22.49	
сумма	99.49	100.79	100.52	100.85	99.89	100.62	100.52	99.51	100.61	
Fm	32.76	45.94	27.15	25.42	17.97	29.17	25.03	17.35	18.93	
Wo	43.59	41.27	43.73	42.96	46.39	42.52	42.24	45.74	45.58	
En	37.92	31.75	40.99	42.54	43.98	40.71	43.30	44.85	44.12	
Fs	18.48	26.98	15.28	14.50	9.64	16.77	14.46	9.42	10.30	

Примечание. Верхняя часть таблицы – ортопироксен, нижняя – клинопироксен. к9-96 - к12-96 - номера образцов.

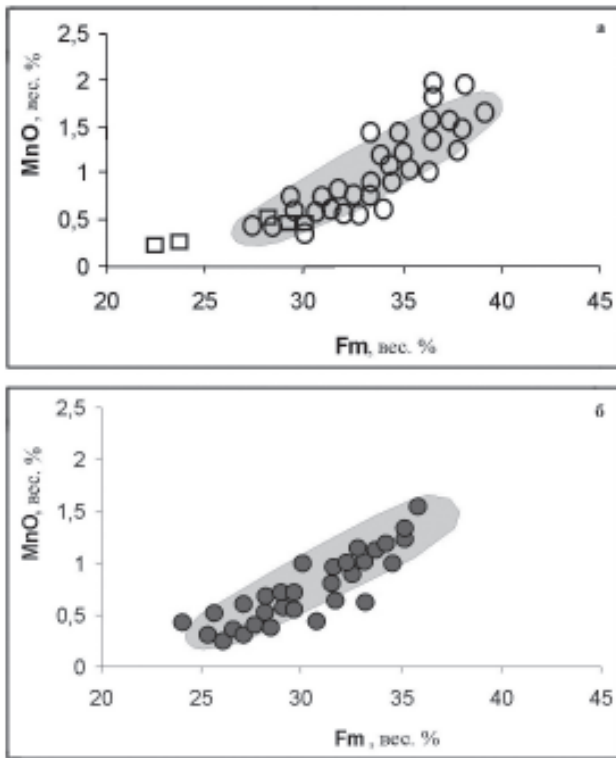


Рис. 6. Соотношение железистости (Fm) и концентрации марганца (MnO) в ортопироксенах: а – полые кружочки - в пемзовых бомбах с повышенным содержанием калия (к-9-96, к-10-96), полые квадраты - во включениях шлака, б – залитые кружочки - в пемзовых бомбах нормальной щелочности (к-12-96). Серое поле – ареал составов вкрапленников пироксенов в пирокластических отложениях кальдеры Однобокой (Гриб, Леонов, 2004, а, б).

кристаллизовался из остаточных расплавов в межзерновом пространстве (рис. 3). Биотит отличается повышенной титанистостью (5-7 об.%), высокой концентрацией магния, натрия и низким содержанием железа. Степень железистости его составляет 22-24% (табл. 4). Экспериментально установлено, что содержание титана и железа в биотите связано с изменением температуры и давления (Минералы, 1992). Изучение биотитов Раумидского гранитного массива на Памире, обнаженного на глубину более 1 км, показало, что биотиты из нижних частей разреза богаче титаном и магнием, чем из верхних, отличающихся большей железистостью (Волков, Горбачева, 1980). Возможно, такая низкая железистость может быть обусловлена и процессами диссоциации минерала. Сама пемзовая бомба к-29-97, исходя из структурных особенностей и ассоциации минералов (плаггиоклаз, кварц, биотит), может представлять собой вспученный аналог гранодиорит-порфира краевых фаций корового очага.

Кварц. Встречается в виде микровкрапленников (100-300 мкм) в бомбе к-29-97, образует редкие пойкилитовые включения в натриевых плаггиоклазах (28-35 An) некоторых бомб и в роговой обманке бомбы к-10-96, а также наблюдается иногда в виде мелких выделений в частично раскристаллизованном стекле основной массы.

Рудные минералы представлены титаномагнетитом и ильменитом. Титаномагнетит встречается в виде вкрапленников и твердофазных включений в пироксенах, реже в плаггиоклазах. Содержание окиси титана составляет 9-12 об.%. По соотношению Al_2O_3 -MnO-MgO в магнетитах выделяются три группы (рис. 8). Наиболее высокая концентрация марганца (1.5-2.4 вес.% MnO) и низкая - магния отмечаются в некоторых вкрапленниках риодацитовых пемзовых бомб повышенной щелочности (в большей степени в к-10-96). Эти вкрапленники наиболее крупные (до 500 мкм) и отличаются губчатым, ноздреватым, корродированным обликом. Основная группа вкрапленников (и крупных кристаллических

роговой обманки, в различной степени подверженной процессам диссоциации. В виде пойкилитовых включений роговая обманка содержит магнетит, ильменит, во внешних зонах часто определяются фрагменты зерен плаггиоклаза (43-48An) и реже кварца. Вкрапленники амфибола в бомбе к-30-97 (рис. 7 б, табл. 4) отличаются умеренной железистостью (Fm 33-36%), несколько пониженной глиноземистостью (4.7-7%), пониженным содержанием титана (0.9-1.4%) и щелочей (1.1-1.7%) по сравнению с роговой обманкой в щелочной бомбе к-10-96 (рис. 7 а, табл. 4).

