

УДК 551.21

**НОВЫЕ ДАННЫЕ О ПРОЦЕССАХ ИГНИМБРИТООБРАЗОВАНИЯ ПРИ
ФОРМИРОВАНИИ КАЛЬДЕРЫ ПОЛОВИНКА (КАРЫМСКИЙ
ВУЛКАНИЧЕСКИЙ ЦЕНТР)****Гриб Е.Н., Леонов В.Л.***Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН,**Петропавловск-Камчатский, 683006; e-mail: gen@kscnet.ru***Аннотация**

По результатам полевых работ в течение 2002–2007 гг. и детальных исследований вещественного состава были получены новые данные, которые дополняют наши более ранние представления о процессах игнимбриитообразования при формировании кальдеры Половинка. Было непосредственно установлено, что первый пирокластический поток пемзово-пеплового материала был представлен ультракислыми (74% SiO₂) риолитовыми водосодержащими кварц-биотитовыми туфами. Последующие пирокластические отложения представлены дупироксеновыми туфами. В разрезе по реке Крестьянской встречены роговообманковые пемзовые туфы риодацитового состава, которые свидетельствуют о существовании между выделенными ранее типами переходных разностей. Алевритовые туфы с чешуйками биотита, мощностью 3,5 м, отмеченные в том же разрезе между пемзовыми туфами первой фазы игнимбриитообразования кальдеры Половинка и игнимбритами андезидацитового состава второй, могут представлять собой донные осадки существующего в то время кальдерного озера. Обнаружение их в нижней части западного склона кальдерной структуры, может свидетельствовать о катастрофических переливах воды из озера, возникших при взрывах в связи с внедрением в вехнекоровый магматический очаг под кальдерой более глубинного расплава андезибазальтового состава. Среди аксессуарных фаз в протолочках из пемзовых туфов риолитового и риодацитового состава были обнаружены стекловатые и рудные шарики (магнетит?) шарики размером от 0.2 до 1.0 мм диаметром.

Введение

Кальдера Половинка, расположена в южном секторе Карымского вулканического центра и представляет собой наиболее древнюю структуру из серии телескопированно вложенных кальдер этого района (Половинка-Однобокая-Академия Наук) [2, 4–5, 9]. По новым данным возраст ее оценивается в 432 тыс. лет [10]. С кальдерой связаны мощные пирокластические потоки, которые скатились, в основном, в западном направлении, достигнув долины реки Жупанова (рис. 1). Мощность их изменяется от 40 до 200 м. Первая фаза представлена кварц-биотитовыми и дупироксеновыми туфами, соответственно, риодацитового и дацитового состава. Пирокластические отложения заключительного этапа формирования кальдеры представлены андезитовыми, андезидацитовыми спекшимися туфами и игнимбритами с черными лентовидными фьямме. Широко развиты на заключительном этапе шлаковые бомбовые туфы и агглютинаты состава низкокремнистых андезитов и андезибазальтов, которые распространяются в основном вблизи юго-западного и северо-западного бортов кальдеры.

В результате проведения полевых работ в течение 2002–2007 гг. и детальных исследований вещественного состава были получены новые данные, которые дополняют наши более ранние представления о процессах игнимбриитообразования при формировании кальдеры Половинка [2,4–5, 9].

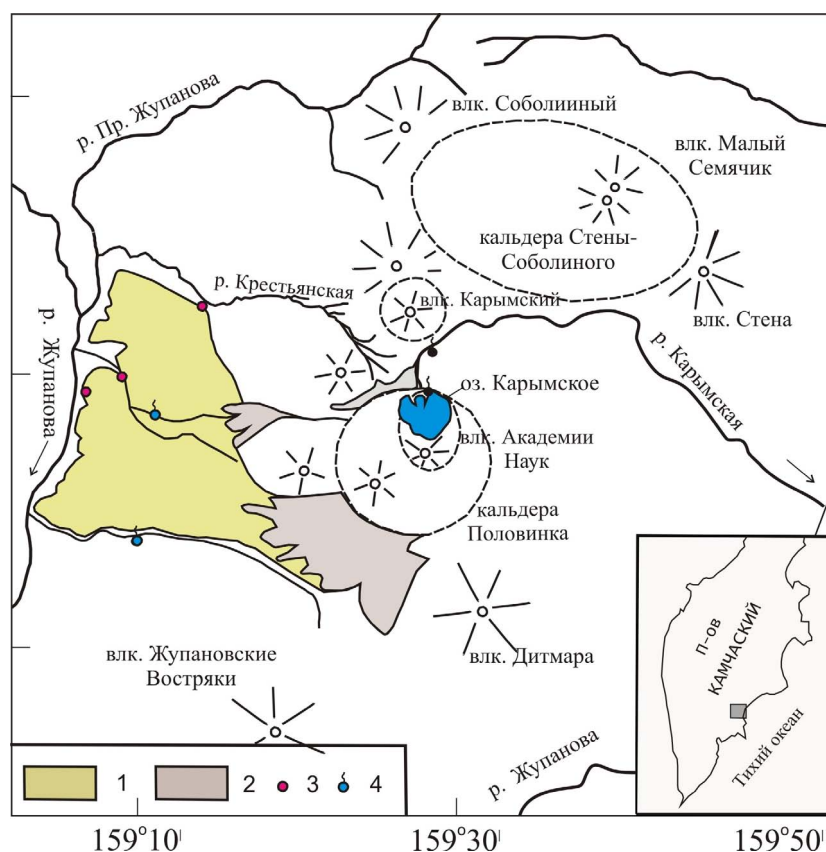


Рис. 1. Схематическая карта Карымского вулканического центра. 1-2 – пирокластические отложения кальдеры Половинка: первого (1) и второго (2) этапов; 3 – местоположение опорных разрезов; 4 – холодные напорные источники.

Результаты работ

На фронте обширного пирокластического потока по левому борту реки Жупанова и вблизи устья реки Правой Кедровой опробованы мощные разрезы пемзовых туфов, в которых выделяется несколько единичных пирокластических потоков (рис. 2). Они разделяются между собой маломощными слоями не спекшихся отложений – тефрой псаммитовой и псефитовой размерности, горизонтально- и косослоистой. Было установлено, что первый пирокластический поток пемзово-пеплового материала был представлен ультракислыми (74,1% SiO₂) водосодержащими кварц-биотитовыми туфами риолитового состава (П1) [3, 4]. Последующие единицы пирокластических отложений представлены двупироксеновыми туфами риодацитового состава (П2) по [4,5].

Информативным оказался разрез на северном фланге пирокластического потока по левому борту реки Крестьянской в средней, выполаживающейся, части его долины. Верховье реки охватывает расстояние от кальдеры Карымской до северного ограничения комплекса кальдер южного сектора КВЦ (рис. 1). На протяжении 20–25 км от истоков до впадения ее в реку Правая Жупанова она последовательно вскрывает разновозрастные пирокластические отложения, связанные с образованием кальдер Карымская, Однобокая, Половинка и подстилающие их базальтоиды нижнеплейстоценового (г. Плоская) – и среднеплейстоценового (вв. Двор, Пра-Карымский) возраста. Описание разреза представлено снизу вверх (рис. 3):

НОВЫЕ ДАННЫЕ О ПРОЦЕССАХ ИГНИМБРИТООБРАЗОВАНИЯ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ КАЛЬДЕРЫ ПОЛОВИНКА (КАРЫМСКИЙ ВУЛКАНИЧЕСКИЙ ЦЕНТР)

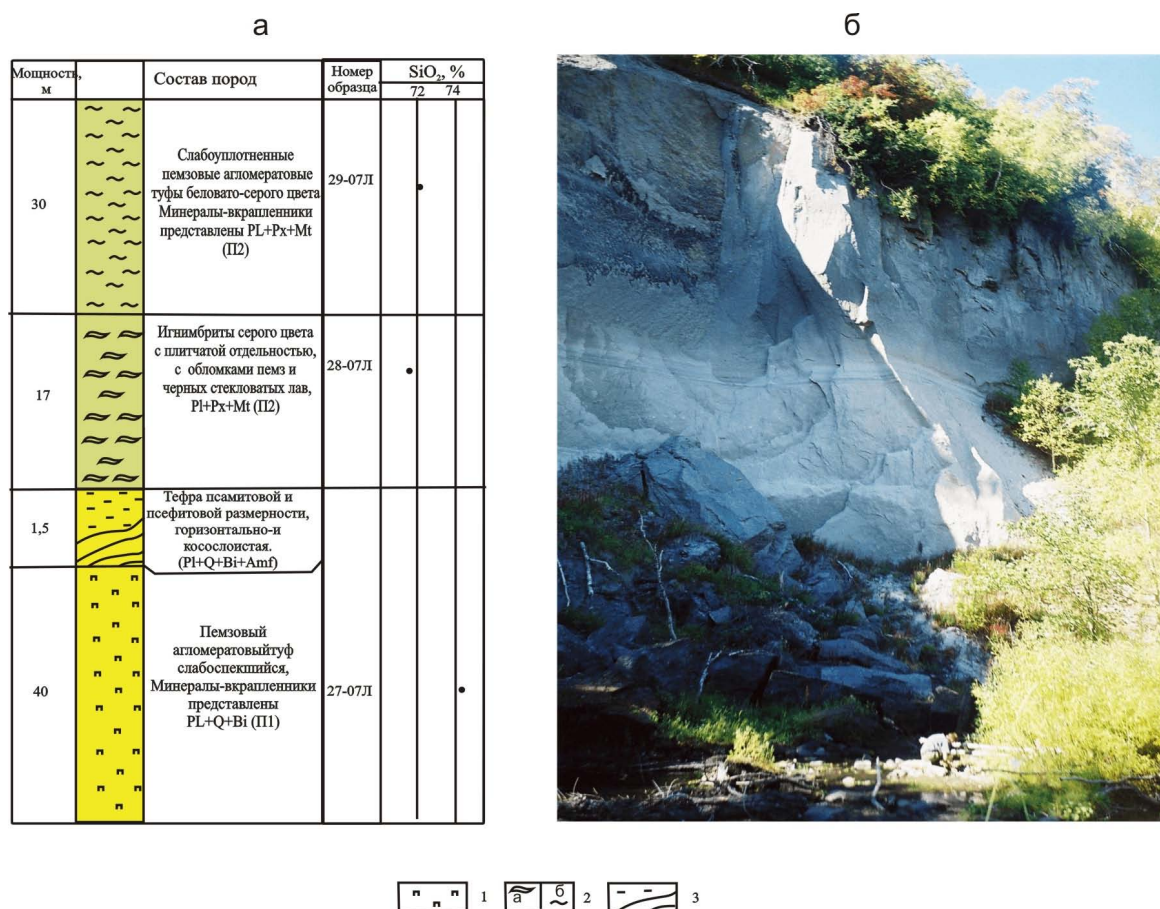


Рис. 2. Разрезы пемзовых туфов во фронтальной части пирокластического потока. *а* – стратиграфический разрез пирокластических отложений по левому борту реки Жупанова, 1 – пемзовые агломератовые туфы, 2 – игнимбриты (*а*) и слабо спекшиеся пемзовые туфы (*б*), 3 – тефра, в различной степени слоистая; *б* – вид разреза пирокластических отложений в приустьевой части реки Правой Кедровой.