Биотит отмечен только в пемзовой бомбе дацитового состава к-29-97, где он практически полностью диссоциирован и замещен тонкозернистым агрегатом, состоящим из ортопироксена, магнетита, плаггиоклаза; сохраняется местами в виде реликтов в центральных зонах этих агрегатов. Судя по расположению агрегатов замещения, биотит

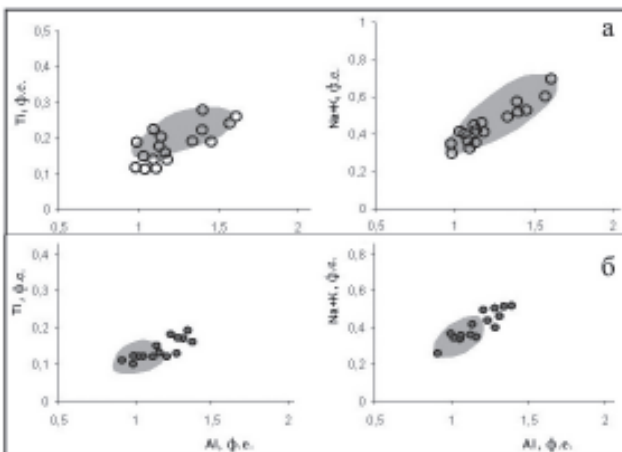


Рис. 7. Соотношение содержания титана и суммы щелочей в зависимости от суммарного алюминия в амфиболах пемзовых бомб: а - с повышенным содержанием калия (к-10-96), полые кружочки; б – нормальной щелочности (к-30-97), залитые кружочки. В «а» серое поле – ареал составов вкрапленников амфибола в пирокластических отложениях кальдеры Однобокой (Гриб, Леонов, 2004, а, б); в «б» серое поле – ареал составов вкрапленников амфибола в пирокластических отложениях кальдеры Половинка (Гриб, Леонов, 2004, а, б).

Таблица 4. Составы амфиболов и биотита в пемзовых бомбах извержения 1996 г. (представительные анализы), вес. %

Компо- ненты	к 10-96				к 30-97				к 29-97
	ц	кр	ц	кр	ц	кр	ц	кр	ц
SiO ₂	49.84	49.14	47.95	48.85	48.88	49.49	48.72	49.02	39.21
TiO ₂	1.15	1.14	1.12	0.95	1.07	0.89	1.14	1.10	6.59
Al ₂ O ₃	7.44	6.61	6.75	5.47	6.07	5.32	6.55	5.84	13.71
FeO	13.45	13.41	14.70	13.66	13.87	14.52	14.51	13.48	8.92
MgO	13.64	14.87	14.54	15.38	14.63	13.75	14.50	15.00	16.56
CaO	10.18	10.56	11.07	11.41	10.27	10.62	10.52	10.49	0.0
Na ₂ O	1.60	1.71	1.15	0.75	0.99	0.43	1.07	1.08	1.30
K ₂ O	0.35	0.26	0.41	0.52	0.30	0.84	0.33	0.32	8.82
Сумма	99.87	100.25	100.03	99.41	98.59	98.63	99.81	98.75	99.34
Fm	35.62	33.60	36.20	33.25	34.72	37.21	35.96	33.53	23.22

Примечание. Амфибол – образцы к 10-96, к 30-97, биотит - к 29-97.

включений) характеризуется умеренным содержанием марганца и значительными колебаниями магния. Они наиболее характерны для пемзовых бомб независимо от их щелочности. Размеры зерен изменяются от 100 до 200 мкм, некоторые из них подвержены процессам распада. К третьей группе относятся микровкрапленники магнетита в бомбах и кристаллические включения в клинопироксенах. Они представляют собой кристаллические фрагменты базальтовой магмы, отличаются низкой концентрацией MnO и повышенной – MgO, хрома и близки по составу этим фазам во включениях шлака в пемзах и в базальтовой тефре. Ильменит (совместно с титаномагнетитом) встречается в виде кристаллических включений в натриевых плагиоклазах и роговой обманке.

В пемзовых бомбах дацитового состава к-3-96, к-29-97 отмечается сульфидная минерализация, представленная пиритом и пирротинном. Особенностью этих бомб является присутствие в них включений, отличающихся по составу от свежих ювенильных

базальтов. Они имеют андезибазальтовый состав, тонкозернистую структуру (в отличие от шлаков современных включений), осветленный облик, связанный с наложением вторичных процессов и представляют собой, очевидно, продукты более ранних внедрений базальтов в коровый очаг. В шлифах и при микронзондовом исследовании видно, что сульфиды развиваются по пироксенам в этих ранних включениях базальта, а также по породоборазующим темноцветным минералам пемзовых бомб (рис. 3).