1. Пемзовые агломератовые туфы риодацитового состава светло-серого цвета, слабо уплотненные. Размер пемзовых обломков изменяется от 1 до 15 см. Пористость их варьирует в широких пределах, однако преобладают умеренно пористые разновидности. Заполнитель пепловый псаммитовой размерности. Вкрапленники (15–20 %) представлены плагиоклазом, роговой обманкой, в меньшей степени ортопироксеном и магнетитом. Изредка среди пемз встречаются неоднородные обломки с гнездами пемз бежевого цвета или тонкими прослоями темно-серого цвета. Обнаружены единичные включения габброидного типа с каркасной структурой, содержащие большое количество крупных шестоватых кристаллов роговой обманки. Расчистка склона позволила установить видимую мощность пемзовых отложений порядка 35–40 м. Подошва слоя не вскрыта.

2. Пески слоистые крупнозернистые темно-серого цвета с тонкими рыжими прослоями. Зерна представлены лавами базальтового и андезитового состава, пемзами и большим количеством (до 40 %) кристалло-лапилли плагиоклаза, кварца, роговой обманки, биотита, пироксена и их сростков. Граница с подстилающими пемзовыми туфами ровная. Мощность слоя 40 см.

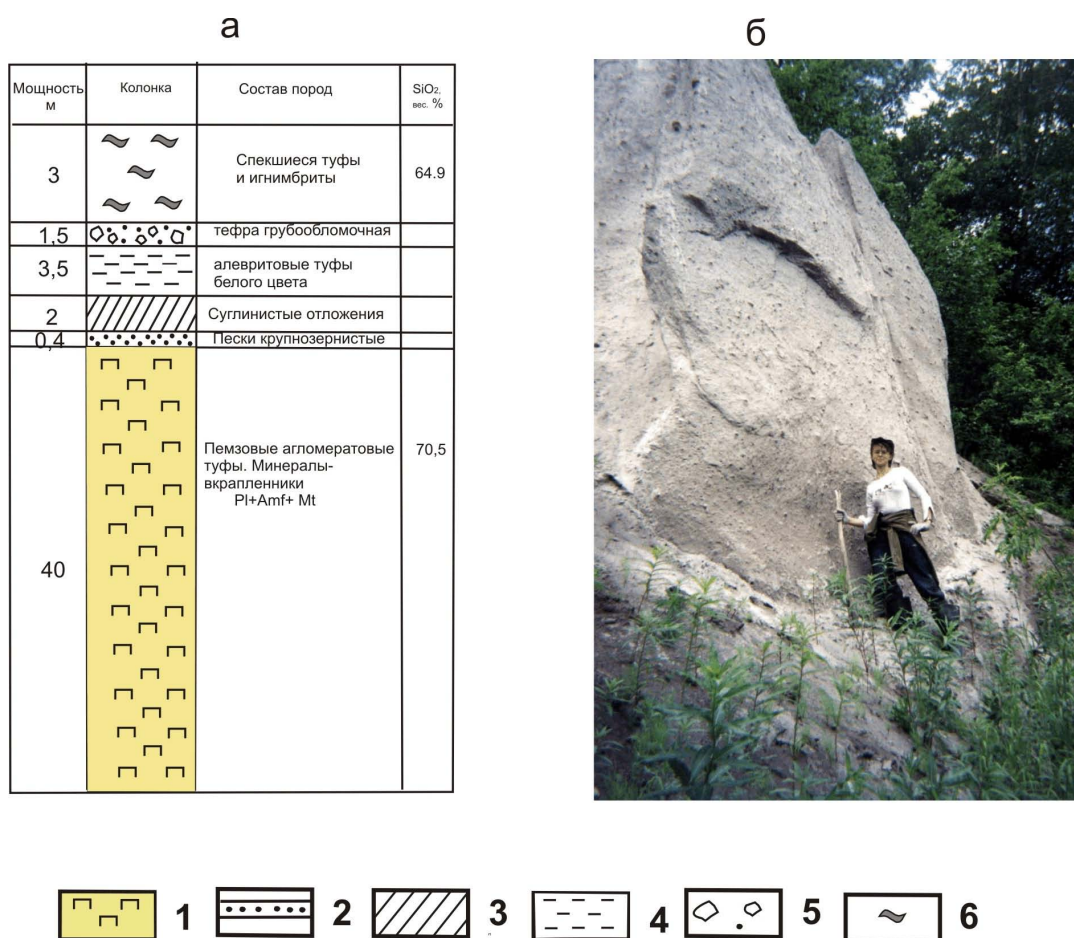


Рис. 3. Разрез пирокластических отложений по левому борту реки Крестьянской. а – схематический разрез; б – обнажение пемзовых туфов в основании разреза.

3. Суглинистые отложения рыжевато-бурого цвета. Мощность слоя 1,5–2 м.

4. Слой алевритопелитовых туфов беловато-кремового цвета, рыхлых, слабо уплотненных. В верхней части слоя туфы более уплотненные, на выветрелых поверхностях видна тонкая сланцеватость. В туфах встречаются редкие лейсты биотита светло-бурого цвета. Мощность слоя порядка 3,5–4,0 м. Граница с нижними суглинистыми отложениями резкая.

5. Тефра грубообломочная (от псаммитовой до гравийной размерности) бурого цвета с большим количеством обломков темно-серого стекла и шлаков андезибазальтового состава. В основании тонкий (15–20 см) слой тонкозернистого песка серого цвета. Общая мощность – 1,5 м.

6. Слабо спекшиеся туфы андезидацитового состава темно-бурого цвета, землистого облика. В верхней части слоя они сменяются игнимбритами серого цвета с крупными лентовидными фьямме и мелкими – линзовидными. Мощность слоя – 2–3 м.