В пемзах повышенной щелочности диагностированы также такие самородные элементы как алюминий, медь, железо.

Стекло основной массы пемзовых бомб неоднородно по составу, особенно это характерно для бомб повышенной щелочности. Наиболее значительные вариации характерны для таких компонентов, как кремний, алюминий, железо и щелочи, в частности, калий (табл. 5). По этим показателям выделяются четыре группы остаточных стекол: 1. Низкокремнистые (55-56% SiO₂), высокомагнезиальные, железистые стекла, являющиеся остаточными расплавами дезинтегрированных фрагментов основной массы ювенильных базальтов. Они встречаются в незначительном количестве во всех типах пемзовых бомб и содержат микролиты плагиоклаза, пироксена, титаномагнетита. 2. Низко-кремнистые дацитовые (63-66% SiO₂) стекла полевошпатового состава с повышенным содержанием глинозема (16.5-20% Al₂O₃) и калия (5.2-8.8% K₂O). Они характерны для пемзовых бомб с повышенной щелочностью (образцы к-9-96 и к-10-96), а также образуют маломощные пленки грубо пористого стекла вокруг вкрапленников плагиоклазов в дацитовой бомбе к-29-97 нормальной щелочности (рис. 3). Правда,

Рис. 8. Диаграмма соотношения Al₂O₃-MnO-MgO в титаномагнетитах пемзовых бомб. Полые кружочки - с повышенным содержанием калия (к-9-96, к-10-96), залитые кружочки – в пемзовых бомбах нормальной щелочности (к-12-96, к-30-97).

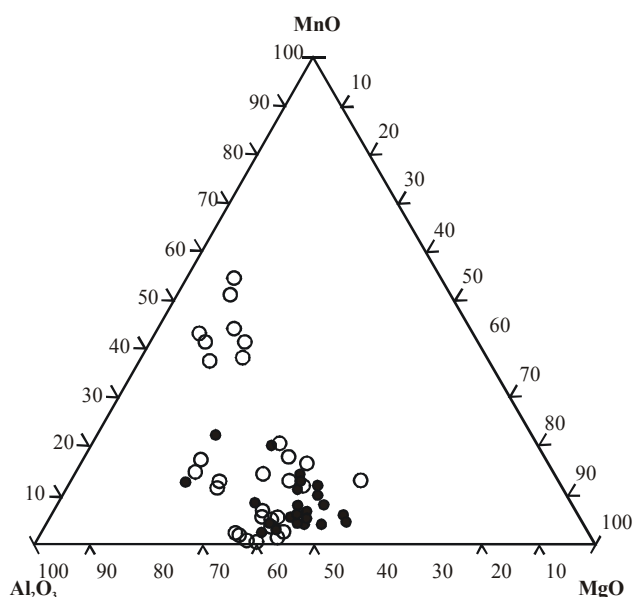


Таблица 5. Составы вкрапленников титаномагнетита в пемзовых бомбах извержения 1996 г. (представительные анализы), вес. %

Компоненты	к 10-96					к 30-96		к 12-96	
	ц	кр	ц	ц	ц	ц	ц	ц	кр
TiO ₂	12.70	12.12	9.84	9.51	6.31	10.39	7.42	8.43	8.44
Al ₂ O ₃	1.35	2.30	2.91	3.34	5.40	2.97	5.57	2.10	2.16
Cr ₂ O ₃	0.0	0.0	0.0	0.0	0.26	0.0	0.72	0.0	0.0
Fe ₂ O ₃	42.63	42.22	46.80	47.52	51.72	47.57	49.27	50.51	50.64
FeO	41.13	40.60	37.01	36.31	32.51	36.78	32.24	36.55	36.88
MnO	1.82	1.63	0.34	0.29	0.02	0.52	0.05	1.09	1.11
MgO	0.10	0.09	1.96	2.40	3.38	2.69	4.55	1.16	1.85
Сумма	99.70	99.18	99.01	99.55	99.64	100.74	100.04	99.90	100.30

Примечание. к10-96 - к 12-96 - номера образцов.

в последнем случае содержание калия не превышает 2.0% (табл. 6). Иногда в стекле сохраняются теньевые структуры с мелкими выделениями кварца и калиевых плагиоклазов. 3. Риодацитовые (69-74% SiO₂) стекла с умеренной глиноземистостью в пределах 13-15% Al₂O₃, варьирующим содержанием суммарного железа (1-3.5%) и общей щелочностью 5-7%, при отношении натрия к калию 0.9-1.3. Эти стекла преобладают в пемзовых бомбах нормальной щелочности. 4. Высококремнистые, кварцевые (82-

93% SiO₂) стекла встречаются иногда в пемзовых бомбах обоих типов, в основном там, где сохранились теньевые структуры раскристаллизации межзерновой основной массы, а также вокруг микровкрапленников кварца в пемзовой бомбе к-29-97.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

Таблица 6. Составы остаточных стекол пемзовых бомб извержения 2-3 января 1996 года, (представительные анализы), вес. %

Компоненты	к 9-96						к 2-96
	1	2	3	4	5	6	7
SiO ₂	58.60	63.59	64.81	66.13	74.97	97.06	75.77
TiO ₂	1.49	1.12	0.32	0.42	0.17	0	0.17
Al ₂ O ₃	17.43	16.31	17.86	17.17	12.66	0.94	12.99
FeO	7.56	4.90	1.92	3.25	2.23	0	1.54
MgO	1.87	1.60	0.37	1.28	0.35	0	0.35
CaO	5.97	1.92	1.96	2.20	1.0	0	1.70
Na ₂ O	3.04	2.83	3.12	2.54	3.23	0.04	2.30
K ₂ O	1.92	7.15	8.84	6.35	3.19	0.45	4.83
Сумма	97.88	99.42	99.26	99.54	97.80	98.49	99.45

Продолжение таблицы

Компоненты	к 30-97	к 29-97				к 3-96		
	8	9	10	11	12	13	14	
SiO ₂	72.10	65.74	74.46	76.75	72.22	88.95	68.70	
TiO ₂	0.57	0.04	0.48	0.36	1.03	0.04	0.72	
Al ₂ O ₃	13.99	20.21	13.52	12.11	11.77	5.84	13.33	
FeO	2.20	0.79	1.23	1.02	3.56	0.67	4.02	
MgO	0.56	0.01	0.29	0.15	0.69	0.0	1.24	
CaO	1.57	4.11	0.66	0.52	1.81	0.60	3.50	
Na ₂ O	2.57	3.21	2.59	3.20	3.27	0.38	2.43	
K ₂ O	4.55	1.85	4.39	4.72	2.93	0.99	4.55	
Сумма	98.11	95.98	97.66	98.83	97.33	97.47	98.52	

Примечание. 1 – стекло первого типа, 2-4, 9 – стекло второго типа, 5, 7-8, 10-12, 14 – стекло третьего типа, 6, 13 – стекло четвертого типа. к9-96 – к 3-96 - номера образцов.

Извержение высокоглиноземистых базальтов в январе 1996 г. в северной части озера Карымское происходило из промежуточного магматического очага, средняя глубина которого (порядка 18 км) была оценена по данным процессов деформации земной поверхности в районе озера Карымское (Федотов, 1997). Предполагается, что при вскрытии магматического очага образовалась дайка субмеридионального простирания шириной 2.5 м и длиной более 2.6 км. Расчеты равновесных минеральных ассоциаций в базальтах 1996 г. показывают, что температура расплава перед извержением могла находиться в пределах 1130-1200°C (Гриб, 1997). При подъеме к поверхности базальты пересекли верхнекоровый очаг кислой магмы, расположенный в недрах сложной кальдерной структуры, развивающейся со среднего плейстоцена (Гриб, Леонов, 2004, а, б, Леонов, Гриб, 2004). Возраст пемзовых пирокластических потоков, имеющих отношение к формированию кальдеры Академии Наук оценивается периодом около 30 тыс. лет (Вулканический центр..., 1980). За это время кислый материал в коровом очаге мог остыть до солидусных температур. Однако, работы, проведенные в районе после 1996 г., показали, что фреато-магматические извержения в северной части озера Карымское в голоцене происходили неоднократно (Белоусов и др., 1997; Федотов и др., 2002, Леонов, Гриб, 2004). Тепловые импульсы, привносимые периодически базальтами в верхнюю часть магматической системы, препятствовали окончательной консолидации расплава в очаге. Базальты в 1996 г. смогли прорваться к поверхности только вблизи северной границы магматического очага, где температура кислого материала была, очевидно, близка к солидусной. Воздействие высокой температуры вызвало частичное плавление консолидированного, но еще достаточно горячего, кислого материала на границе с дайкой базальтов до состояния «кристаллической каши», в результате чего на завершающем этапе эксплозивного извержения были выброшены пемзовые бомбы риодацитового и, в меньшей степени, дацитового состава. Мобилизация расплава происходила, очевидно, в узкой зоне, на границе подводящей дайки, по пути следования базальтов: происходило как бы «опробование» отдельных зон верхнекорового очага в вертикальном разрезе. Различный состав этих зон, разная степень плавления и взаимодействия с базальтами и определили, вероятно, широкий диапазон химического и минерального состава пемзовых бомб.

Наличие округлых включений свежих шлаков базальтов в пемзах, пластические деформации между двумя расплавами являются доказательством застывания магматической эмульсии, состоящей из различных по вязкости компонент. Температуру мобилизованного расплава можно оценить в пределах от 700°C (положение фигуративных точек отдельных бомб вблизи температурного минимума эвтектоидных гранитов (Гриб, 1997)) до 800-850°C. Верхняя граница определяется

процессами диссоциации, начавшимися во вкрапленниках роговой обманки.