В протолочках из пемзовых туфов были встречены редкие сферические фазы, которые можно отнести к аксессуарным образованиям (рис. 4–5). Полустекловатые шарики желтовато-серого цвета имеют размер в пределах 0,25–1,0 мм (рис. 4а). Часто наблюдается уплотненная площадка, которая указывает на прикрепление их к поверхности пор. Микроанализ стекловатой сферической фазы был выполнен в ИГЕМ РАН, г. Москва (аналитик Мохов А. В.) с помощью рентгеновского энергодисперсионного спектрометра (ЭДС), установ-

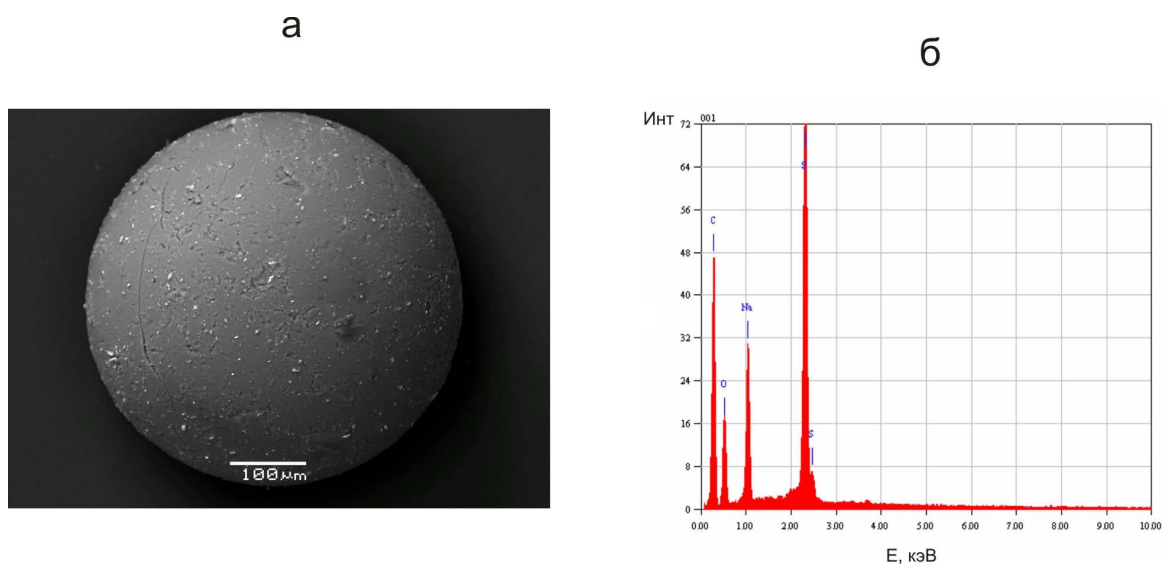


Рис. 4. Полустекловатая сферическая фаза. *а* – вид в отраженных электродах; *б* – энерго-дисперсионный спектр.

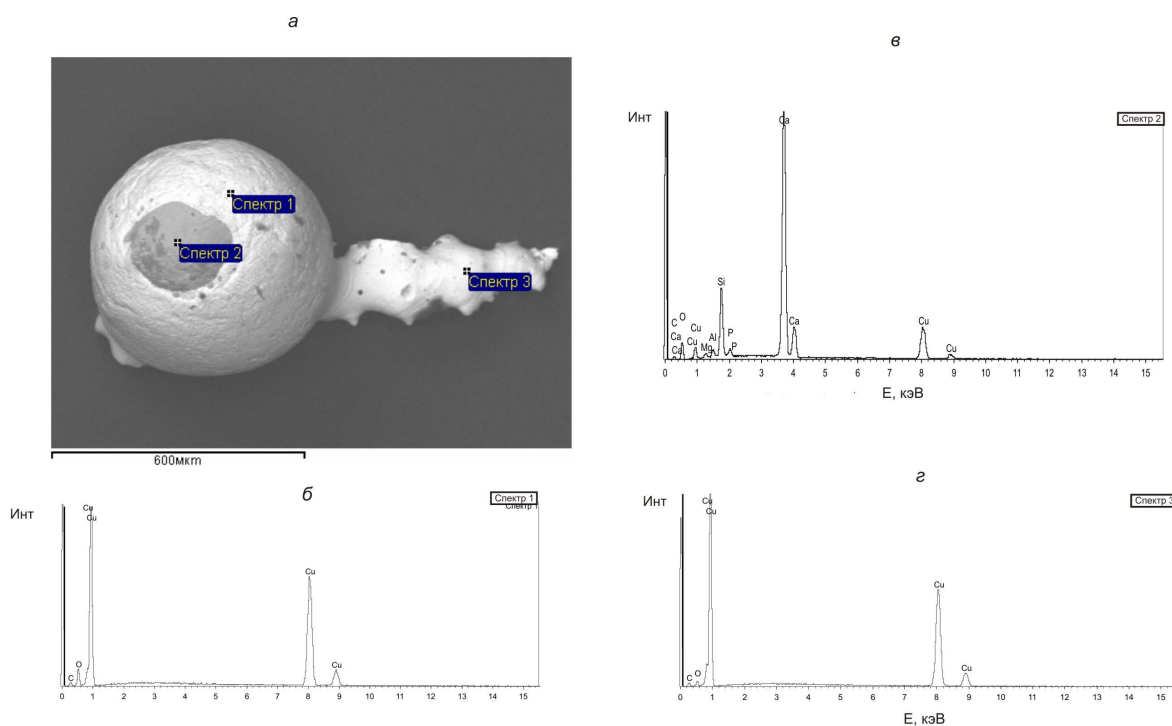


Рис. 5. Рудный шарик на винтообразном стержне: *а* – общий вид; *б-г* – спектры ЭДС.

ленного на сканирующем микроскопе JSM-5300 (JEOL, Япония) [6]. На энергодисперсионном спектре состава присутствуют выраженные пики серы, натрия и, менее значимые, кислорода (рис. 4б). Шарик достаточно твердый, не выгорает при микрозондовом анализе. Качественный анализ на KEVEX также показал присутствие натрия и серы. Соотношение этих элементов в сферической фазе соответствует составу тенардита. Тенардит (Na_2SO_4) – это осадочный минерал класса сульфатов натрия, растворимый в воде. Он известен также

как продукт фумарольной деятельности [1, 7]. Необычный состав сферулы, ее форма свидетельствуют о формировании фазы в газовой среде, насыщенной сернистым газом. Исходя из повышенной твердости шарика, устойчивости к выгоранию, можно предположить, что сернистые газы (ангидрид?) были растворены в небольшом объеме силикатного расплава с повышенной натриевой составляющей.

Были встречены также образования сферической, неправильной и винтообразной форм размером от 200 мкм до 1–1,5 мм., покрытые тонкой пленкой медисто-красного цвета (рис. 5). На рисунке показан шарик диаметром около 500 мкм, насаженный на винтообразный стержень длиной 1,2 мм. Шарик и стержень покрыты тонкой пленкой медисто-красного цвета. В одном месте пленка отсутствует и просматривается темносерая поверхность шарика с заметной неоднородной структурой. Винтообразная форма стержня указывает на пластичное его состояние и может быть следствием вихревых движений во флюидном потоке. Обратная сторона стержня плоская; можно предположить, что еще в пластичном состоянии, он был прижат к твердой поверхности поры (?) и в него была вдавлена сферическая фаза. Намагниченность образования не отмечена. Было сделано три анализа (ИГЕМ РАН, аналитик Мохов А. В.) Два из них на поверхности пленки медистого цвета и один – на обнаженной темной поверхности сферы (рис. 5). Энергодисперсионные спектры 1 и 3 пленки свидетельствуют, что она представлена самородной химически чистой медью. Судя по пикам спектра 2, медистая пленка толщиной в несколько микрон могла откладываться на пепловой частичке. Об этом свидетельствует неоднородная структура темного пятна и довольно широкий набор элементов а именно, O (60,07 ат. %), Ca (21,97 ат. %), Si (8,46 ат. %), Al (1,18 ат. %), Mg (1,05 ат. %), P (0,77 ат. %). Высокое содержание кальция может указывать на «захват» при анализе микролита плагиоклаза.

Обсуждение полученных результатов

Полученные новые данные позволяют сделать следующие выводы:

1. Новые данные о составе пирокластических отложений кальдеры Половинка свидетельствуют о более высокой степени эволюционирования кислого расплава в верхнекоровом магматическом очаге на предэруптивном этапе, чем это предполагалось ранее [4, 5, 9]. На диаграмме валового химического состава пирокластических отложений (рис. 6) выделяются три дискретные группы пород: первая – в области риолитов и риодацитов (70,8–74,4% SiO₂), вторая – в области дацитов (64,9–67,5% SiO₂) и третья – низкремнистых андезитов (57,6 – 60,9% SiO₂). К первой группе относятся кварц-биотитовые туфы (П1), которыми начинался процесс игнимбритообразования в южном секторе КВЦ. Вторая группа представлена двупироксеновыми пемзовыми агломератовыми туфами дацитового состава («белесые» по [2]), которые завершали первый этап образования кальдеры Половинка (П2). В обнажениях фронтальной части потока они имеют риодацитовый состав. Разрез в левом борту реки Крестьянской показал, что между этими двумя типами существует переходная разность (П1–2), представленная пемзовыми туфами риодацитового состава (70,8–71,5% SiO₂), в которых среди темноцветных минералов преобладает роговая обманка. Стратиграфическое положение этих туфов в разрезе свидетельствует о том, что они не могут быть вложенными образованиями, т.е. относиться к более молодым пирокластическим отложениям, например, связанными с кальдерами Однобокой (верхний плейстоцен) или Карымской (голоцен). Во фронтальной части пирокластического потока роговообманковые риодациты отсутствуют, что может быть связано с изменением направления движения порции пирокластических отложений. В то же время, следует отметить, что в слое те-

НОВЫЕ ДАННЫЕ О ПРОЦЕССАХ ИГНИМБРИТООБРАЗОВАНИЯ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ КАЛЬДЕРЫ ПОЛОВИНКА (КАРЫМСКИЙ ВУЛКАНИЧЕСКИЙ ЦЕНТР)