Температура кислого материала вблизи контакта с базальтами не была одинаковой. Об этом свидетельствует разная степень диссоциации кристаллов амфибола, присутствие зерен титано-магнетитов с распадом и без него, различная степень плавления межзернового остаточного расплава (сохранение местами мелких до 20-30 мкм темных реликтов кварца и калиевого плагиокла-за), различия в текстуре даже в пределах одной пемзовой бомбы, когда участки сравнительно плотные, слабо пористые, сменяются участками с повышенной пористостью и включениями шлаков базальтов, и просто вспененными, где границы вмещающих пемз и базальтовых шлаков размыты.

Большое количество неравновесных кристаллических фаз базальтов в пемзовых бомбах (не считая включений шлаков) указывает на активные процессы смешивания контрастных расплавов. Извержение 1996 года в кальдере Академии Наук наглядно показало, что значительную роль при этом играет флюид. Базальтовая магма совместно с газовой фазой под большим давлением впрыскивалась в мобилизованный кислый расплав и переносилась в виде тонких пленочек на поверхности газовых пузырьков. Последние разрушались в вязком кислом расплаве, насыщая его микро-вкрапленниками и микровключениями высоко-температурного расплава.

Используя методику расчета, изложенную в (Теркот, Шуберт, 1985), нами были рассчитаны профили температур в зоне контакта «дайка-вмещающие породы» (рис. 9) для различных моментов времени при различных начальных условиях (T_m – температура дайки, T_o – температура вмещающих пород). Исходя из температуры (1130-1200 °C) внедрившихся базальтов (Гриб, 1997), параметры второй модели, очевидно, наиболее близко отражают условия, существовавшие в недрах структуры на момент внедрения базальтов. Рассчитанная температура на границе дайки и вмещающих пород (885 °C) также находится в соответствии с состоянием роговой обманки в пемзовых бомбах. Извержение в северной части озера Карымское в 1996 г. закончилось в течение суток (Федотов, 1997). Из анализа кривых распределения температур следует, что во всех трех моделях в первые сутки от начала извержения ширина зоны плавления составляет 0.6 м. Этим и объясняется, очевидно, небольшое количество извергнутых пемзовых бомб. Процесс размягчения и плавления вмещающей среды на контакте с дайкой, тем не менее, продолжался дальше. Скорость его находилась в прямой зависимости от ее температуры: чем более низкая была температура вмещающих пород, тем быстрее происходила кристаллизация дайки. На более глубоких уровнях, а также под кальдерой, где температура кислого материала в магматическом очаге была выше, и возможно, соответствовала модели 3, дайка мощностью 2 м (без дополнительного питания) могла отдавать тепло