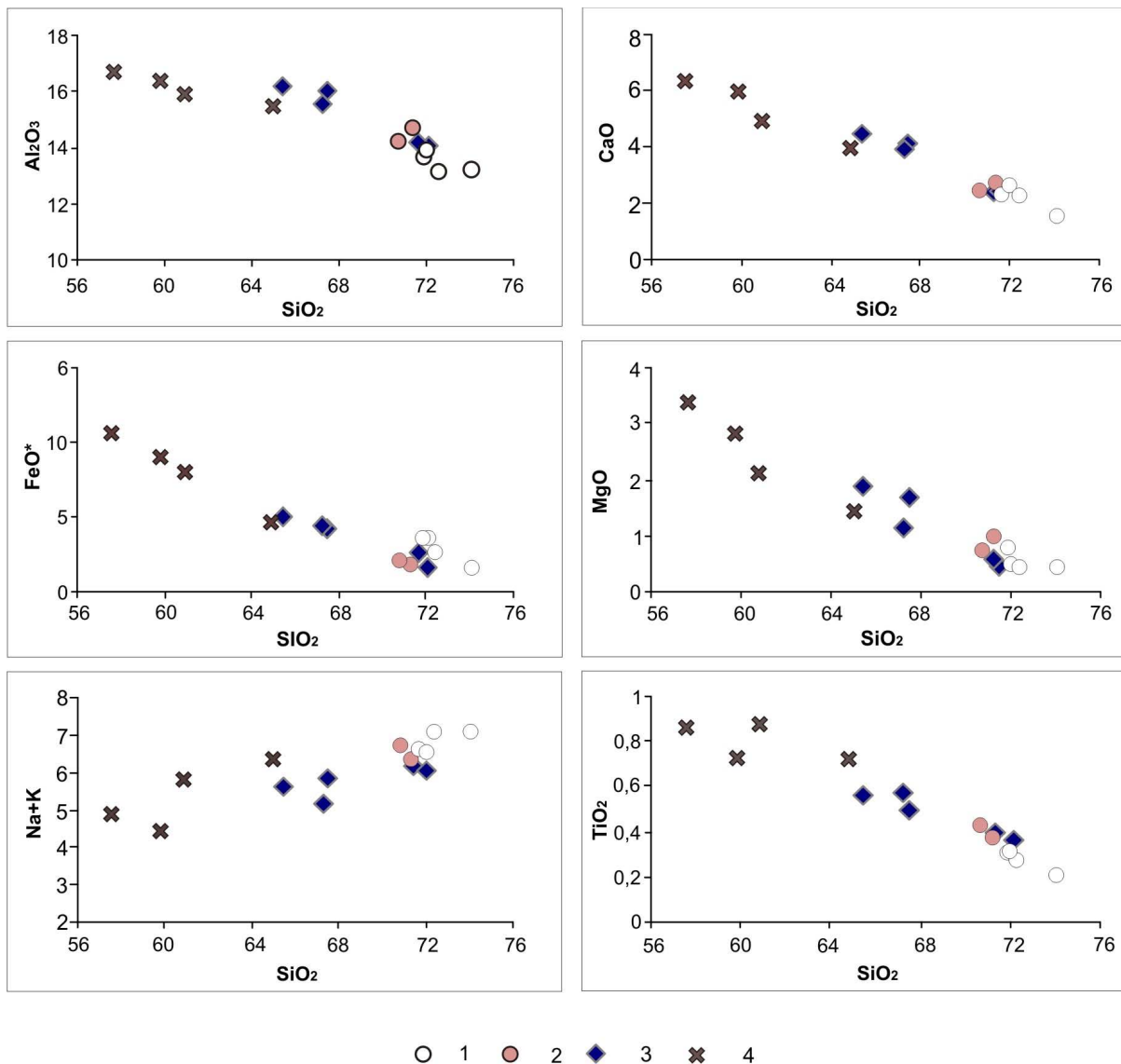


Рис. 6. Соотношение породообразующих окислов в зависимости от SiO_2 в пемзовых туфах кальдеры Половинка. Начальная фаза: 1 – кварц-биотитовые пемзовые туфы риолитового состава (П1), 2 – роговообманковые пемзовые туфы риодацитового состава (П1–2), 3 – дупироксеновые пемзовые туфы (П2); заключительная фаза: 4 – игнимбриты, спекшиеся туфы, агглютинаты андезитового, андезибазальтового состава.

фры, разделяющей пирокластические потоки П1 и П2, количество вкрапленников роговой обманки возрастает.

Полученные данные позволяют выделить в зональном верхнекоровом магматическом очаге на прееруптивной стадии, по крайней мере, три зоны. Зональность выражается в изменении валового состава расплава, состава минеральных ассоциаций и содержания H_2O в расплаве по вертикали. Формирование в апикальной части магматического очага высокофлюидизированного, высококремнистого расплава, представленного кварц-биотитовыми риолитами, является показателем длительных и спокойных в тектоническом отношении условий кристаллизации исходного расплава. Выделение слоя роговообманковых рио-

дацитов, свидетельствует о постепенном снижении с глубиной концентрации H_2O в расплаве. Слой тефры, в котором возрастает количество амфибола, может представлять собой переходный слой между смежными зонами. Редкие зерна роговой обманки, встречающиеся в кварц-биотитовых и двупироксеновых туфах, могут указывать на постепенное изменение состава расплава в магматическом очаге или смешивание расплавов из пограничных слоев в процессе извержения.

По составу вкрапленники амфибола из пемзовых туфов кальдеры Половинка относятся к низко- и умеренноглиноземистым обыкновенным роговым обманкам (рис. 7). По соотношению $Ti - Al$ и $(Na+K) - Al$ амфиболы из пемзовых туфов П1–2 образуют ряд с содержанием суммарного алюминия от 1,06 до 1,32 ф.е (формульных единиц). Редкие вкрапленники амфибола из туфов П1 и П2 [3, 4] располагаются в наиболее низкотитанистой и низкощелочной его части (выделенное поле). Амфибол из кумулусных включений роговообманковых габбро в пемзовых туфах П1–2 по составу относится к высокоглиноземистым паргаситам (содержание алюминия варьирует от 1.6 до 2.0 ф.е.). В экспериментах установлено, что глиноземистость (а также титанистость и щелочность) роговых обманок зависит от давления, увеличиваясь с его возрастанием [13, 14]. Широкий диапазон глиноземистости роговых обманок в пирокластических отложениях позволяет сделать вывод, что вкрапленники амфибола в пемзовых туфах кристаллизовались на разных глубинах. По соотношению $Ti-Al$ и $(Na+K)-Al$ амфиболы из кумулусных включений не образуют единого выраженного тренда с амфиболами-вкрапленниками из пемзовых туфов и могли кристаллизоваться не из родственных расплавов, а представлять собой сегрегации кристаллов магм более ранних эпизодов вулканической деятельности. Тем не менее, извержение на заключительном этапе формирования кальдеры Половинка тефры андезибазальтового [4, 5] состава говорит о существовании в основании верхнекорового очага базальтоидных расплавов или о периодических инъекциях их из магматических очагов, расположенных в основании коры.