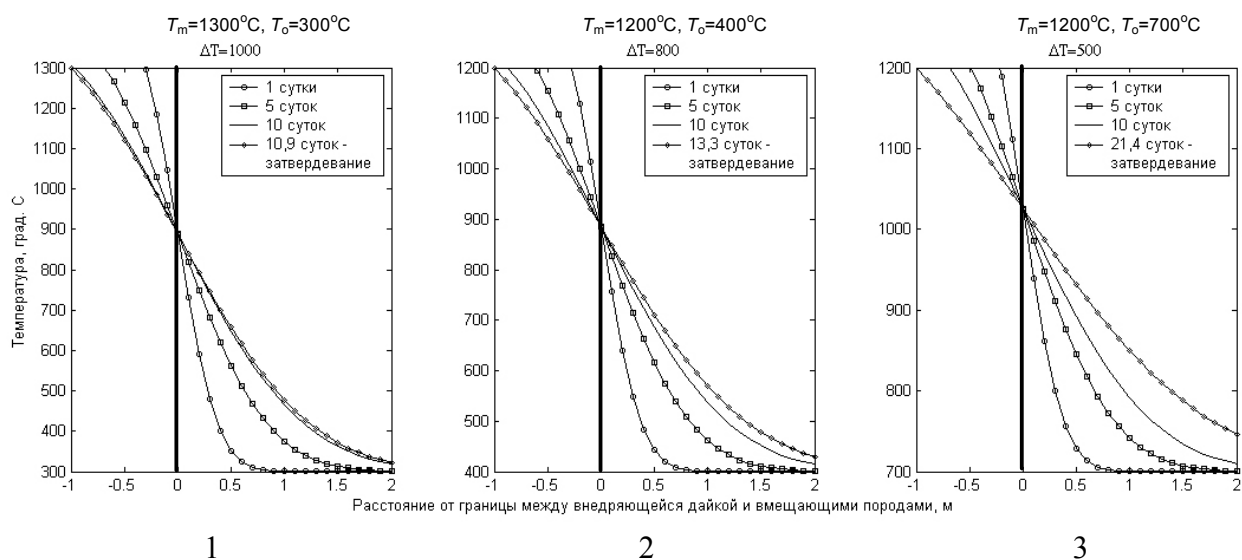


Рис. 9. Кривые распределения температур в зоне контакта внедрившейся дайки и вмещающих пород. По оси ординат отложена разность температур дайки и вмещающей породы в данной точке. По оси абсцисс – расстояние от первоначальной границы между дайкой и вмещающими породами. Модели: 1 – соответствует разности температур 1000 °С, 2 – 800 °С, 3 – 500 °С. T_m – температура дайки, T_o – температура вмещающей породы. Скрытая теплота плавления $L=320\text{ кДж/кг}$, удельная теплоемкость $c=1200\text{ Дж/(кг}\cdot\text{°С)}$, температуропроводность $\kappa=5\cdot 10^{-7}\text{ м}^2/\text{с}$, мощность дайки – 2 м.

в окружающую среду в течение более 20 суток. При этом ширина зоны влияния должна была значительно возрасти, а температура на контакте достигнуть 1025 °С, т.е. должен был произойти перегрев мобилизованного кислого расплава в каком-то объеме, возникнуть конвективные процессы, ведущие к вовлечению в процесс разогрева смежных участков в магматическом очаге. Возможен вариант, когда при падении гидростатического давления в дайке, вертикальное движение расплава сменилось на латеральное с образованием силла и, следовательно, увеличением площади соприкосновения базальтового расплава с вмещающей средой. Вероятно, именно этими процессами объясняется активизация гидротермальной деятельности в районе озера Карымское в последующие после извержения 1996 г. 10 лет.

Для оценки генетической связи пемзовых бомб 1996 г. с продуктами верхнекорового магматического очага в недрах структуры, составы их вкрапленников сравнивались с составами порообразующих минералов пемзовых туфов пирокластических отложений, имеющих отношение к формированию кальдер южного сектора Карымского вулканического центра (Гриб, Леонов, 2004, а, б, Леонов, Гриб, 2004). При сопоставлении составов вкрапленников плагиоклаза (рис. 4) обращает внимание, что ядерные и промежуточные зоны фенокристаллов пемзовых бомб различной калиевости близки между собой и лежат в поле составов плагиоклазов пирокластических отложений кальдер. Особенно это видно при сравнении составов вкрапленников бомб нормальной щелочности. Что касается пемзовых бомб с повышенным содержанием калия, то заметное увеличение ортоклазового минерала в плагиоклазах наблюдается на

завершающих этапах кристаллизации расплава при формировании промежуточных и внешних зон вкрапленников (это касается и бомбы к-29-97).

Анализируя составы амфиболов, можно предположить, что роговые обманки пемзовой бомбы к-30-97, отличающиеся пониженной концентрацией титана и низкой щелочностью (рис. 7, б), представляют собой аналоги кислых расплавов, связанных с формированием наиболее ранней кальдеры Половинка. Среди пирокластических потоков последней есть пемзовые туфы (П2), содержащие амфибол подобного состава (Гриб, Леонов, 2004, а, б, Леонов, Гриб, 2004). Полного перекрытия составов не наблюдается. Однако, в 2004 г. на западном борту структуры (нижняя часть долины реки Крестьянской) был закартирован пирокластический поток, отнесенный ко времени образования этой кальдеры. Риодацитовые пемзы его содержат в качестве единственного темноцветного минерала роговую обманку, состав которой аналогичен составу вкрапленников в указанной бомбе (неопубликованные данные). В то же время, больший диапазон глиноземистости, титанистости и щелочности роговой обманки в пемзовой бомбе к-10-96 (рис. 7 а) позволяет сопоставлять ее с умеренно глиноземистыми амфиболами в отложениях кальдеры Однобокой (Гриб, Леонов, 2004, а, б, Леонов, Гриб, 2004).

Сравнение распределения MnO и железистости ортопироксенов (Fm) в бомбах и пирокластике кальдер южного сектора Карымского вулканического центра (этот показатель ранее использовался нами как корреляционный признак при расчленении пирокластических потоков (Леонов и др., 2000)) также свидетельствует о близости их составов с

вкрапленниками кальдеры Однобокой (рис. 6). Этот вывод закономерен, так как, начиная с верхнего плейстоцена, все кислые пирокластические отложения в районе современного озера Карымское являются продуктами эволюции базальтов, участвующих в формировании вулкана Однобокий, связаны с формированием одноименной кальдеры и, следовательно, с соответствующим верхнекоровым магматическим очагом. Не противоречит этому и наличие пемзовой бомбы (самой крупной), представленной субафировым риолитом (рис. 1, а), так как только в отложениях упомянутой кальдеры встречаются аналогичные пемзы и обсидианы.