2. Между пемзовыми туфами риолитового – дацитового составов первого этапа и андезидацитовыми игнимбритами второго отмечается некоторый временной интервал. В разрезе по реке Крестьянской (рис. 3) он выражается размывом ранее отложенных пемзовых ту-

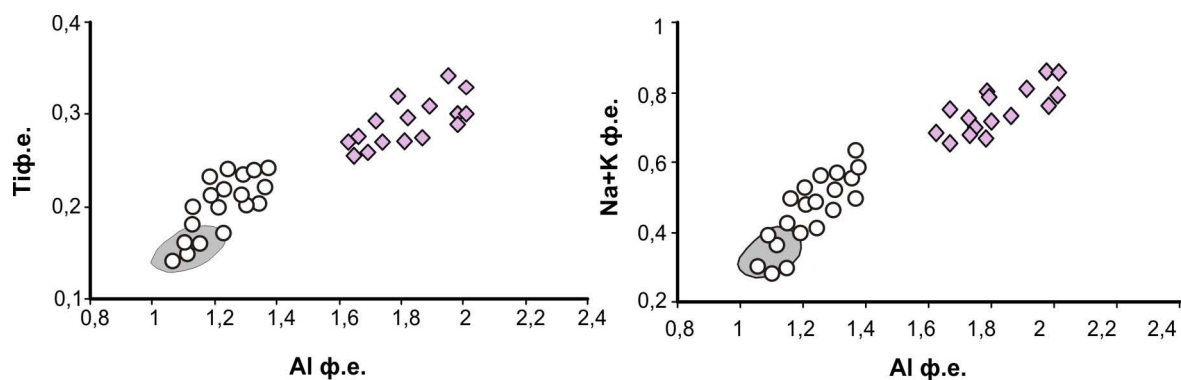


Рис. 7. Соотношение Ti (ф.е.) и $(Na+K)$, ф.е. от Al (ф.е.) в амфиболах пемзовых туфов кальдеры Половинка. Полые кружки – вкрапленники в роговообманковых пемзовых туфах П1–2, разрез в левом борту р. Крестьянской; залитые ромбы – роговая обманка (паргасит) в габброидном включении из пемзовых туфов, там же; серое поле – вкрапленники роговой обманки в кварц-биотитовых и двупироксеновых пемзовых туфах [4].

фов (прослой песков) и формированием суглинистых отложений, которые можно рассматривать как элювиально-делювиальные.

3. Слой алевроитовых туфов белого цвета с примесью пелитового материала (рис. 3), содержащих чешуйки биотита (мощность 3,5–4.0 м), мог представлять собой донные осадки существующего в то время кальдерного озера. Обнаружение их в нижней части западного склона кальдерной структуры, может свидетельствовать о катастрофических переливах воды из озера, возникавших при взрывах в связи с внедрением в вехнекоровый магматический очаг под кальдерой глубинного расплава андезибазальтового состава [4, 8]. В коренном залегании алевроитовые туфы были встречены только в разрезе левого борта реки Крестьянской. В то же время мелкие сланцеватые обломки алевроитов неясного происхождения ранее были встречены на западном склоне кальдерной структуры. В 2003 г. в излучине реки Правая Кедровая В.Л. Леоновым была обнаружена группа восходящих холодных источников [11]. Наиболее крупные из них располагались в небольших озерцах на дне воронок, заполненных светло-серым песком с чешуйками биотита, который бурлил под действием восходящего потока воды. Эти источники связаны с серией разломов субмеридионального простирания. Можно предположить, что тонкозернистый песок, выносимый источниками, связан со слоем алевроитов, который прослеживается вкост простирания пирокластического потока, и сохранился, вероятно, благодаря существованию какого-то морфологического барьера в рельефе, препятствующего смыву выплеснутых из озера донных осадков в реку Жупанова. Алевроитовые туфы и суглинистые отложения общей мощностью до 5 м могли служить локальным водупором, с которым связаны линзы напорных водоносных горизонтов.

4. Сферическая и винтообразная формы аксессуарных образований в пирокластических отложениях кальдеры Половинка, свидетельствуют о формировании их в газонасыщенной

Таблица 1. Химический состав пирокластических отложений кальдеры Половинка, масс.

	27-07л	28а-07л	29-07л	36п-02л	36-02л	35-02л	к1-04	к6-04	к1в-04	к4-04
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SiO ₂	74,1	71,4	72,1	72,36	67,25	65,41	71,4	70,8	57,24	64,98
TiO ₂	0,2	0,39	0,36	0,26	0,57	0,56	0,37	0,42	0,65	0,82
Al ₂ O ₃	13,1	14,4	14,1	12,68	15,53	16,39	14,65	14,25	17,54	15,48
Fe ₂ O	0,49	0,72	0,6	1,2	1,83	2,77	0,9	1,02	3,3	0,87
FeO	0,86	1,58	1,44	1,58	2,59	2,27	0,98	1,06	3,42	3,16
MnO	0,07	0,08	0,07	0,15	0,16	0,16	0,12	0,1	0,15	0,18
MgO	0,4	0,45	0,42	0,38	1,16	1,9	0,92	0,68	3,58	1,44
CaO	1,41	2,48	2,42	2,27	3,88	4,41	2,62	2,35	7,8	3,24
Na ₂ O	3,57	3,53	3,62	3,34	4,04	4,12	3,55	3,68	2,65	3,5
K ₂ O	3,42	2,61	2,42	3,67	1,54	1,48	2,8	2,95	1,2	2,85
P ₂ O ₅	0,04	0,08	0,08	0,03	0,15	0,19	0,08	0,08	0,08	0,15
LOI	2,51	2,34	2,21	2,3	1,44	1,48	2,47	2,88	1,96	2,48
Σ	100,17	100,08	99,95	100,22	100,14	101,14	100,86	100,27	99,57	99,15
Na ₂ O+K ₂ O	1,35	2,30	1,6	2,78	4,42	5,04	1,88	2,08	6,72	4,03