Таким образом, сопоставление минерального и химического состава (общая щелочность) пемзовых бомб извержения 1996 г. с отложениями пирокластических потоков, связанных с формированием телескопированных кальдер района, свидетельствует о принадлежности их к единой магматической системе. Она развивалась в течении длительного времени, переживала мощные структурные перестройки с образованием кальдер и ростом внутрикальдерных вулканов (Вулканический центр..., 1980, Гриб, Леонов, 2004, а, б, Леонов, Гриб, 2004). По периферии магматических очагов могли сохраняться кислые расплавы предыдущих этапов, которые эволюционировали во времени.

Повышенная калиевоность отдельных бомб извержения 1996 г. объясняется внутрикамерной дифференциацией расплавов, а также процессами, сопровождающими ее. На это указывает распределение ортоклазового минала в фенокристаллах плагиоклаза в обоих типах пемзовых бомб (рис. 4) и составы остаточных стекол (табл. 6). При нормальном ходе процесса кристаллизации расплава остаточные порции обогащаются калием, и, как в случае пемзовой бомбы к-29-97, на заключительных этапах плагиоклазы обрастают тонкими каемками высококалиевого олигоклаза (рис. 3, 4, в), а в межзерновом пространстве кристаллизуется биотит (в дальнейшем он диссоциировал с образованием безводной ассоциации минералов). Тонкие каемки калиевого плагиоклаза, незначительное количество остаточного стекла не оказали влияние на увеличение калия в валовом составе породы. В случае, когда процесс кристаллизации оказывается незавершенным, например, при закалке расплава вблизи боковой поверхности магматического очага, образуются фациальные разности с порфириковой структурой. Это мы отмечаем в большей части пемзовых бомб. В остаточном стекле не происходит значительного накопления калия, что отражается и на составе внешних зон вкрапленников плагиоклаза (рис. 4, б). Валовый состав таких бомб отличается нормальной щелочностью. Однако, могут возникать ситуации, когда происходит привнос обогащенных калием остаточных расплавов из других зон магматического очага. Анализ состава бомб повышенной щелочности показывает, что общая калиевоность их возрастает именно за счет высокой концентрации калия в остаточных стеклах (табл. 6).

Образование парциальных выплавок, обогащенных калием по сравнению с составом исходных пород (гранитов) при внедрении более поздних базальтов, неоднократно обсуждалось в литературе (Литвиновский и др., 1991, Занвилевич, Литвиновский, 1996). При этом было установлено образование двух расплавов: высококремнистого котектического и низкокремнистого высококалиевого, представляющего собой продукт неравновесного плавления калиевого полевого шпата. В нашем случае при внедрении базальтовых магм в верхнекоровый очаг, находящийся в субсолидусном состоянии, происходит частичное неравновесное плавление кварц-полевошпатового материала мезостазиса слабо-консолидированных расплавов. Обладая низкой плотностью, эти жидкости могут перемещаться вверх и поглощаться «ловушками», где остаточный межзерновый расплав еще не закристаллизовался, и обогащать его калием. Судя по тому, что в краевых частях плагиоклазов тонкие зоны, обогащенные калием, чередуются с низко калиевыми зонами, такие события имели ритмичный характер. Возможно, именно процессами «плавления – кристаллизации» можно объяснить появление во внешних зонах вкрапленников плагиоклаза мелких пойкилитовых включений кварца, которые могут представлять собой недоплавленные фрагменты мезостазиса, захваченные при последующем дорастании кристаллов.

Авторы выражают благодарность В.Л. Леонову за пополнение коллекции интересными образцами пемзовых бомб извержения 1996 г. и полезные замечания к статье, В.М. Чубарову и Т.М. Философовой за обеспечение качественного микросондового анализа, А.В. Сокоренко за выполнение фотоснимков пемзовых бомб, а также А.Н. Рогозину, за помощь в компьютерной обработке графического материала.

ВЫВОДЫ

1. Пемзовые бомбы извержения 1996 г. представляют собой аналоги кислого материала верхнекоровых магматических очагов, существовавших в недрах структуры в четвертичное время.

2. Пемзовые бомбы с повышенной калиевоностью представляют собой продукт внутрикамерной дифференциации с дополнительным привнесением обогащенных калием остаточных расплавов.

3. Извержение пемзовых бомб связано с мобилизацией горячей, но частично консолидированной породы краевых фаций верхнекорового магматического очага на границе с внедрившейся дайкой базальта.

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта РФФИ № 05-05-64730, Проекта ДВО РАН 05-III-A-08-068, ФЦНТП, тема: РИ-112/001/497, Программа 13 ФИ Президиума РАН №04-1-08-006.

Список литературы

- Белоусов А.Б., Белоусова М.Г., Муравьев Я.Д.* Голоценовые извержения в кальдере Академии Наук и возраст стратовулкана Карымский (Камчатка) // Докл. РАН. 1997. Т. 354. № 5. С. 648-652.
- Включения в вулканических породах Курило-Камчатской островной дуги / Отв. ред. Лутц Б.Г., Рудич К.Н., Ермаков В.А. М.: Наука, 1978. 221с.
- Волков В.Н., Горбачева С.А.* Изменение условий кристаллизации гранитов в вертикально обнаженном интрузиве по данным о составе порообразующего биотита // Геохимия. 1980. № 1. С. 147-154.
- Вулканический центр: строение, динамика, вещество (Карымская структура) / Под ред. Масуренкова Ю.П. М.: Наука, 1980. 299 с.
- Гриб Е.Н.* Петрология продуктов извержения 2-3 января в кальдере Академия Наук // Вулканология и сейсмология. 1997. № 5. С. 71-97.
- Гриб Е.Н., Леонов В.Л.* Эволюция магматических очагов кальдер южного сектора Карымского вулканического центра. Часть I. Геология, строение и состав пирокластических потоков // Вулканология и сейсмология. 2004, а. № 4. С. 21-39.
- Гриб Е.Н., Леонов В.Л.* Эволюция магматических очагов кальдер южного сектора Карымского вулканического центра. Часть II. РТФ – условия кристаллизации игнимбритообразующих расплавов, эволюция магматизма // Вулканология и сейсмология. 2004, б. № 5. С. 23-36.
- Занвилевич А.Н., Литвиновский Б.А.* Неравновесное плавление и смешение магм при формировании гибридных пород бимодальной серии: Мало-Хамардабанская вулcano-тектоническая структура, Забайкалье // Петрология. 1996. № 4. С. 364-385.
- Классификация и номенклатура магматических горных пород // Под редакцией Гоньшакова В.И. М.: Наука, 1981. 160 с.
- Леонов В.Л., Гриб Е.Н.* Структурные позиции и вулканизм четвертичных кальдер Камчатки / Отв. ред. Белоусов В.И. Владивосток: Дальнаука, 2004. 185 с.
- Леонов В.Л., Гриб Е.Н., Карташева Л.А.* Расчленение игнимбритов и оценка объемов магмы, выброшенной при игнимбритообразующих извержениях на Восточной Камчатке // Вулканология и сейсмология. 2000. № 5. С. 21-36.
- Литвиновский Б.А., Шадаев М.Г., Занвилевич А.Н.* Синплутонические долеритовые дайки в гранитоидах известково-щелочных серий (Забайкалье) // Геология и геофизика. 1991. № 9. С. 29-38.
- Минералы. Справочник. Том IV. М.: Наука, 1992. 598 с.
- Пополитов Э.И., Вольнец О.Н.* Геохимические особенности вулканических пород Курило-Камчатской островной дуги, некоторые вопросы петрогенезиса. Новосибирск: Наука, 1981. 182 с.
- Теркот Д., Шуберт Дж.* Геодинамика. Том I. М.: Мир, 1985. 374 с.
- Федотов С. А.* Об извержениях в кальдере Академии Наук и Карымском вулкане на Камчатке в 1996 г., их изучении и механизме // Вулканология и сейсмология. 1997. № 5. С. 3-38.
- Федотов С.А., Озеров А.Ю., Магуськин М. А. и др.* Извержение Карымского вулкана в 1998-2000 гг., связанные с ним сейсмические, геодинамические и поствулканические процессы, их воздействие на окружающую среду // Катастрофические процессы и их влияние на природную среду. Том I. Вулканизм. М.: Региональная общественная организация ученых по проблемам прикладной геофизики. 2002. С. 117-160.
- Флеров Г.Б., Хренов А.П., Петрова В.В.* Пемзовые и пемзовидные включения в базальтах четвертичных вулканов Камчатки и Курил (первичная природа, состав и процессы пирометаморфизма) // Включения в вулканических породах Курило-Камчатской островной дуги. М.: Наука, 1978. С. 198-218.
- Gill J.* Orogenic andesites and plate tectonic. Berlin: Springer-Verlag. 1981. 390 p.

**PUMICE BOMBS OF THE JANUARY 1996 ERUPTION FROM THE ACADEMIYA NAUK
CALDERA: CHARACTERISTIC FEATURES OF COMPOSITION AND GENESIS**

E. N. Grib¹, A. G. Manevich¹, O. V. Sobolevskaya^{1,2}

¹ *Institute of Volcanology and Seismology FED RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky, 683006*

² *Kamchatka State University, Petropavlovsk-Kamchatsky, 683032*

Institute of Volcanology and Seismology, Piip boulevard, 9, Petropavlovsk-Kamchatsky, 683006, Russia

Phone: (41522) 5-94-05, fax: (41522) 5-94-05, e-mail: gen@kcs.iks.ru

The paper presents mineral phases compositions of the pumice bombs from the Academiya nauk caldera. The results were obtained by means of microprobe study. In our investigation we compare mineral compositions of the pumice bombs with pyroclastic sediments formed in the area of this caldera in quaternary, we define the reasons for K content increase in some pumice bombs. Besides, in this study we estimate thermal profiles in transition (from dike to wall rock) zone for different moments of time and under different initial conditions.