Примечание: 1-3 – разрез пирокластических отложений по левому борту реки Жупанова: 1 – кварц-биотитовые туфы, 2-3 - дупироксеновые туфы; 4-6 – разрез пемзовых туфов, приустьевая часть реки Правая Кедровая; 7-10 – разрез по реке Крестьянской: 7-8 – пемзовые туфы с роговой обманкой; 9 – включение состава роговообманкового габбро; 10 – игнимбриты с фьямме, заключительный этап формирования кальдеры Половинка.

среде с высокой степенью турбулентности. Наличие у сферул локальных плоских поверхностей, указывает на закрепление их на поверхности пор в пемзовых фрагментах кислого расплава. Появление самородных металлов, в данном случае меди, является индикатором локальных восстановительных условий, возникающих в газо-пепловой эруптивной туче. Косвенным показателем повышенного потенциала серы во флюиде, является полустекловатый шарик, насыщенный сернистым ангидридом (?). Восстановленные газы, например, H_2S , H_2 , CO , могут быть связаны с глубинными базальтовыми расплавами. Взаимодействие глубинных и верхнекоровых магматических очагов прослеживается на протяжении всего четвертичного периода магматической деятельности Карымского вулканического центра [9]. Пепловая частица темносерого цвета, на которой осаждалась самородная медь (рис. 5), возможно, связана с инъекциями базальтов в основание верхнекорового очага под кальдерой Половинка.

Самородная медь в основном ассоциирует с постмагматическими процессами в породах от ультраосновного до среднего состава [3, 12]. Во всех проявлениях она входит в состав низкотемпературных гидротермальных парагенезисов минералов. В кислой пирокластике нами ранее был обнаружен самородный алюминий в виде проволоки. В современных пеплах вулкана Карымский также обнаружены самородные алюминий, железо, цинк и интерметаллические соединения [7].

Авторы выражают благодарность коллегам за помощь в проведении полевых работ и подготовке материала к печати, а также Карпову Г.А. за помощь в осуществлении анализа необычных образований.

Работа выполнена в рамках проекта РФФИ № 08–05–00453, а также по проектам ДВО РАН № 09–1–П16–05 и № 09–III–А–08–424.

Список литературы

1. *Вергасова Л.П., Филатов С.К., Дунин-Барковская В.В.* Постэруптивная деятельность первого конуса БТТИ и современное вулканогенное формирование бокситов // Вулканология и сейсмология, 2007. № 2. С. 32–55
2. Вулканический центр: строение, динамика, вещество (Карымская структура) // Отв. ред. Ю.П. Масуренков. М.: Наука. 1980. 392 с.
3. *Главатских С.Ф.* Металлообразования в продуктах эксгаляций Большого трещинного Толбачинского извержения // Вулканология и сейсмология, 1995. № 4–5. С. 193 – 212
4. *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. № 4. С. 21–40.
5. *Гриб Е.Н., Леонов В.Л.* Эволюция магматических очагов кальдер южного сектора Карымского вулканического центра. Часть II. PTF – условия кристаллизации игнибритообразующих расплавов, эволюция магматизма // Вулканология и сейсмология. 2004. № 5. С. 23 – 37.
6. *Карпов Г.А., Мохов А.В.* Акцессорные самородные рудные минералы эруптивных пеплов андезитовых вулканов Камчатки // Вулканология и сейсмология, 2010. № 3. С. 19–36.
7. *Костов И.* Минералогия. М.: Мир. 1971. 558 с.

НОВЫЕ ДАННЫЕ О ПРОЦЕССАХ ИГНИМБРИТООБРАЗОВАНИЯ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ КАЛЬДЕРЫ ПОЛОВИНКА (КАРЫМСКИЙ ВУЛКАНИЧЕСКИЙ ЦЕНТР)

8. *Карпов Г.А., Мохов А.В.* Микрочастицы самородных металлов, сульфидов оксидов в андезитовых пеплах Карымского вулкана // Вулканология и сейсмология, 2004. № 4. С. 21–40.
9. *Леонов В.Л., Гриб Е.Н.* Структурные позиции и вулканизм четвертичных кальдер Камчатки // Вл-сток. Дальнаука. 2004. 187 с.
10. *Леонов В.Л., Биндеман И.Н., Рогозин А.Н.* Новые данные по Ar-Ar датированию игнимбритов Камчатки // Материалы конференции, посвященной Дню вулканолога. 2008. П-Камчат. С. 187–197.
11. *Леонов В.Л., Кобренков Д.В.* Особенности разгрузки высокодебитных холодных источников в бассейне р. Правая Кедровая (Карымский вулканический центр, Камчатка) // Вулканология и сейсмология, 2003. № 6. С. 24–31.
12. *Новгородова М.И.* Самородные металлы в гидротермальных рудах. М.: Наука. 1983. 285 с.
13. *Scaillet B., Evans B.W.* The 15 June 1991 eruption of Mount Pinatubo. I. Phase equilibria and pre-eruption P-T- f_{O_2} - f_{H_2O} conditions of the dacite magma. J. of Petrology. 1999. 40. P. 381 – 411.
14. *Johnson M.C., Rutherford M. J.* Experimental calibration of the aluminium-in-hornblende geobarometer with application to Long Valley caldera (California) volcanic rock. Geology. 1989. 17. P. 837–841.